UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Tiaraju Vasconcellos Wagner

EVALUATION TESTS WITH SOLUTION, APPLIED IN DISCIPLINE ELETRÔNICA FUNDAMENTAL 2B FROM 2001/2 UNTIL 2015/1

Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
(2015)

ABSTRACT

This document is a collection of Evaluation Tests with solution, applied to the students at Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Electrical Engineering Department (DELET), Porto Alegre, Brazil.

The main subject is analog electronic circuits, taught in Eletrônica Fundamental 2B, in the middle of the engineering course.

This document is divided in 3 sets of Evaluation Tests:

Prova 1 deals with operational amplifiers, linear circuits, integrators, differentiators, comparators and function generators.

Prova 2 deals with logarithms and exponential circuits, mathematical functions and active filters in the time domain.

Recuperação or Exame is the final exam and deals with the above two.

There is similar a document dealing with introduction to analog electrical circuits, taught in Introdução à Engenharia Elétrica, also divided into 3 parts.

It is a small insight of what happens in our university, ranked the first in Brazil and one of the best 500 universities in the world.

Students must reply the questions writing step-by-step the solution. Together with the Tests, a template hand-made shows what is expected in the student's answers. Each Test is evaluated, torougfully commented and returned to each student a week later.

When possible, I put some real world situations in one or more questions and used standard component values so any student can build the circuit and see it doing some useful action. The combination of components values was carefully chosen so the calculation at each step and in the final answer give nice numbers with few digits. On many questions, an electrical simulation confirms the results.

This is a public domain document so fell free to use and modify at will. As a teacher at UFRGS, I am happy to spread this knowledge.

Tiaraju Vasconcellos Wagner.

Keywords: Evaluation Tests, solutions, Operational Amplifiers, analog cells, comparators, signal generators, log / antilog circuits, mathematical operations, active filters, Electrical Circuit Simulation, Analog Electronic Circuits.

RESUMO

Este documento é uma coleção de Provas de Avaliação com o gabarito da solução, aplicadas aos alunos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia Elétrica (DELET), Porto Alegre, Brasil.

O assunto principal é circuitos eletrônicos analógicos, ministrado na disciplina Eletrônica Fundamental 2B, na metade do curso de engenharia.

Este documento está dividido em 3 conjuntos de Provas de Avaliação:

Parte 1 trata de amplificadores operacionais, circuitos lineares, integradores, diferenciadores, comparadores e geradores de funções.

Parte 2 trata de circuitos logarítmos e exponenciais, funções matemáticas e filtros ativos no domínio tempo.

Parte 3 é a Prova de recuperação e abrange todos os ítens acima.

Existe documento semelhante tratando sobre introdução aos circuitos elétricos analógicos, ministrado na disciplina de Introdução à Engenharia Elétrica, também dividido em 3 partes.

É uma pequena visão do que acontece em nossa universidade, classificada como a primeira no Brasil e uma das 500 melhores universidades do mundo.

Os estudantes devem responder às perguntas escrevendo passo-a-passo a solução. Juntamente com os testes, um gabarito feito à mão mostra o que é esperado nas respostas dos estudantes. Cada prova é avaliada, extensivamente comentada e devolvida para o aluno uma semana mais tarde.

Quando possível, eu coloquei algumas situações do mundo real em uma ou mais questões e utilizei componentes com valores padronizados de modo que qualquer estudante pode construir o circuito e vê-lo fazer alguma ação útil. A combinação de valores dos componentes foi cuidadosamente escolhida para que o cálculo de cada etapa e a resposta final resultem em números agradáveis, com poucos dígitos. Em muitas questões, a simulação do circuito confirma os resultados.

Este é um documento de domínio público, então sinta-se livre para usar e modificar à vontade. Como professor da UFRGS, estou feliz por divulgar estes conhecimentos.
Tiaraju Vasconcellos Wagner.

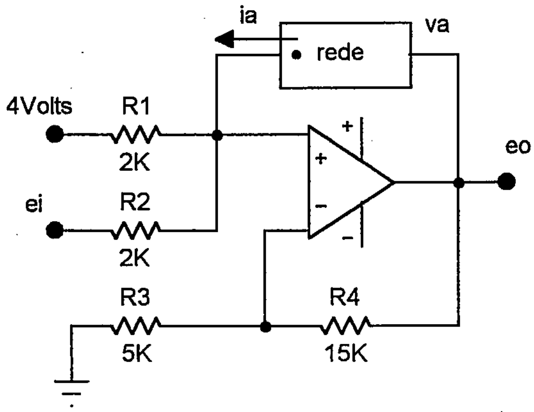
Palavras-chaves: Provas de Avaliação, Gabaritos da solução, Amplificadores Operacionais, células analógicas, comparadores, geradores de sinais, circuitos log/antilog, operações matemáticas, filtros ativos, Simlação de Circuitos Elétricos, Circuitos Eletrônicos Analógicos.

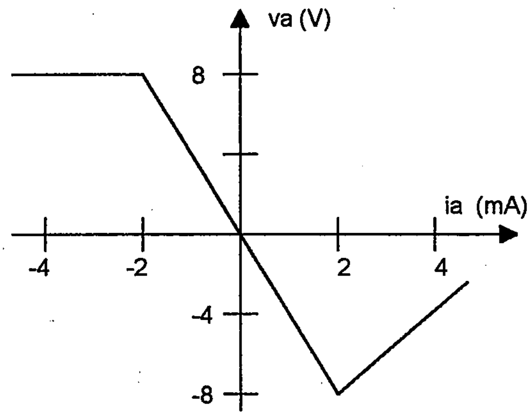
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada

Prova 1 2001/2 18/3/2002

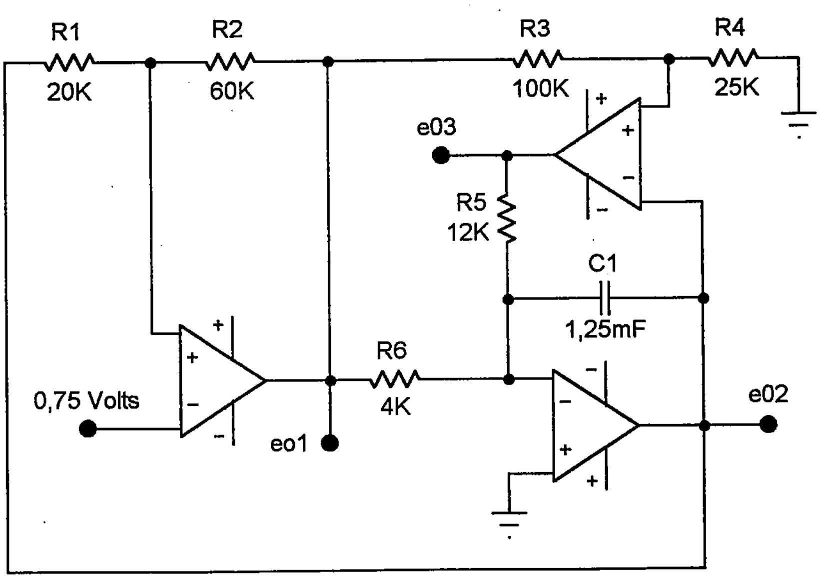
Nome: GABARITO **Turma:** _____

1. (4,5 pontos) O circuito abaixo possui uma rede não-linear formada por componentes ativos e passivos e descrita por um gráfico de tensão de entrada x corrente de saída.
   Desenhe, com precisão, colocando todos os valores, a curva de transferência e_o x e_i deste circuito. Descreva passo-a-passo o seu trabalho, equacionando convenientemente cada etapa.

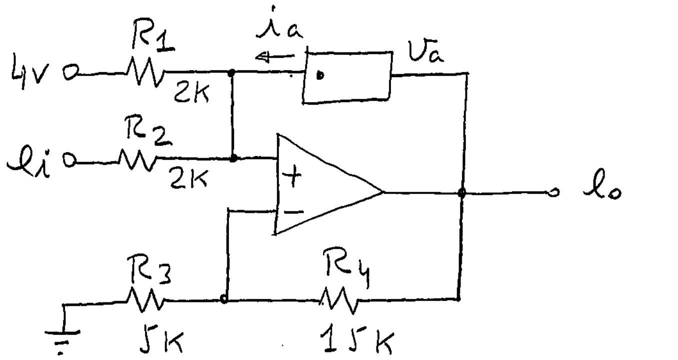


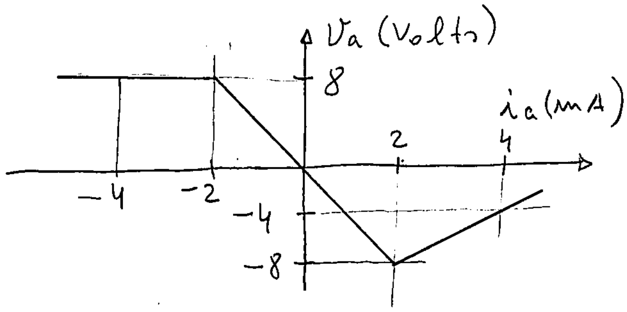


2. (5,5 pontos) Determine a resposta temporal de e_{o1}, e_{o2} e e_{o3} do circuito abaixo.
   Descreva cuidadosamente cada passo de cálculo. Procure trabalhar de forma hierarquizada e bem organizada.
   Componentes ideais. V_{cc} = +/- 15 Volts.



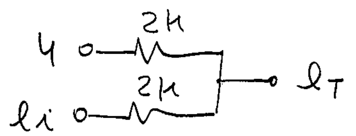
O circuito abaixo possui uma rede não-linear no laço de realimentação. Desenhe, com precisão, a curva de transferência $e_i \times e_o$ deste circuito, descrevendo passo-a-passo o seu trabalho.





P1 2001/2

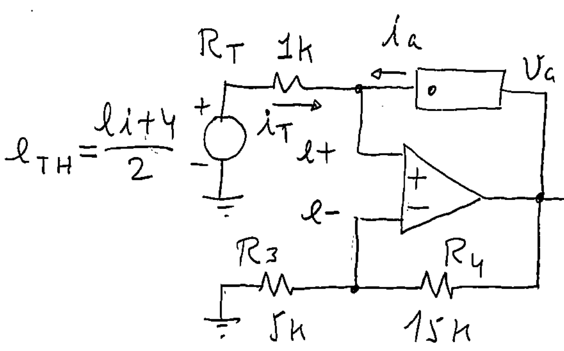
Simplificando: Thévenin:



$$e_{TH} = \frac{4 \cdot 2k}{2k+2k} + \frac{e_i \cdot 2k}{2k+2k}$$

$$e_{TH} = \frac{e_i+4}{2}$$

$$R_{TH} = 2k // 2k = 1K$$



Supondo o circuito operando na zona linear, $e_+ = e_-$:

$$e_- = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4} = e_o \frac{5}{5+15} = \frac{e_o}{4}$$

KCL em e_+:

$$-i_T - i_a = 0$$

$$i_T = -i_a$$

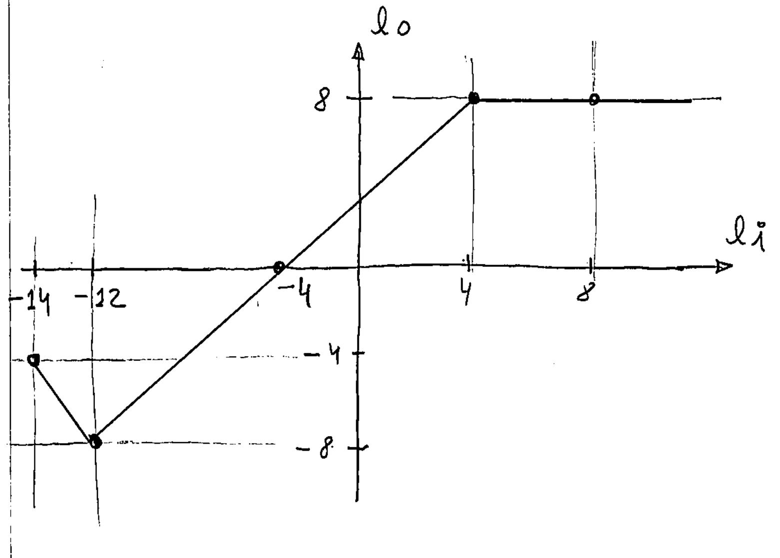
$$i_T = \frac{e_{TH} - e_+}{R_{TH}} = \frac{\frac{e_i+4}{2} - \frac{e_o}{4}}{1K}$$

$$i_T = \frac{2e_i + 8 - e_o}{4k} = -i_a \quad \text{Então:}$$

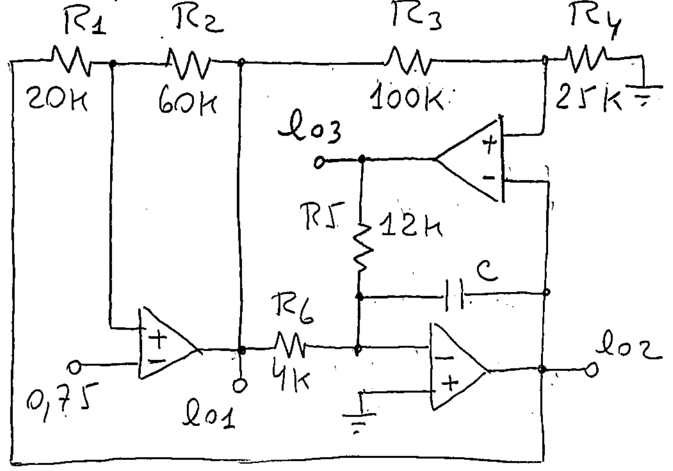
$$e_i = \frac{e_o}{2} - 2k \cdot i_a - 4$$

Para montar a curva de transferência do circuito, é preciso determinar os valores de e_i que levam V_a ou e_o aos pontos de quebra:

i_a (mA)	$V_a = e_o$	e_i
0	0	−4
2	−8	−12
4	−4	−14
−2	8	4
−4	8	8



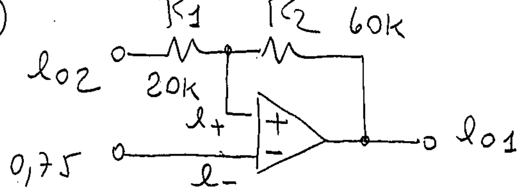
Determine a resposta temporal de e_{o1}, e_{o2} e e_{o3} do circuito abaixo. Descreva cuidadosamente cada passo de cálculo. Componentes ideais. $V_{cc} = \pm 15V$



P1 2001/2

Separando em blocos e equacionando:

a)



Comparador com histerese e Vref.

Por superposição:

$$e_+ = \frac{e_{o2}\cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{e_{o1}\cdot R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = 0{,}75$$

A transição para $e_{o1} = \pm V_{cc}$ ocorre quando $e_+ = e_-$:

$$0{,}75 = \frac{e_{o2}\cdot 60}{20+60} + \frac{e_{o1}\cdot 20}{20+60}$$

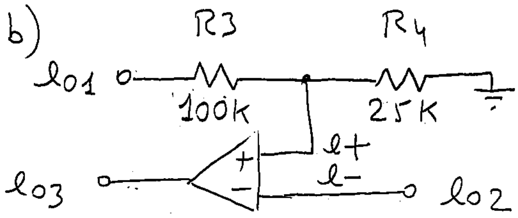
Isolando e_{o2}:

$$e_{o2} = \frac{3 - e_{o1}}{3}$$

Substituindo $e_{o1} = \pm V_{cc}$:

$$e_{o2} = \begin{cases} \frac{3-15}{3} = -4 \\ \frac{3+15}{3} = 6 \end{cases}$$

b)



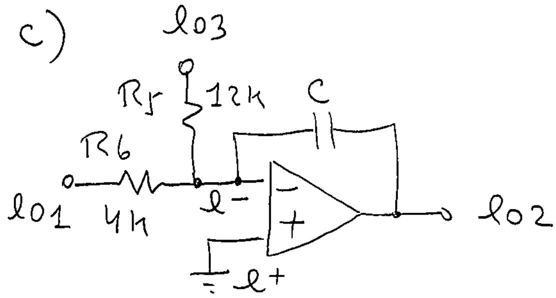
Comparador simples com histerese.

$$e_+ = \frac{e_{o1}\cdot 25}{100+25} = \frac{e_{o1}}{5}$$

e_{o3} troca de estado para $\pm V_{cc}$ quando $e_+ = e_-$, ou seja:

$$e_{o2} = \begin{cases} \frac{15}{5} = 3 \\ \frac{-15}{5} = -3 \end{cases}$$

c)



Simplificando: Thévenin:

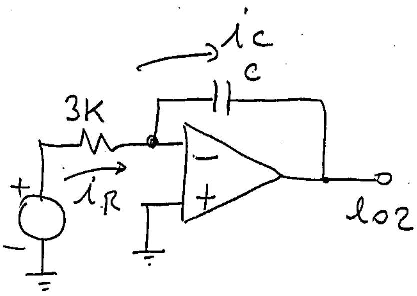
$$e_{TH} = e_- = \frac{e_{o1}\cdot R_5}{R_5+R_6} + \frac{e_{o3}\cdot R_6}{R_5+R_6}$$

$$e_- = \frac{3e_{o1} + e_{o3}}{4}$$

$$R_{TH} = 4k // 12k = 3k$$

Massa virtual: $V_c = e_{o2}$

$\dfrac{3\,e_{o1} + e_{o3}}{4}$



Integrador inversor.

KCL em e^-: $i_R = i_C$

$$i_R = \frac{e_{TH}}{R_{TH}}$$

$$i_C = -C\,\frac{d}{dt}(e_{o2})$$

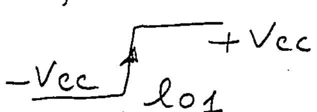
Igualando e integrando:

$$e_{o2}(t) = \frac{-1}{R_{TH}\cdot C}\int_0^t \left(e_{TH}(t)\,dt\right) + V_C(t=0)$$

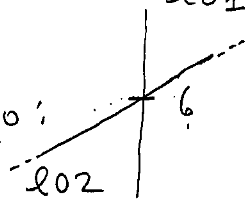
Como e_{TH} e $V_C(t=0)$ são constantes:

$$e_{o2}(t) = -\,\frac{3\cdot e_{o1} + e_{o3}}{4\cdot 3K\cdot 1{,}25\cdot 10^{-3}}\cdot T + V_C(t=0)$$

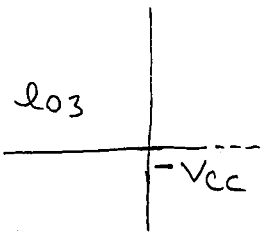
Após equacionar os blocos, vamos supor uma condição inicial qualquer, por exemplo, o instante em que e_{o1} muda de estado:



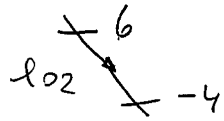
Neste momento:



E também:



Partindo do valor inicial $e_{o2} = 6$, o integrador começa a descer até o limite inferior de $e_{o2} = -4$ que faz e_{o1} mudar novamente.



Entretanto, quando $e_{o2} = +3$ o comparador $e_{o3} \rightarrow +15$, mudando a contribuição de corrente para o integrador.

Tempo para e_{o2} ir de $+6$ até $+3$ Volts:

$$3 = -\,\frac{3\cdot 15 + (-15)}{15}\,T_1 + 6$$

Então, $T_1 = 1{,}5$ seg. //

Para e_{o2} ir de $3 \rightarrow -4$:

$$-4 = -\,\frac{3\cdot 15 + 15}{15}\,T_2 + 3$$

Então, $T_2 = 1{,}75$ s //

Agora, $e_{o1} \rightarrow +15$, influindo em e_{o3}:

$$e_{o3+} = \frac{e_{o1}}{5} = -3 \quad \boxed{\begin{matrix}+\\-\end{matrix}} \Rightarrow e_{o3} = 15$$
$$e_{o3-} = e_{o2} = -4$$

Quando $e_{o2} \rightarrow -3$ então $e_{o3} \rightarrow -15$

Tempo para e_{o2} ir de $-4 \rightarrow -3$:

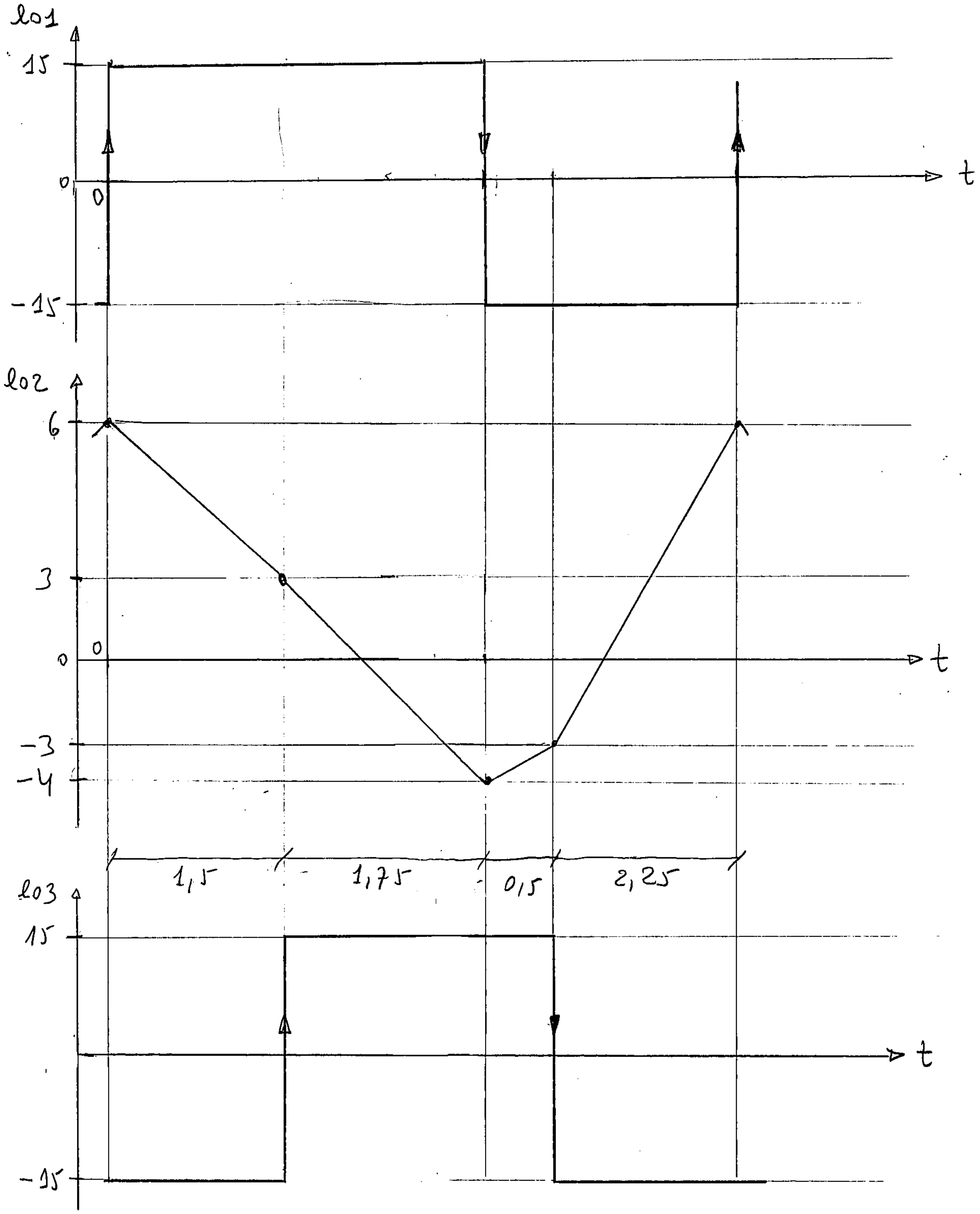
$$-3 = -\,\frac{3\cdot(-15) + 15}{15}\,T_3 + (-4)$$

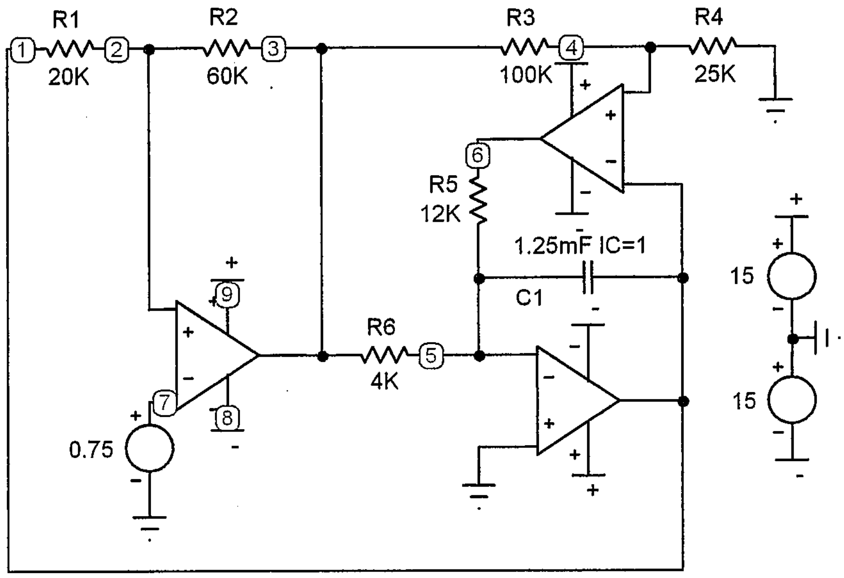
Então, $T_3 = 0{,}5$ s

Tempo para e_{o2} ir de $-3 \rightarrow 6$:

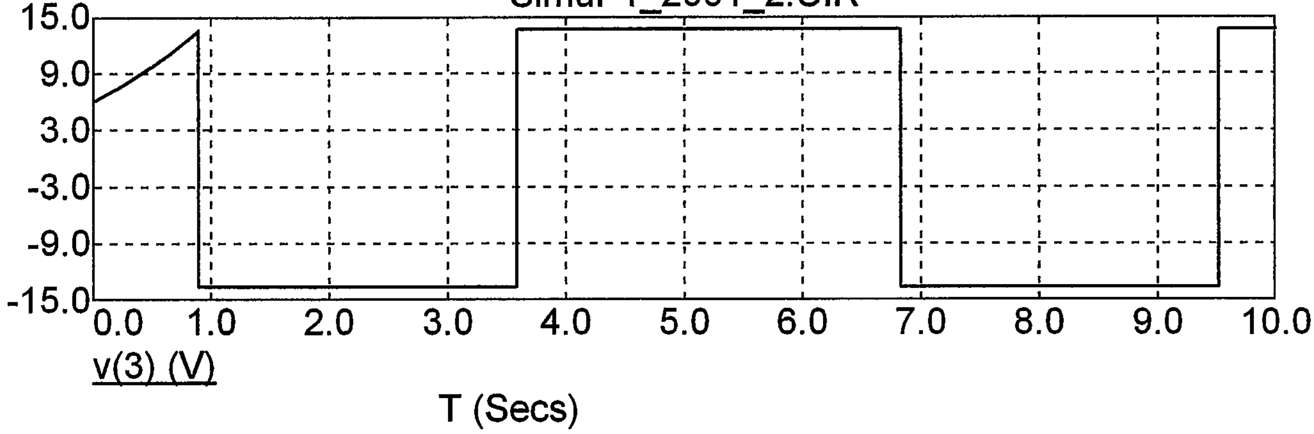
$$6 = -\frac{3(-15)+(-15)}{15} T_4 + (-3)$$

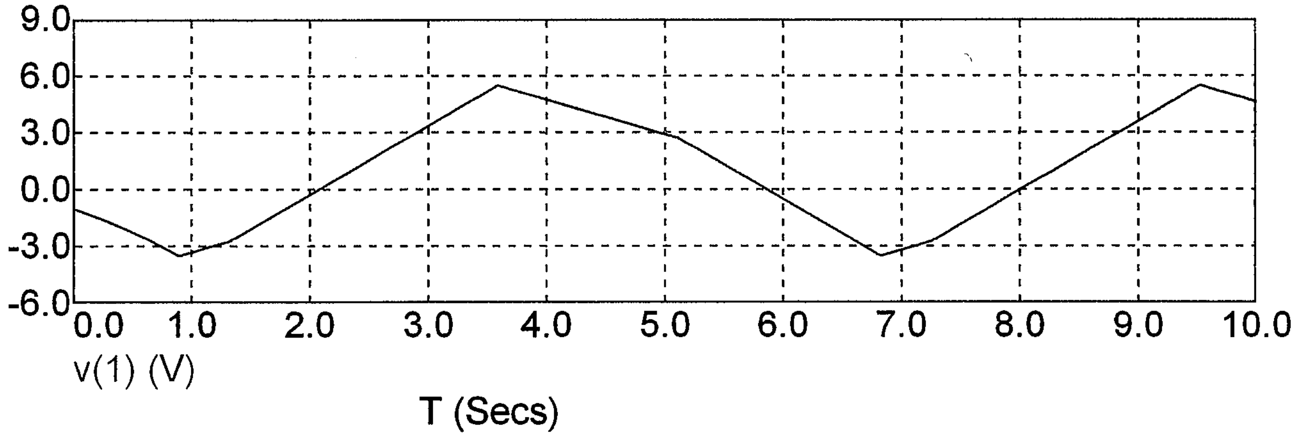
Então, $T_4 = 2{,}25\,s$ //

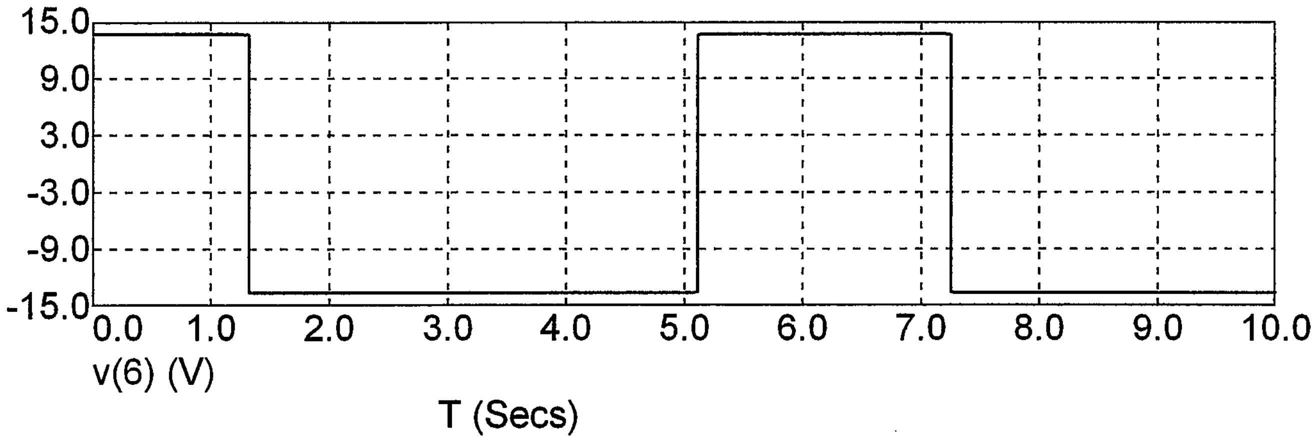




Micro-Cap 8 Evaluation Version
SimuP1_2001_2.CIR





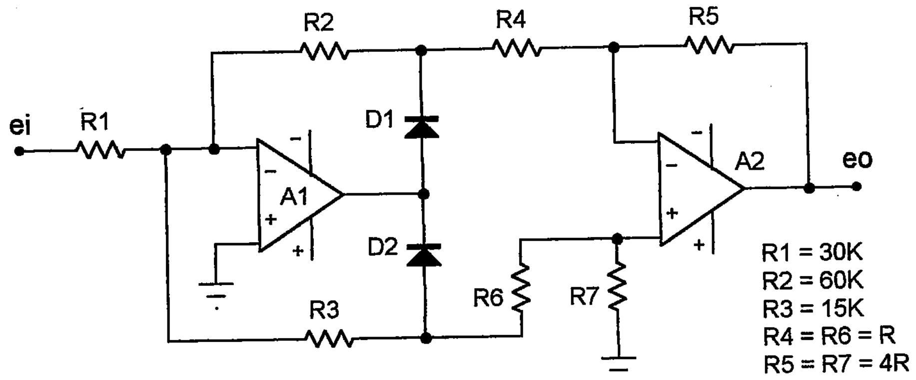


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2002/1

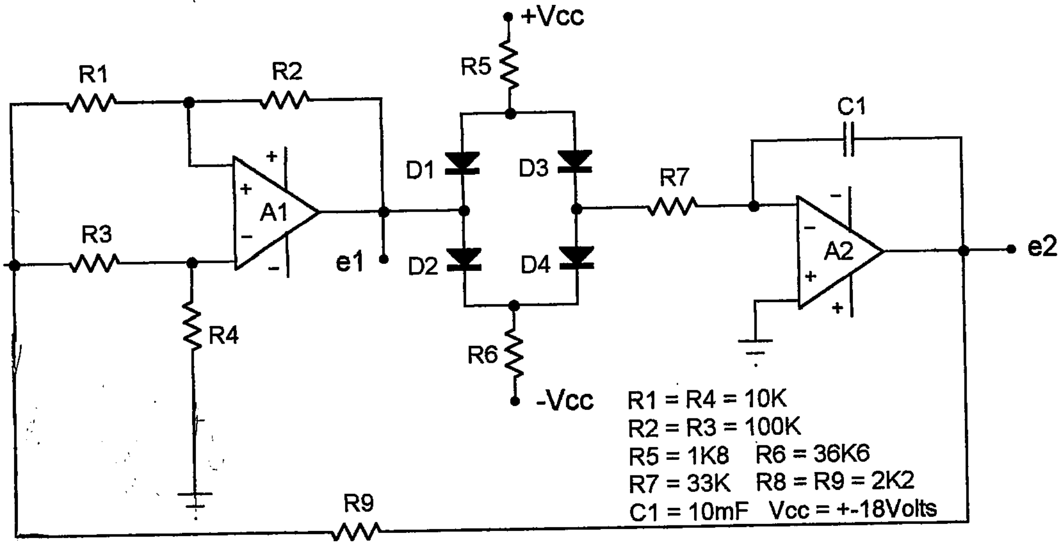
Prova 1 5/8/2002

Nome: GABARITO **Turma:** ______

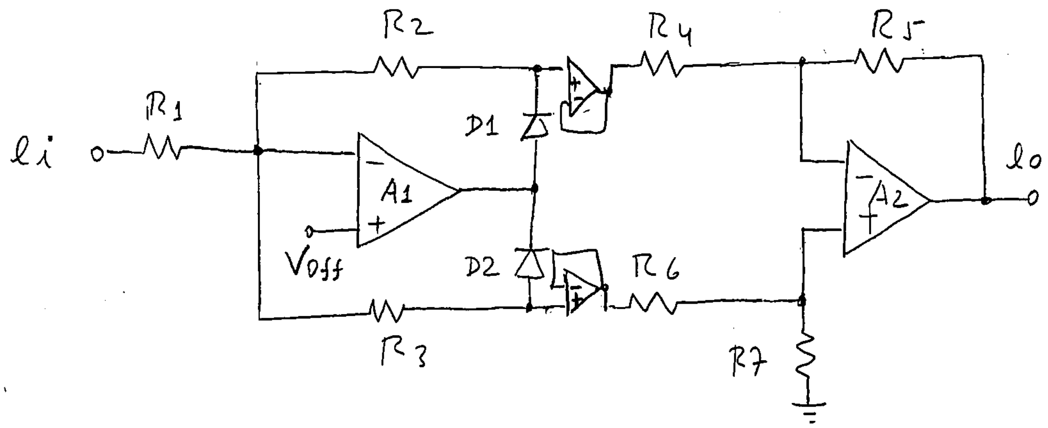
1. (4,5 pontos) Desenhe, com precisão, a curva de transferência e_o x e_i do circuito abaixo. Inicialmente, divida o circuito em blocos funcionais, classifique, descreva o seu funcionamento e equacione literalmente para então substituir pelos valores da figura. Comente cada etapa do seu trabalho. Monte uma tabela com valores de e_i entre –4 e 4 para auxiliar a plotagem. As características dos diodos influem no desempenho? Justifique. Operacionais ideais. Diodos 0,6V.



2. (5,5 pontos) Examine o circuito abaixo procurando entender o seu funcionamento. Classifique e equacione literalmente cada bloco para depois substituir pelos valores de circuito. Descreva passo-a-passo o seu trabalho. Desenhe precisamente as curvas de e_1, e_2 e e_3, indicando os valores calculados. Escreva as suas conclusões. Operacionais ideais. Diodos 0,6 Volts.



Desenhe, com precisão, a curva de transferência $e_o \times e_i$ do circuito abaixo. Inicialmente, divida o circuito em blocos funcionais, descreva o seu funcionamento e equacione literalmente cada um, substituindo então pelos valores deste caso. Comente cada etapa do seu trabalho. A tensão V_{off} representa a tensão offset do operacional de entrada. As demais caract. são ideais.
As características dos diodos influem no desempenho?
Qual a magnitude da tensão offset na saída?



$R_1 = 30k$

$R_2 = R_3 = 15k$

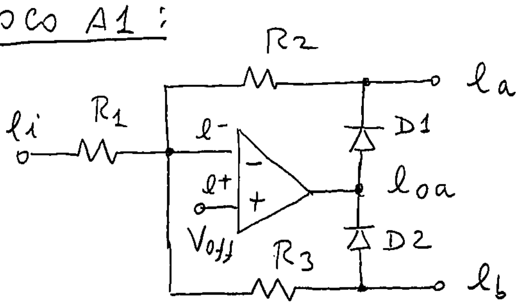
$R_4 = R_6 = R$

$R_5 = R_7 = 4 \cdot R$

$V_{off} = 0{,}2$ Volts

AGO 2002 P1 2002/1

BLOCO A1:



Possui duas saídas e parece ser um retificador.
Existe sempre um caminho para a realimentação, via D1 ou via D2, conforme a polaridade de e_{oa}.
Se nenhum diodo conduzir, o circuito é um comparador sem histerese e ganho infinito. Um mínimo desequilíbrio entre as tensões nas entradas leva e_{oa} à saturação, fechando o laço de realimentação.
As imperfeições dos diodos (Não condução e resist. interna) são corrigidas pela realimentação. Deste modo, podemos considerar e_a e e_b como saídas tipo fonte de tensão.

Equacionamento:

Supondo e_{oa} positivo:

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_a \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = V_{off}$$

Em operação linear, $e_- = e_+$:

$$e_a = \frac{R_1+R_2}{R_1}\left[V_{off} - e_i \frac{R_2}{R+R_2}\right]$$

$$e_a = V_{off} + \frac{R_2}{R_1}(V_{off} - e_i) \;//$$

Do mesmo modo:

$$e_b = V_{off} + \frac{R_3}{R_1}(V_{off} - e_i) \;//$$

Obsermações:

- Se $V_{off} = 0$ então o circuito é um simples inversor.

Substituindo os valores:

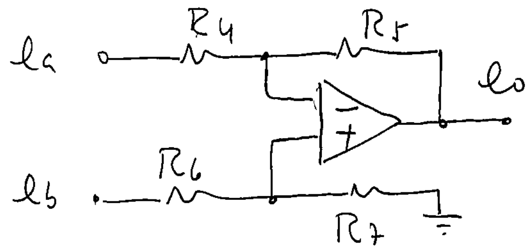
$$e_a = 0{,}2 + \frac{15k}{30k}(0{,}2 - e_i)$$

$$e_a = 0{,}3 - 0{,}5\, e_i \;//$$

$$e_b = 0{,}2 + \frac{15k}{30k}(0{,}2 - e_i)$$

$$e_b = 0{,}3 - 0{,}5\, e_i \;//$$

Bloco A2:



Amplificador subtrator.
Equacionamento:

$$e_- = e_a \frac{R_5}{R_4+R_5} + e_o \frac{R_4}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = e_b \frac{R_7}{R_6+R_7}$$ igualando:

$$e_o = \frac{R_4+R_5}{R_4}\left[e_b \frac{R_7}{R_6+R_7} - e_a \frac{R_5}{R_4+R_5}\right]$$

Substituindo os valores:

$$e_o = \frac{R+4R}{R}\left[e_b \frac{4R}{R+4R} - e_a \frac{4R}{R+4R}\right]$$

$$e_o = 4(e_b - e_a) \;//$$

Juntando os blocos:
Supondo e_i positivo, então e_{oa} é negativo $\rightarrow$ $e_a = V_{off} = 0{,}2$; $e_b = 0{,}3 - 0{,}5\, e_i$

$$e_o = 4(0{,}3 - 0{,}5\, e_i - 0{,}2)$$

$$e_o = 0{,}4 - 2 \cdot e_i \;//$$

Supondo e_i negativo, então e_{oa} é positivo $\rightarrow$ $e_a = 0{,}3 - 0{,}5\, e_i$; $e_b = V_{off} = 0{,}2$

$$e_o = 4[0{,}2 - (0{,}3 - 0{,}5\, e_i)]$$

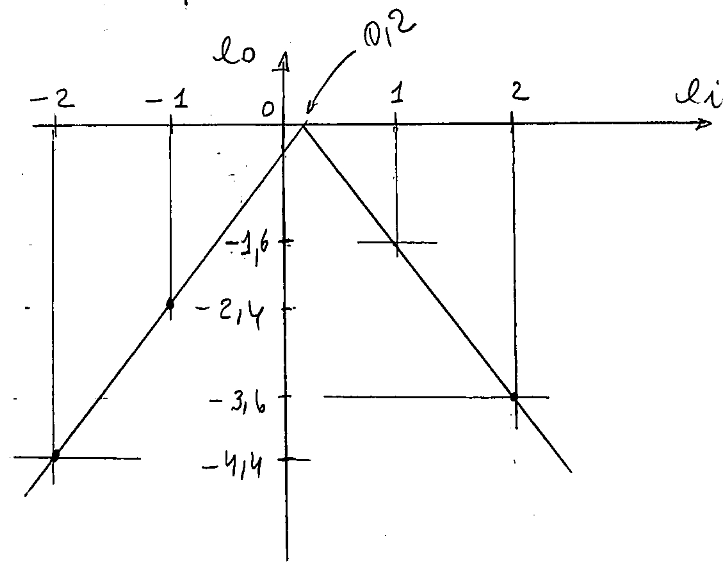
$$e_o = -0{,}4 + 2 \cdot e_i \;//$$

e_i	e_o
-2	$-4{,}4$
-1	$-2{,}4$
0	$-0{,}4$
1	$-0{,}6$
2	$-3{,}6$

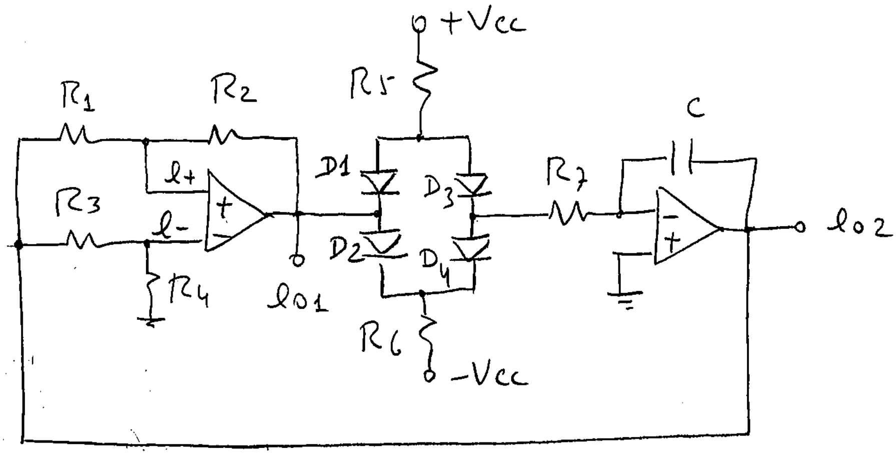
Para $e_o = 0$:

$$0 = 0{,}4 - 2 \cdot e_i$$

$$e_i = 0{,}2 \;//$$



Examine o circuito abaixo, procurando entender o seu funcionamento.
Classifique e equacione literalmente cada bloco funcional, colocando depois os valores dos componentes nas equações. Descreva passo-a-passo o seu trabalho. Desenhe precisamente as curvas de lo1, lo2 e lo3, em um mesmo gráfico, indicando os valores calculados. Escreva suas conclusões.
Operacionais ideais, queda nos diodos = 0,6 Volts.



$\pm Vcc = \pm 18$ Volts
$R_1 = R_4 = 10k$
$R_2 = R_3 = 100k$
$R_5 = 1,8K$
$R_6 = 36,6K$
$R_7 = 33k$
$C = 10mF$

<u>Bloco do lo1:</u> Parece ser um comparador pois tem histerese e não tem realim. negativa.

$$l+ = lo2\,\frac{R_2}{R_1+R_2} + lo1\,\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$l- = lo2\,\frac{R_4}{R_3+R_4}$$

Ponto de virada quando l+=l-:

$$lo2\,\frac{R_4}{R_3+R_4} = lo2\,\frac{R_2}{R_1+R_2} + lo1\,\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$lo2\left(\frac{R_4}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2}\right) = lo1\,\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Substituindo os valores:

$$lo2\left(\frac{10}{100+10} - \frac{100}{10+100}\right) = lo1\,\frac{10}{10+100}$$

$$-90\,lo2 = 10\cdot lo1$$

$$lo2 = -\frac{lo1}{9}$$

Como a saída do comparador só pode assumir $\pm Vcc$, então os pontos de virada são:

$$lo2 \left\langle \begin{array}{l} -\dfrac{18}{9} = -2 \text{ Volts} \\ -\dfrac{(-18)}{9} = 2 \text{ Volts} \end{array} \right.$$

<u>Bloco dos diodos:</u>
Diodos conduzem ou cortam conforme o sinal lo1 que for aplicado.

Bloco do lo2:

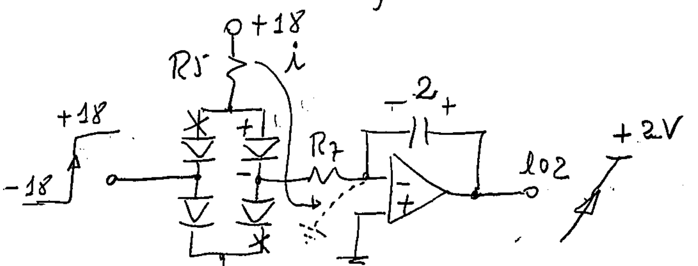
Integrador inversor.
lo2 = V_{cap}. devido a massa virtual na entrada.

$$\Delta V_c = \frac{1}{C}\int_0^t i_c\,dt = \frac{1}{C}\, i_c \cdot \Delta t$$

Funcionamento e cálculos:

Supondo que o comparador virou para $lo_1 = +18$ Volts neste momento; então lo2 estava subindo e alcançou +2V

O circuito fica:



D1 e D4 cortados
D2 e D3 conduzindo

A corrente de carga do capacitor vale então:

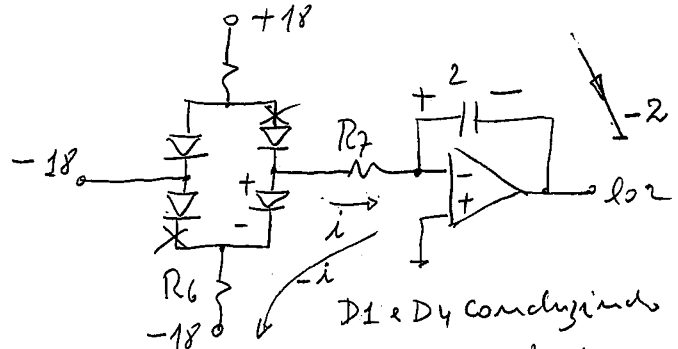
$$i = \frac{V_{CC} - V_{D3}}{R_5 + R_7} = \frac{18-0{,}6}{1{,}8+33} = 0{,}5\,mA$$

O tempo para o capacitor passar de +2 para −2 Volts vale:

$$2-(-2) = \frac{1}{10\cdot 10^{-3}}\, 0{,}5\cdot 10^{-3}\cdot \Delta t$$

$\Delta t = T_1 = 80$ segundos. //

Após este tempo, lo2 = −2 Volts. O comparador vira, modo que $lo_1 = -18$ V. e o circuito fica:



D1 e D4 conduzindo
D2 e D3 cortados

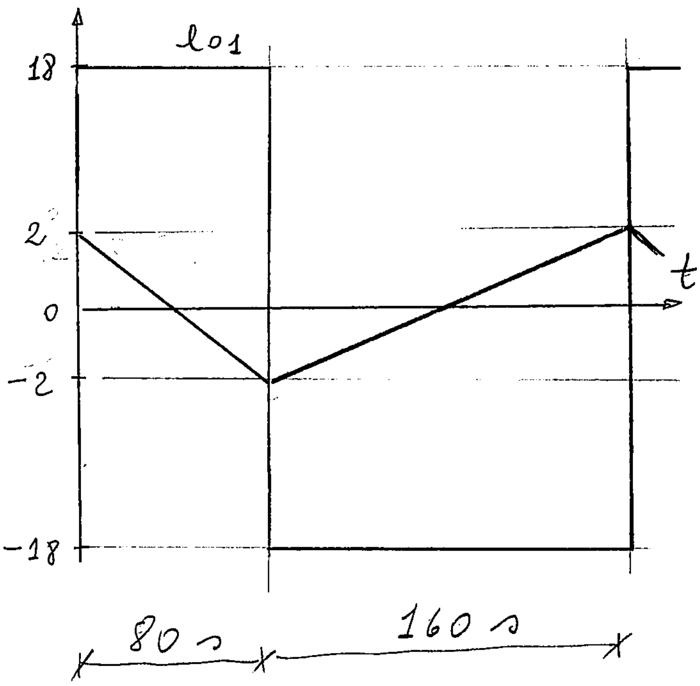
A corrente de descarga no capacitor vale:

$$i = \frac{-V_{CC}-(-0{,}6)}{R_6+R_7} = \frac{-18+0{,}6}{36{,}6+33}$$

$$i = -0{,}25\,mA$$

O tempo para o capacitor alcançar +3 volts novamente é: $-2-(+2) = \frac{1}{10\cdot 10^{-3}}\left(-0{,}25\cdot 10^{-3}\right)\Delta t$

$\Delta t = T_2 = 160$ segundos //



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2002/2

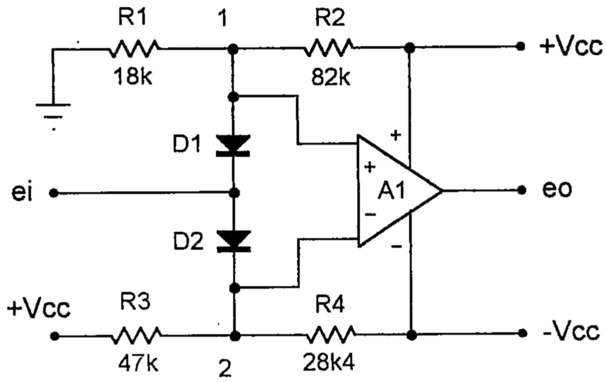
Prova 1 **20/1/2003**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito abaixo, procurando entender o seu funcionamento (relate suas idéias). Determine a curva de resposta de $\mathbf{e_0}$ x $\mathbf{e_i}$ com a entrada variando entre +20V e –20V. Descreva cada passo da resolução e indique os valores nos nós 1 e 2. Por último, classifique o circuito e escreva as suas conclusões.

   Alimentação = ±15V V_d = 0,6V Operacional ideal.

   Dica: Calcule as tensões V_1 e V_2 supondo inicialmente diodo ideal cortado e depois conduzindo.

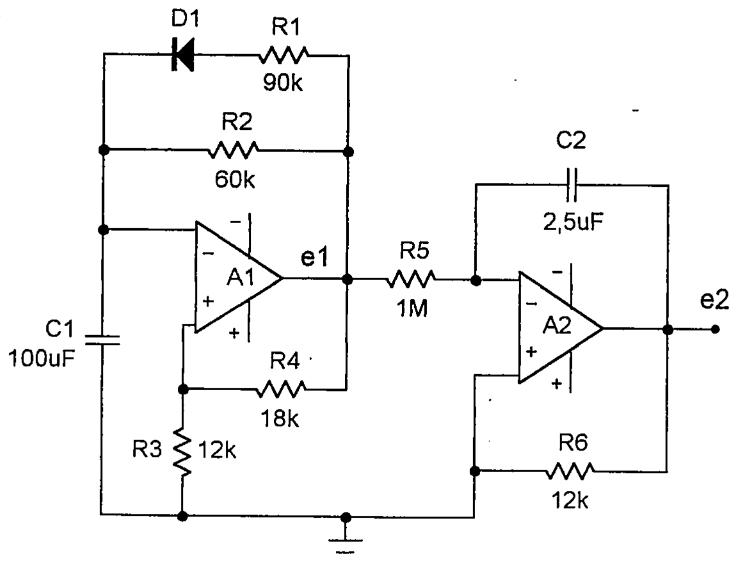


2. Estude o circuito abaixo a partir do <u>momento em que é alimentado</u>: em t=0 C_1 e C_2 estão descarregados e e_1 está com algum valor positivo. Divida o circuito em blocos, classifique e procure entender cada bloco e como eles se relacionam entre sí.

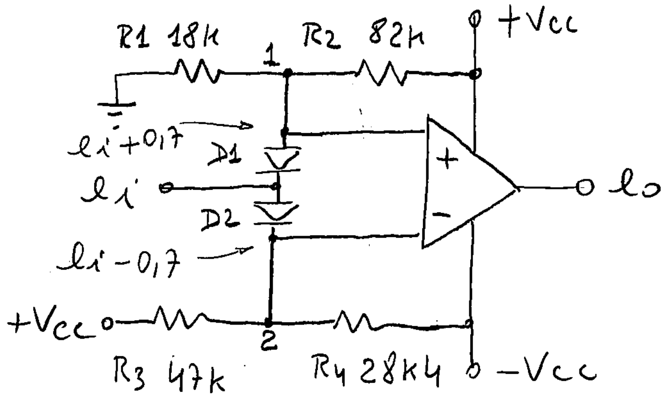
   Calcule, com precisão os valores de tensão em $\mathbf{C_1}$ e $\mathbf{e_1}$ ao longo do tempo, esboçando o gráfico e marcando os intervalos de tempo entre pontos de interesse.

   Calcule agora quanto tempo leva a saída $\mathbf{e_2}$ para saturar, partindo de t=0 acima. Descreva todos os passos da sua solução.

   Componentes ideais e alimentação ±10V. Use 3 dígitos significativos.



Examine o circuito abaixo, procurando entender o seu funcionamento. Determine a curva de resposta de lo x li com a entrada variando entre +20 e -20 Volts. Descreva cada passo de cálculo e indique os valores nos nós 1 e 2. Existe alguma restrição quanto a relação entre os valores de V_1 e V_2? Por último, classifique o circuito. Alimentação ±15V $V_D = 0{,}6V$



Dica: calcule primeiro as tensões V_1 e V_2 supondo inicialmente diodo ideal, cortado e depois conduzindo

P1 2002-2

O circuito não possui realimentação, logo é um comparador sem histerese.

Conforme o valor de li, D1 ou D2 podem estar cortados. Neste caso, as tensões nas entradas do operacional são:

$$V_1 = V_{cc}\frac{R_1}{R_1+R_2} = 15\,\frac{18k}{18k+82k}$$

$V_1 = 2{,}7$ Volts //

$$V_2 = \left[V_{cc} - (-V_{cc})\right]\frac{R_4}{R_3+R_4} + (-V_{cc})$$

$$V_2 = 30\,\frac{28{,}4k}{47k+28{,}4k} - 15$$

$V_2 = -3{,}7$ Volts //

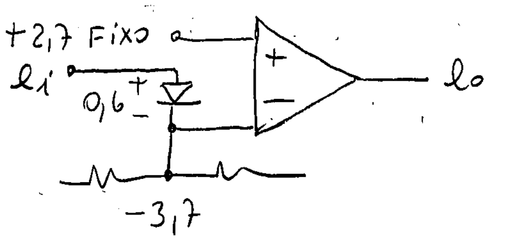
Estes valores mudam se houver corrente pelo diodo, suposto ideal, no momento:

D1 conduz → $l_i \leq V_1 \Rightarrow l_i \leq 2{,}7$

D2 conduz → $l_i \geq V_2 \Rightarrow l_i \leq -3{,}7$

Funcionamento do circuito, considerando $V_D = 0{,}6V$:

a) Supondo D1 cortado e D2 conduzindo. Comparador vira quando $e_+ = e_-$;



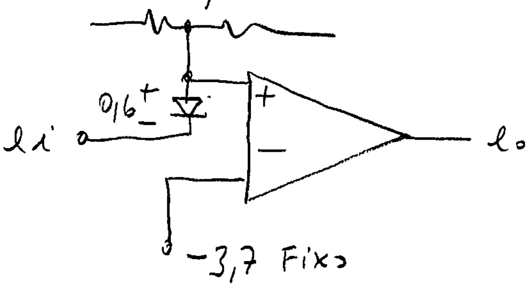
$e_- = l_i - 0{,}6$

$e_+ = 2{,}7$

Então $l_i = 2{,}7 + 0{,}6 = 3{,}3V$ e

$l_o \to -V_{cc}$

b) Supondo D2 cortado e D1 conduzindo. Comparador vira quando $e_+ = e_-$:



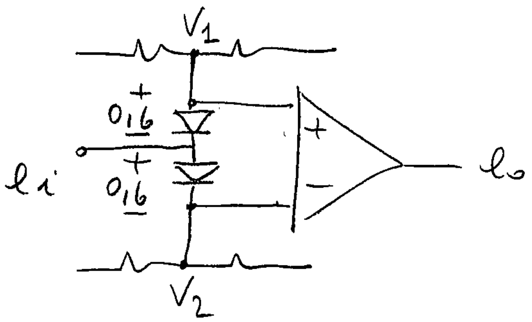
$e_+ = e_i + 0,6$

$e_- = -3,7$

Então $e_i = -3,7 - 0,6 = -4,3$ e

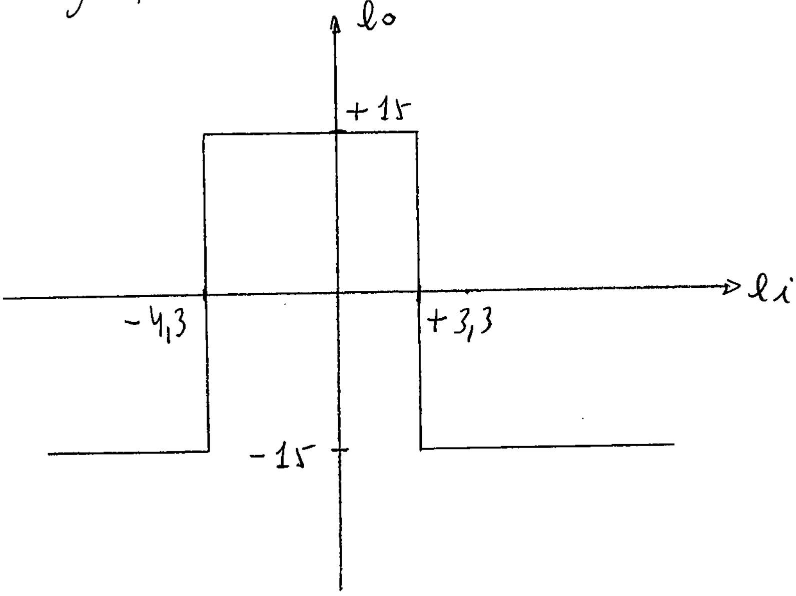
$e_o \rightarrow -V_{cc}$

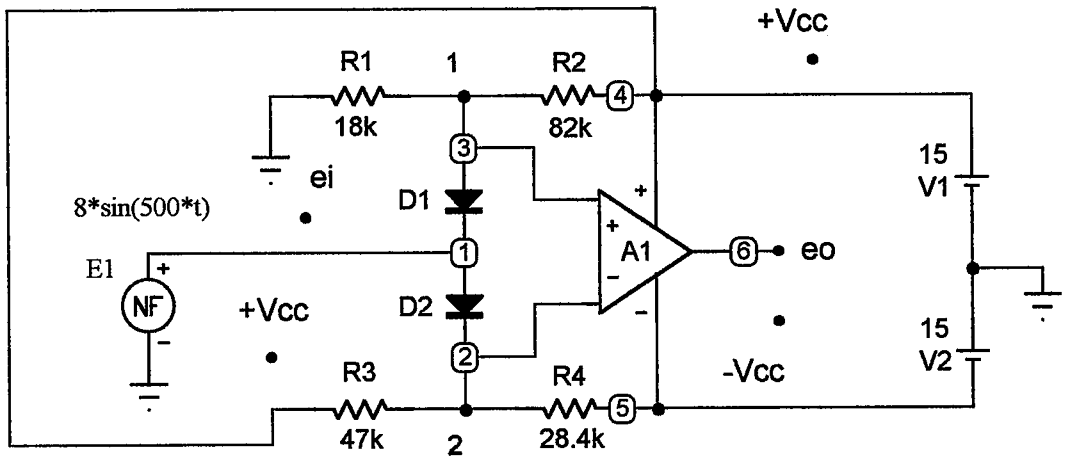
c) Supondo D1 e D2 conduzindo:



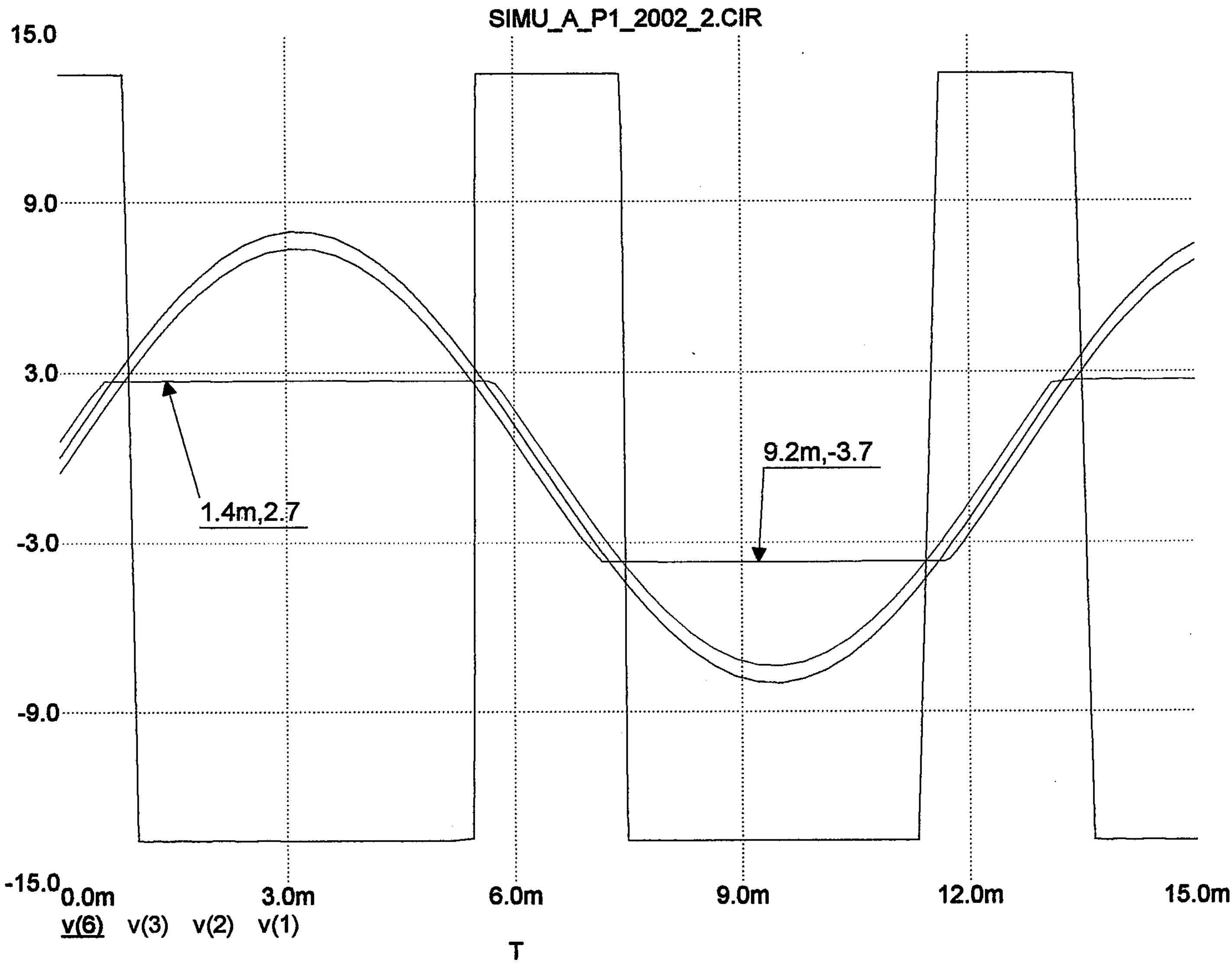
Como $V_1 > V_2$, $e_o \rightarrow +V_{cc}$

Logo :





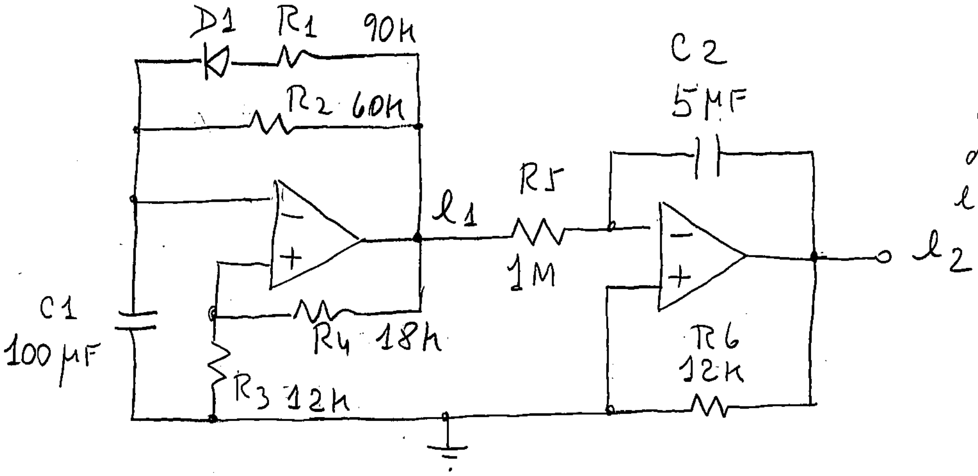
+Vcc
R1
1
R2
18k
82k
4
3
ei
15
V1
8*sin(500*t)
D1
+
A1
6
eo
E1
1
NF
+Vcc
D2
15
V2
2
-Vcc
R3
R4
5
47k
2
28.4k



SIMU_A_P1_2002_2.CIR
15.0
9.0
3.0
-3.0
-9.0
-15.0
1.4m,2.7
9.2m,-3.7
0.0m
3.0m
6.0m
9.0m
12.0m
15.0m
v(6) v(3) v(2) v(1)
T

Examine com atenção o circuito abaixo, divide em blocos e procure entender o funcionamento de cada bloco e do conjunto. Calcule, com precisão os valores de C_1 e e_1 ao longo do tempo. Suponha que em $t=0$ C_1 e C_2 estão descarregados e e_1 esteja com alguma tensão positiva. Esboce o gráfico marcando os intervalos de tempo.
Calcule agora quanto tempo leva para a saída e_2 saturar, partindo do instante $t=0$ acima.

Componentes ideais, $\pm V_{cc} = \pm 10$ Volts
Arredonde os valores para 3 dígitos significativos.



Lembrar que o capacitor parte de um valor inicial e se carrega até um valor final.

P1 2002-2

Bloco 1: Gerador de onda retangular. Diodo define 2 tempos diferentes para a carga/descarga de C1.

Comparador com histerese define que $e_1 = \pm 10$ V

Quando $e_1 = 10$ V, diodo conduz e $R = R_1 // R_2$

$$R = \frac{90 \cdot 60}{90+60} = 36k$$

Quando $e_1 = -10$ V, diodo corta e $R = R_2$ apenas.

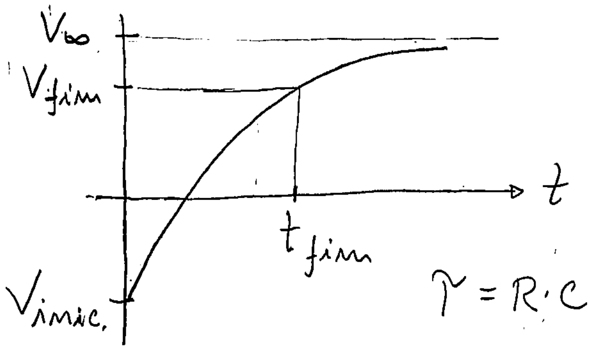
Pontos de virada do compar.:

$$e_+ = e_1 \frac{R_3}{R_3+R_4} = \pm 10 \frac{12}{12+18}$$

$e_+ = \pm 4$ Volts //

Funcionamento, partindo de $V_{C1} = 0$ e $e_1 = +10$:

a) C_1 vai de zero em direção a $+10$ mas ao chegar em $+4$ o comparador vira para +10 Volts :



$\tau = R \cdot C$

$$t_{fim} = -\tau \ln\left(\frac{V_\infty - V_{fim}}{V_\infty - V_{inic}}\right)$$

Então: $\tau_a = 36k \cdot 100\mu = 3{,}6\,s$

$$t_{fim}(a) = -3{,}6 \ln\left(\frac{10-4}{10-0}\right) = \underline{\underline{1{,}84\,s}}$$

b) C_1 se descarrega de +4 em direção a −10 mas ao chegar em −4 o comparador vira para +10 :

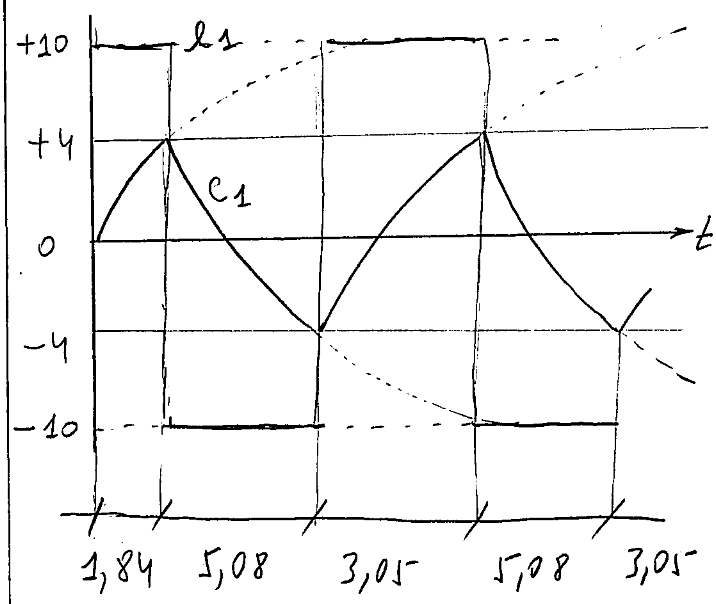
$$\tau_b = 60k \cdot 100\mu F = 6\,s$$

$$t_{fim}(b) = -6 \ln\left(\frac{-10-(-4)}{-10-4}\right) = \underline{\underline{5{,}08\,s}}$$

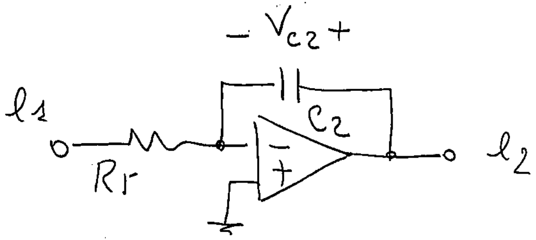
c) C_1 parte de −4 e vai em direção a +10 mas ao chegar em +4 o comparador vira para −10 :

$$t_{fim}(c) = -3{,}6 \ln\left(\frac{10-4}{10-(-4)}\right) = \underline{\underline{3{,}05\,s}}$$

A partir daí o ciclo se repete com estes dois últimos valores.



Levando este sinal para o integrador, partindo de $V_{C2} = 0$:



$$e_2(t) = e_2(t=0) - \frac{1}{R_5 \cdot C_2} \cdot e_1 \cdot t$$

a) condição inicial do funcionamento :

$t=0 \quad V_{C2}=0 \quad e_1 = +10$

Após 1,84 s C_2 fica com:

$$V_{C2}(a) = 0 - \frac{1}{1 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} \cdot 10 \cdot 1{,}84$$

$$V_{C2}(a) = -3{,}68 \text{ Volts}$$

b) com o valor inicial de −3,68 , C_2 é carregado pelos −10 V durante 5,08 s ;

$$V_{C2}(b) = -3{,}68 - \frac{1}{5} \cdot (-10) \cdot 5{,}08 = 6{,}48\ V$$

c) Partindo de 6,48 inicial, C2 é carregado por +10 Volts durante 3,05s;

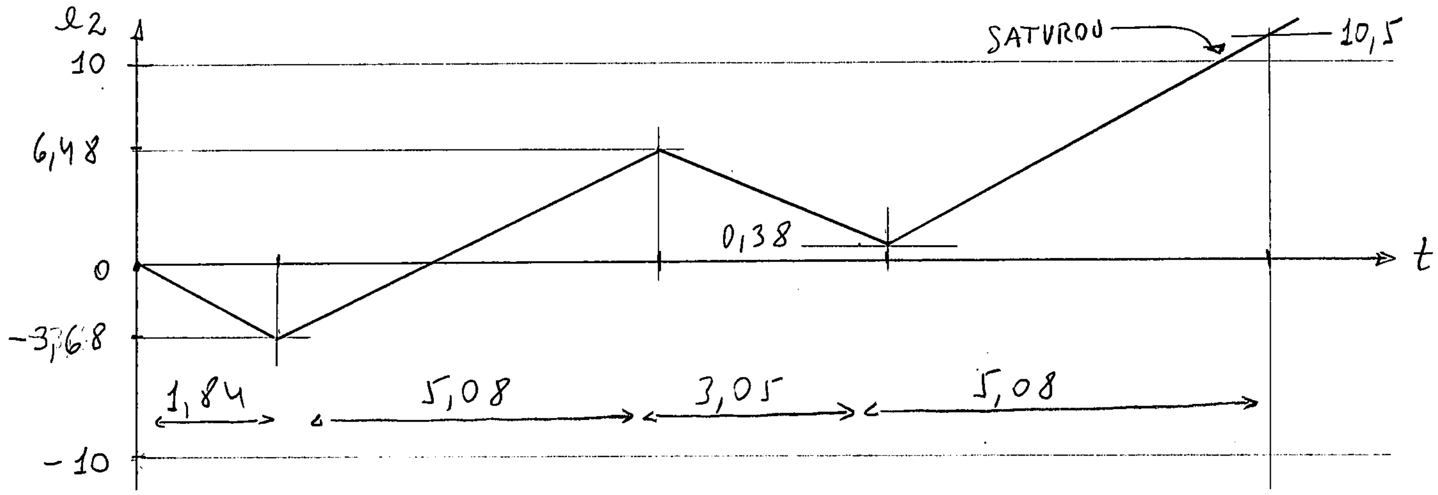
$$V_{C2}(c) = 6{,}48 - \frac{1}{5} \cdot 10 \cdot 3{,}05 = 0{,}38 \text{ Volts}$$

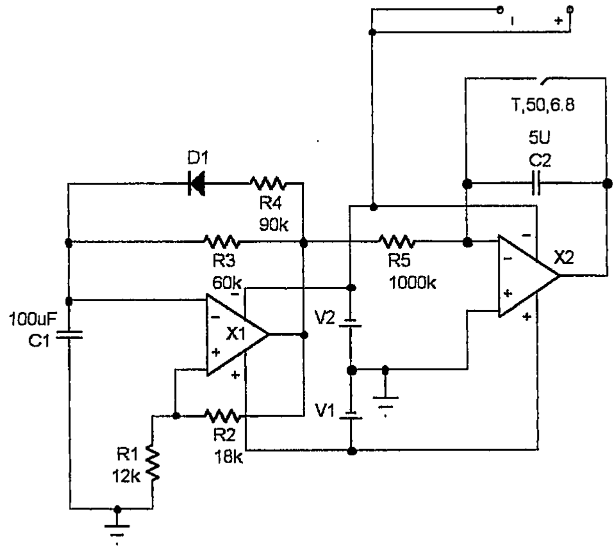
d) Agora, com 0,38 inicial, C2 é carregado com -10 durante 5,08s:

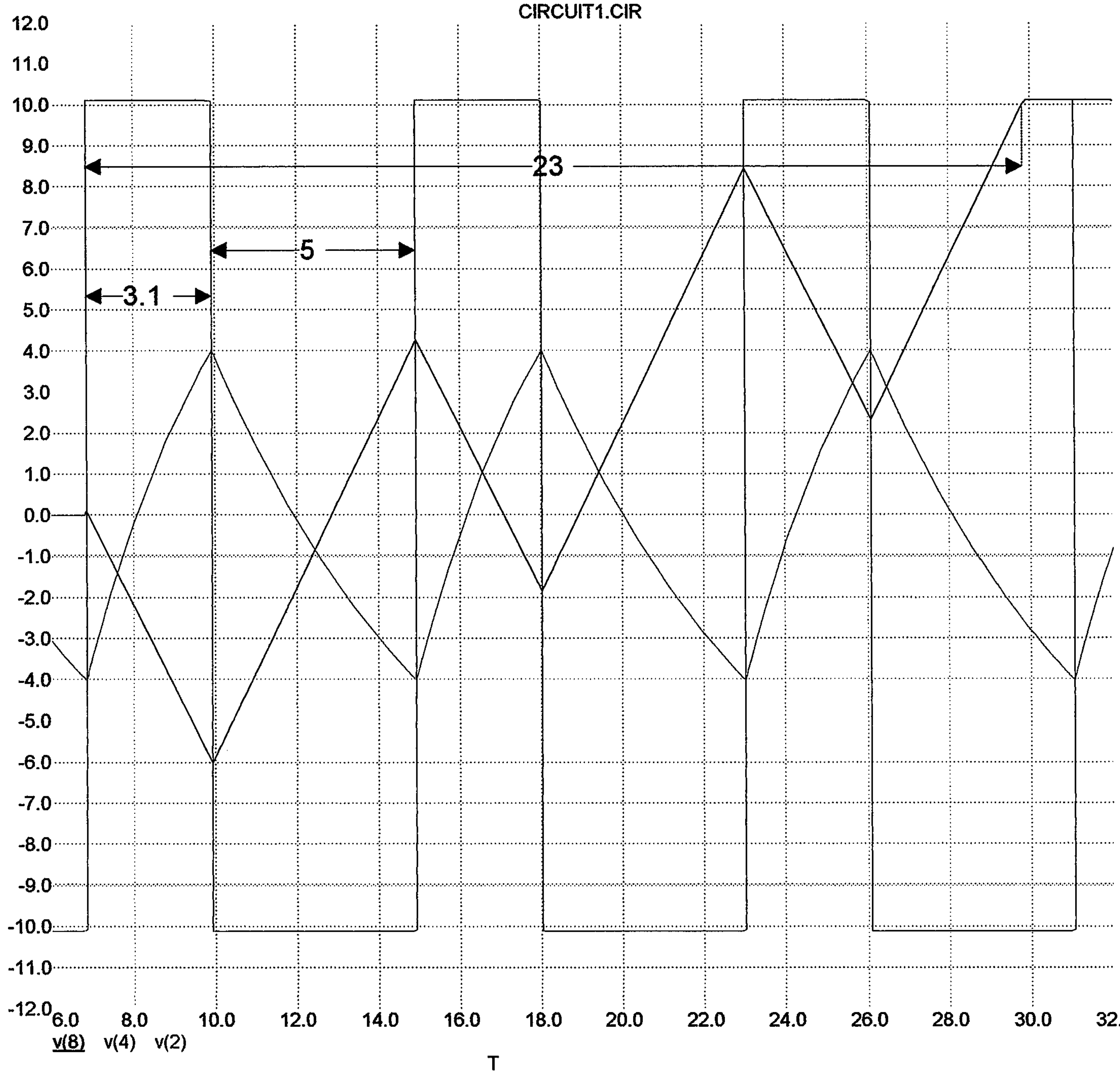
$$V_{C2}(d) = 0{,}38 - \frac{1}{5}(-10) \cdot 5{,}08 = 10{,}5 \Rightarrow \text{SATUROU}$$

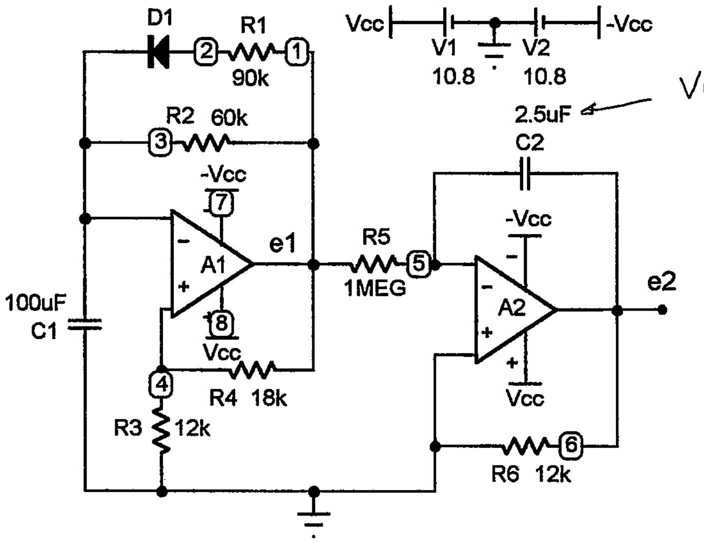
Então, o tempo que leva e2 para saturar em +Vcc é aproximadamente:

$$t_{max} = 1{,}84 + 5{,}08 + 3{,}05 + 5{,}08 = 15{,}05 \text{ segundos}$$

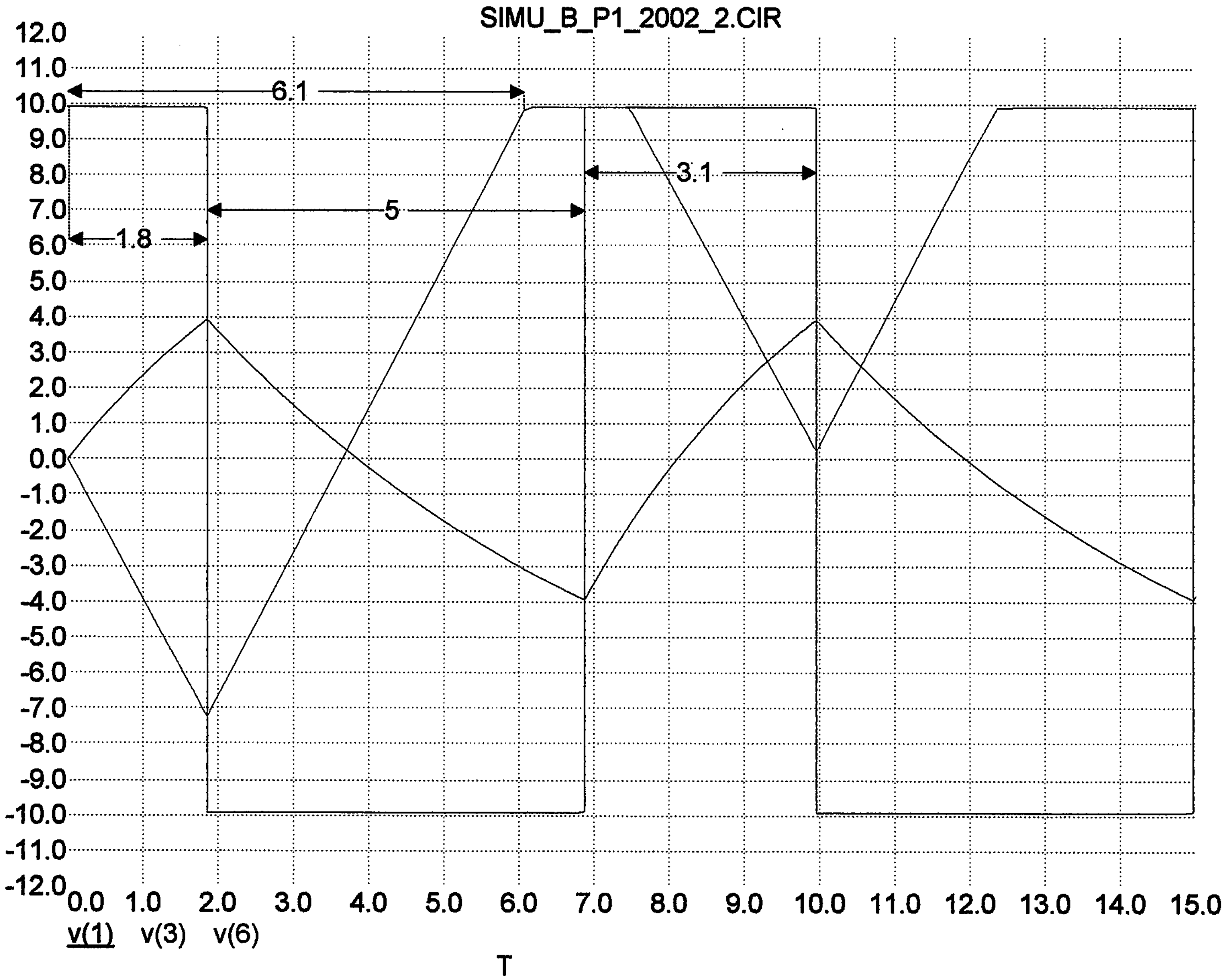


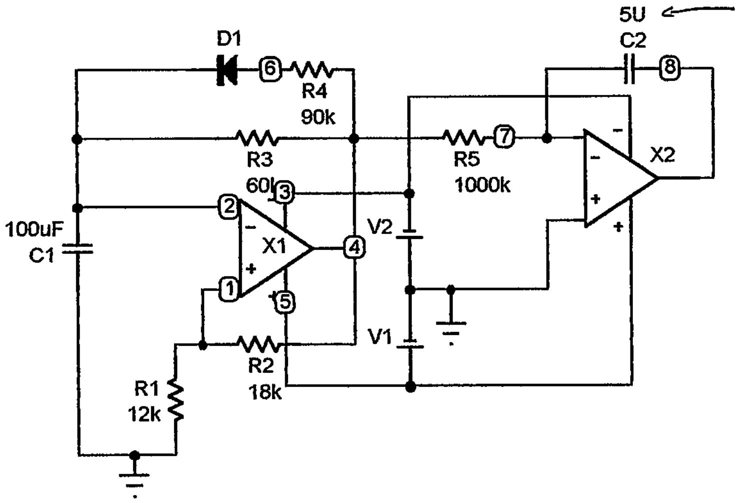

T,50,6.8
5U
C2
D1
R4
90k
R3
60k
R5
1000k
X1
X2
100uF
C1
V2
V1
R1
12k
R2
18k


CIRCUIT1.CIR
23
5
3.1
v(8) v(4) v(2)
T

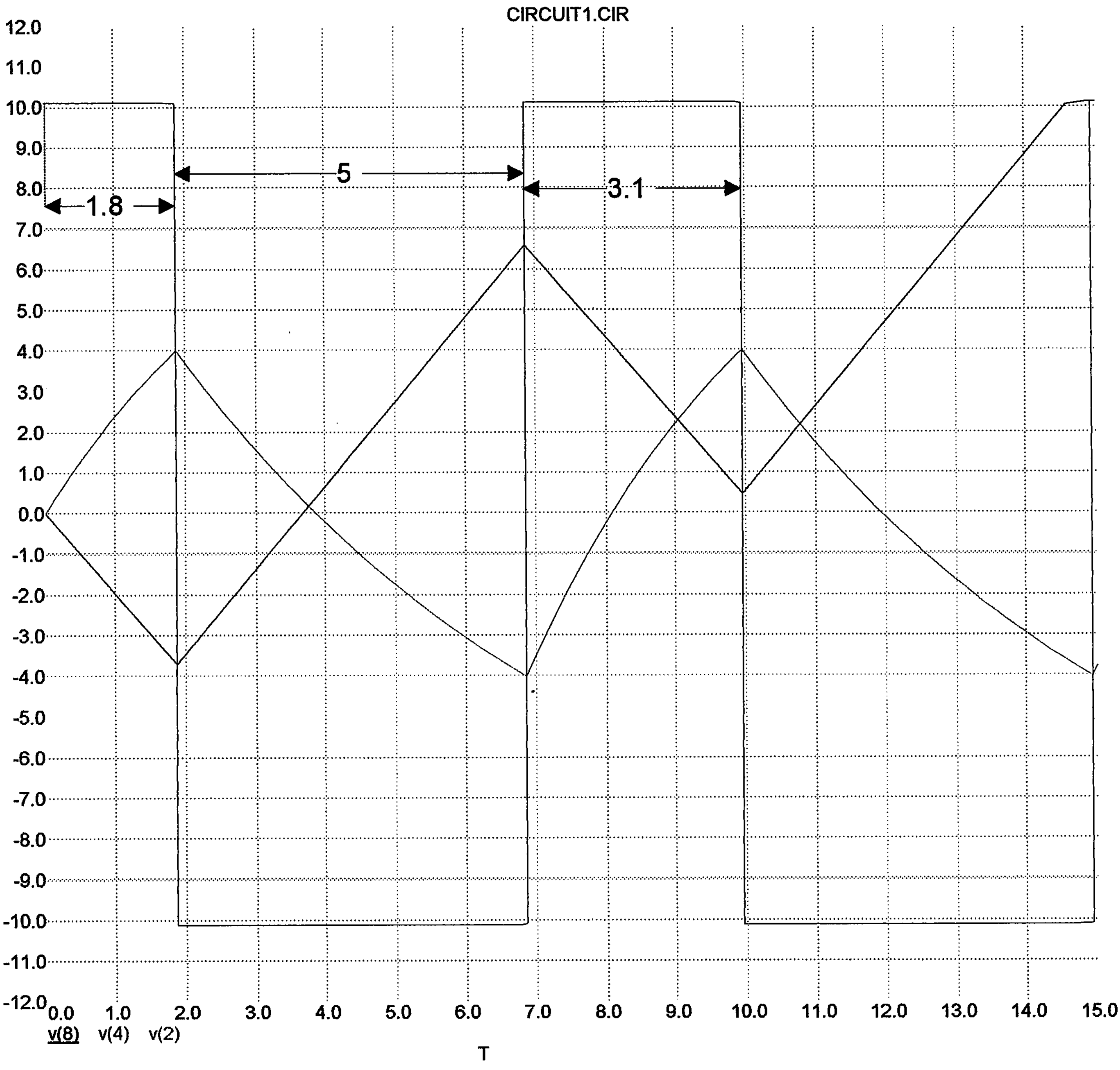


VERSÃO DA PROVA





VERSÃO DO ESTUDO DIRIGIDO 2003/1

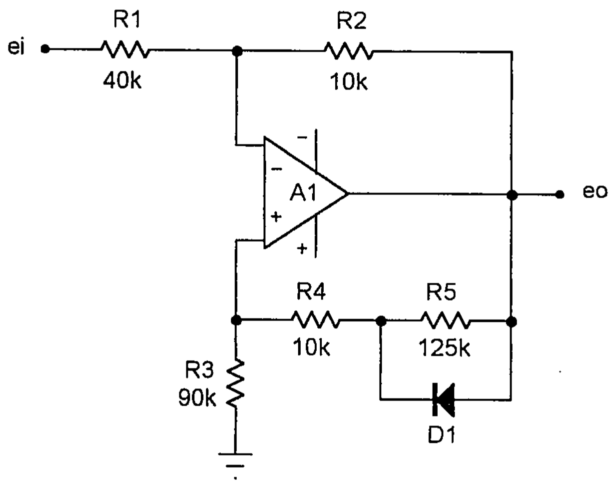


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2003/1

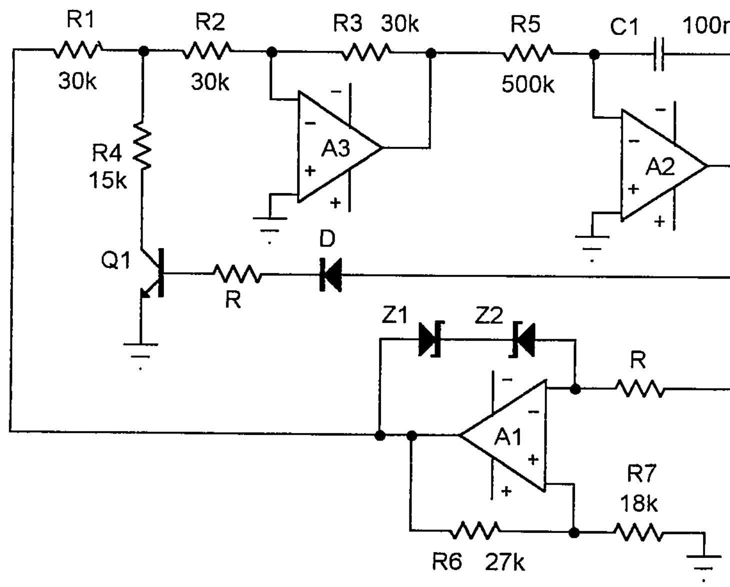
Prova 1 **1/7/2003**

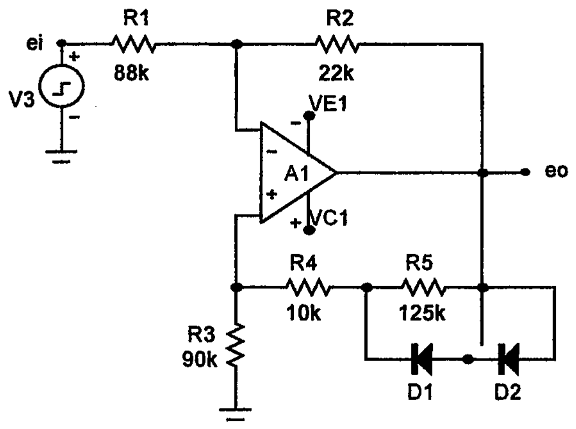
Nome: GABARITO **Turma:** ______

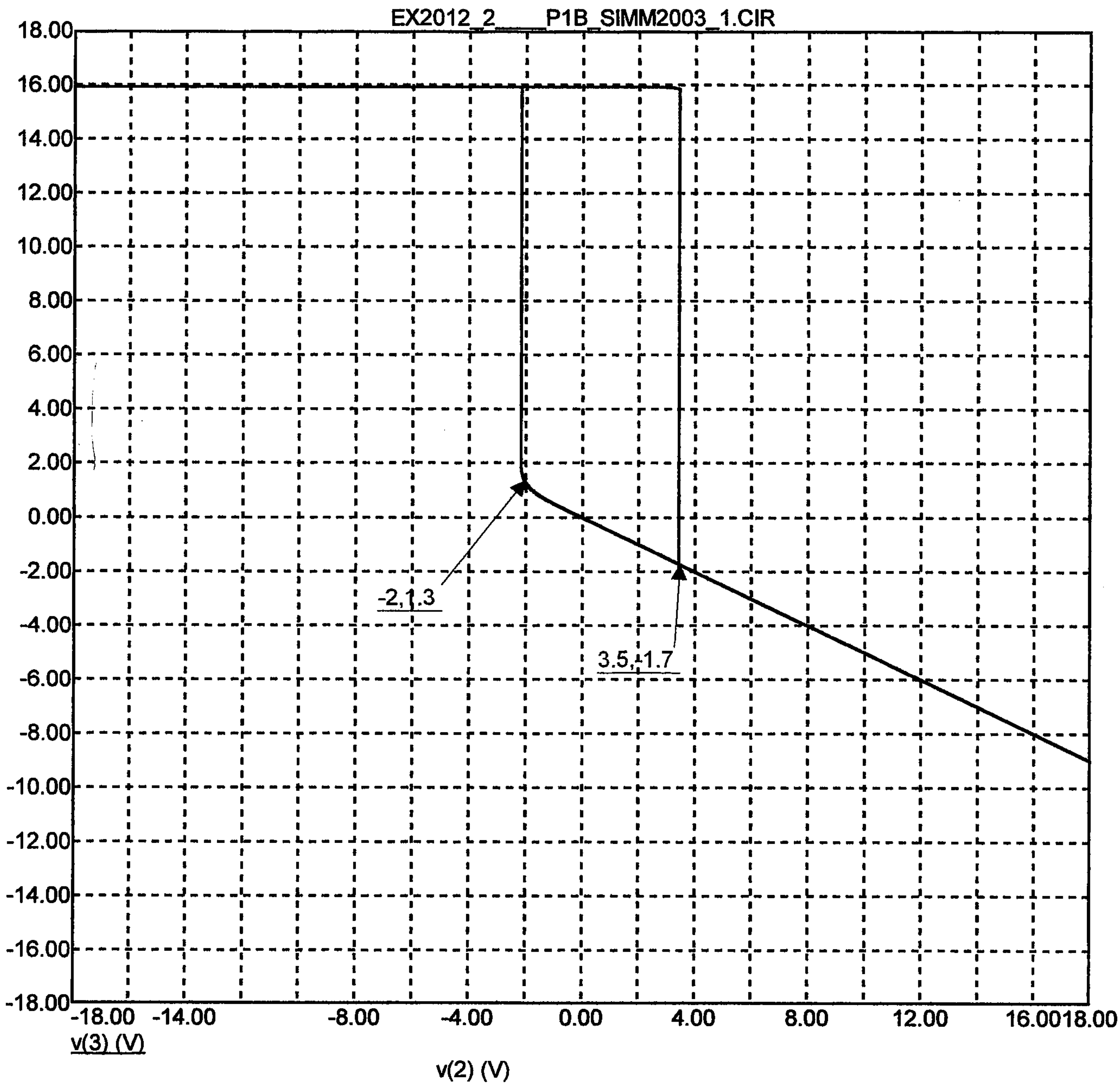
1. (4,5 pontos) Desenhe com precisão o gráfico de e_O x e_I , marcando todos os valores de interesse e explicando cada passo do seu trabalho.
Componentes ideais. Alimentação ± 16V. V_D = 1V.
Atenção: A resposta só será avaliada se todos os passos da solução forem claramente documentados.



2. (5,5 pontos) a) Examine o circuito e faça uma breve explanação do seu funcionamento.
b) Calcule os valores do circuito, <u>documentando cada etapa</u>, objetivando o desenho do gráfico da resposta temporal das tensões de saída de todos os operacionais, marcando os valores calculados. $V_D = V_{BE} = 0{,}7$ $V_Z = 5{,}3$V. Componentes ideais.



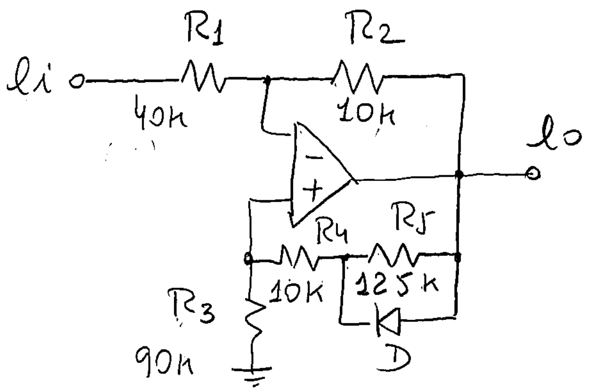

R1
88k
R2
22k
ei
V3
VE1
A1
VC1
eo
R4
10k
R5
125k
R3
90k
D1
D2


EX2012_2____P1B_SIMM2003_1.CIR
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
-4.00
-6.00
-8.00
-10.00
-12.00
-14.00
-16.00
-18.00
-18.00 -14.00
-8.00
-4.00
0.00
4.00
8.00
12.00
16.0018.00
v(3) (V)
v(2) (V)
-2,1.3
3.5,-1.7

Trace a curva $e_o \times e_i$ marcando todos os pontos de interesse.

$V_{cc} = 16V \quad V_D = 1V$

Componentes ideais.



456 71 1/03

Circuito possui realim. negativa e positiva. Realim. positiva varia conforme a polaridade de e_o.

Hipótese: e_i = negativo então e_o = positivo e D1 está conduzindo.

Qual a maior realimentação? Matando e_i:

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_o \frac{40}{40+10} = 0{,}8\, e_o$$

$$e_+ = (e_o - V_D)\frac{R_3}{R_3+R_4} = (e_o - V_D)\frac{90}{90+10}$$

$$e_+ = 0{,}9\,(e_o - V_D)$$

A saída retorna em maior quantidade para a entrada não-inversora logo o circuito é um comparador com histerese.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = e_i \frac{10}{40+10} + e_o \frac{40}{40+10}$$

$$e_- = \frac{e_i}{5} + \frac{4}{5} e_o$$

Igualando com e_+:

$$0{,}9\,(16-1) = \frac{e_i}{5} + \frac{4}{5} \cdot 16$$

$$e_i = 3{,}5 \text{ Volts} = V_{HIGH} \quad //$$

Hipótese: e_i = positivo. Então e_o = negat. e D1 = cortado.

Comparando as realimentações:

$$e_- = 0{,}8\, e_o \quad \text{(não mudou)}$$

$$e_+ = e_o \cdot \frac{R_3}{R_3+R_4+R_5}$$

$$e_+ = e_o \cdot \frac{90}{90+10+125} = 0{,}4 \cdot e_o$$

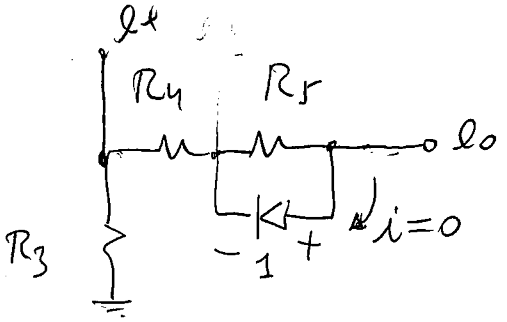
Realim. negativa é maior logo amplificador inversor.

Cálculo do ganho: $e_+ = e_-$

$$0{,}4\, e_o = \frac{e_i}{5} + \frac{4}{5} e_o$$

$$e_o = -0{,}5 \cdot e_i \quad //$$

Reduzindo e_i, voltamos à condição do diodo conduzindo: Ponto onde o diodo começa a conduzir, com corrente zero ainda:



Como a tensão sobre R_5 é $V_D = 1$ Volt:

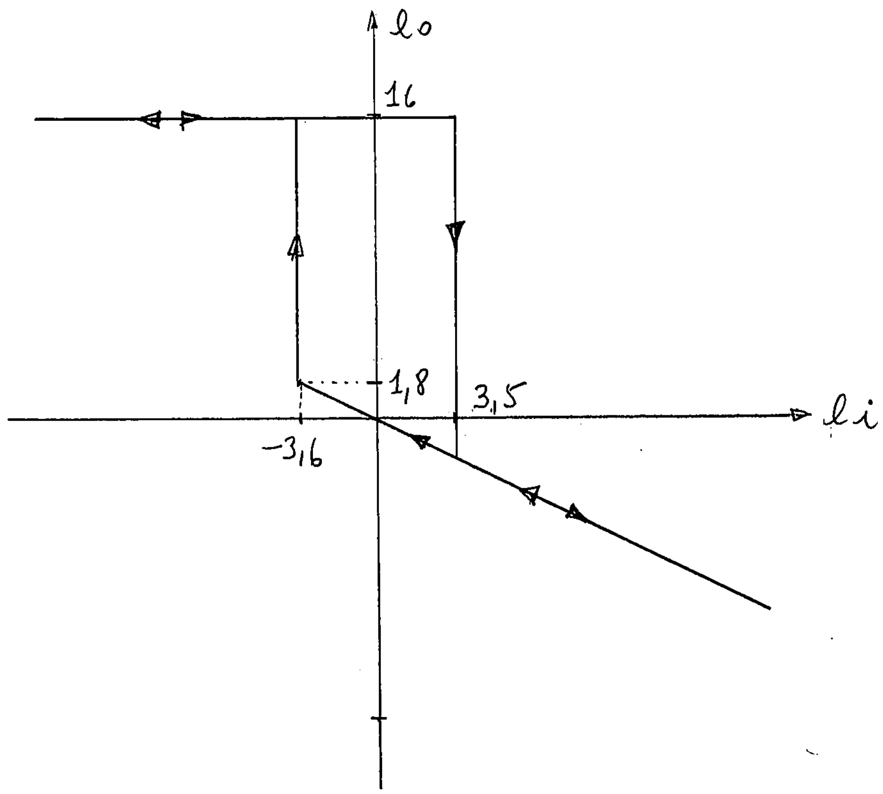
$$V_{R5} = 1 = e_o \frac{R_5}{R_3 + R_4 + R_5}$$

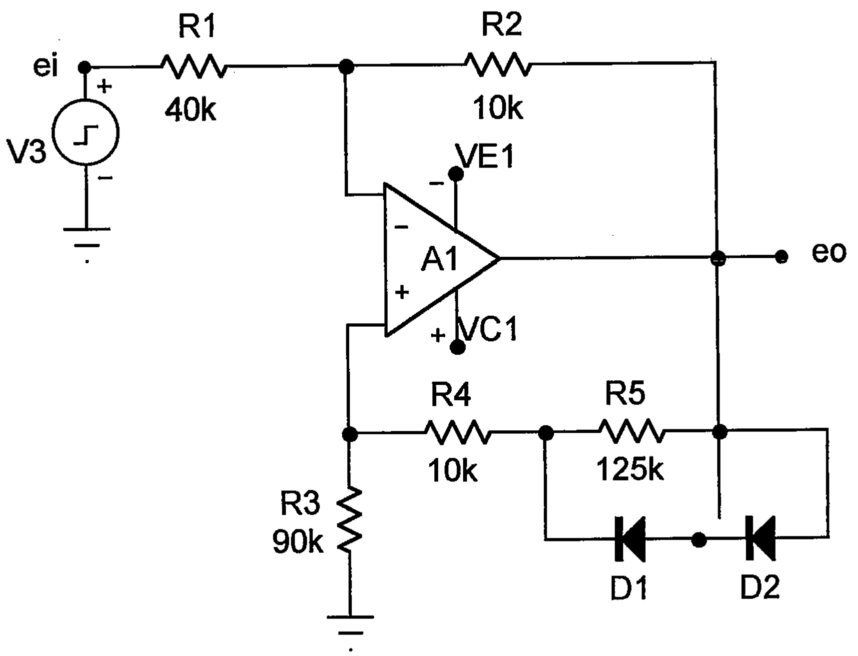
$$e_o = 1 \cdot \frac{90 + 10 + 125}{125} = 1{,}8$$

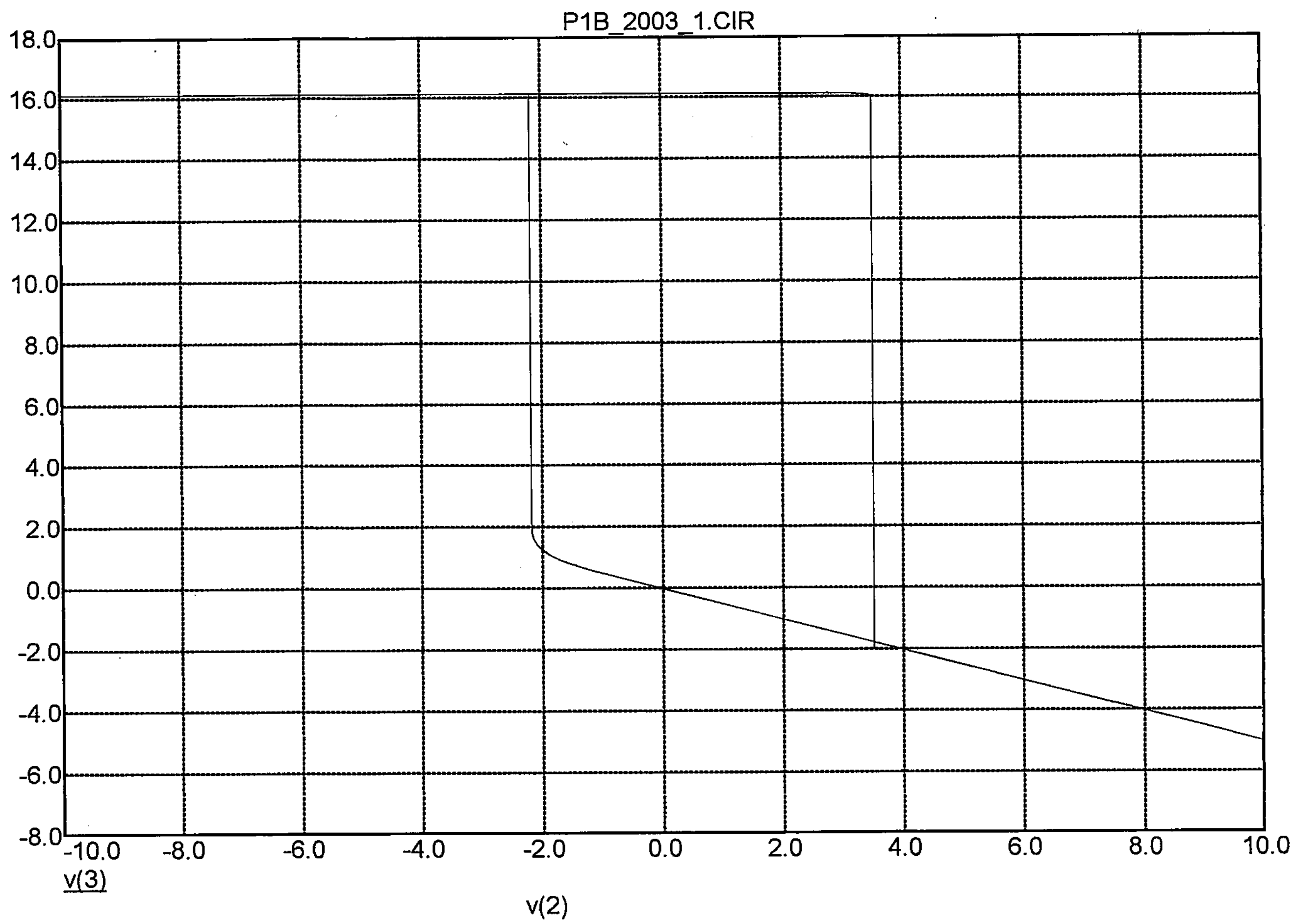
Usando o ganho do amplificador,

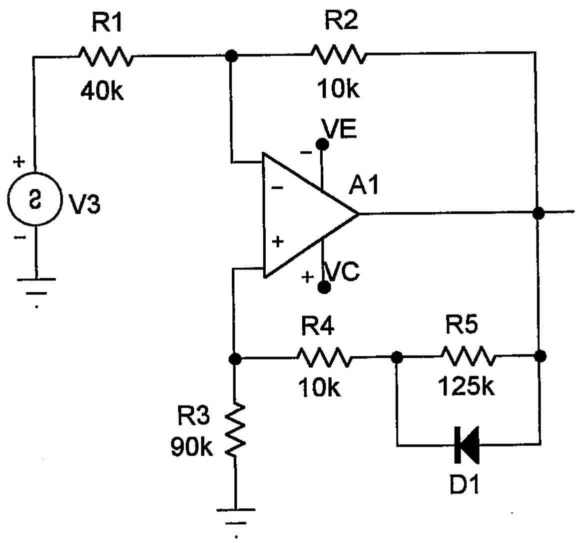
$$e_o = -0{,}5 \cdot e_i \rightarrow e_i = -3{,}6 \text{ V}$$

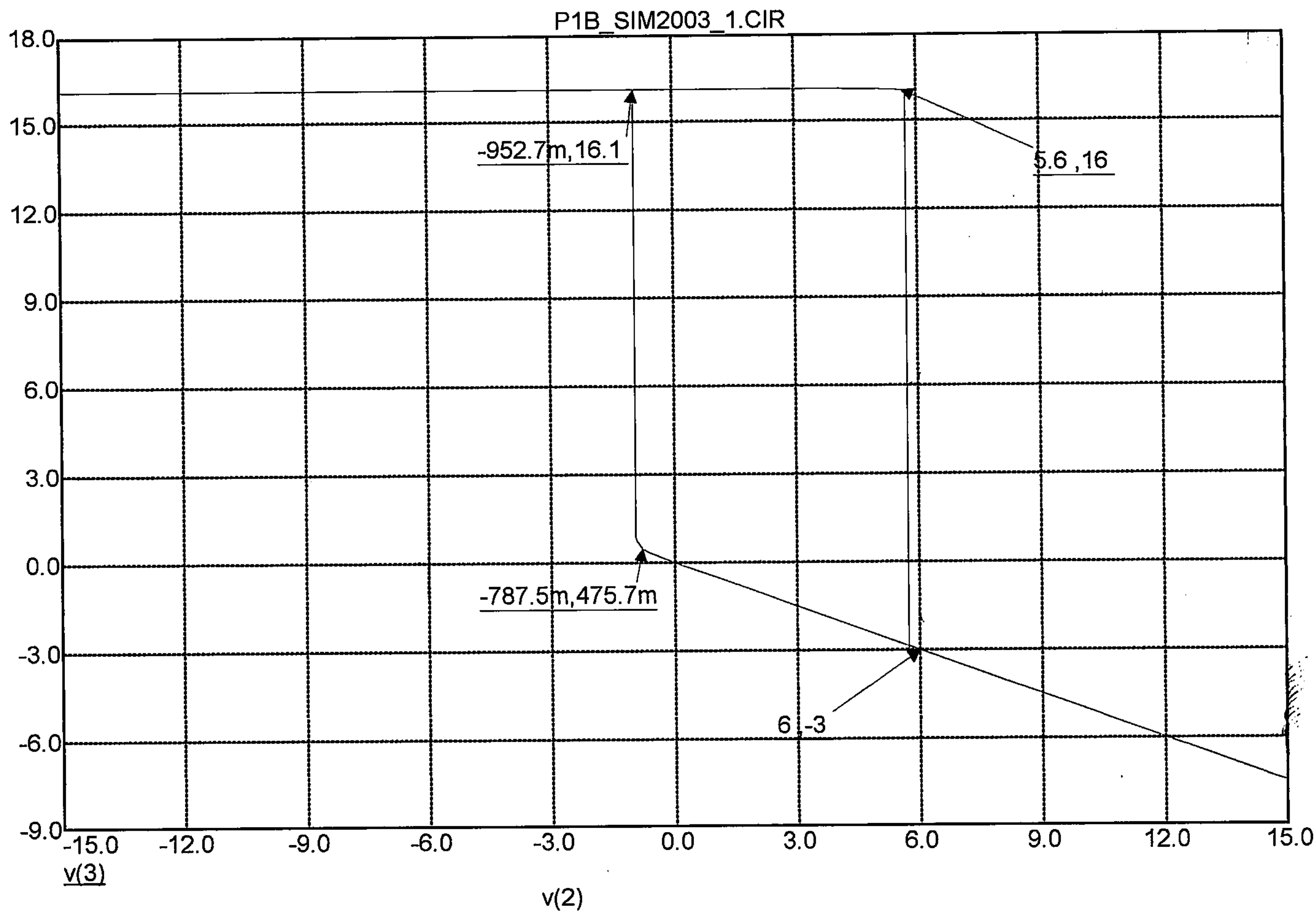
Montando o gráfico:

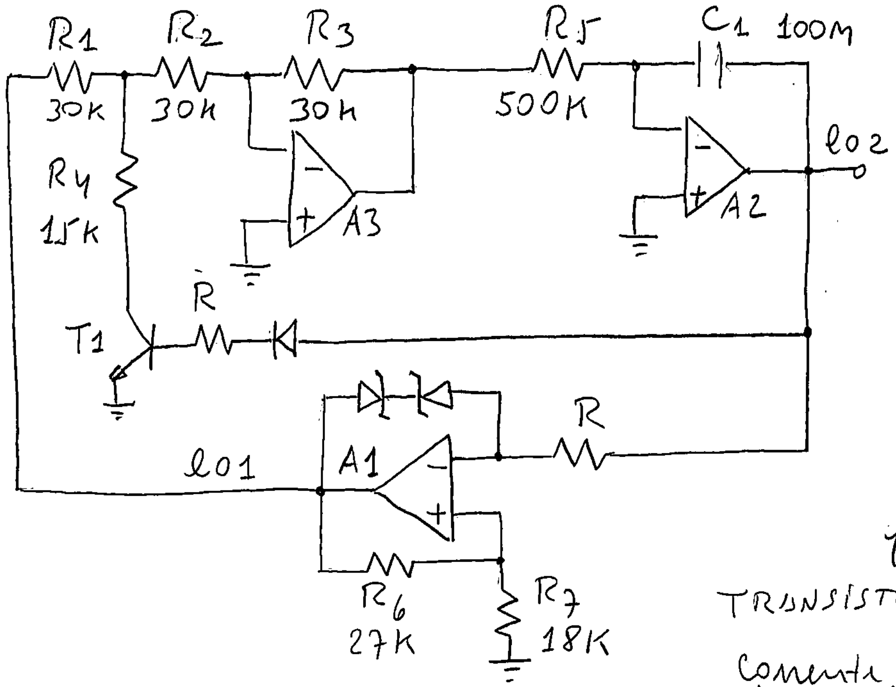



R1
40k
R2
10k
ei
V3
VE1
A1
VC1
eo
R4
10k
R5
125k
R3
90k
D1
D2


P1B_2003_1.CIR
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-8.0
-6.0
-4.0
-2.0
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
v(3)
v(2)


R1
40k
R2
10k
VE
A1
V3
VC
R4
10k
R5
125k
R3
90k
D1


P1B_SIM2003_1.CIR
18.0
15.0
12.0
9.0
6.0
3.0
0.0
-3.0
-6.0
-9.0
-15.0
-12.0
-9.0
-6.0
-3.0
0.0
3.0
6.0
9.0
12.0
15.0
-952.7m,16.1
5.6 ,16
-787.5m,475.7m
6 ,-3
v(3)
v(2)



Desenhe com precisão os gráficos de e_{o1}, e_{o2} e e_{o3} ao longo do tempo.
Componentes ideais.
$V_D = V_{BE} = 0{,}7\,V$
$V_z = 5{,}3\,V$
Explique cada passo da solução.

TRANSISTOR → Curto p/ $V_{BE} \geq 0{,}7$
→ Aberto p/ $V_{BE} < 0{,}7$

Corrente passa apenas do coletor para o emissor.

456 P1 1/03

Análise dos blocos:

A2: Integrador inversor.

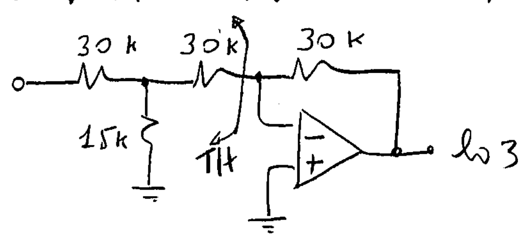
$$e_{o2} = \frac{-1}{R_1 \cdot C_1}\int_0^t e_{o2} \cdot dt + e_{o2}(t=0)$$

A3: Amplificador inversor com ganho controlado.

a) Transistor cortado:

$$e_{o3} = -e_{o1}\frac{30}{2 \cdot 30} = -\frac{e_{o1}}{2} \quad //$$

b) Transistor saturado:

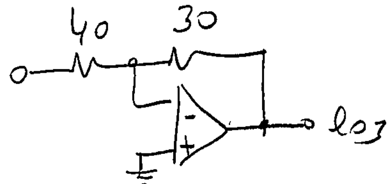


Thévenin:

$$V_{TH} = e_{o1}\frac{15}{30+15} = \frac{e_{o1}}{3}$$

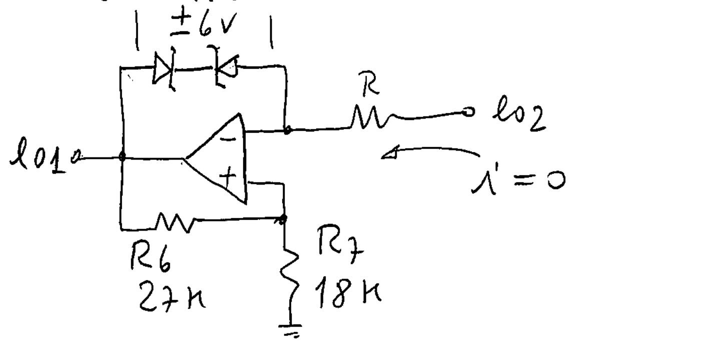
$$R_{TH} = 30 + (30 // 15) = 40$$

Fica então:



$$e_{o3} = -\frac{e_{o1}}{3} \cdot \frac{30}{40} = -\frac{e_{o1}}{4} \quad //$$

A1: Comparador inversor com histerese e limitador.



No limiar de condução, $i = 0$ e $e_+ = e_-$. Por KVL:

$$e_{o1} = \pm V_z + e_-$$

$$e_- = e_+ = e_{o1}\frac{R_7}{R_6 + R_7}$$

$$e_{o1} = \pm 6 + e_{o1}\frac{18}{27+18}$$

$e_{o1} = \pm 10$ Volts //

Ponto de virada:
com $i=0$ ainda:

$$e_{o2} = e_{o1}\,\frac{R_7}{R_6+R_7}$$

$$e_{o2} = \pm 10\,\frac{18}{27+18} \rightarrow e_{o2} = \pm 4\,V \;//$$

Juntando os blocos:

Quando a rampa em e_{o2} atinge $\pm 4V$, o comparador vira para ∓ 10 e o inversor corrige o ganho, inverte e aplica na entrada do integrador.

Hipótese: e_{o2} diminui e alcança -4 Volts. $-4V$

Neste instante $e_{o1} \rightarrow +10V$
como o transistor está cortado,

$$e_{o3} = -\frac{e_{o1}}{2} = -5 \text{ Volts}$$

A rampa começa agora a subir até atingir

$$e_{o2} = V_D + V_{BE} = 0{,}7+0{,}7 = 1{,}4$$

quando então o transistor satura e o ganho de A3 muda para:

$$e_{o3} = -\frac{e_{o1}}{4} = -2{,}5 \text{ Volts}$$

Tempo para ir de -4 a $+1{,}4$:

$$V_{final} = V_{inicial} - \frac{1}{R_5 \cdot C_1}\,e_{o3} \cdot t$$

$$1{,}4 = -4 - \frac{1}{500K \cdot 100n}(-5)\cdot T_1$$

$T_1 = 54$ ms //

Tempo para ir de 1,4 a 4 Volts:

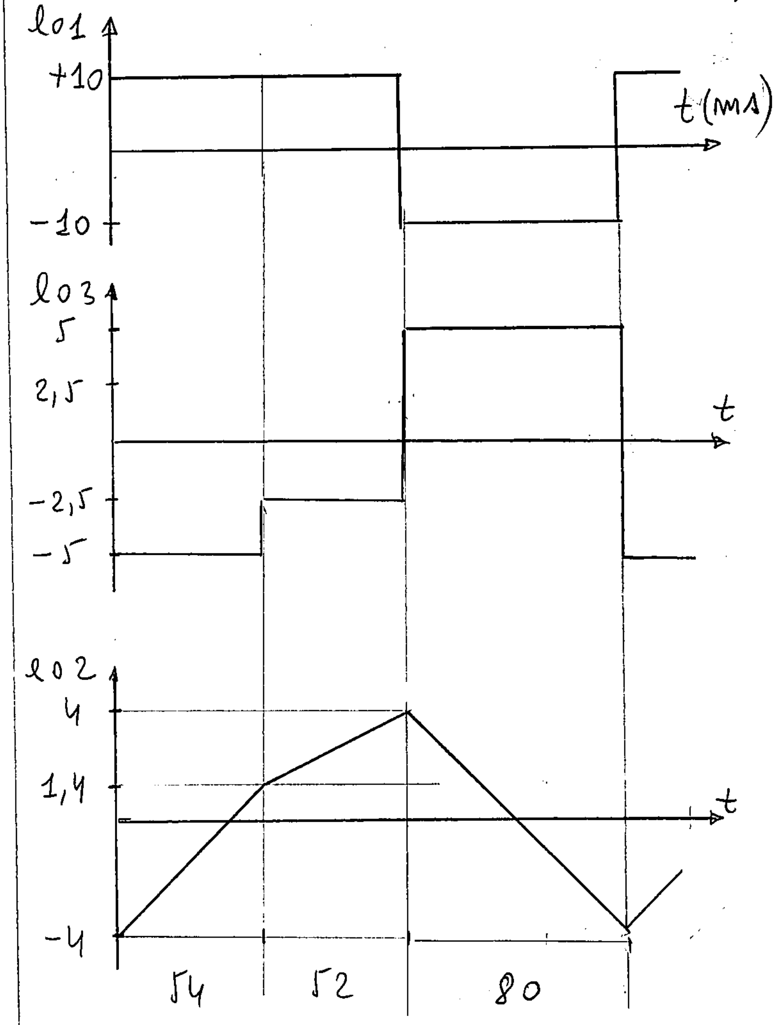
$$4 = 1{,}4 - \frac{1}{500K \cdot 100n}(-2{,}5)\cdot T_2$$

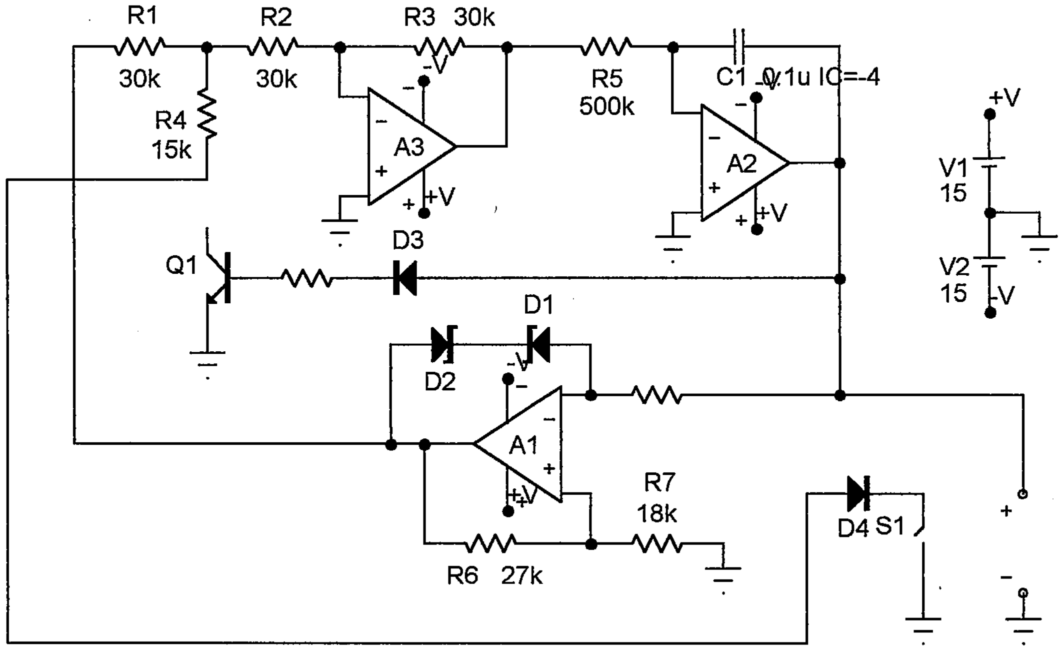
$T_2 = 52$ ms //

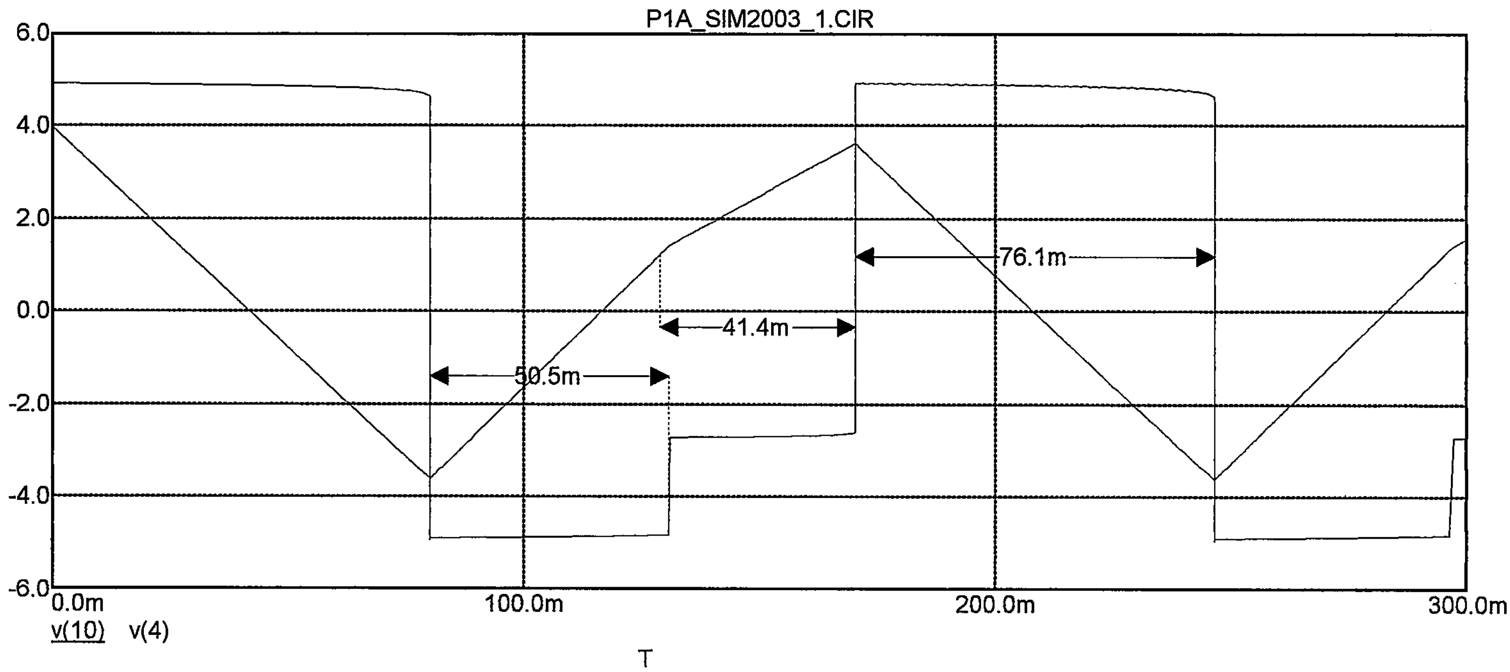
O comparador agora vira para $e_{o1} = -10V$; o coletor fica negativo e o transistor não conduz $\Rightarrow e_{o3} = +5$

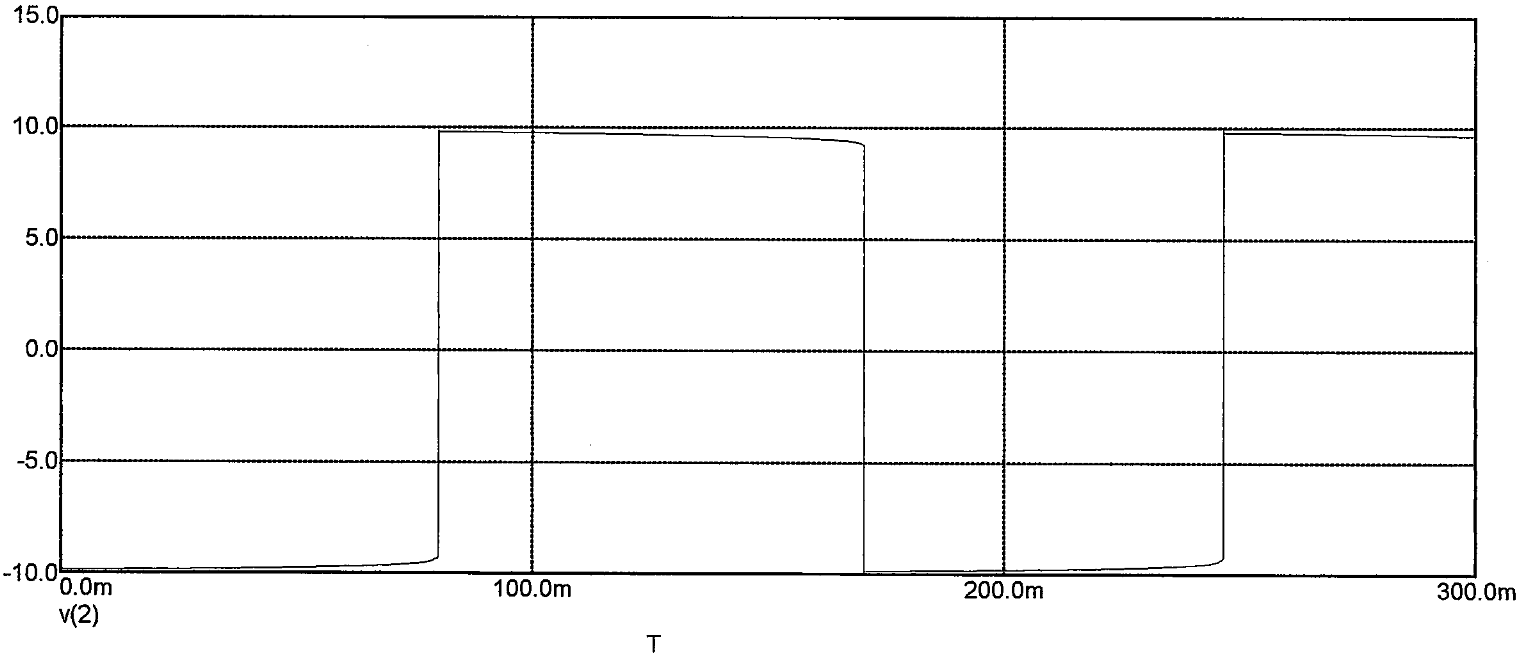
A rampa vai de $+4$ até -4:

$$-4 = 4 - \frac{1}{500K \cdot 100n}\cdot 5 \cdot T_3 \Rightarrow T_3 = 80\text{ms} \;//$$




R1
30k
R2
30k
R3 30k
R4
15k
R5
500k
C1 0.1u IC=-4
A1
A2
A3
Q1
D1
D2
D3
D4
S1
R6 27k
R7
18k
V1
15
V2
15
+V
-V


P1A_SIM2003_1.CIR
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
50.5m
41.4m
76.1m
0.0m
100.0m
200.0m
300.0m
v(10) v(4)
T

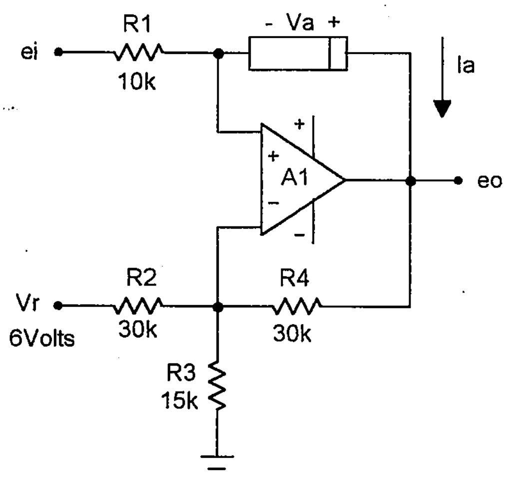

15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
0.0m
100.0m
200.0m
300.0m
v(2)
T

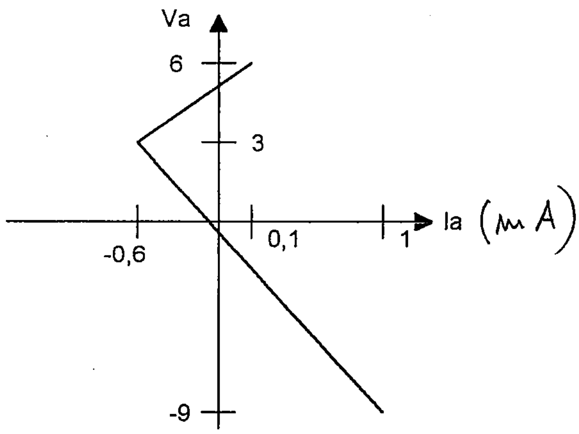
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2003/1

Prova 1 1/7/2003

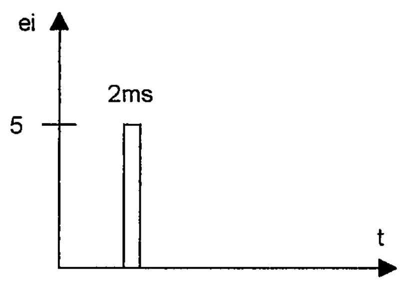
Nome: GABARITO **Turma:** ______

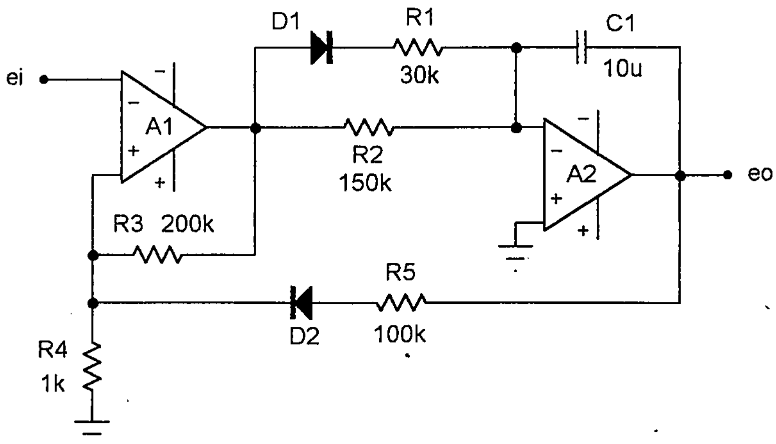
1. (4,5 pontos) Desenhe com precisão o gráfico de e_o x e_i, marcando todos os valores de interesse e explicando cada passo do seu trabalho.
Componentes ideais. Dica: suponha operação linear.
Atenção: A resposta só será avaliada se todos os passos da solução forem claramente documentados.



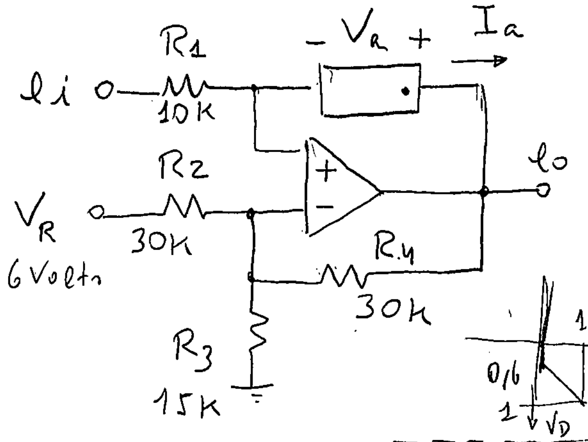


2. (5,5 pontos) a) Examine o circuito e faça uma breve explanação do seu funcionamento.
b) Calcule os valores do circuito, <u>documentando cada etapa</u>, objetivando o desenho do gráfico da resposta temporal das tensões de saída de todos os operacionais, marcando os valores calculados. Alimentação ± 15V. Componentes ideais.
Dica: É preciso atribuir um valor para e_{o2} e verificar se é válido ou não. Deste modo o estado inicial do circuito será conhecido, antes da chegada do pulso em e_i.

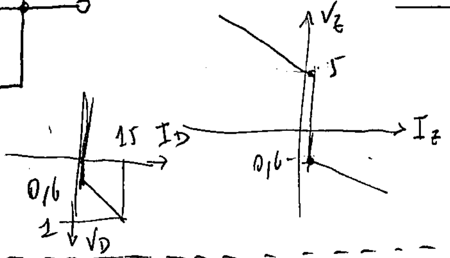


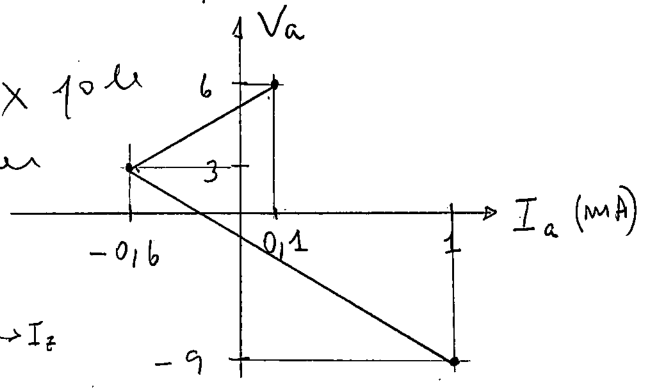


Desenhe com precisão o gráfico de $e_o \times e_i$. Componentes ideais. Dica: faça um Thévenin do circuito de entrada. Suponha operação linear.

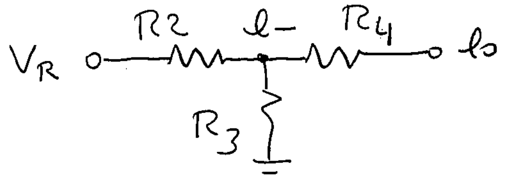


Elemento X pode ser Zener





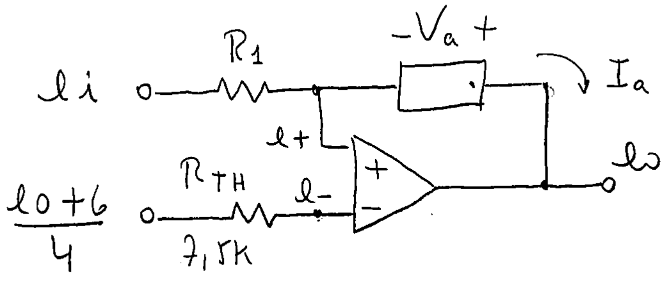
Thévenin de entrada:



$$e^- = V_{TH} = \frac{V_R\,(R_3//R_4)}{R_2+(R_3//R_4)} + \frac{e_o\,(R_2//R_3)}{R_4+(R_2//R_3)}$$

$$V_{TH} = \frac{6\cdot 10}{30+10} + \frac{e_o\cdot 10}{30+10} = \frac{e_o+6}{4} \;//$$

$$R_{TH} = R_2//R_3//R_4 = 7{,}5\,k \;//$$



KVL:

$$e_o = V_a + e_+$$

Supondo operação linear, $e_+ = e^- = \frac{e_o+6}{4}$

$$e_o = V_a + \frac{e_o+6}{4}$$

$$e_o = \frac{4}{3}V_a + 2 \;//$$

$$I_a = \frac{e_i - e_+}{R_1}$$

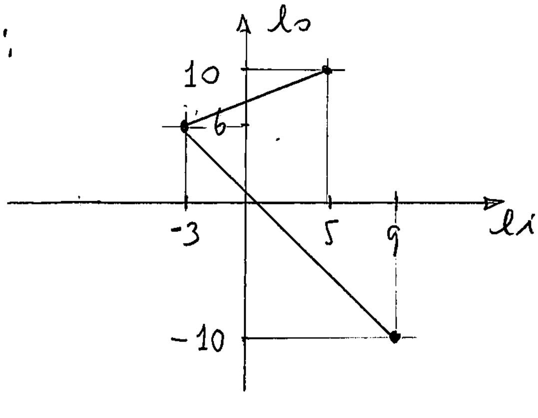
$$I_a = \frac{e_i - \frac{e_o+6}{4}}{10k}$$

$$e_i = 10k\cdot I_a + \frac{e_o}{4} + 1{,}5 \;//$$

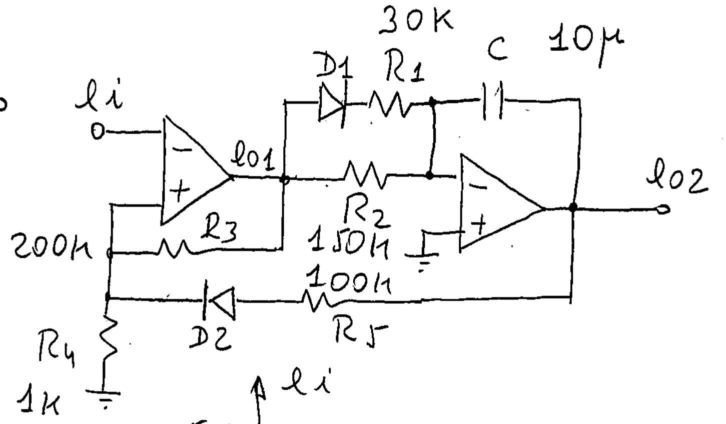
Cada valor de V_a I_a vai definir uma relação entre e_i e_o:

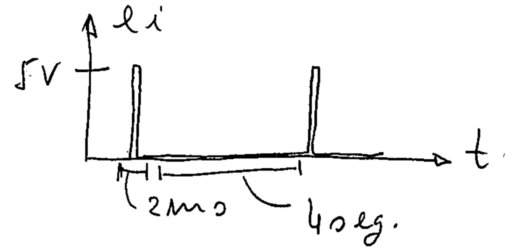
I_a (mA)	V_a	e_o	e_i
0,1	6	10	5
$-0{,}6$	3	6	-3
1	-9	-10	9

Gráfico:



Determine o gráfico de e_{o1} e e_{o2} ao longo do tempo. Alimentação ± 15. Componentes ideais. Faça hipótese sobre a situação inicial do circuito.





Examinando o circuito:

$e_{o1} \rightarrow$ comparador inversor com histerese.

$e_{o2} \rightarrow$ integrador inversor.

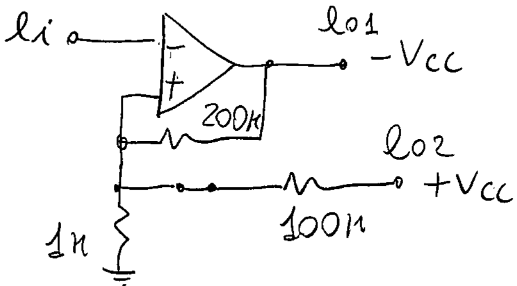
Hipótese:

$e_i = 0$

$e_{o1} =$ saturado em $-V_{cc}$

$e_{o2} =$ rampa saturada em $+V_{cc}$

Logo D2 está conduzindo:



Comparador muda quando $e_- = e_+ \rightarrow e_- = e_i =$ Zero

$$e_+ = \frac{e_{o1} \cdot 1k \| 100K}{1k\|100K + 200k} + \frac{e_{o2} \cdot 1k\|200K}{1k\|200K + 100k}$$

$$e_+ = \frac{-15}{201} + \frac{15}{101} = +0{,}074V$$

Então e_{o1} na verdade está em $+V_{cc}$

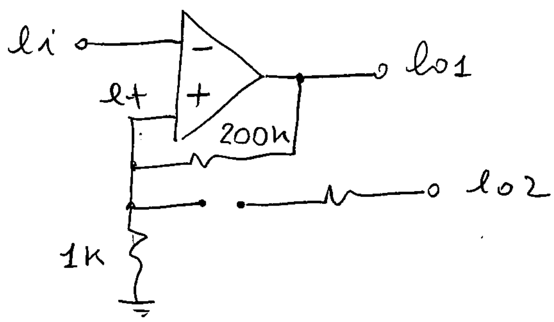
Nova hipótese:

$e_i = 0$

$e_{o1} =$ saturado em $+V_{cc}$

$e_{o2} =$ rampa saturada em $-V_{cc}$

Logo D2 está cortado:

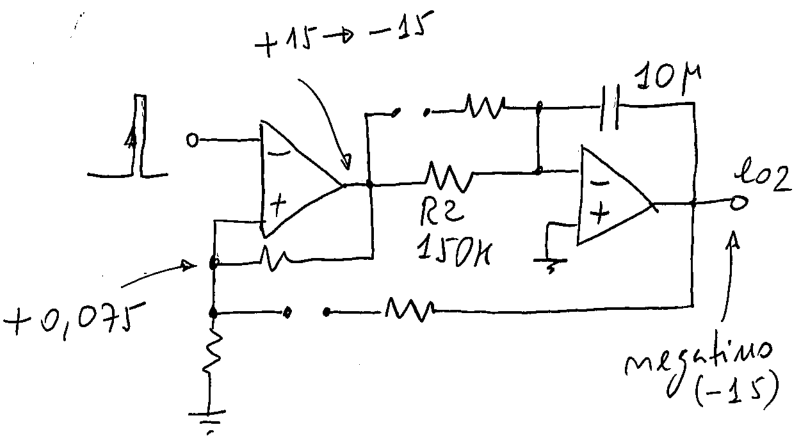


Deste modo:

$$e_+ = \frac{e_{o1} \cdot 1k}{1k + 200k} = \frac{15}{201} = +0{,}075V$$

Este ponto de operação é coerente. e_{o2} está saturado em $-V_{cc}$.

Ao chegar um pulso em e_i, a saída $e_{o1} \rightarrow -V_{cc}$ e o circuito fica:



A tensão e_{o2} aumenta conforme uma rampa crescente:

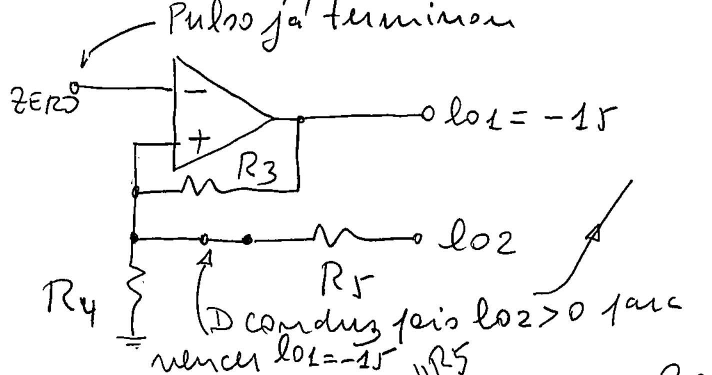
$$e_{o2} = -\frac{1}{R_2 \cdot C}\int_0^t e_{o1}\, dt + e_{o2}(t=0)$$

$$e_{o2} = \frac{-1}{150k \cdot 10\mu}(-15)\cdot t + e_{o2}(t=0)$$

$$e_{o2} = 10 \cdot t + e_{o2}(t=0) \qquad (1)$$

indeterminado por enquanto.

O comparador vira para +Vcc quando a rampa atingir:

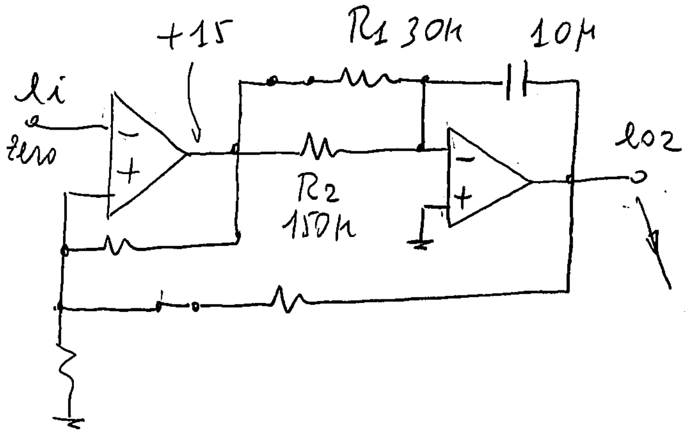


$$e_+ = 0 = \frac{e_{o1}\cdot R_4 \| R_5}{R_3 + R_4 \| R_5} + \frac{e_{o2}\cdot R_4 \| R_3}{R_5 + R_4 \| R_3}$$

$$0 = \frac{-15 \cdot 1}{200+1} + \frac{e_{o2}\cdot 1}{100+1}$$

Então $e_{o2} = 7{,}54$ Volts

Agora, $e_{o1} = +15V$ e e_{o2} é uma rampa decrescente:



condição inicial: $e_{o2} = 7{,}54V$

Qual o tempo para e_{o2} alcançar $-V_{cc}$?

$R = 30k \,//\, 150k = 25k$

$$e_{o2} = \frac{-1}{25k \cdot 10\mu}(+15)\cdot t + e_{o2}(t=0)$$

final = -15

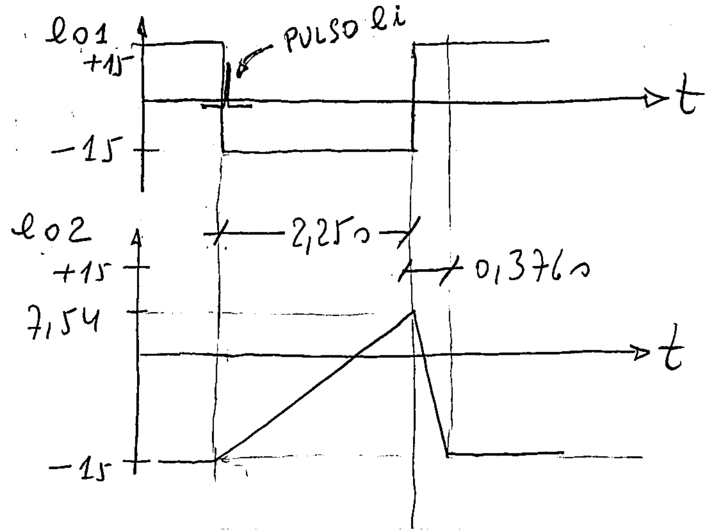
inicial = 7,54

Então: $t = 0{,}376$ seg

confirma que e_{o2} satura em -15 no intervalo entre os pulsos.

O tempo para ir de -15 até +7,54 é obtido de (1):

$7{,}54 = 10 \cdot t + (-15) \rightarrow t = 2{,}25\,s$

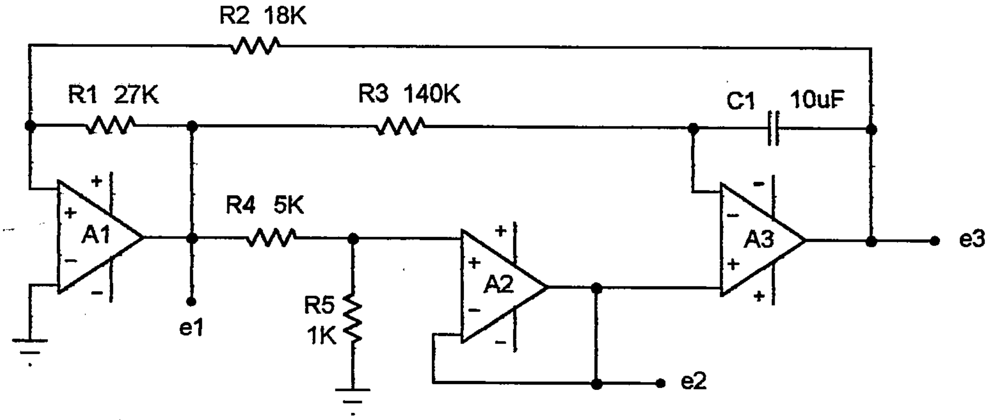


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2003/2

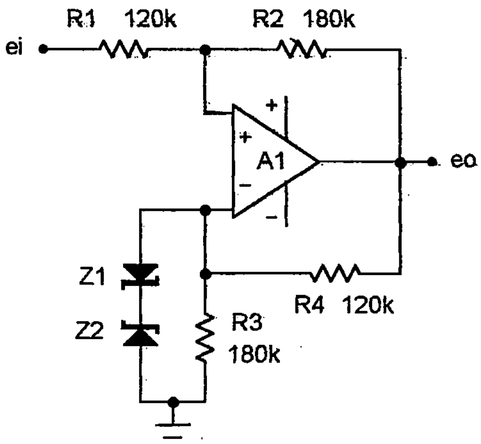
Prova 1 2/12/2003

Nome: GABARITO **Turma:** ______

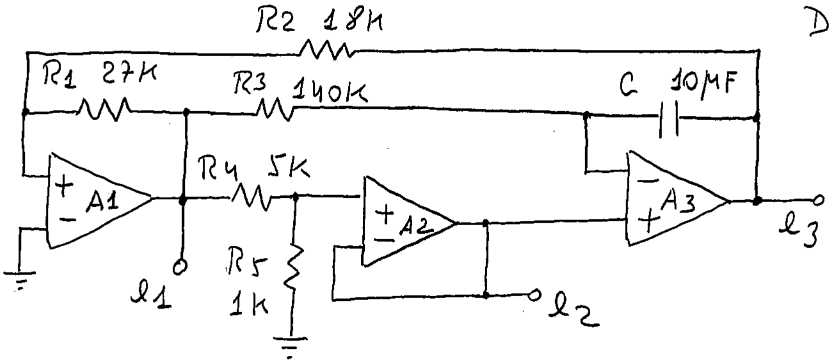
1. (5 pontos) Equacione o circuito com o objetivo de desenhar os gráficos da tensão de saída de cada operacional ao longo do tempo.
Examine, classifique e equacione cada bloco para depois estudar o funcionamento do conjunto.
Descreva cada etapa da sua solução.
Componentes ideais, alimentados com ±12 Volts.
Dicas: A tensão no capacitor não pode variar instantaneamente. Use KVL para determinar e_3.



2. Examine o circuito e desenhe o gráfico de e_o x e_i calculando precisamente todos os pontos de quebra, descrevendo cada passo de cálculo. Escreva todos os valores no gráfico.
Componentes ideais. $Vz = 6{,}5V$ $Vd = 0{,}7V$ $Vcc = \pm 15V$.



Equacione o circuito com o objetivo de desenhar os gráficos da tensão de saída de cada operacional ao longo do tempo.
Examine, classifique e equacione cada bloco do circuito para depois estudar o funcionamento do conjunto. Descreva cada etapa da solução.
Componentes ideais. Alimentação ±12 Volts.



Dica: A tensão no cap. não pode variar instantaneamente. Use KVL para determinar a tensão e_3.

P1 2003/2

<u>A1</u>: Comparador não-inversor, com histerese.

Ponto de quebra: $e_+ = e_-$

Por superposição:

$$\frac{e_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{e_3 \cdot R_1}{R_1+R_2} = 0$$

$$e_3 = -e_1 \frac{R_2}{R_1} = -e_1 \frac{18k}{27k}$$

como $e_1 = \pm V_{cc} = \pm 12V$

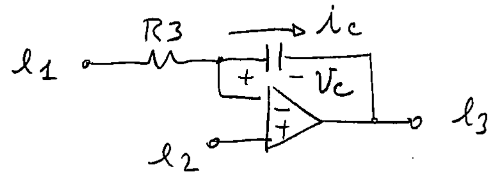
$e_3 = \pm 8$ Volts para virar //

<u>A2</u>: Seguidor de tensão, ganho unitário.

$$e_2 = e_1 \frac{R_5}{R_4+R_5} = \pm 12 \frac{1}{5+1}$$

$e_2 = \pm 2$ Volts //

<u>A3</u>: Integrador inversor com tensão na entrada e_+.



como $v_c = \frac{1}{C}\int i_c\,dt$:

KVL: $e_3 = -v_c + e_2$

$$e_3 = -\frac{1}{C}\int i_c\,dt + e_2$$

como $i_c = \dfrac{e_1 - e_2}{R_3}$

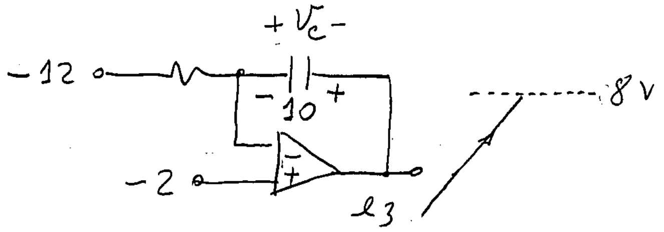
$$e_3 = -\frac{1}{R_3 \cdot C}\int (e_1 - e_2)\,dt + e_2$$

Como e_1 e e_2 são constantes durante o tempo de integração e lembrando da constante de integração, que vale $v_c(t=0)$ vem:

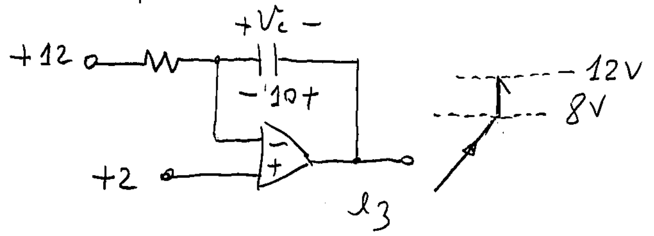
$$e_3 = -\frac{e_1 - e_2}{R_3 \cdot C} \cdot t - V_c(t=0) + e_2$$

Juntando os blocos:

a) Supondo e_3 subindo em direção a +8 Volts:



Note o valor de $V_c = -10V$
Neste momento o comparador vira, para 12V ficando:



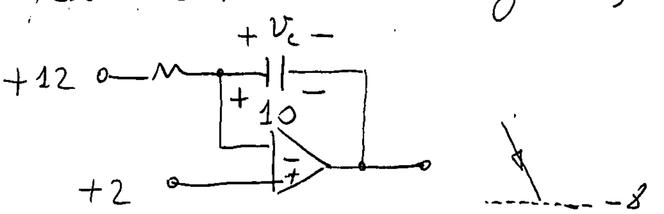
KVL: $e_3 = 2 + 10 = 12V$

Tempo para e_3 descer de 12V para -8V:

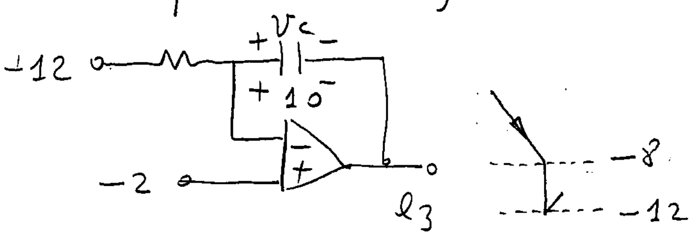
$$-8 = -\frac{12-2}{140 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \cdot T_1 - (-10) + 2$$

$T_1 = 2,8$ segundos //

Circuito ao atingir $e_3 = -8$:



Neste momento o comparador vira para -12V ficando:



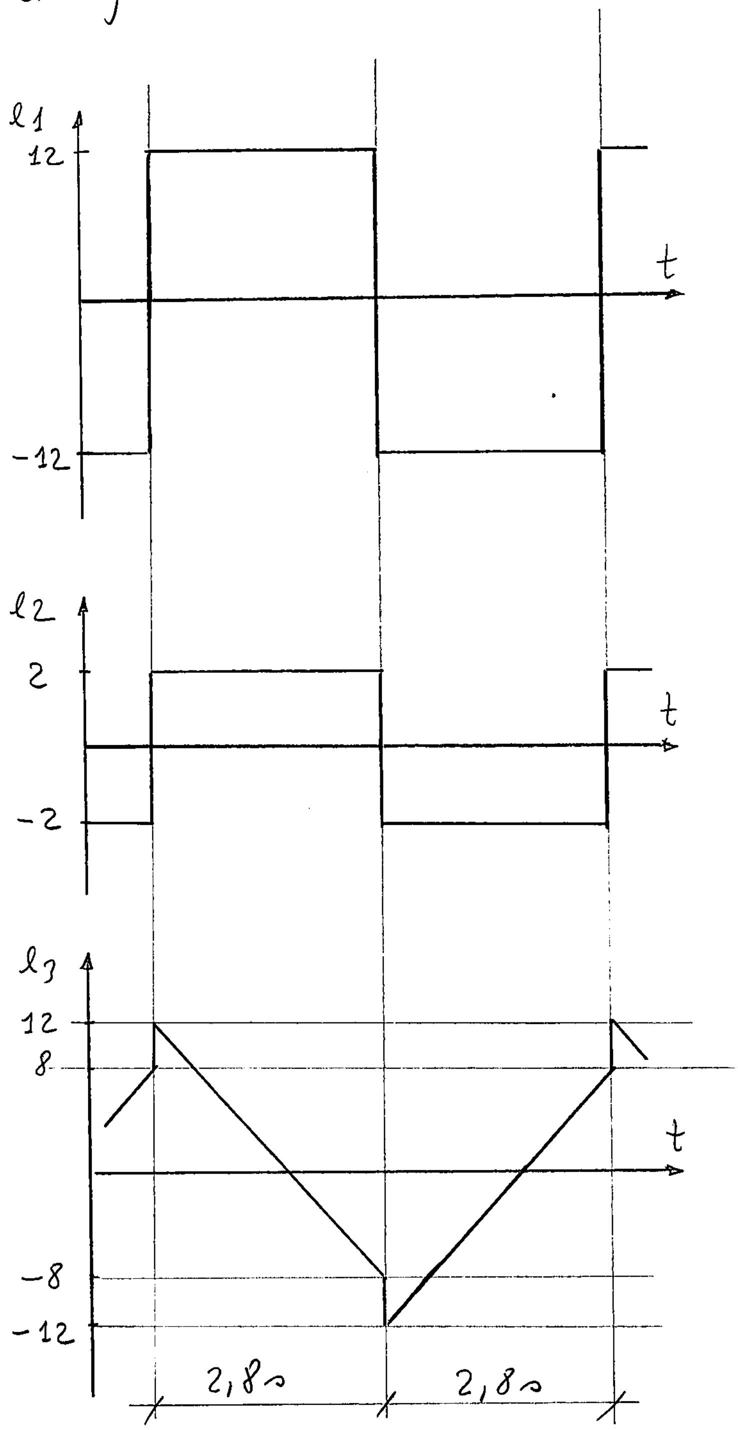
KVL: $e_3 = -2 - 10 = -12$ volts

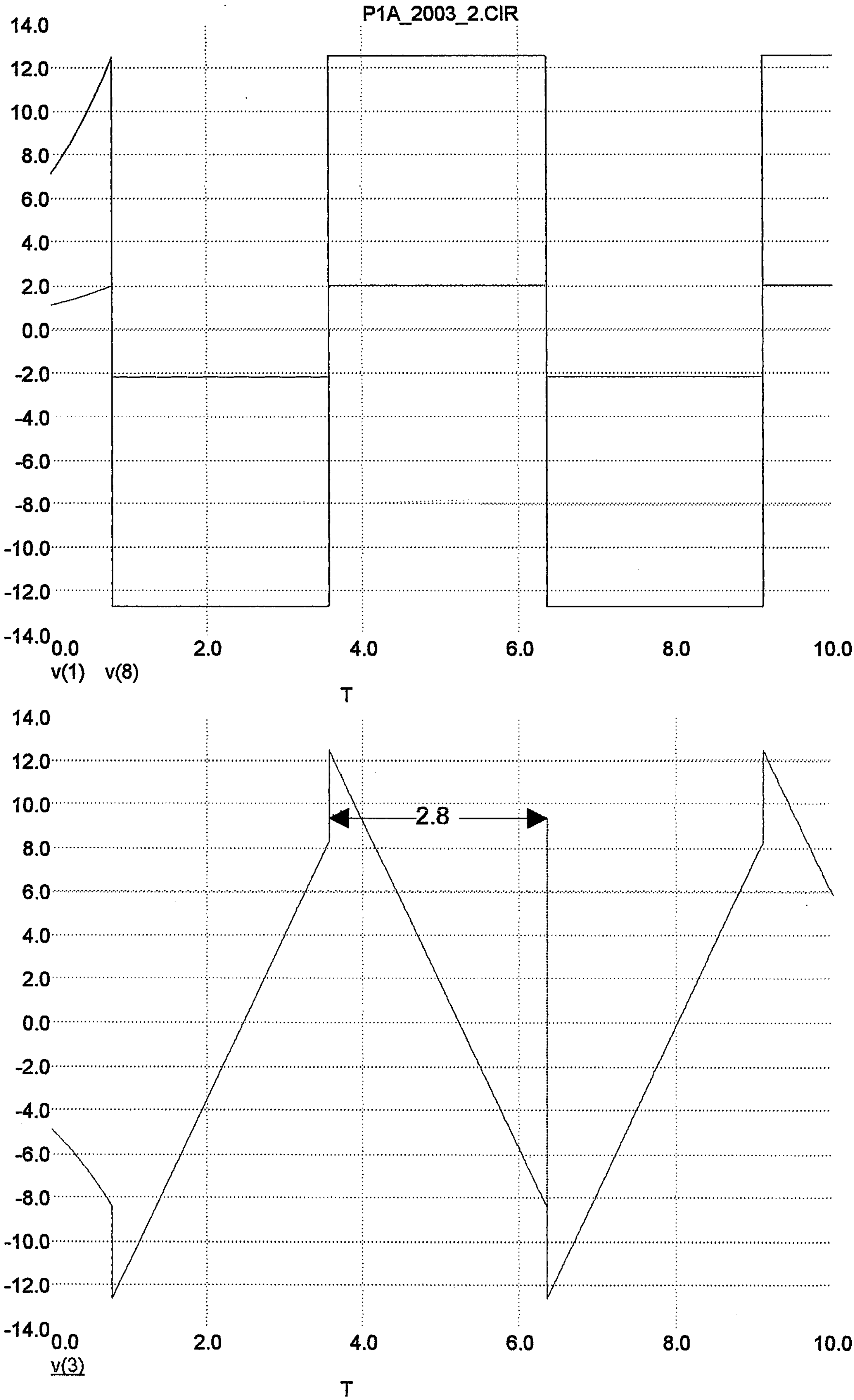
Tempo para e_3 subir de -12 para + 8 Volts:

$$8 = -\frac{-12-(-2)}{140 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \cdot T_2 - 10 - 2$$

$T_2 = 2,8$ segundos.

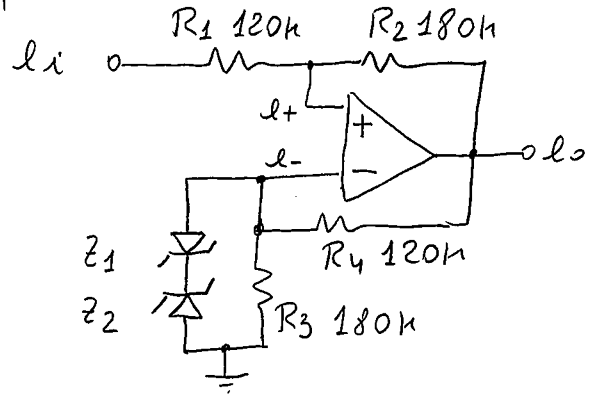
Gráficos:





P1A_2003_2.CIR
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
-14.0
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
v(1) v(8)
T
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
-14.0
2.8
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
v(3)
T

Examine o circuito e desenhe o gráfico de eo x ei calculando precisamente todos os pontos de quebra. Escreva todos os valores no gráfico. Componentes ideais. $V_Z = 6{,}5\,V$ $V_D = 0{,}7\,V$ $V_{cc} = \pm 15\,V$.



Descreva e equacione cada passo da solução.

Examinando o circuito:
Existe realimentação positiva e negativa e um grampeador com zeners.

a) com $e_- < V_Z + V_D = 7{,}2\,V$:

Zeners não conduzem.

Retorno de eo para e+, (matando ei):

$$e_+ = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_o \frac{120}{120+180} = 0{,}4\, e_o$$

Retorno de eo para e-:

$$e_- = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4} = e_o \frac{180}{180+120} = 0{,}6\, e_o$$

Realimentação negativa é maior $\Rightarrow$ amplif. não-inversor.

Ganho: $e_+ = e_-$

$$e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$e_i \frac{180}{\cancel{120+180}} + e_o \frac{120}{\cancel{120+180}} = e_o \frac{180}{\cancel{120+180}}$$

$$180\, e_i = e_o (180-120)$$

$$e_o = 3 \cdot e_i \,//$$

No limite de condução dos diodos, $e_- = \pm(V_Z + V_D)$ então:

$$\pm 7{,}2 = e_o \frac{180}{180+120}$$

$$e_o = \pm 12\,V \,//$$

logo $e_i = \frac{e_o}{3} = \pm 4\,V \,//$

b) com $e_- > V_Z + V_D = 7{,}2\,V$:

Zeners conduzem e

$e_- = 7{,}2\,V$ fixo

Não existe realimentação negativa e o circuito é um comparador com histerese não-inversor.

A saída pula para +15 ou −15 Volts.

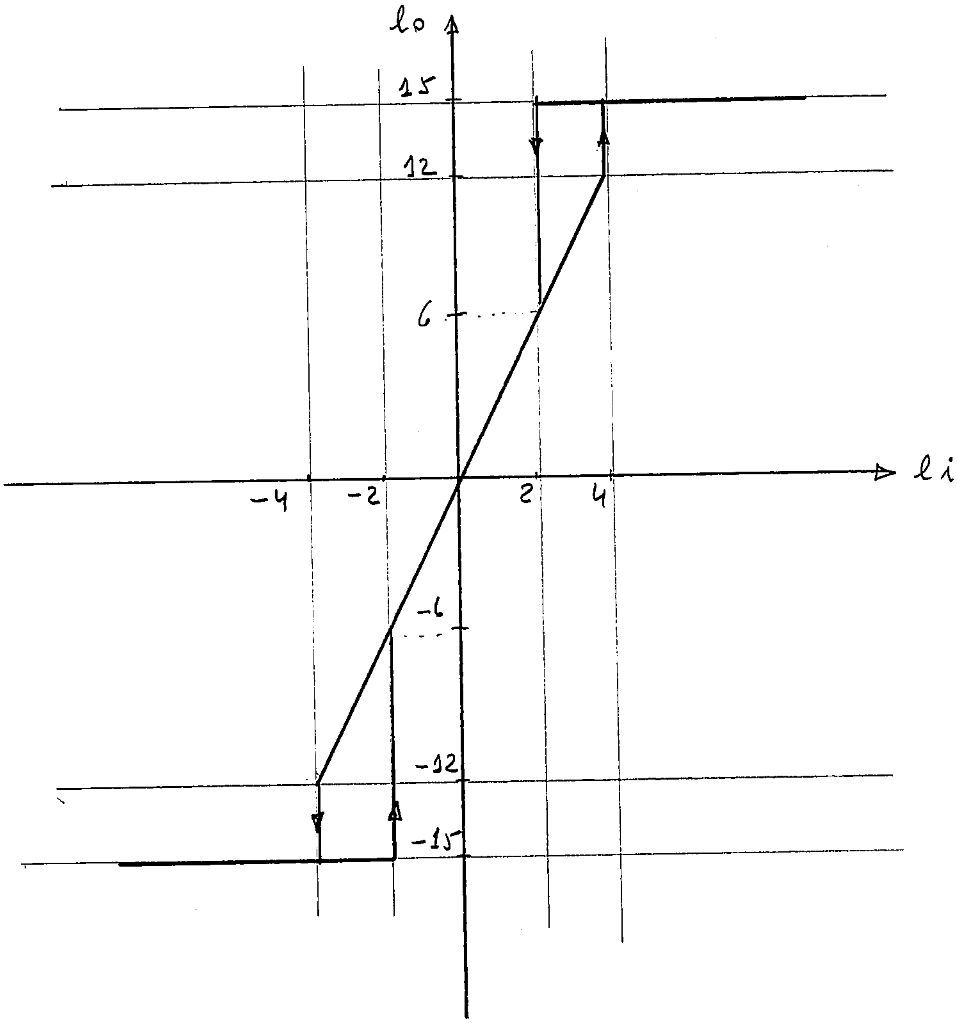
Supondo então $e_o = 15$ (para qualquer $e_i > 4$ Volts) vamos reduzir e_i para descobrir o ponto de virada, que ocorre quando $e_+ = e_- = 7{,}2$ Volts:

$$\frac{e_i \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{e_o \cdot R_1}{R_1 + R_2} = 7{,}2 \qquad \text{com } e_o = 15\,V:$$

$$\frac{e_i \cdot 180}{120+180} + \frac{15 \cdot 120}{120+180} = 7{,}2 \rightarrow e_i = 2V \rightarrow e_o = 3 \cdot 2 = 6 \text{ Volts}$$

Como o circuito é simétrico, vale o mesmo para as tensões negativas.

Gráfico com os valores:

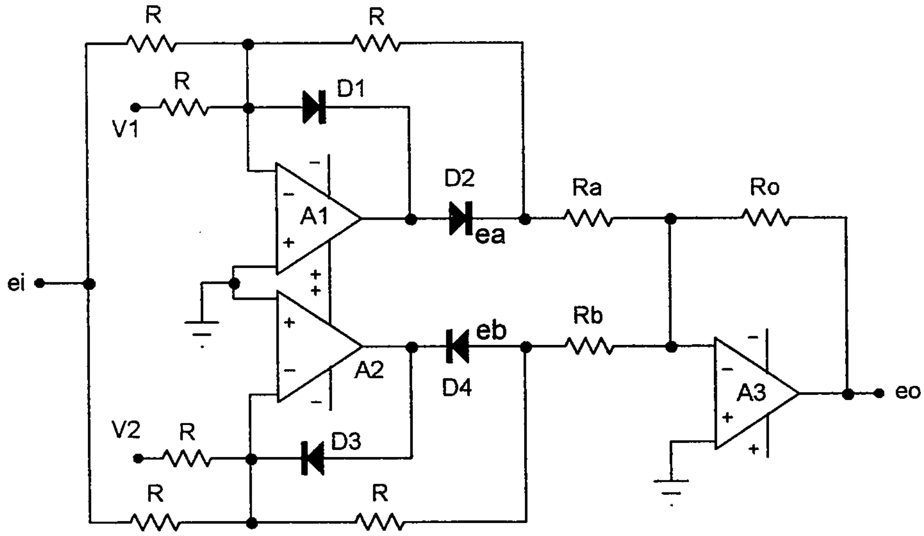


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2004/1

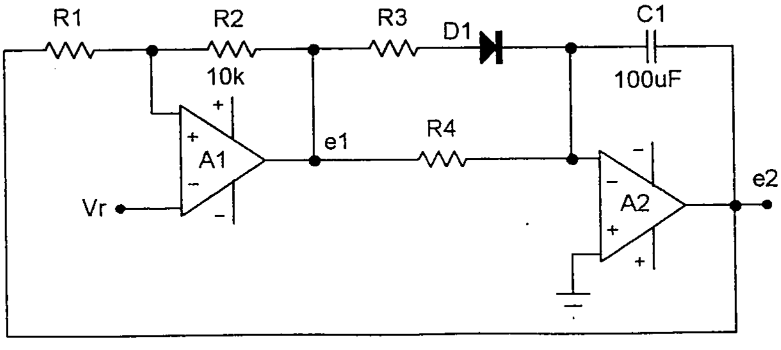
Prova 1 25/5/2004

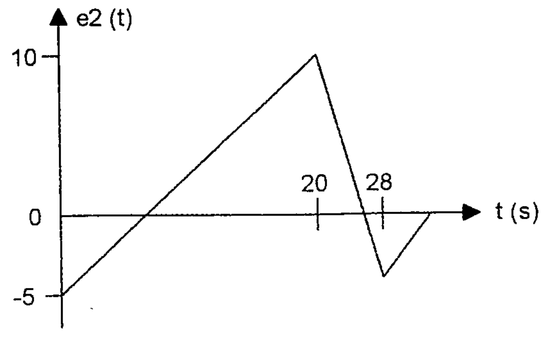
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Determine o gráfico da função de transferência de e_i x e_0, sabendo que $V_1 > V_2$.
Divida o circuito em blocos, analise, equacione e desenhe a curva de transferência dos blocos (pelo menos um deles), para facilitar o entendimento da questão. Junte então os blocos e os gráficos e apresente os resultados (e_i x e_o) para o caso de $V_1 = 2$ $V_2 = -5$ $R_a = 10k$ $R_b = 15k$ e $R_o = 30k$. Documente cada etapa da sua solução. Diodos = 0,6V $V_{cc} = \pm 12V$.

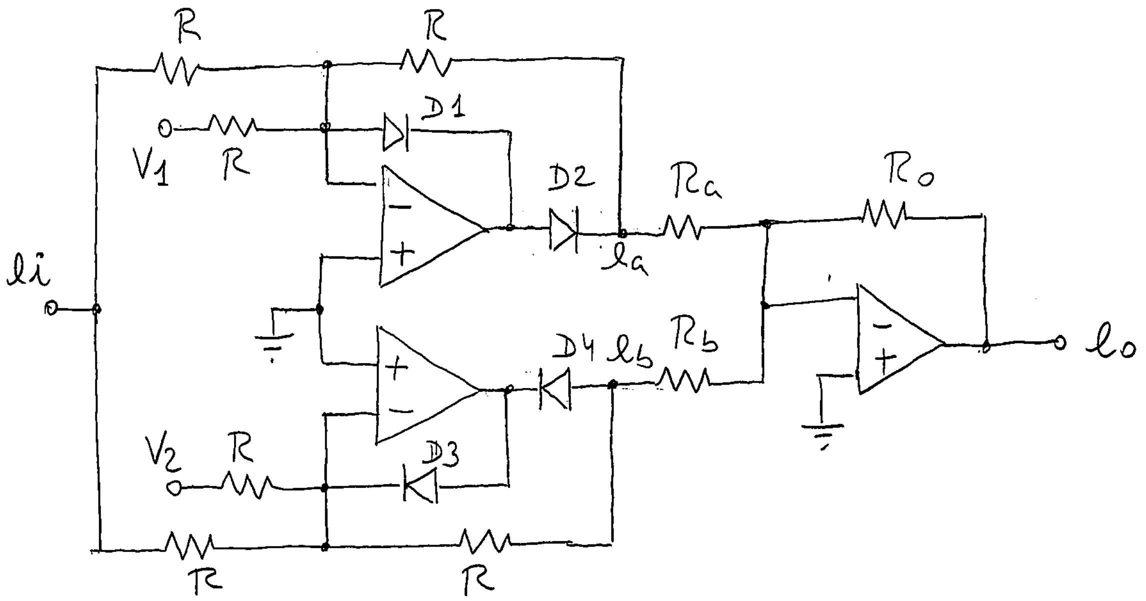


2. Calcule o valor dos componentes que estão faltando de modo que o circuito produza precisamente a tensão e_2 ao longo do tempo, especificada pelo gráfico.
Use uma aproximação hierárquica, identificando os elementos que determinam cada particularidade de e_2. Documente extensamente cada etapa de cálculo. Componentes ideais, alimentação ±15V.
Dica: A histerese depende apenas dos resistores. Inicialmente faça $V_r = 0$.



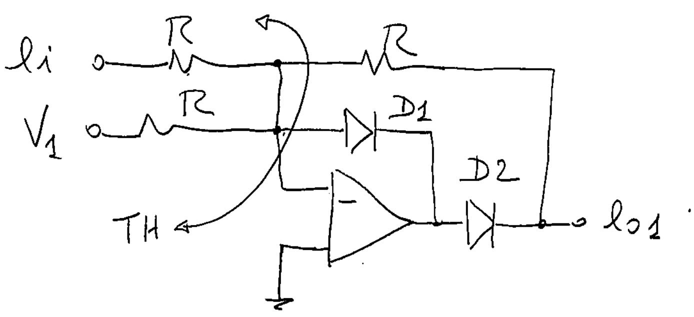


Determine o gráfico da função de transferência de $e_i \times e_o$, sabendo que $V_1 > V_2$.
Divida o circuito em blocos, analise, equacione e desenhe a curva de transferência de cada bloco (importante para o entendimento). Junte então os blocos e os gráficos e apresente os resultados ($e_i \times e_o$) no caso de $V_1 = 2V$, $V_2 = -5V$ $R_a = 10k$ $R_b = 15k$ e $R_o = 30K$. Documente cada etapa da sua solução. $V_{diodo} = 0{,}6V$ $V_{cc} = \pm 10$ Volts.



P1 2004/1

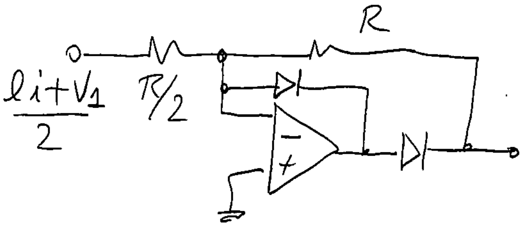
Dividindo em blocos:



Thévenin na entrada:

$$V_{TH} = e_i \frac{R}{R+R} + V_1 \frac{R}{R+R} = \frac{e_i+V_1}{2}$$

$$R_{TH} = R // R = R/2$$



Retific. inversor ideal!

a) Supondo $\frac{e_i+V_1}{2} > 0$:

D1 conduz, D2 corta, $e_a = 0$

b) Supondo $\frac{e_i+V_1}{2} < 0$:

D1 corta, D2 conduz

$V_{diodo} = 0{,}6$ é anulado pela realimentação.

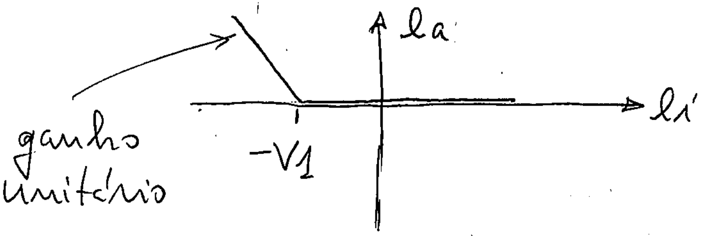
$$e_a = -\left(\frac{e_i+V_1}{2}\right) \cdot \frac{R}{R/2}$$

$$e_a = -(e_i+V_1) \; //$$

No limite, $\frac{e_i+V_1}{2} = 0$

$\rightarrow e_i = -V_1$

Então D2 conduz com $e_i \leq -V_1$



No bloco do e_{o2}, os diodos estão invertidos:

Supondo $\frac{e_i+V_2}{2} > 0$,

D3 corta, D4 conduz,

$$e_b = -\left(\frac{e_i+V_2}{2}\right)\frac{R}{R/2}$$

$$e_b = -(e_i+V_2)$$

Supondo $\frac{e_i+V_2}{2} < 0$,

D3 conduz, D4 corta

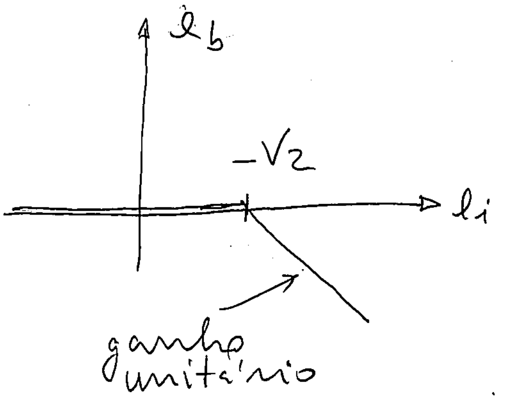
e $e_b = 0$

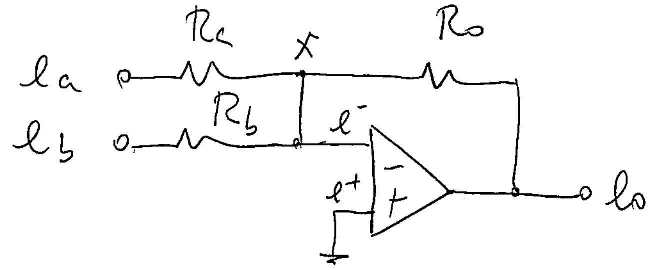
O limite de condução de D4 ocorre com:

$$\frac{e_i+V_2}{2} = 0$$

$$e_i = -V_2$$

D4 conduz com $e_i \geq -V_2$





Somador inversor ponderado:

$$e_o = -\left(e_a\frac{R_o}{R_a} + e_b\frac{R_o}{R_b}\right)$$

Juntando os blocos e aplicando os valores:

contribuição de e_a:

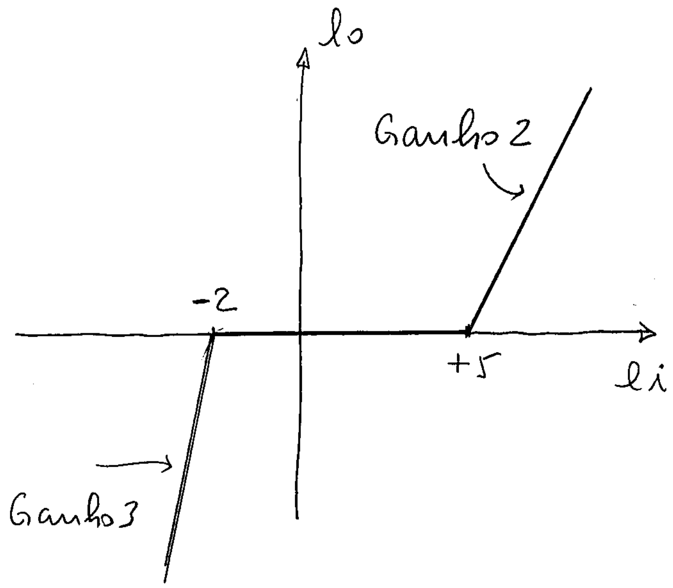
$$e_o = -e_a\frac{R_o}{R_a} = -[-(e_i+2)]\frac{30k}{10k}$$

$e_o = 3e_i + 6 \rightarrow$ equação de reta

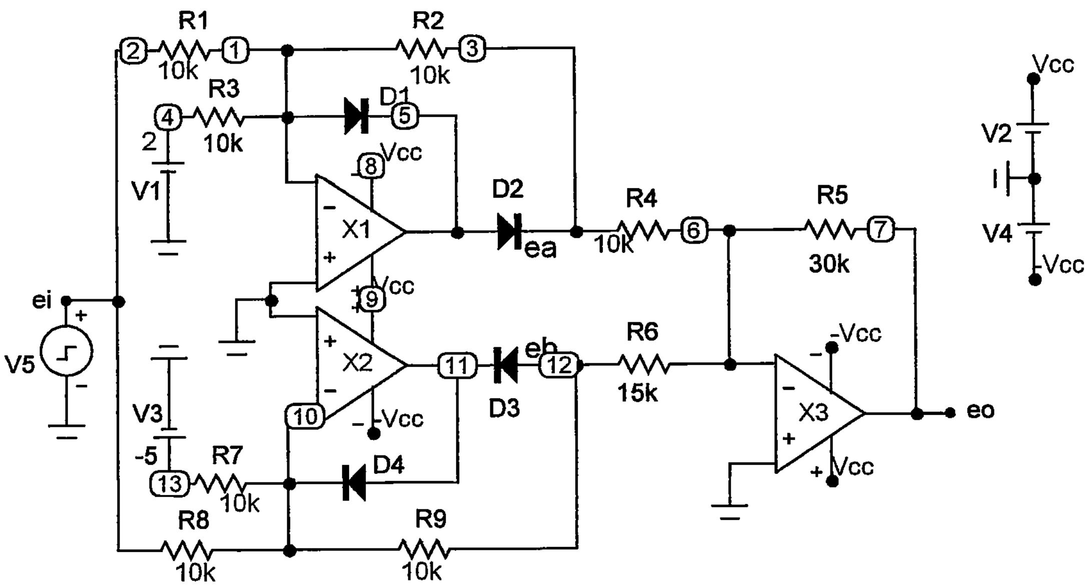
Contribuição de e_b:

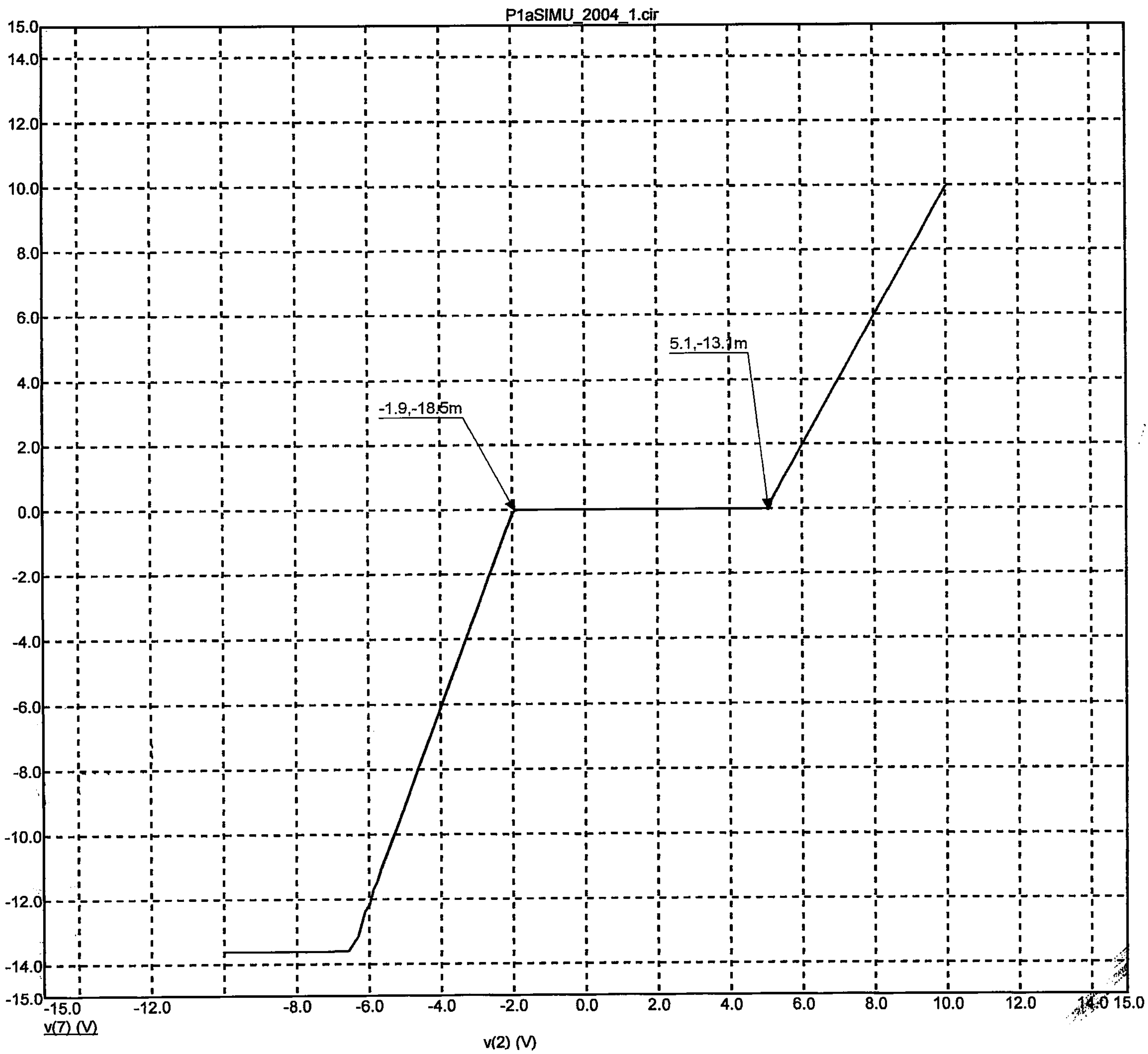
$$e_o = -e_b\frac{R_o}{R_b} = -\{-(e_i+(-5))\}\frac{30k}{15k}$$

$e_o = 2e_i - 10 \rightarrow$ equação de reta.

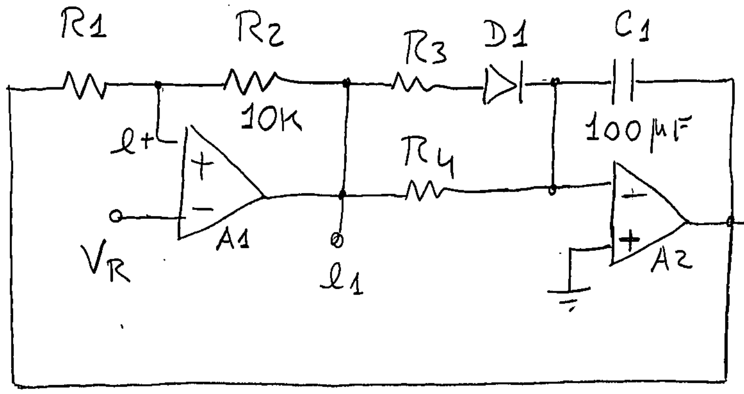


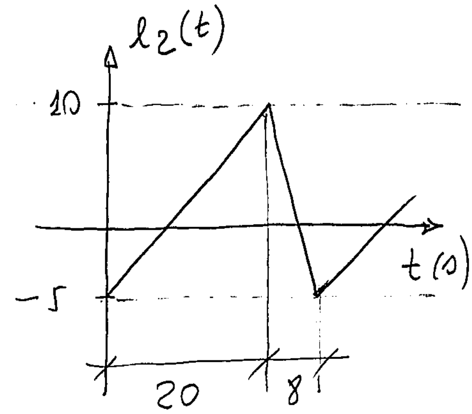
Precision deadspace


R1
10k
R2
10k
R3
10k
D1
D2
D3
D4
R4
10k
R5
30k
R6
15k
R7
10k
R8
10k
R9
10k
V1
2
V3
-5
V5
V2
V4
Vcc
-Vcc
X1
X2
X3
ei
ea
eb
eo


P1aSIMU_2004_1.cir
-1.9,-18.5m
5.1,-13.1m
v(7) (V)
v(2) (V)

Calcule os componentes que estão indicados de modo que o circuito produza precisamente a tensão e_2 especificada no gráfico.
Use uma aproximação hierárquica, identificando os elementos que determinam cada particularidade de e_2. Documente cada etapa.
Componentes ideais. Alimentação $\pm$ 15 Volts.
Dica: Com $V_R = 0$ inicialmente, calcule R_2.
A seguir determine V_R aplicando os limites especificados (a histerese depende apenas da realimentação positiva).





P1 2004/1

Bloco A1: Comparador com histerese, não-inversor e com tensão de referência.

Com $V_R = 0$: Ponto de virada: $e+ = e-$

$$e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_1 \frac{R_1}{R_1+R_2} = 0$$

$$e_2 = - e_1 \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

A histerese desejada vale:
$10 - (-5) = 15$

Como o comparador é simétrico, $V_H = 7{,}5$ e $V_L = -7{,}5$ (Com $V_R = 0$, conforme a dica)

Supondo $e_1 = -Vcc$ e e_2 subindo até que $e+ = V_H = 7{,}5$ o comparador vira para $+Vcc$.
Aplicando (1):
$$7{,}5 = -(-15)\frac{R_1}{R_2}$$

Então $\frac{R_1}{R_2} = 0{,}5$ //

$R_1 = 0{,}5 \cdot 10k = 5k$ //

Vale o mesmo para V_L.

Instalando V_R, é preciso descobrir o seu valor para que $V_H = 10$ e $V_L = -5$:

Ponto de virada; $e_+ = e_-$:

$$e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_1 \frac{R_1}{R_1+R_2} = V_R$$

$$e_2 \frac{10}{15} + e_1 \frac{5}{15} = V_R$$

$$V_R = \frac{2 e_2}{3} + \frac{e_1}{3}$$

Supondo $e_1 = -V_{cc}$ e e_2 subindo, quando $e_+ = V_H = 10$ o comparador vira para $+V_{cc}$;

$$V_R = \frac{2 \cdot 10}{3} + \frac{-15}{3}$$

$$V_R = 5/3 \quad //$$

---

confirmando;

Se $e_1 = +V_{cc}$ e e_2 desce até $V_L = -5$, o comparador vira para $-V_{cc}$:

$$V_R = \frac{2 \cdot (-5)}{3} + \frac{15}{3} = 5/3 \text{ Ok.}$$

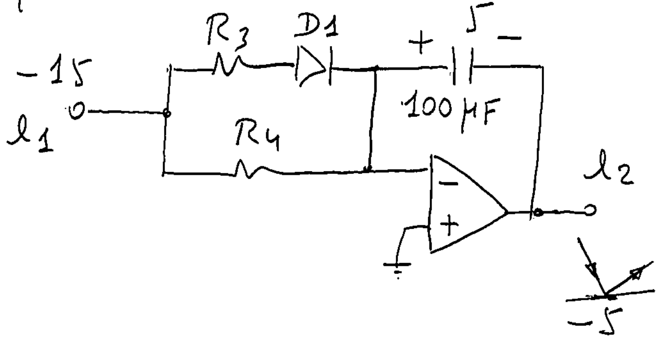
Falta agora acertar os tempos de subida e descida de e_2.

Bloco A2:

Integrador inversor:

Ponto de partida:

Em $t=0$ e_2 alcançou $-5V$ e o comparador está virando para $-V_{cc}$ ∴ D1 cortado.



e_2 deve subir para 10V em 20 segundos;

$$e_{2\,fim} = e_{2\,inic} - \frac{1}{R_4 \cdot C} e_1 \cdot t$$

$$10 = -5 - \frac{-15 \cdot 20}{R_4 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_4 = 200\ k\Omega \quad //$$

Agora, e_1 está virando para $+15$ e e_2 desce até -5 em $8s$:

Diodo conduz:

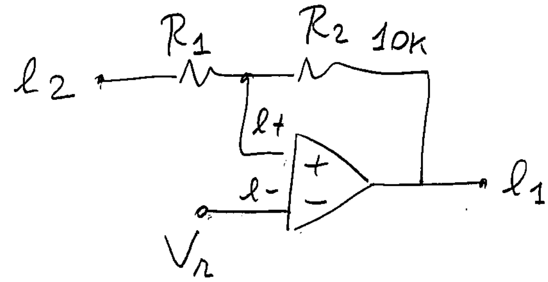
$$-5 = 10 - \frac{15 \cdot 8}{(R_3 // R_4) \cdot 100 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_3 // R_4 = 80 \cdot 10^3$$

$$\text{logo } \frac{R_3 \cdot 200k}{R_3 + 200k} = 80k$$

$$R_3 = 133k \quad //$$

Outra maneira de resolver:



$R_1 = ?$ $V_R = ?$

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$\frac{e_1 \cdot R_1}{R_1 + R_2} + \frac{e_2 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = V_r$$

$$V_r (R_1 + R_2) = e_1 \cdot R_1 + e_2 \cdot R_2$$

com $e_1 = -V_{cc}$, $e_2 = -5$

com $e_1 = +V_{cc}$, $e_2 = 10$

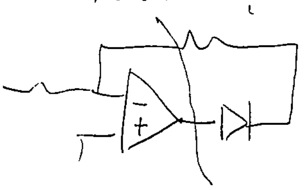
Substituindo:

$$\frac{R_1}{R_2} = 1/2 \rightarrow R_1 = 5k \,//$$

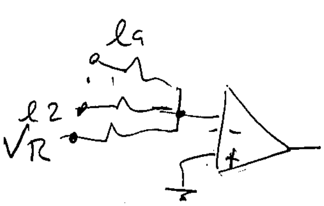
$$V_R = 5/3 \,//$$

ERROS MAIS COMUNS

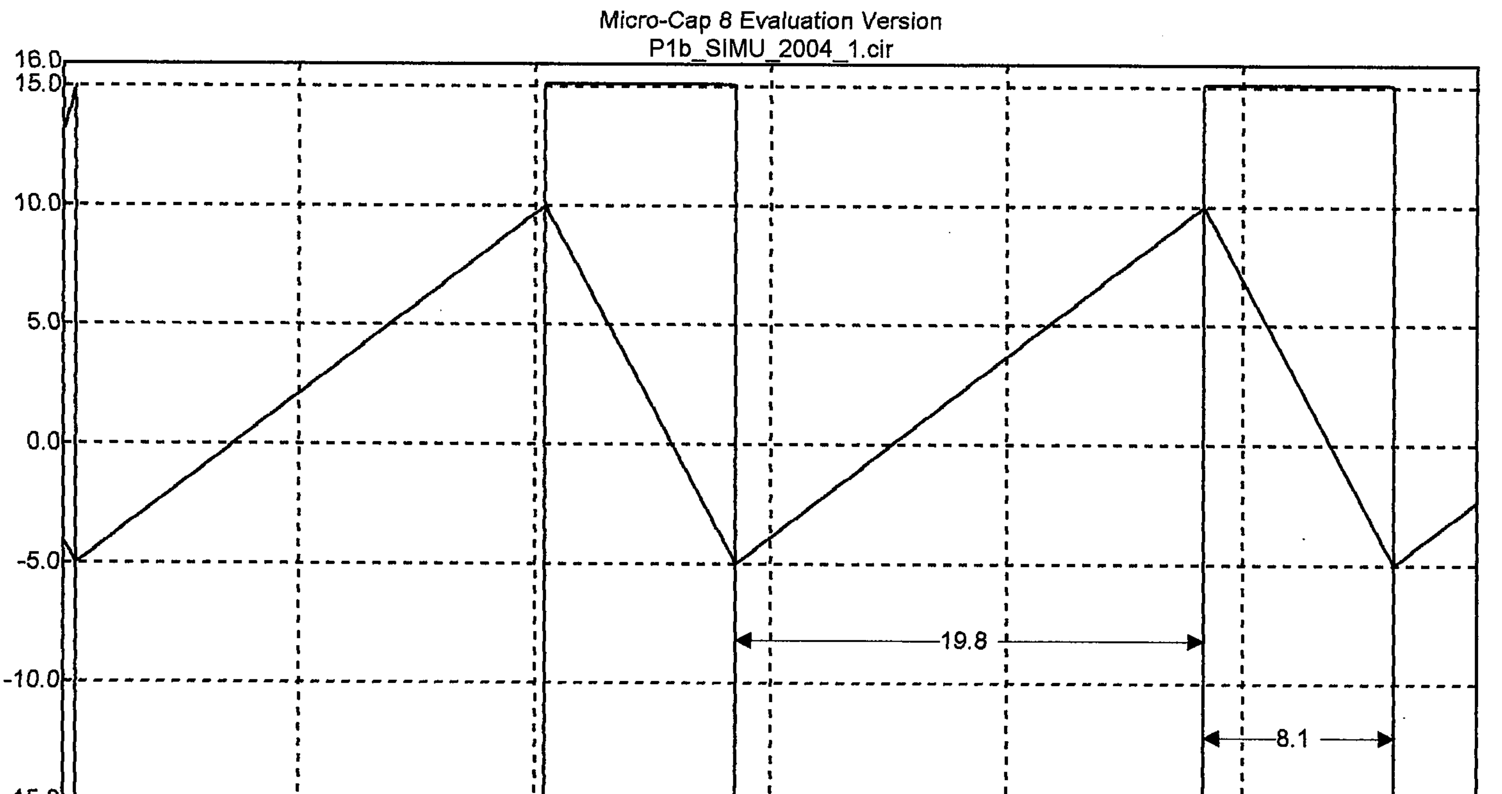
- Falta de organização, $\left\{ \right.$ Sem frases descritivas; Escrevendo para os lados
- Interpretação incorreta (leia a questão)
- Descreve uma situação, equaciona mas não leva até o fim, descrevendo outra situação ....
- Divisão incorreta dos blocos



- Mistura sinais com a realimentação



- Diodos $<$ na realimentação: não compensados; ideais: $V_D = 0$ $R_D = 0$



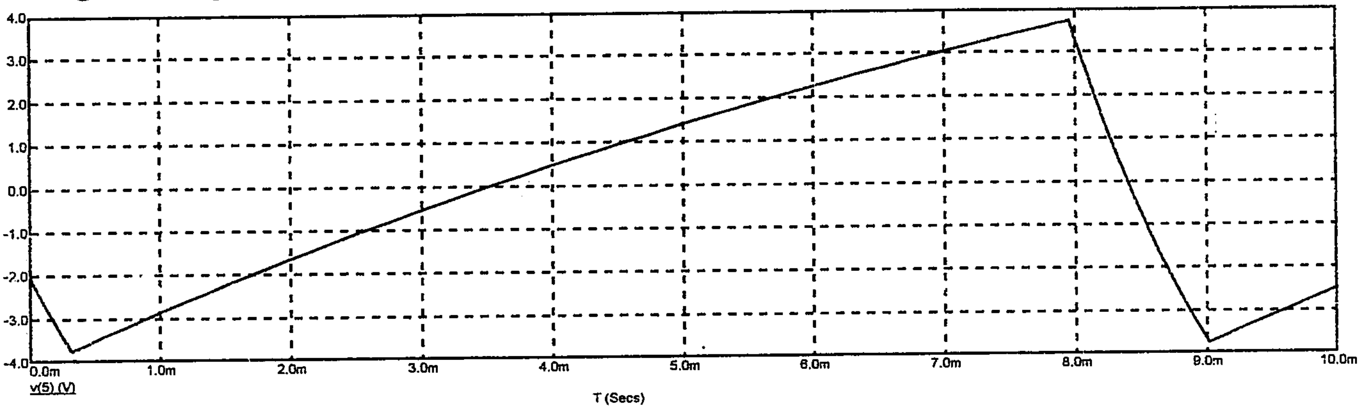
Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1b_SIMU_2004_1.cir
16.0
15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
-16.0
0.0
10.0
20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
19.8
8.1
v(4) (V) v(6) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2004/2

Prova 1 9/11/2004

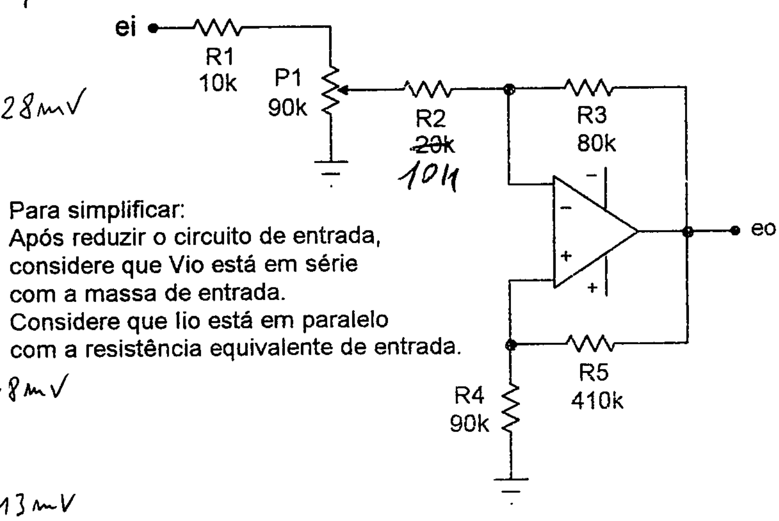
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Projete um circuito capaz de gerar uma forma de onda exponencial, descrita a seguir, sobre um capacitor de 470nF. O semi-ciclo de descida tem duração constante de 1mS. O semiciclo de subida varia conforme a iluminação ambiente, detetada por um LDR (light dependent resistor $R_{LDR\ escuro} = \infty$). A frequência no escuro deve ser 200Hz e a tensão pico-a-pico 7,5V. Use em seu projeto componentes ideais. Alimentação ± 12V. Descreva cada passo da solução, usando diagramas esquemáticos, equações e texto.

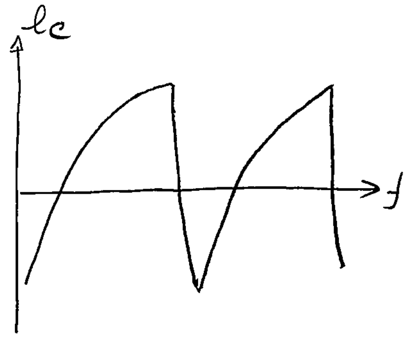


2. Calcule o máximo e o mínimo offset na saída do circuito a seguir, sabendo que a tensão offset de entrada é de $V_{io} = 5mV$ e a corrente de polarização em cada entrada vale $I_{b+} = I_{b-} = 200nA$. Documente cada etapa do seu trabalho, completando a tabela a medida em quer for obtendo os resultados intermediários. Arredonde os cálculos para 3 dígitos significativos.

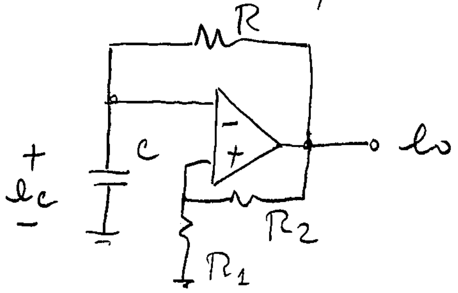
Ganho máximo	+ 12,9	
Ganho mínimo	– 2,23	– 5,61
Voo máximo	64,5 mV	
Voo mínimo	–11,2 mV	–28 mV
e+ (causado por Ib)	14,8 mV	
(e-)máximo	2 mV	
(e-)mínimo	120 mV 7mV	
(e+ - e-)máximo	12,8 mV	
(e+ - e-)mínimo	105,2 mV	7,8 mV
Ioo máximo	165 mV	
Ioo mínimo	235 mV	–43 mV
(Σ eo) máximo	230 mV	
(Σ eo) mínimo	224 mV	–71,8 mV



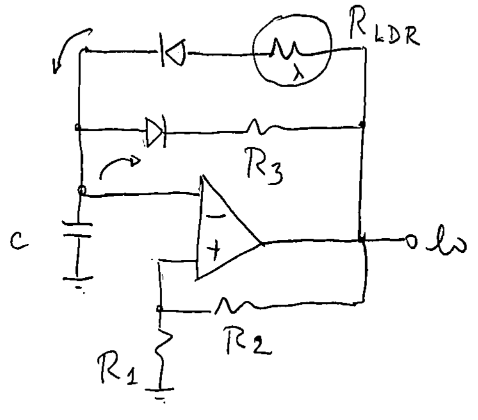
Projete um circuito capaz de gerar a forma de onda exponencial ao lado, sobre um capacitor de 470 nF. O semi-ciclo negativo tem duração constante de 1 ms. O semi-ciclo positivo varia conforme a iluminação ambiente, detetada por um LDR. A frequência no escuro deve ser de 200 Hz. A tensão pico-a-pico é de 7,5 Volts.
Alimentação ±12 Volts. R_{LDR} (escuro) $= \infty$.
Componentes ideais.



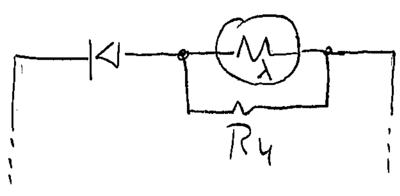
circuito básico: gerador de ondas quadradas:



carga de C é pelo LDR e a descarga é por resistor fixo: usar diodos para direcionar as correntes.



Precisa ainda ajustar a freq. quando o LDR estiver no escuro:



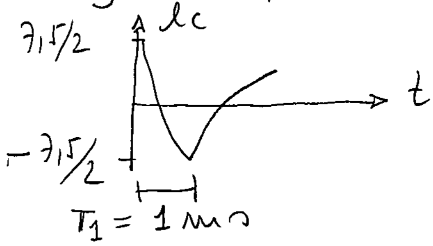
Equacionamento e cálculos:
Histerese do comparador:
Ponto de virada ocorre quando $v_c = v_+$:

$$v_+ = \pm v_o \frac{R_1}{R_1+R_2} \qquad v_+ = V_{pico} = \frac{7,5}{2}$$

$$\frac{7,5}{2} = \pm 12 \frac{R_1}{R_1+R_2} \rightarrow R_2 = 2,2 \cdot R_1$$

Escolhendo $R_2 = 22k \rightarrow R_1 = 10k$

Descarga do capacitor em 1 ms:



$$T_1 = -\tau \ln\left(\frac{V_\infty - V_{final}}{V_\infty - V_{inic}}\right)$$

$\tau = R_3 \cdot C \qquad V_\infty = -12$

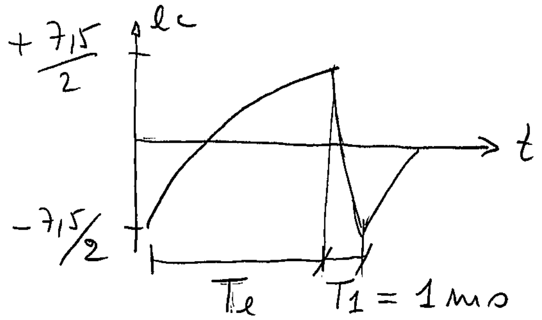
$V_{inic} = 7,5/2 \qquad V_{final} = -7,5/2$

Então:

$$10^{-3} = -R_3 \cdot 470 \cdot 10^{-9} \ln\left(\frac{-12-(-3,75)}{-12-3,75}\right)$$

$R_3 = 3290 \rightarrow R_3 = 3,3k$

Carga do capacitor pelo LDR:
No escuro, $R_{LDR} = \infty$ e a frequência deve ser $f_e = 200\,Hz$



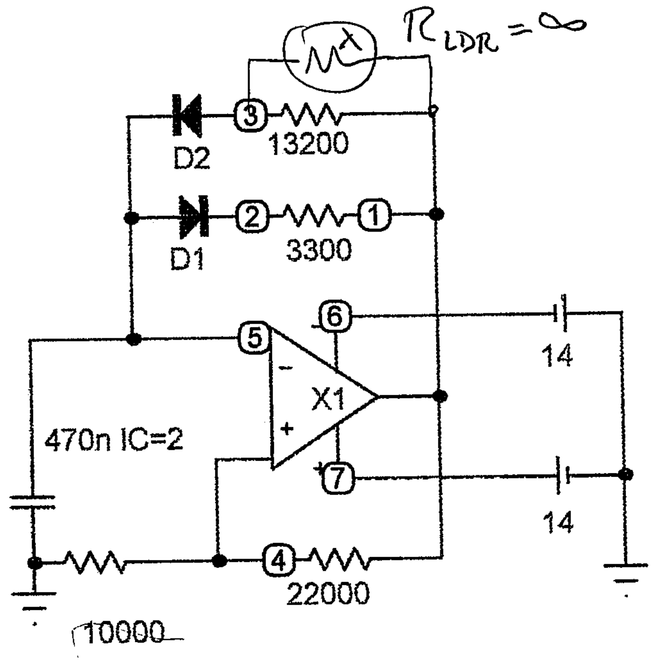
$$f_e = \frac{1}{T_e + T_1}$$

$$200 = \frac{1}{T_e + 10^{-3}} \rightarrow T_e = 4 \cdot 10^{-3}\,s$$

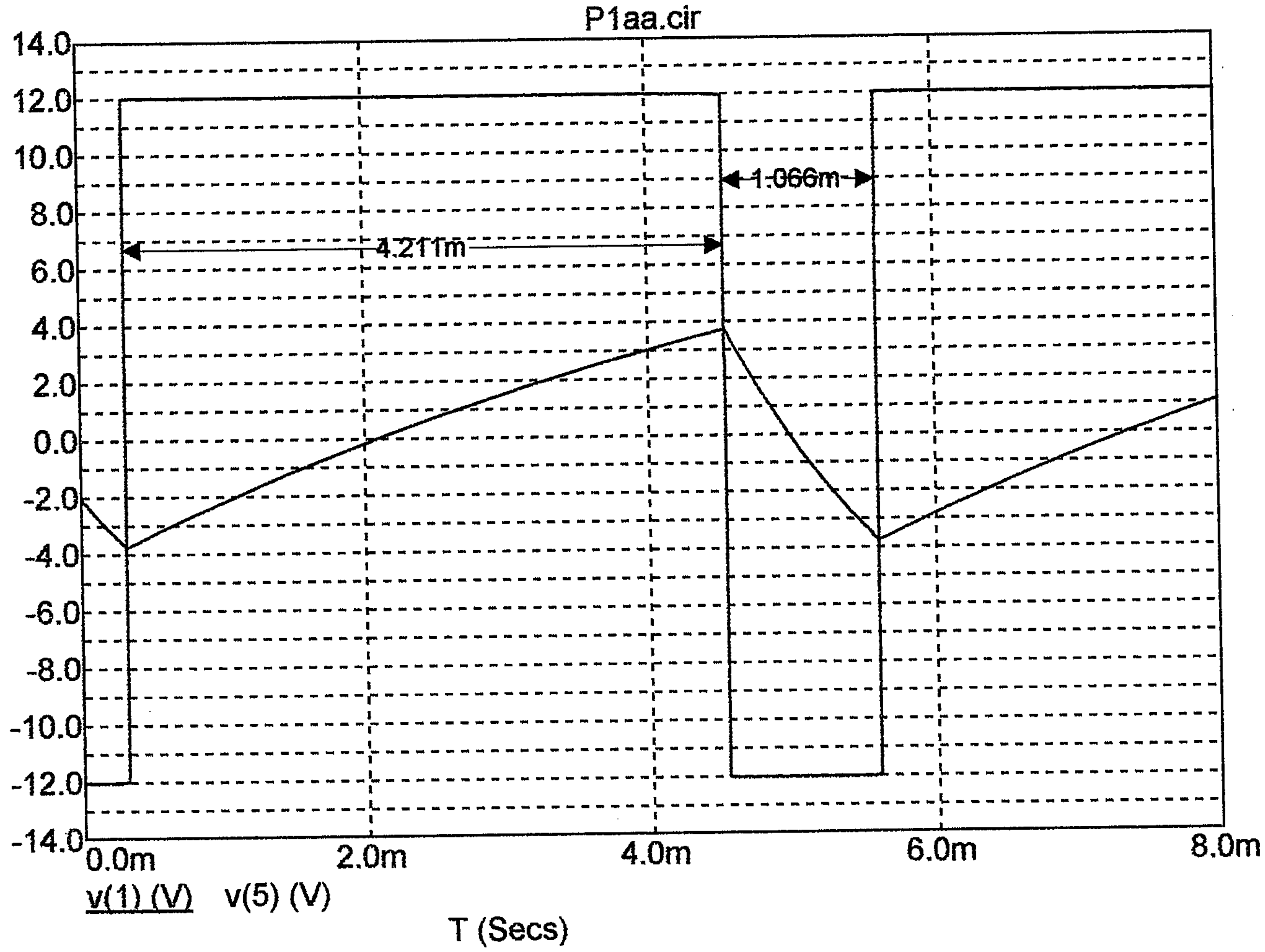
Cálculo de R_4, usando a mesma equação anterior:

$$T_e = R_4 \cdot C \ln\left(\frac{-12 - (-3{,}75)}{-12 - 3{,}75}\right)$$

Então, $R_4 = 13{,}2\,k$ //

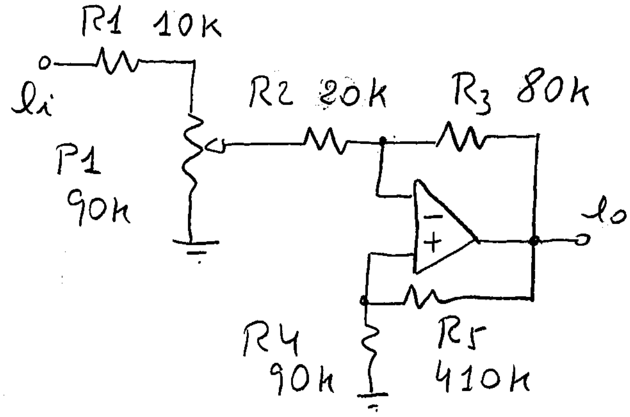


Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1aa.cir



Versão A

Calcule o máximo e o mínimo offset na saída do circuito, sabendo que $V_{io} = 5mV$ e $I_{b+} = I_{b-} = 200\,nA$. Arredonde os cálculos para 3 dígitos significativos. Documente cada passo do seu trabalho.

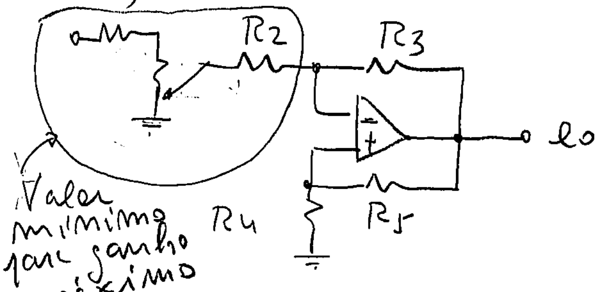


P1 2004/2

Circuito com realimentação positiva e negativa e ganho variável.

Equacionando $e_+ = e_-$:

a) Ganho máximo:



$$e_+ = e_o \frac{R_4}{R_4+R_5} = e_o \frac{90}{90+410} = 0{,}18\, e_o$$

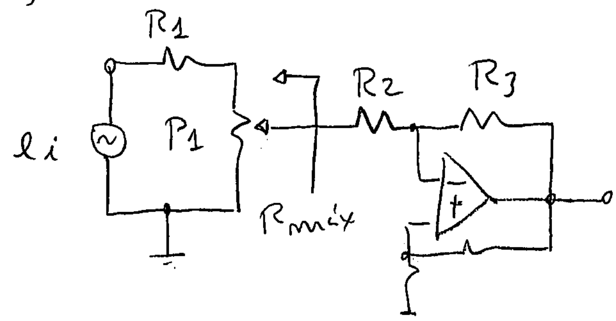
$$e_- = \frac{e_i \cdot R_3}{R_2+R_3} + \frac{e_o R_2}{R_2+R_3} = \frac{e_i 80}{100} + \frac{e_o 20}{100}$$

$$0{,}18\, e_o - \frac{2 \cdot e_o}{10} = \frac{8 \cdot e_i}{10}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -40 \;//$$

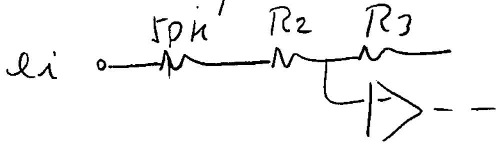
Amplificador pois realim. negat. é maior que a realim. positiva.

b) Ganho mínimo:



$$R_{máx} = \frac{R_1 + P_1}{2} = \frac{10+90}{2} = 50k$$

Circuito equivalente:



$$e_- = \frac{e_i \cdot R_3}{R_{máx}+R_2+R_3} + \frac{e_o (R_{máx}+R_2)}{R_{máx}+R_2+R_3}$$

$$e_- = \frac{e_i \cdot 80}{150} + \frac{e_o \cdot 70}{150}$$

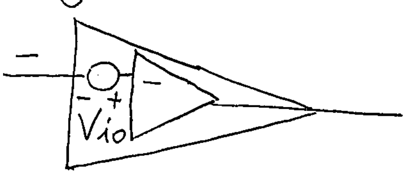
com $e_+ = e_-$:

$$0{,}18\, e_o - \frac{e_o \cdot 7}{15} = \frac{e_i \cdot 8}{15}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -1{,}86 \;//$$

continua sendo um amplif. linear.

A tensão offset de entrada aparece como uma fonte de $V_{io} = 5mV$ em série com o terminal inversor e aparece na saída multiplicada pelo ganho do circuito:



Versão A

Com ganho máximo:

$$V_{oo}\big|_{máx} = V_{io} \cdot \frac{e_o}{e_i}\Big|_{máx} = 5\,mV \cdot (-40) = -200\,mV \quad //$$

com ganho mínimo;

$$V_{oo}\big|_{min} = V_{io} \cdot \frac{e_o}{e_i}\Big|_{min} = 5\,mV\,(-1{,}86) = -9{,}3\,mV \quad //$$

As correntes de polarização causam quedas de tensão nos resistores conectados às entradas $e+$ e $e-$:

Em $e+$:

$$V_+ = I_{b+}\,(R_4 /\!/ R_5) = 200 \cdot 10^{-9}\,\frac{90 \cdot 410}{90+410} \cdot 10^3 = 14{,}8\,mV \quad //$$

Em $e-$ com ganho máximo

$$V_-\big|_{máx} = I_{b-}\,(20 /\!/ 80) = 200 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{20 \cdot 80}{20+80} \cdot 10^3 = 3{,}2\,mV \quad //$$

Em $e-$ com ganho mínimo

$$V_-\big|_{min} = I_{b-}\left[(R_{max}+R_2) /\!/ R_3\right] = 200 \cdot 10^{-9}\,\frac{(20+50) \cdot 80}{20+50+80} \cdot 10^3 = 7{,}47\,mV \quad //$$

Entre as entradas $e+$ e $e-$ fica então:

$$\Delta V_{máx} = V_+ - V_{-\,máx} = 14{,}8 - 3{,}2 = 11{,}6\,mV$$

$$\Delta V_{min} = V_+ - V_{-\,min} = 14{,}8 - 7{,}47 = 7{,}33\,mV$$

Na saída fica:

$$I_{oo}\big|_{máx} = \Delta V_{max} \cdot \frac{e_o}{e_i}\Big|_{máx} = 11{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot (-40) = -464\,mV \quad //$$

$$I_{oo}\big|_{min} = \Delta V_{min} \cdot \frac{e_o}{e_i}\Big|_{min} = 7{,}33 \cdot 10^{-3}\,(-1{,}86) = -13{,}6\,mV \quad //$$

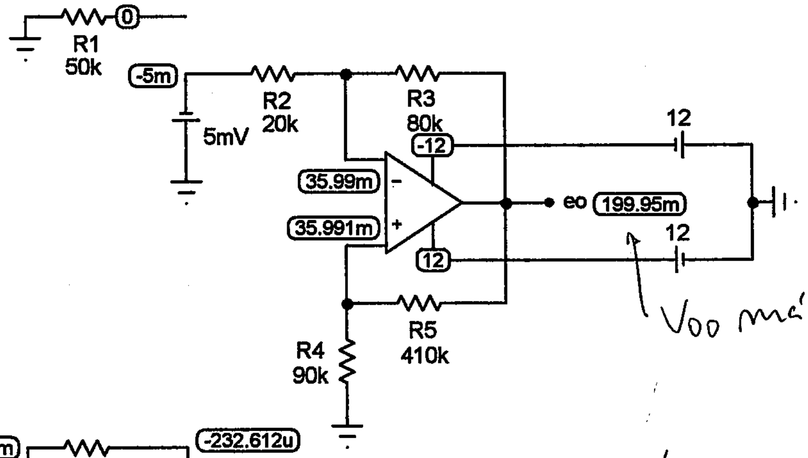
Somando os 2 tipos de offset:

$$V_{saída\ máx} = V_{oo}\big|_{máx} + I_{oo}\big|_{máx} = -200 - 464 = -664\,mV$$

$$V_{saída\ min} = V_{oo}\big|_{min} + I_{oo}\big|_{min} = -9{,}3 - 13{,}6 = -22{,}9\,mV \quad //$$

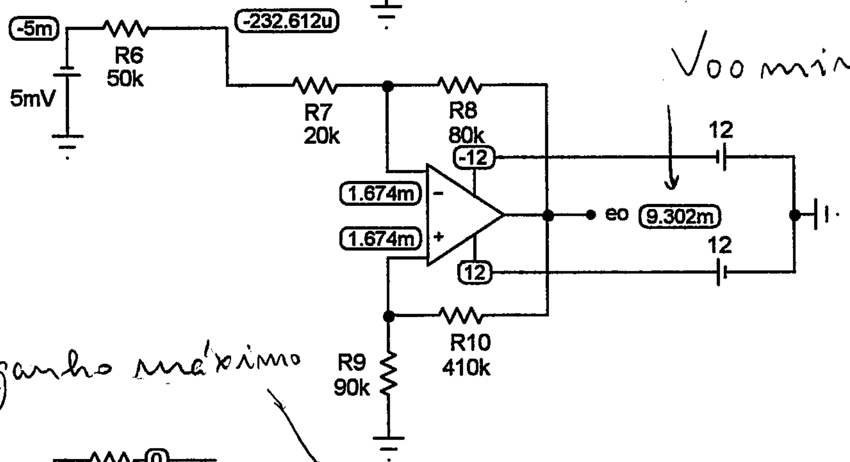
Versão A

FUNDAMENTAL 2B
P1 2004/2

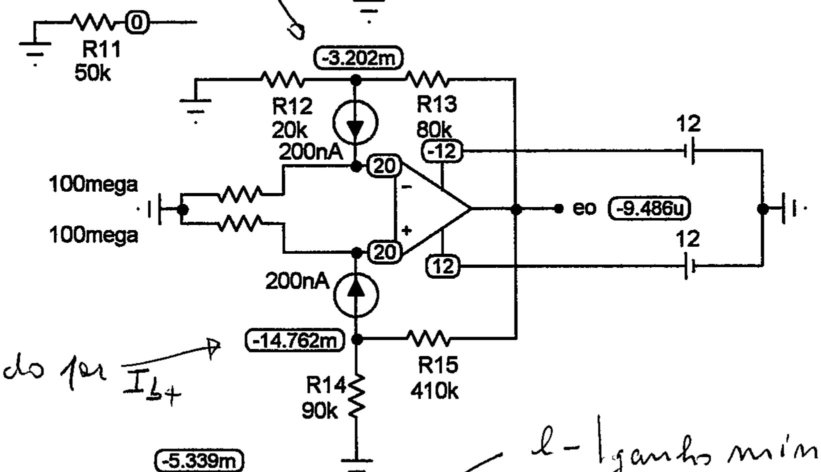


Voo máx

Voo min

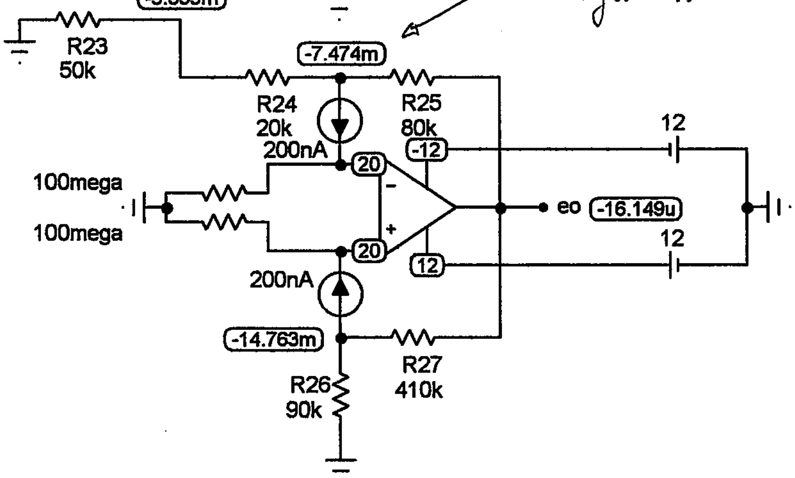


e- | ganho máximo



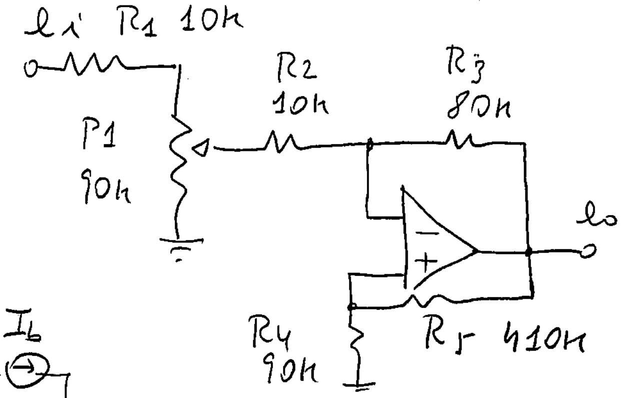
e+ causado por I_{b+}

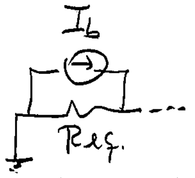
e- | ganho mínimo



Versão B

Calcule o máximo e o mínimo offset na saída, sabendo que $V_{io} = 5mV$ e $I_{b+} = I_{b-} = 200 nA$.
Arredonde os cálculos para 3 dígitos significativos.
Documente cada passo do seu trabalho. Dica: V_{io} ⏀ R_{equiv}

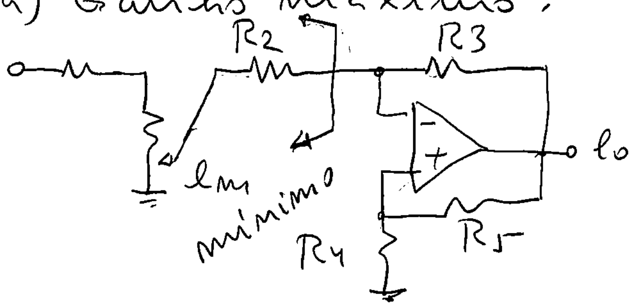




P1 2004/2

circuito com realimentação positiva e negativa.
Equacionando $e_+ = e_-$:

a) Ganho máximo:



$$e_+ = e_o \frac{R_4}{R_4+R_5} = e_o \frac{90}{90+410} = 0{,}18\, e_o$$

$$e_- = \frac{e_m \cdot R_3}{R_2+R_3} + e_o \frac{R_2}{R_2+R_3}$$

$$e_- = \frac{e_m \cdot 80}{10+80} + e_o \frac{10}{10+80}$$

Igualando:

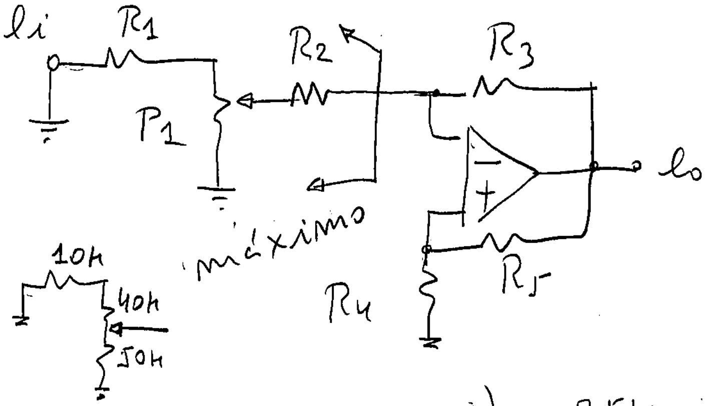
$$0{,}18\, e_o = e_m \frac{8}{9} + e_o \frac{1}{9}$$

$$\frac{e_o}{e_m} = +12{,}9$$

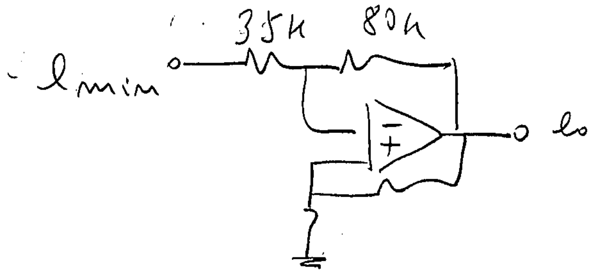
Realim. positiva é maior.
⇒ comparador.

Note: $\frac{e_m}{e_i} \cong 0$ Atenuado pelo potenciômetro

b) Ganho mínimo



$$R_{máx} = R_2 + (50 \parallel 50) = 35k$$



$$e_- = e_{min} \cdot \frac{R_3}{R_{máx}+R_3} + e_o \frac{R_{máx}}{R_{máx}+R_3}$$

$$e_- = e_{min} \cdot \frac{80}{35+80} + e_o \frac{35}{35+80}$$

Igualando:

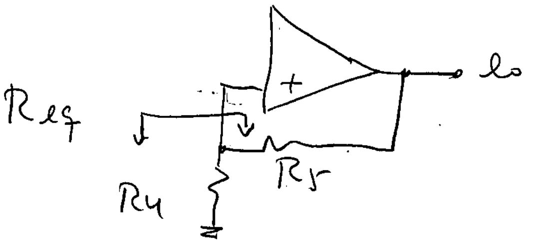
$$0{,}18\, e_o = 0{,}696\, e_{min} + 0{,}304\, e_o$$

$$\frac{e_o}{e_{min}} = -5{,}61$$

Realimentação negativa é maior
⇒ amplificador.

Versão B

Resistência equivalente da entrada não inversora:

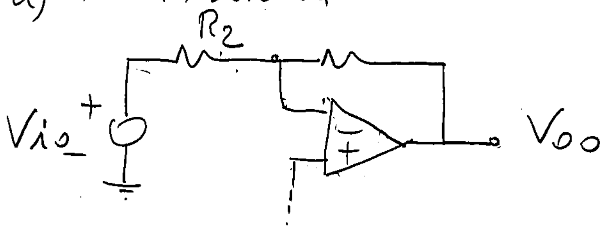


$R_{eq} = R_4 // R_5 = 90k // 410k$

$R_{eq} = 73,8k$

Cálculo da tensão offset de saída:

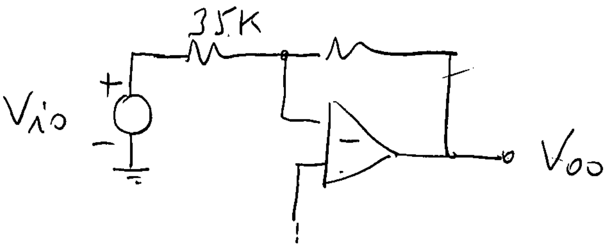
a) máxima



$V_{OO} = V_{io} \cdot \text{ganho máx}$

$V_{OO} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 12,9 = 64,5 \text{ mV}$

b) mínima

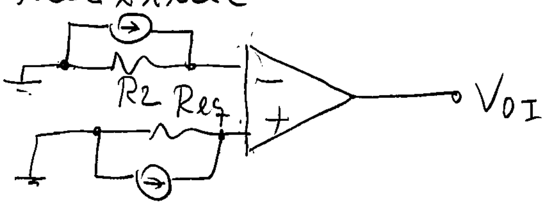


$V_{OO} = V_{io} \cdot \text{ganho min}$

$V_{OO} = 5 \cdot 10^{-3} (-5,61) = -28 \text{ mV}$

Cálculo da tensão de saída devido as correntes I_b:

a) máxima



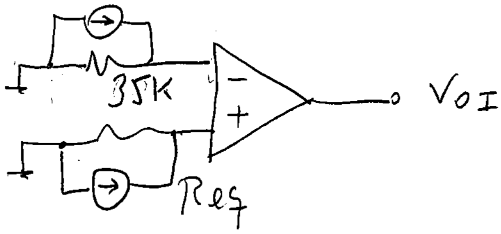
$e_- = R_2 \cdot I_b = 10k \cdot 200nA = 2mV$

$e_+ = R_{eq} \cdot I_b = 73,8k \cdot 200nA = 14,8 mV$

$V_{OI} = \text{ganho max} \cdot (e_+ - e_-)$

$V_{OI} = 12,9 (14,8 - 2) 10^{-3} = 165 \text{ mV}$

b) mínima:



$e_- = 35k \cdot I_b = 35k \cdot 200nA = 7 mV$

$e_+ = R_{eq} \cdot I_b = 14,8 \text{ mV}$

$V_{OI} = \text{ganho min} \cdot (e_+ - e_-)$

$V_{OI} = (-5,61)(14,8 - 7) = -43,8 \text{ mV}$

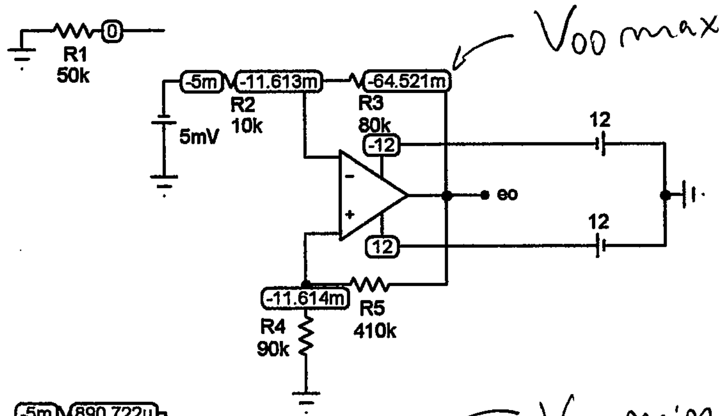
Somando os efeitos:

$V_{OO}\big|_{máx} = 64,5 + 165 = 230 \text{ mV}$

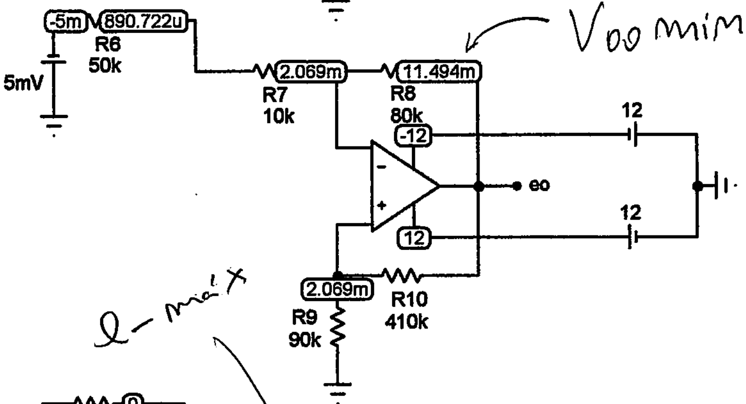
$V_{OO}\big|_{min} = (-28) + (-43,8) = -71,8 \text{ mV}$

Versão B

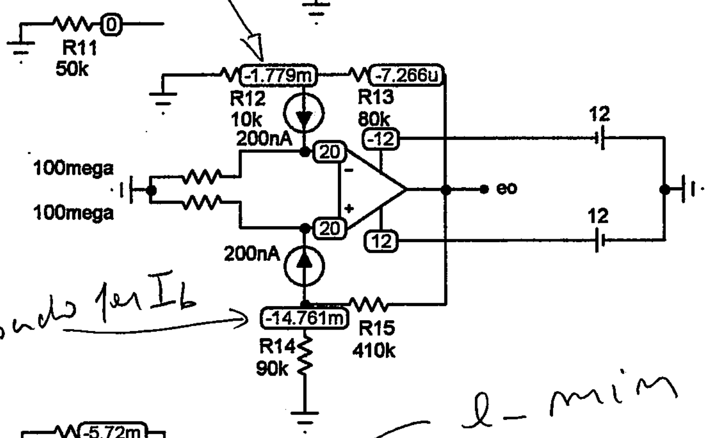
Voo max



Voo mim

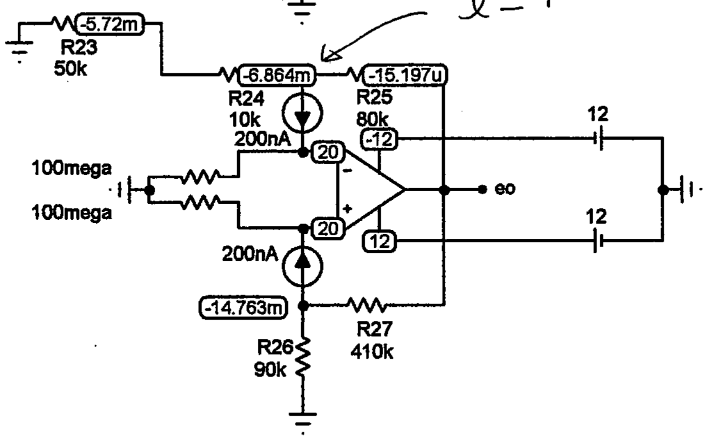


l- máx

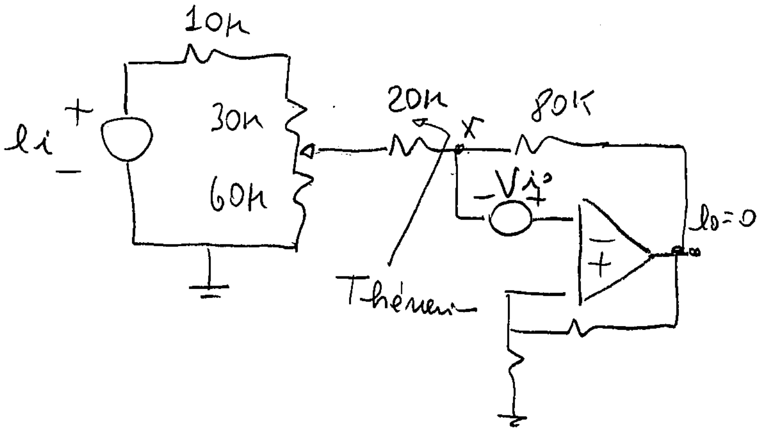


l+ causado por Ib

l- mim



Com o potenciômetro na posição solicitada:



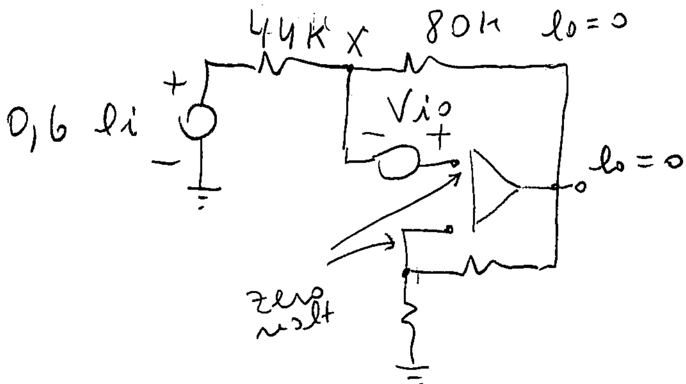
$$R_{TH} = 60 // (10+30) + 20k$$

$$R_{TH} = 24k + 20k = 44k$$

$$V_{TH} = ei \frac{60}{10+30+60}$$

$$V_{TH} = 0{,}6 \cdot ei$$

O circuito fica:



Para obter eo = 0, o ponto x deve ficar em $V_x = -V_{io}$. Então:

$$V_x = -5\,mV = 0{,}6\,ei \frac{80}{80+44k}$$

$$ei = \frac{-5\,mV}{0{,}387} \rightarrow ei = -12{,}9\,mV$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2005/1

Prova 1 24/5/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (4,5) Um motor de corrente contínua ideal é fácil de controlar:

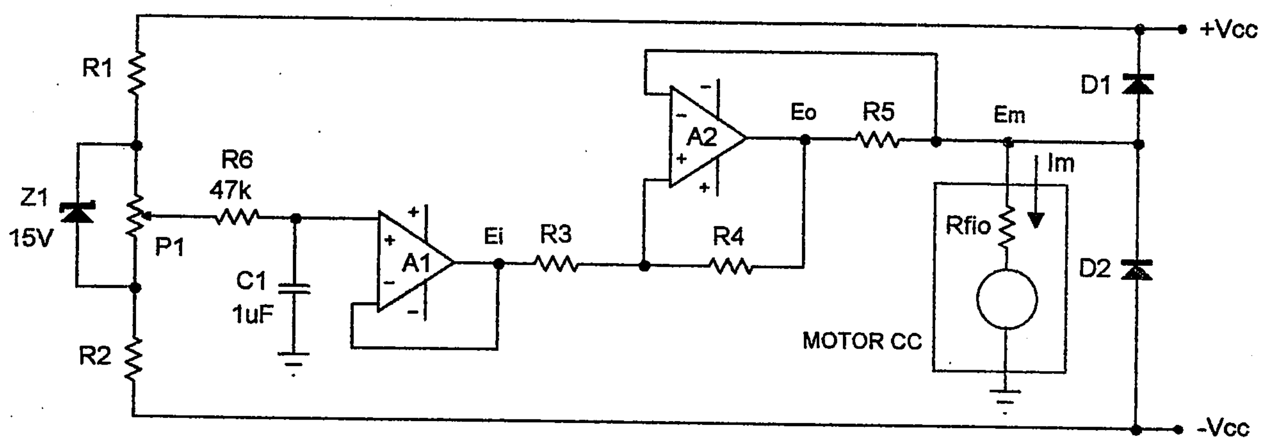
$$RPM = K \cdot V_{alimentação}.$$

No motor CC real, a resistência dos fios dos enrolamentos faz com que a tensão diminua com a corrente drenada, que é proporcional ao torque mecânico no eixo:

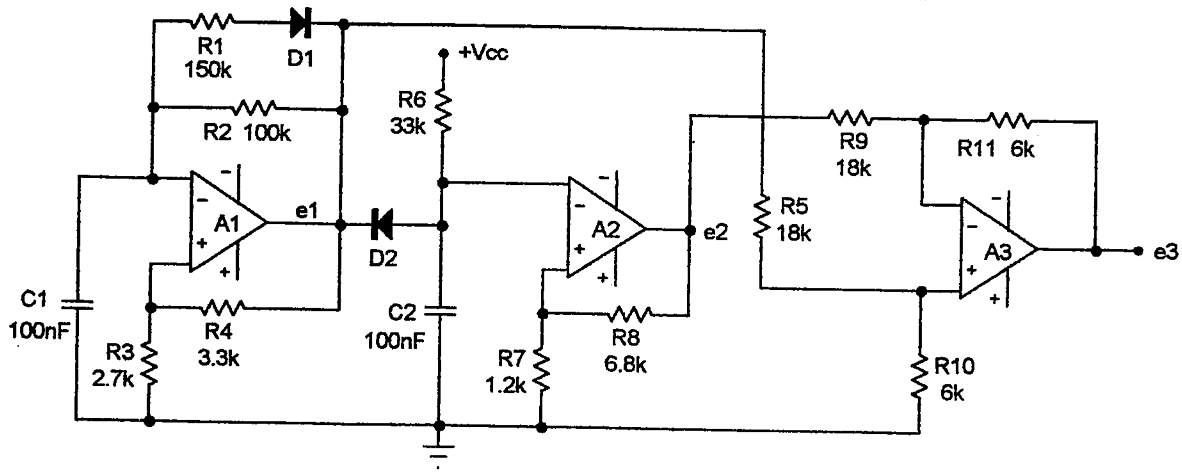
$$RPM = K \cdot (V_{alimentação} - I_{motor} \cdot R_{fio}).$$

a) Estude o circuito a seguir, b) Separe em blocos funcionais, c) Descreva o seu funcionamento, d) Equacione a tensão de saída $\cancel{e_o}$ E_m em função de e_i, I_m e resistores, e) Examine os resultados e dimensione os componentes para compensar o efeito descrito acima, f) Calcule a faixa de rotações do motor ao variar o controle.

R1 = R2 R5 = 0,4Ω R_{fio} = 1,5Ω Im = 6A, no momento K = 260. Componentes ideais.



2. (5,5) Examine o circuito a seguir e: a) Descreva o seu funcionamento, b) Separe em blocos funcionais, no próprio desenho da prova, c) Equacione cada bloco, descrevendo simultaneamente cada passo, d) Desenhe, com todos os valores, os gráficos temporais de e_1, e_2 e e_3. Componentes ideais. Arredondamento em 3 dígitos significativos. $V_{cc} = \pm$ 12V.



Um motor de corrente contínua ideal é fácil de controlar pois sua equação é:

$RPM = K \cdot V_{alimentação}$. No motor CC real, a resistência dos fios dos enrolamentos faz com que a tensão de alimentação diminua com a corrente drenada, que é função do Torque mecânico solicitado*.

Estude o circuito a seguir, equacione a tensão de saída e_o em função de e_i, I e resistores.

Examine o resultado e dimensione os componentes para compensar o efeito descrito acima. $R_5 = 0{,}4\ \Omega$

$I_m = 6$ Amperes, no momento. $R_{fio} = 1{,}5\ \Omega$.

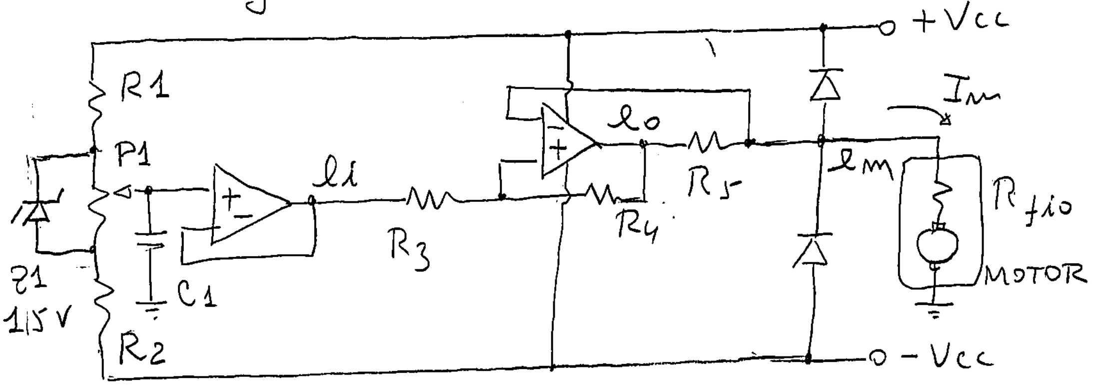
Operacional ideal de potência.

Como se comporta o circuito ao variar:

a) o torque mecânico b) a rotação selecionada.

Justifique as respostas.

* ou seja: $RPM = K\,(V_{alimentação} - I_{motor} \cdot R_{fio}$



Circuito linear: $e_+ = e_-$

$e_- = e_m$

Variável interna: eliminar

$$e_+ = \frac{e_i \cdot R_4}{R_3+R_4} + e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

Como $I_m = \dfrac{e_o - e_m}{R_5}$,

$e_o = R_5 \cdot I_m + e_m$ Subst.

$$e_m = \frac{e_i \cdot R_4}{R_3+R_4} + \frac{R_5 \cdot I_m \cdot R_3}{R_3+R_4} + \frac{e_m \cdot R_3}{R_3+R_4}$$

$$e_m \cdot \left(1 - \frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = \ ---$$

$$e_m \cdot \frac{R_4}{R_3+R_4} = \ --- \quad \text{cancelando } (R_3+R_4)$$

$$e_m \cdot R_4 = e_i R_4 + R_3 R_5 I_m$$

$$e_m = e_i + \frac{R_3 R_5 I_m}{R_4} \quad //$$

A equação mostra que se a corrente Im aumentar, eo aumenta também, de modo que é possível compensar a queda em Rfio.

Na condição atual, a queda de tensão nos fios vale:

$$V_f = I_m \cdot R_{fio} = 6 \cdot 1{,}5$$

$$V_f = 9 \text{ Volts.}$$

O circuito deve aumentar a tensão em e_o deste valor:

$$\frac{R_3 \cdot R_5 \cdot I_m}{R_4} = 9$$

$$\frac{R_3 \cdot 0{,}4 \cdot 6}{R_4} = 9$$

$$\frac{R_3}{R_4} = 3{,}75$$

Fazendo $R_4 = 10k$ //

$R_3 = 3{,}75 \cdot 10 = 37{,}5k$ //

a) Variando o torque, vai variar I_m e a queda sobre R_{fio} varia, de modo que varia a tensão do motor. Como, pela equação de e_o, o termo $\frac{R_3 R_5 I_m}{R_4}$ também varia igualmente, o circuito continua corrigindo o efeito de R_{fio}.

b) A rotação é selecionada pelo potenciômetro, que produz e_i.
O efeito é que a tensão e_o vai mudar, variando a velocidade do motor.
É provável que o torque mude mas o efeito do R_{fio} continua sendo compensado.
Conclusão → motor CC ideal.

c) $RPM = 260\,(e_m - I_m \cdot R_f)$

$$RPM = 260\left(e_i + \frac{R_3 \cdot R_5 \cdot I_m}{R_4} - I_m \cdot R_f\right)$$

$RPM = 260 \cdot e_i$ //

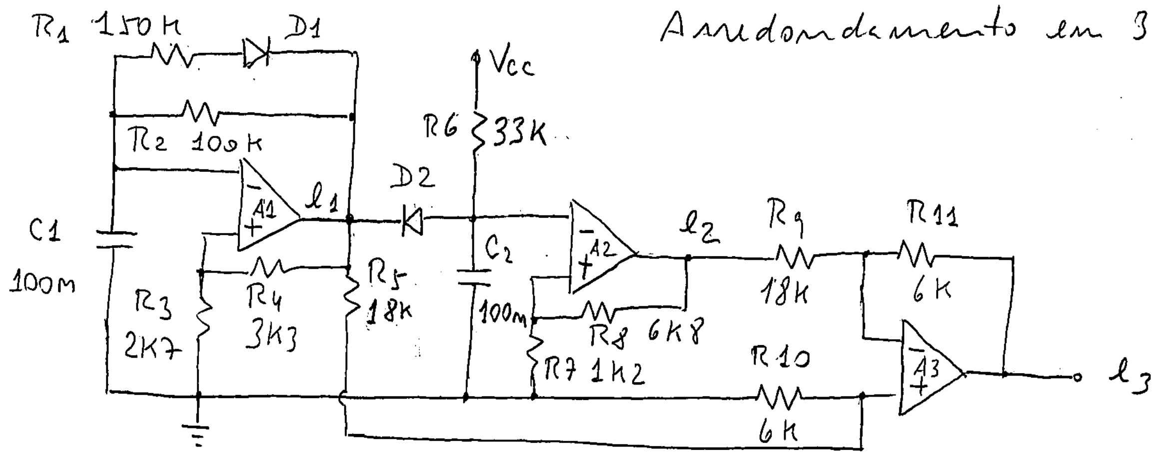
Zener 15V divide a tensão em $\pm \frac{15}{2} = \pm 7{,}5V$

$$RPM = 260 \cdot (\pm 7{,}5)$$

$$-1950 \leq RPM \leq +1950$$

sentido de rotação.

Examine o circuito procurando entender o seu funcionamento. Divida em blocos funcionais, equacione cada um e calcule o que for possível, descrevendo simultâneamente cada passo.
Desenhe, com todos os valores, os gráficos temporais de e_1, e_2 e e_3. Componentes ideais, $V_{cc} = \pm 12$ Volts
Arredondamento em 3 dígitos signific.



Bloco A1: oscilador de onda retangular.
Pontos de virada do comparador: $e+ = e-$

$$e+ = e_1 \frac{R_3}{R_3+R_4} \qquad e- = V_{c1}$$

$$V_{c1} = e_1 \frac{R_3}{R_3+R_4} \quad \text{substituindo:}$$

$$V_{c1} = \pm 12 \frac{2k7}{2k7+3k3} \rightarrow V_{c1} \begin{cases} +5{,}4 \\ -5{,}4 \end{cases}$$

Supondo $e_1 = +V_{cc}$ então $D1 = OFF$ e C_1 se carrega exponencialmente por R_2 até $5{,}4$:

$$T_1 = t_{final} = -\tau \ln\left(\frac{e_\infty - e_{final}}{e_\infty - e_{inicial}}\right)$$

$$\tau_1 = R_2 \cdot C_1 = 100k \cdot 100n \rightarrow \tau_1 = 0{,}01\,s$$

$$T_1 = -0{,}01 \ln\left(\frac{12 - 5{,}4}{12 - (-5{,}4)}\right)$$

$$T_1 = 9{,}69\ ms\ //$$

Supondo $e_1 = -V_{cc}$ então $D1 = ON$ e C_1 se descarrega por $R_1 // R_2$ até $-5{,}4$:

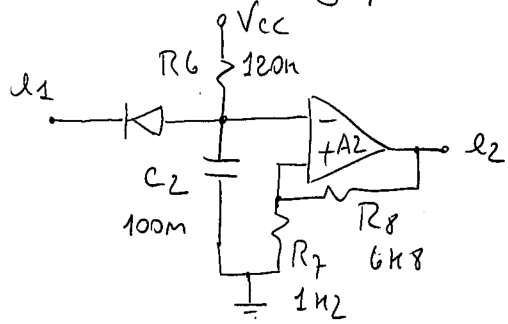
$$R_1 // R_2 = 150k // 100k = 60k$$

$$\tau_2 = 60k \cdot 100n = 0{,}006\,s$$

$$T_2 = -0{,}006 \ln\left(\frac{-12 - (-5{,}4)}{-12 - 5{,}4}\right)$$

$$T_2 = 5{,}82\ ms\ //$$

Bloco A2: Comparador inversor, com histerese e circuito de carga/descarga de C_2:



Supondo $e_1 = -V_{cc}$:
D2 = ON e C_2 passa a ter $V_{C2} = -V_{cc}$ instantaneamente, levando $e_2 \to +V_{cc}$

Supondo $e_1 = +V_{cc}$:
D2 = OFF e C_2 é carregado por V_{cc} e R_6 exponencialmente.

Pontos de virada de A2:

$$V_{C2} = e_2 \frac{R_7}{R_7+R_8}$$

$$V_{C2} = \pm 12 \frac{1k2}{1k2+6k8} \to V_{C2} \begin{cases} +1,8 \\ -1,8 \end{cases}$$

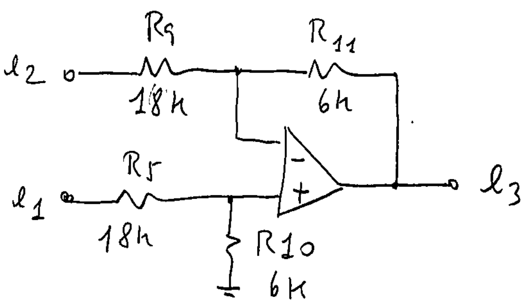
Tempo T_3 para C_2 passar de $-V_{cc}$ para $+1,8\,V$:

$$\tau_3 = R_6 \cdot C_2 = 33k \cdot 100n \to \tau_3 = 0,0033\,s$$

$$T_3 = -0,0033 \cdot \ln\left(\frac{12-1,8}{12-(-12)}\right)$$

$$T_3 = 2,82\ ms \ //$$

Bloco A3: amplif. subtrator:



Fazendo $e_+ = e_-$:

$$e_1 \frac{R_{10}}{R_5+R_{10}} = e_2 \frac{R_{11}}{R_9+R_{11}} + e_3 \frac{R_9}{R_9+R_{11}}$$

$$e_3 = \frac{R_9+R_{11}}{R_9}\left(e_1 \frac{R_{10}}{R_5+R_{10}} - e_2 \frac{R_{11}}{R_9+R_{11}}\right)$$

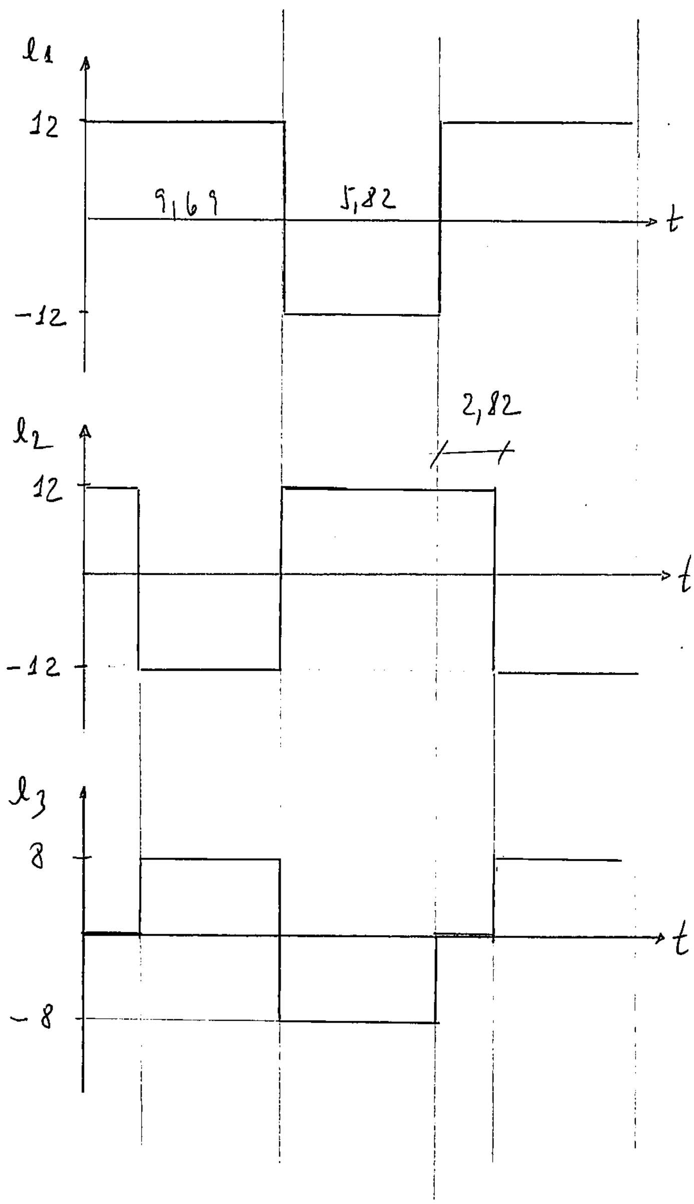
Colocando os valores:

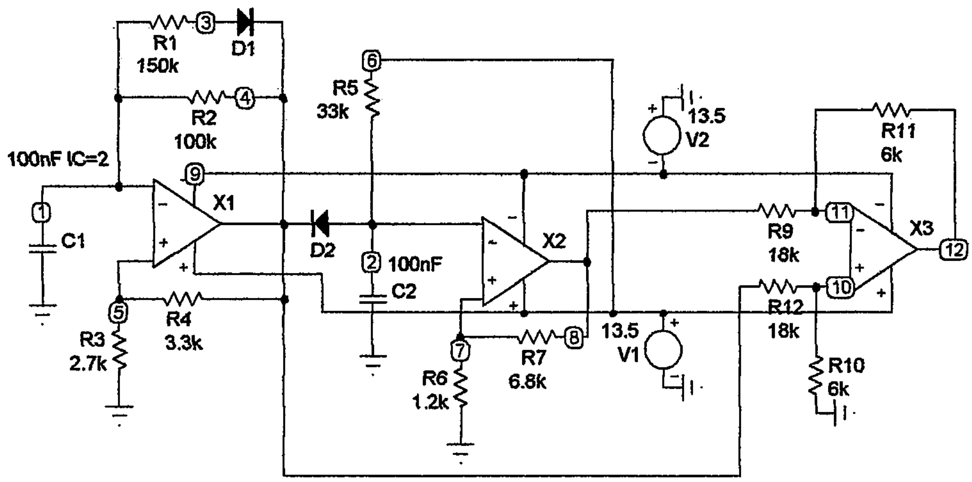
$$e_3 = \frac{\cancel{18+6}}{18}\left(e_1 \frac{6}{\cancel{18+6}} - e_2 \frac{6}{\cancel{18+6}}\right)$$

$$e_3 = \frac{6}{18}(e_1 - e_2)$$

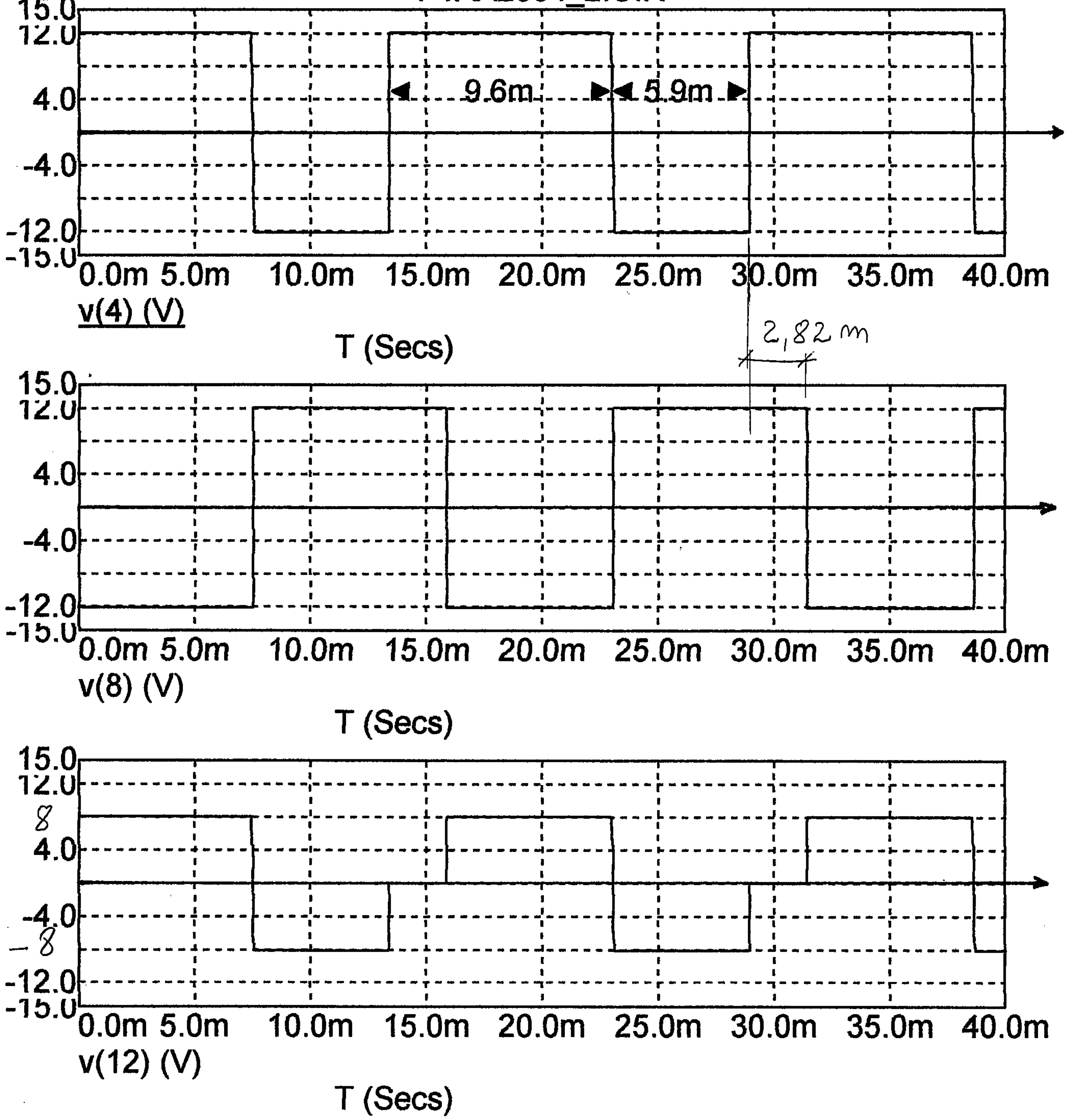
$$e_3 = \frac{1}{3}(e_1 - e_2) \ //$$

Gráficos temporais:





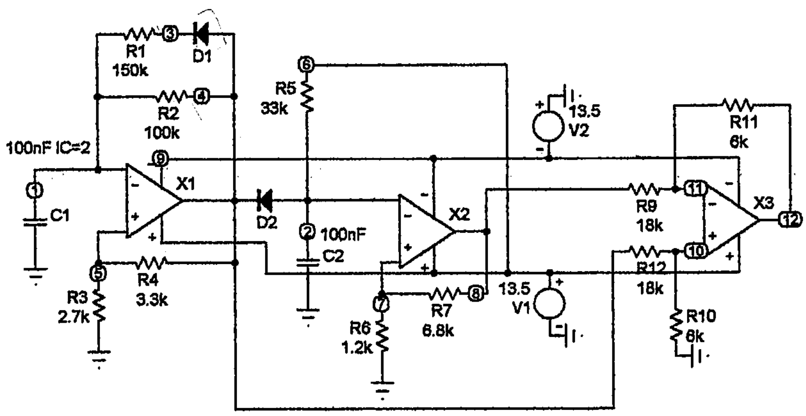
Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1AA2004_2.CIR



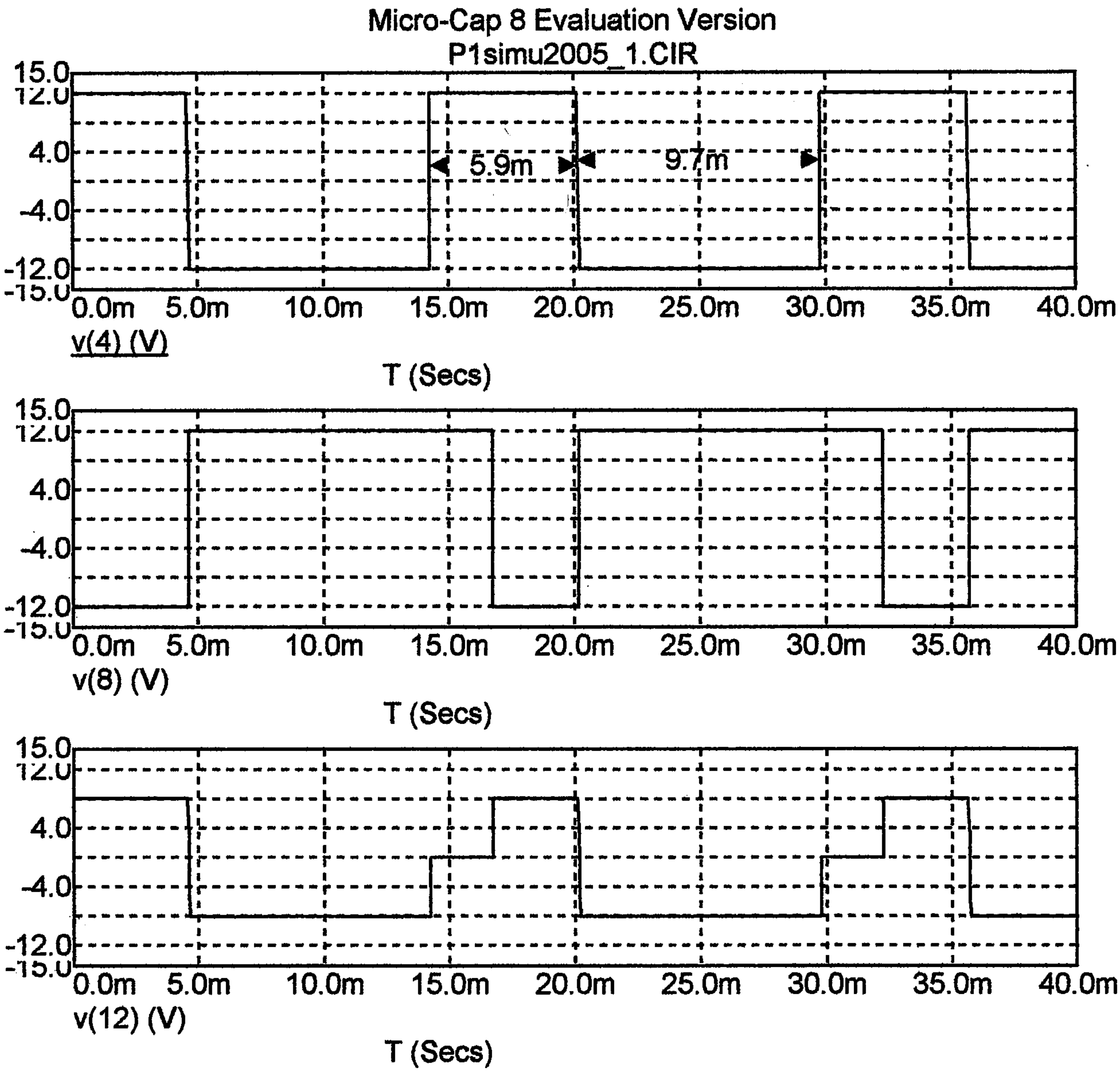
l_1

l_2

l_3



R1
150k
D1
R2
100k
R5
33k
100nF IC=2
C1
X1
D2
100nF
C2
X2
R3
2.7k
R4
3.3k
R6
1.2k
R7
6.8k
13.5
V1
13.5
V2
R9
18k
R12
18k
R10
6k
R11
6k
X3



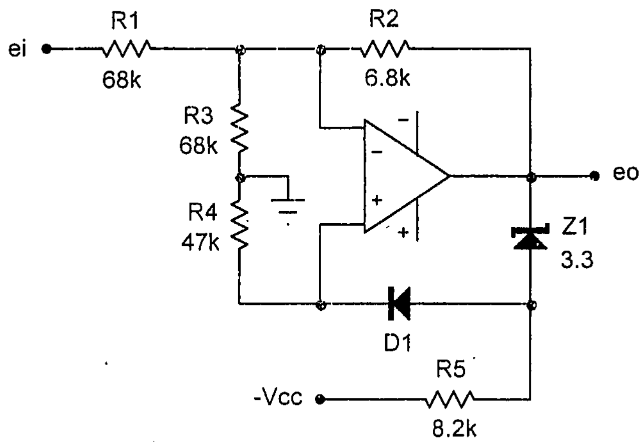
Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1simu2005_1.CIR
5.9m
9.7m
15.0
12.0
4.0
-4.0
-12.0
-15.0
0.0m
5.0m
10.0m
15.0m
20.0m
25.0m
30.0m
35.0m
40.0m
v(4) (V)
T (Secs)
v(8) (V)
T (Secs)
v(12) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2005/2

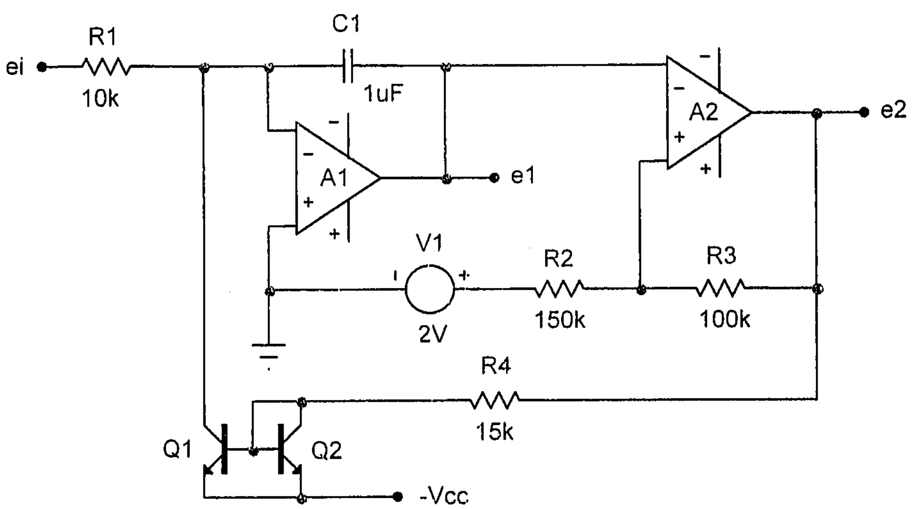
Prova 1 25/10/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ____

1. Desenhe a curva de $\mathbf{e_0}$ x $\mathbf{e_i}$ do circuito a seguir, marcando no gráfico todos os valores de interesse que foram calculados. Trabalhe de maneira organizada, documentanto extensivamente cada passo da solução com textos, e diagramas. $V_d = 0,7$ $V_Z = 3,3$ $V_{cc} = \pm 12$ Volts. Componentes ideais.



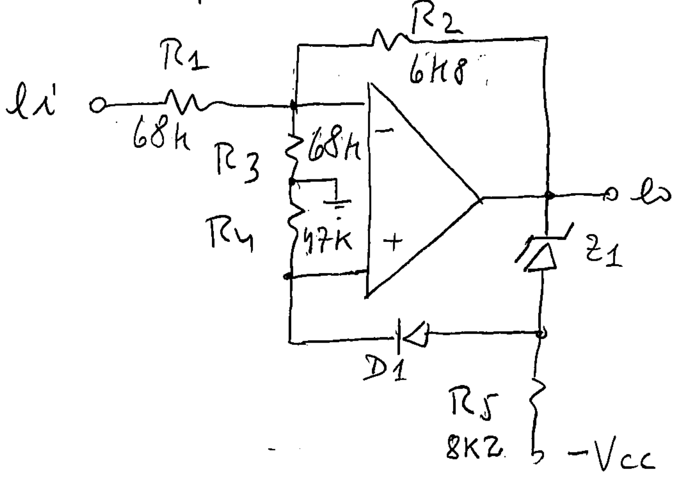
2. Estude o esquemático a seguir, divida em blocos funcionais, entenda e descreva o funcionamento global do circuito. Faça isso agora, antes de começar os cálculos. A seguir, equacione cada bloco e o conjunto, com o objetivo de desenhar os gráficos temporais de $\mathbf{e_1}$ e $\mathbf{e_2}$, onde serão colocados todos os valores numéricos calculados. Descreva cada etapa da solução com textos e diagramas. $e_i = 10$ Volts $V_{cc} = \pm 12$ Volts. Componentes ideais.



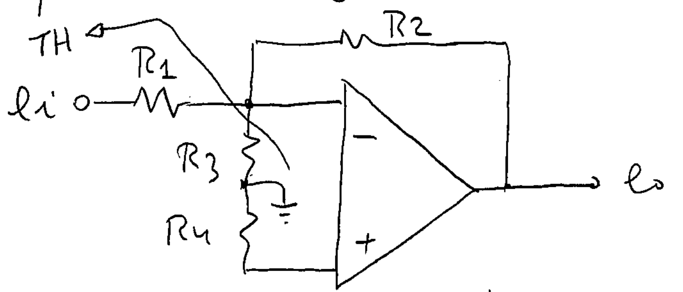
Desenhe a curva eo x ei.

$V_D = 0,7$ $V_Z = 3,3$ $V_{cc} = \pm 12V$.

Componentes ideais.



Hipótese: eo pequeno, de modo que D1 esteja cortado:

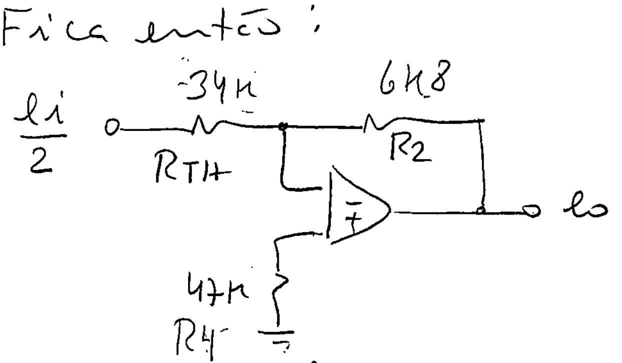


Amplificador inversor, como e− é massa virtual, não há corrente por R3.

$$R_{TH} = R_1 // R_3 = \frac{68k}{2}$$

$$V_{TH} = ei \frac{R_3}{R_1+R_3} = ei \frac{68}{68+68} = ei/2$$

Fica então:

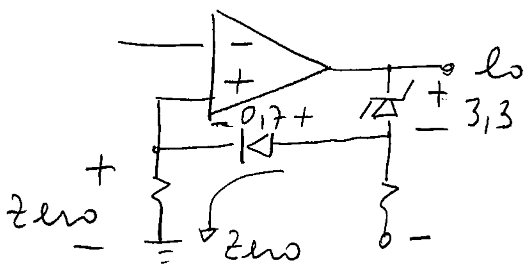


Fazendo $e_+ = e_-$:

$$\frac{ei}{2}\,\frac{6,8}{34+6,8} + eo\,\frac{34}{34+6,8} = 0$$

$$\frac{eo}{ei} = -0,1 \;//$$

Hipótese: $eo = V_{Z1} + V_{D1} = 4V$, de modo que D1 comece a conduzir uma corrente zero, inicialmente:



Existe realimentação positiva e o circuito passa a ser um comparador.

Como $eo = 4$ Volts então

$$ei = \frac{-eo}{0,1} = -40 \text{ Volts} \;//$$

Rapidamente, $eo \to V_{cc} = +12V$, então:

$$e_+ = V_{cc} - V_{Z1} - V_{D1} = 12 - 3,3 - 0,7 = 8V \;//$$

Para virar o comparador precisa ei positivo e o ponto de virada é:

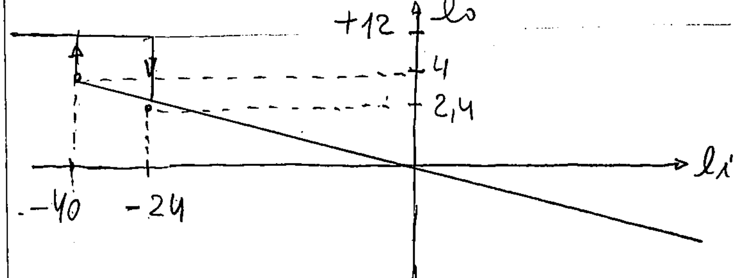
$$e_+ = e_- = 8$$

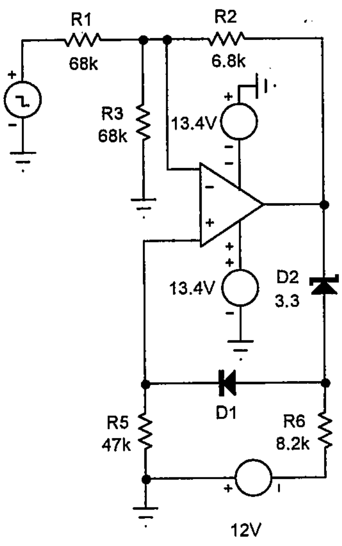
$$e_- = \frac{\frac{ei}{2}\cdot R_2}{R_{TH}+R_2} + eo\,\frac{R_{TH}}{R_{TH}+R_2}$$

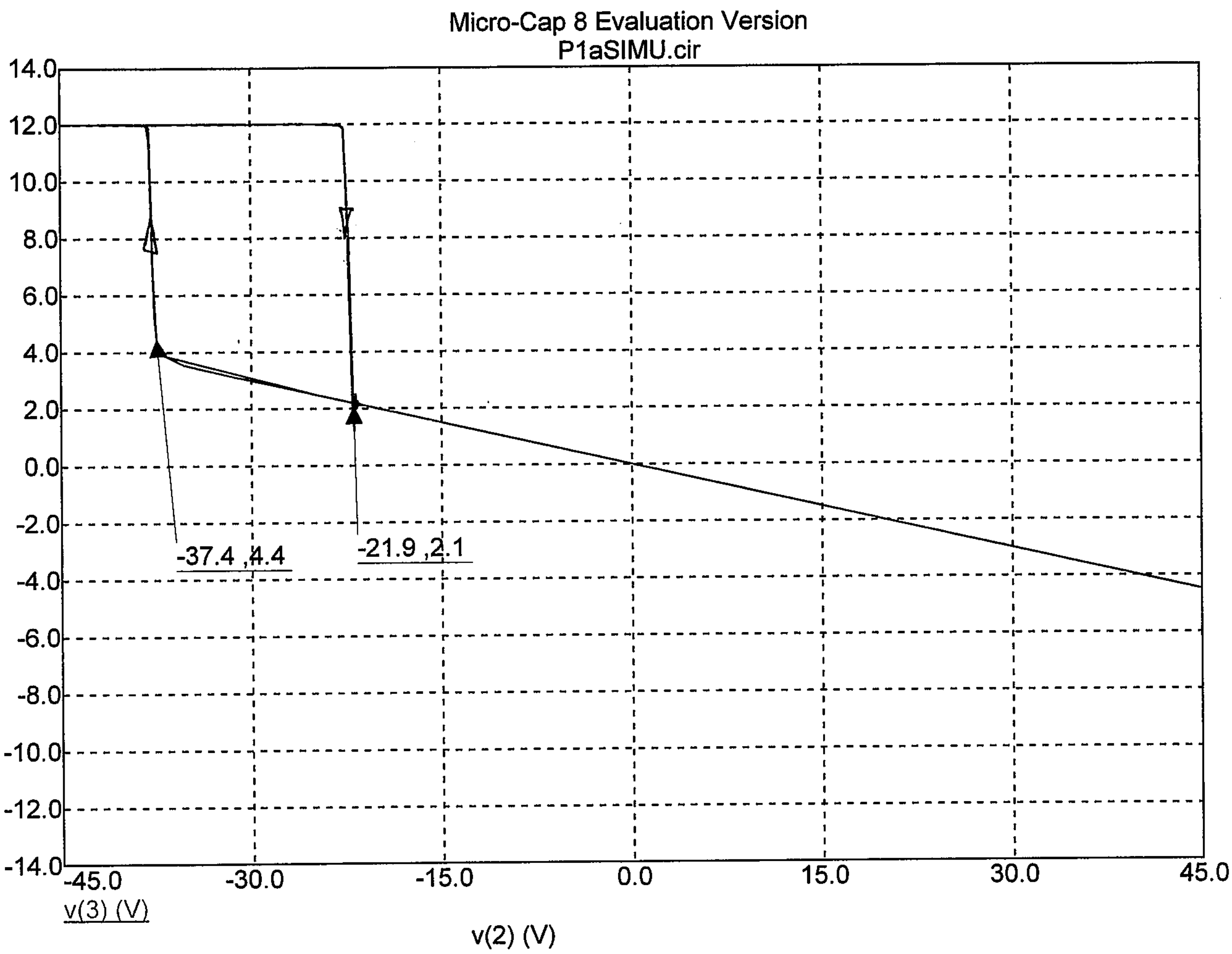
$$8 = \frac{\frac{ei}{2}\cdot 6,8}{34+6,8} + \frac{12\cdot 34}{34+6,8}$$

Então $ei = -24$ Volts //

Daí, $eo = -0,1(-24) = +2,4$ //



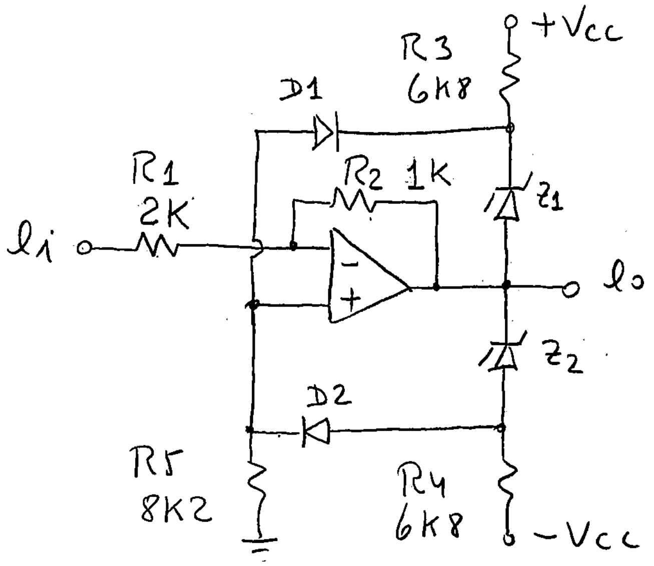

R1
68k
R2
6.8k
R3
68k
13.4V
13.4V
D2
3.3
D1
R5
47k
R6
8.2k
12V


Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1aSIMU.cir
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
-14.0
-45.0
-30.0
-15.0
0.0
15.0
30.0
45.0
-37.4 ,4.4
-21.9 ,2.1
v(3) (V)
v(2) (V)

Desenhe a curva $e_i \times e_o$.
componentes ideais.

$V_D = 0,7V \quad V_Z = 5,3\ V$

$V_{cc} = \pm 16$ Volts



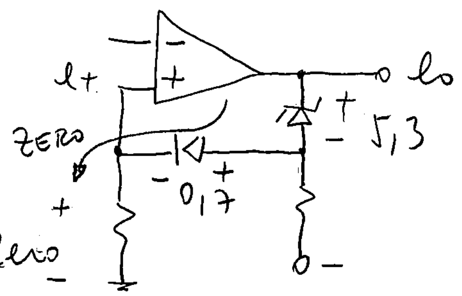
H 95/1

Hipótese: e_o pequeno, de modo que D1 e D2 estejam cortados.
Não há realim. positiva.
Circuito é um amplificador inversor:

$$e_o = -e_i \frac{R_2}{R_1}$$

$$e_o = -\frac{e_i}{2} \quad //$$

Hipótese: $e_o = V_{Z2} + V_{D2} = 6$ de modo que D2 comece a conduzir uma corrente zero, inicialmente:



Existe então realimentação positiva e o circuito passa a ser um comparador.

Como $e_o = 6$ então:

$$e_i = -2 \cdot 6 \rightarrow e_i = -12 \quad //$$

Rapidamente $e_o \rightarrow +16$ Volts

então $e_+ = V_{cc} - V_{Z2} - V_{D2}$

$$e_+ = 16 - 5,3 - 0,7 = 10V \quad //$$

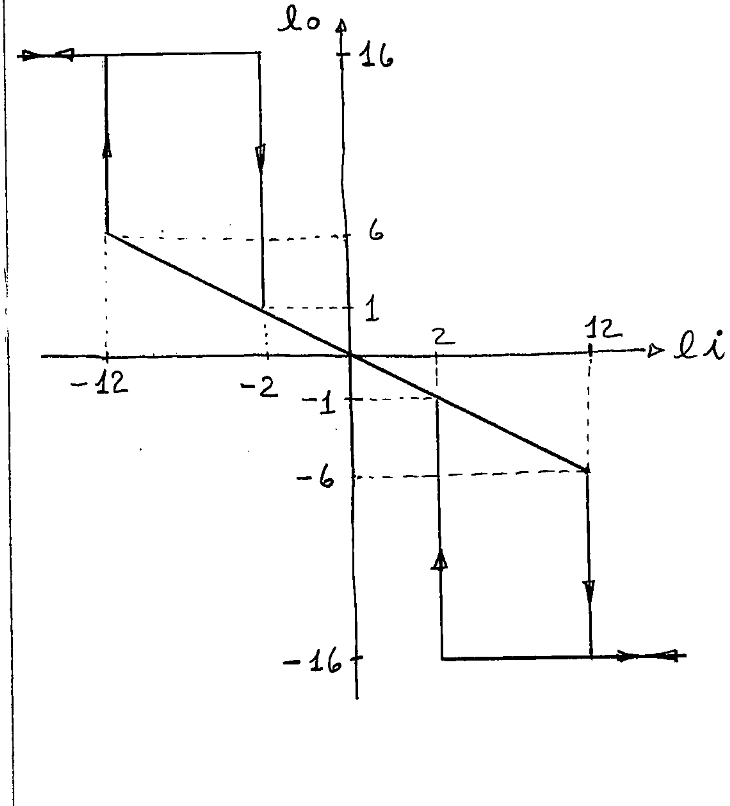
Para virar o comparador, $e_i \rightarrow$ positivo. Ponto de virada em $e_+ = 10 = e_-$:

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{e_o \cdot R_1}{R_1+R_2}$$

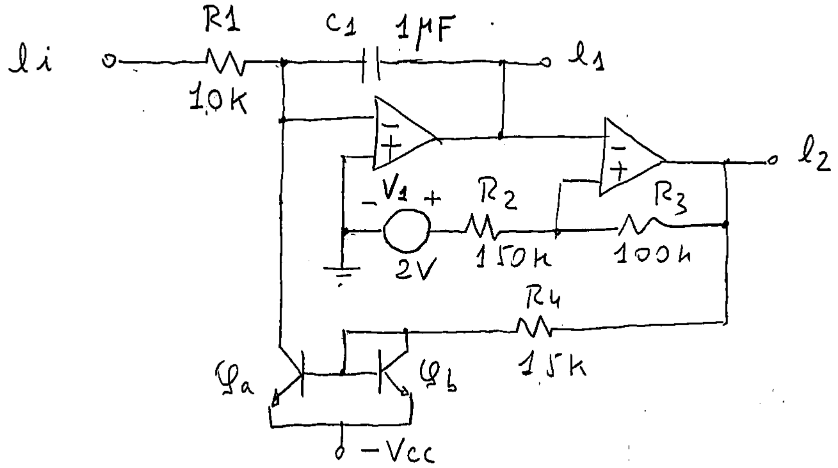
$$10 = \frac{e_i \cdot 1}{1+2} + \frac{16 \cdot 2}{1+2} \rightarrow e_i = -2 \quad //$$

logo $e_o = -\frac{-2}{2} = +1 \quad //$

Circuito é simétrico.

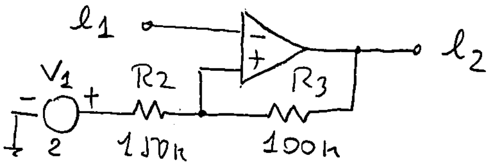


Divida o circuito em blocos funcionais, entenda e descreva o funcionamento global do circuito. Equacione e calcule os valores de cada bloco com o objetivo de desenhar os gráficos de e_1 e e_2 ao longo do tempo, com todos os valores numéricos calculados. Descreva cada etapa de solução. Componentes ideais. $e_i = 10$ Volts. Alimentação ± 12 Volts.



P1 2005/2

Comparador inversor com histerese e referência:



Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = V_1 \frac{R_3}{R_2+R_3} + e_2 \frac{R_2}{R_2+R_3}$$

$$e_- = e_1$$

Igualando:

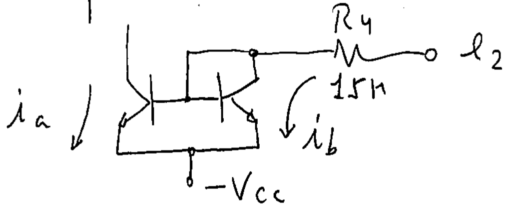
$$e_1 = \frac{V_1 \cdot R_3 + e_2 \cdot R_2}{R_2 + R_3}$$

com $e_2 = \pm Vcc$ vem:

$$e_1 = \frac{2 \cdot 100k \pm 12 \cdot 150k}{150k + 100k}$$

$$e_1 = \begin{cases} 8\text{ V} \\ -6{,}4\text{ V} \end{cases}$$

Espelho de corrente:



Transistor saturado: Base ligada ao Coletor.

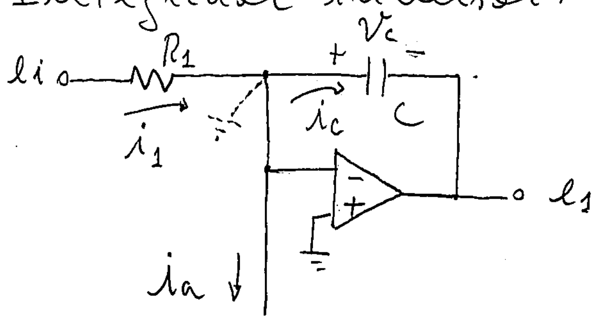
Supondo $e_2 = +Vcc$ então

$$i_b = i_a = \frac{e_2 - (-Vcc)}{R_4} = \frac{12-(-12)}{15k} = 1{,}6\text{ mA}$$

Supondo $e_2 = -Vcc$ então

$i_b = i_a =$ zero.

Integrador inversor:



$$e_1 = -V_c$$

$$i_C = C\,\frac{dv_c}{dt}$$

$$V_c = \int \frac{i_c}{C}\cdot dt$$

KVL: $-i_1 + i_a + i_c = 0$

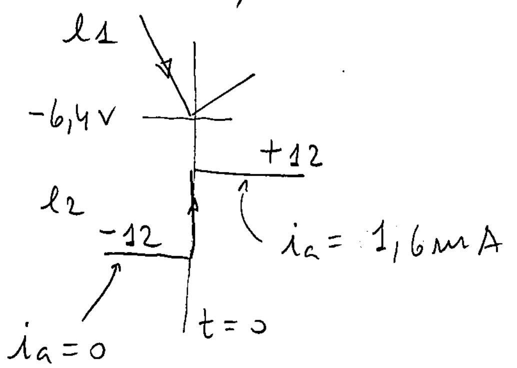
$$v_c = \frac{1}{C}\int (i_1 - i_a)\,dt$$

$$e_1 = -\frac{1}{C}\int\left(\frac{e_i}{R_1} - i_a\right)dt$$

devido à massa virtual

Funcionamento, supondo que $e_2 = -V_{cc}$ logo $i_b = i_a = 0$: Aplicando $e_i = 10V$, a saída e_1 diminui linearmente até o limite de $-6,4$ do comparador. e_2 vai para $+V_{cc}$ e a corrente i_a descarrega o capacitor $\Rightarrow$ e_1 aumenta até alcançar $8V$, quando o comparador vira para $-V_{cc}$. É um oscilador.

Condição inicial:



$$e_1 = -\frac{1}{10^{-6}}\int\left(\frac{10}{10k} - 1{,}6\right)dt$$

$$e_1 = 600\int dt$$

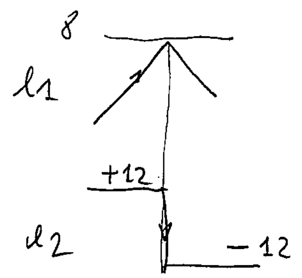
$$\underset{\text{final}}{e_1} = 600 \cdot T_1 + \underset{\text{inicial}}{e_1(t=0)}$$

Partindo de $e_1 = -6,4$ para alcançar 8 Volts:

$$8 = 600 \cdot T_1 + (-6,4)$$

$$T_1 = 24\ ms\ //$$

Fica então:



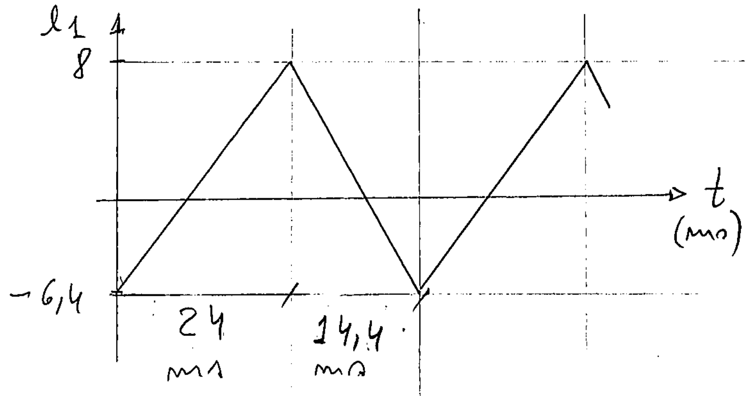
Agora o espelho de corrente está inoperante: $i_a = 0$

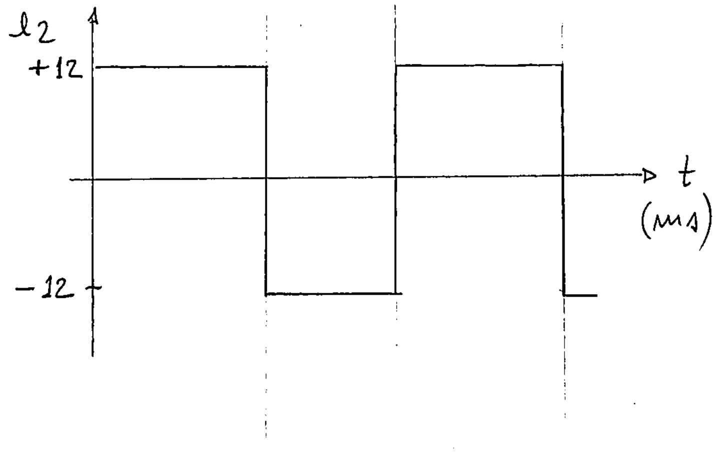
$$e_1 = -\frac{1}{10^{-6}}\int\frac{10}{10k}\,dt$$

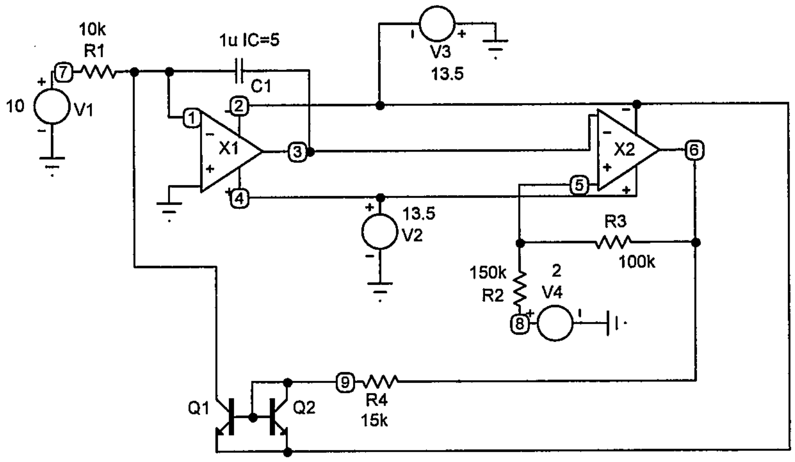
$$e_1 = -1000 \cdot T_2 + e_1(t=0)$$

$$\underset{\text{final}}{-6,4} = -1000 \cdot T_2 + \underset{\text{inicial}}{8}$$

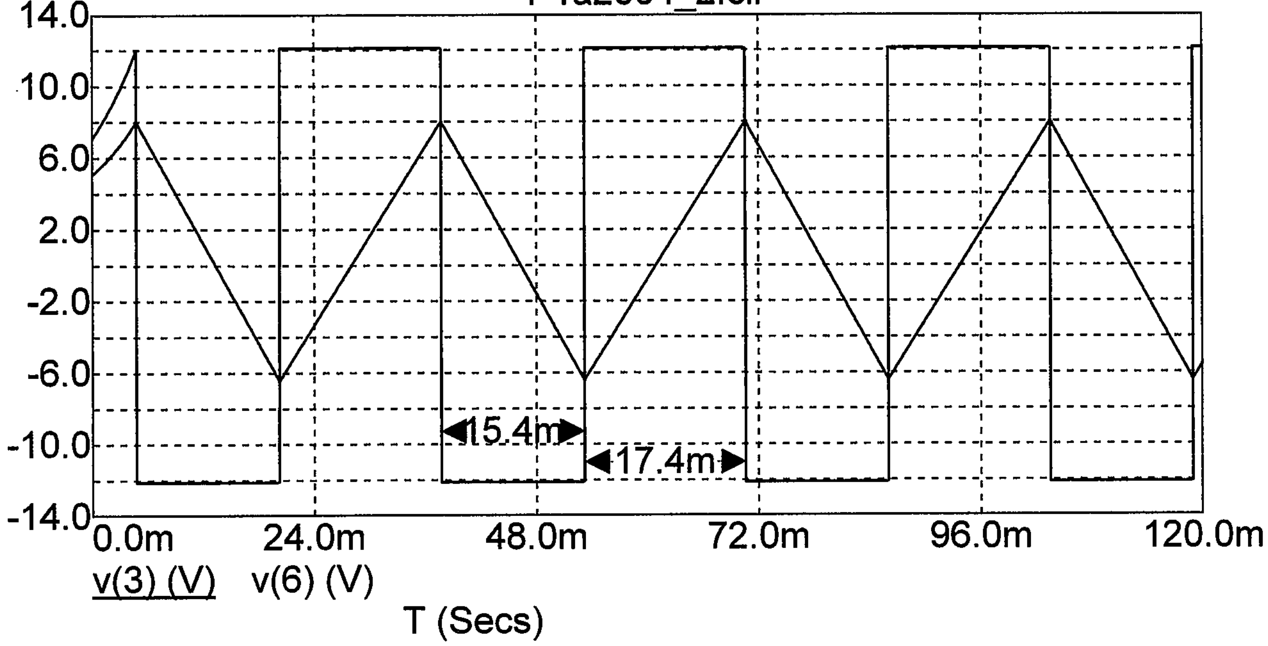
$$T_2 = 14,4\ ms\ //$$

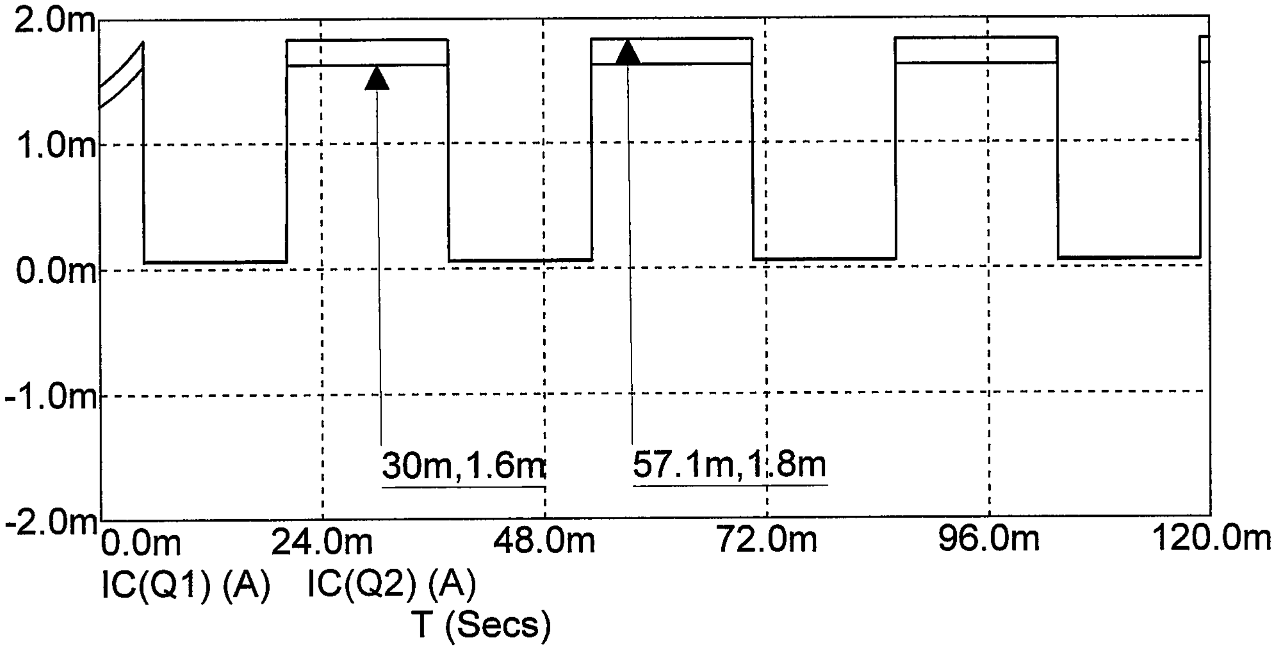






Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1a2004_2.cir



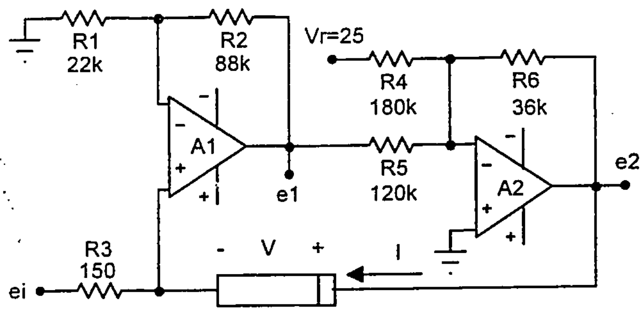


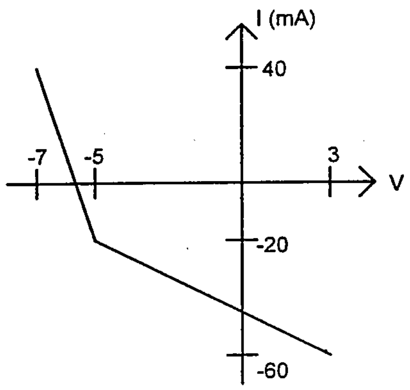
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2006/1

Prova 1 16/5/2006

Nome: GABARITO **Turma:** ______

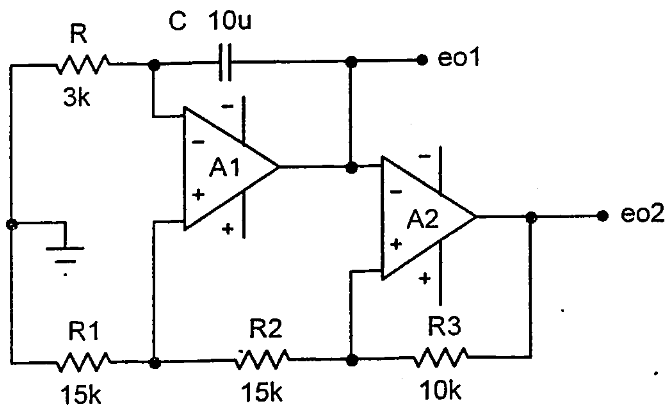
1. O circuito linear a seguir utiliza um elemento X, descrito pela sua curva característica V x I. Divida o circuito em blocos e equacione cada um, de modo a obter o gráfico de $\mathbf{e_2}$ x $\mathbf{e_i}$. Para isso é necessário descrever e_2 e e_i em termos de V, I e demais componentes e então completar a tabela e plotar o resultado. Equacione corretamente cada bloco, descrevendo em detalhes cada etapa para então encontrar relacionamentos que levem às equações desejadas de e_2 e e_i. Coloque os valores numéricos depois de equacionar cada etapa.



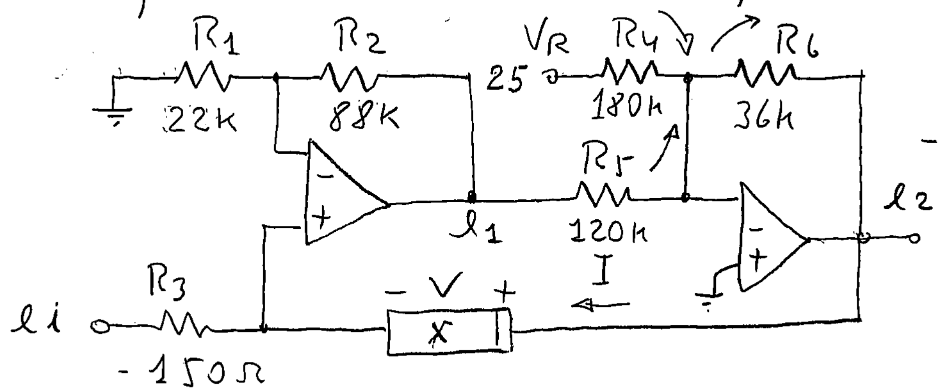


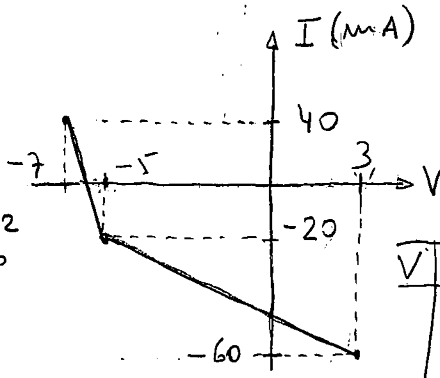
V	I	ei	e2

2. Examine o circuito a seguir, divida em blocos funcionais e descreva cada um como for possível. Calcule as tensões $\mathbf{e_{o1}(t)}$ e $\mathbf{e_{o2}(t)}$, descrevendo cuidadosamente cada etapa com textos, equações e diagramas. Com os dados obtidos, desenhe os gráficos respectivos, colocando valores em todos os pontos de interesse. Componentes ideais, $V_{cc} = \pm 112V$.
Dicas: A tensão sobre um capacitor não pode mudar instantaneamente, a menos que a corrente aplicada seja infinita. $V_{final} = V_{inicial} + i_c(t) \cdot t / C$.



O circuito linear a seguir utiliza um elemento X, descrito pela sua curva característica V×I. Divida o circuito em blocos, classifique a função de cada um, simplifique o que for possível e então equacione de modo a obter o gráfico de $e_2 \times e_i$. Para isso é necessário descrever e_i e e_2 em termos de V e I e demais componentes, e então completar a tabela e plotar os resultados. Equacione corretamente cada bloco descrevendo cada etapa para então encontrar relacionamentos que levem às equações desejadas de e_i e e_2. Coloque os valores numéricos depois de equacionar cada etapa.





V	I	ei	e2

Bloco e_1: tem dua realim. mas foi dito linear.

$$e_- = e_1 \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_1 \frac{22}{22+88}$$

$e_- = 0{,}2 \cdot e_1$ //

$e_+ = ?$ Vale: $e_+ = e_-$

Bloco e_2: Somador inv. Devido a massa virtual: Somando as correntes em e_-:

$$-\frac{V_R - 0}{R_4} - \frac{e_1 - 0}{R_5} + \frac{0 - e_2}{R_6} = 0$$

$$e_2 = -V_R \frac{R_6}{R_4} - e_1 \frac{R_6}{R_5}$$

colocando os valores:

$$e_2 = -25 \cdot \frac{36}{180} - e_1 \frac{36}{120}$$

$e_2 = -5 - 0{,}3 \cdot e_1$ // (1)

Mas e_1 é uma variável interna e precisa ser representada em termos de e_i e e_2...

Fazendo relacionamentos tipo KVL e KCL ...

Fazendo um KVL com o elemento X:

$e_2 = V + e_+$ como $e_+ = e_-$:

$$e_2 = V + 0{,}2 \cdot e_1 \quad (2)$$

Mas e_1 é uma variável interna e precisa ser representada em termos de e_i e e_2.

Isolando e_1: $\quad e_1 = \frac{e_2 - V}{0{,}2}$

$$e_1 = 5 \cdot (e_2 - V) \quad (3)$$

Levando em (1):

$$e_2 = -5 - 0{,}3 \cdot 5\,(e_2 - V)$$

$$e_2 = -5 - 1{,}5\, e_2 + 1{,}5 \cdot V$$

$$2{,}5\, e_2 = -5 + 1{,}5 \cdot V$$

$$\rightarrow \quad e_2 = -2 + 0{,}6 \cdot V \quad //$$

Precisamos agora uma equação com e_i e I:

Temos: $\quad I = \dfrac{e_+ - e_i}{R_3}$

Como $e_+ = e_- = 0{,}2 \cdot e_1$

$$I = \frac{0{,}2 \cdot e_1 - e_i}{R_3}$$

Substituindo a variável interna e_1 por (3):

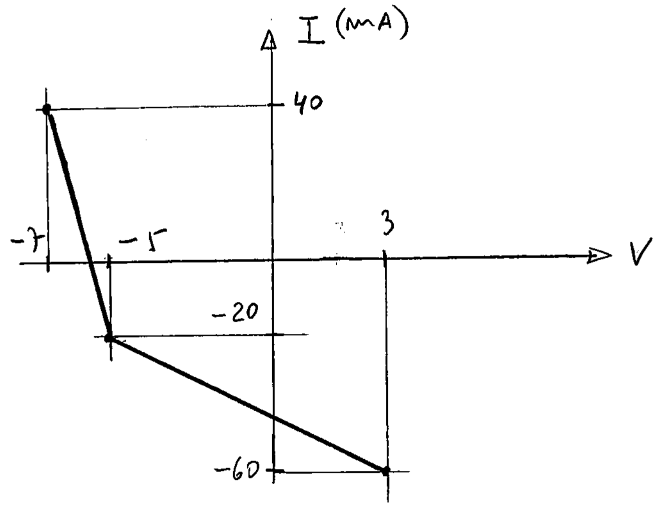
$$I = \frac{0{,}2 \cdot 5\,(e_2 - V) - e_i}{R_3}$$

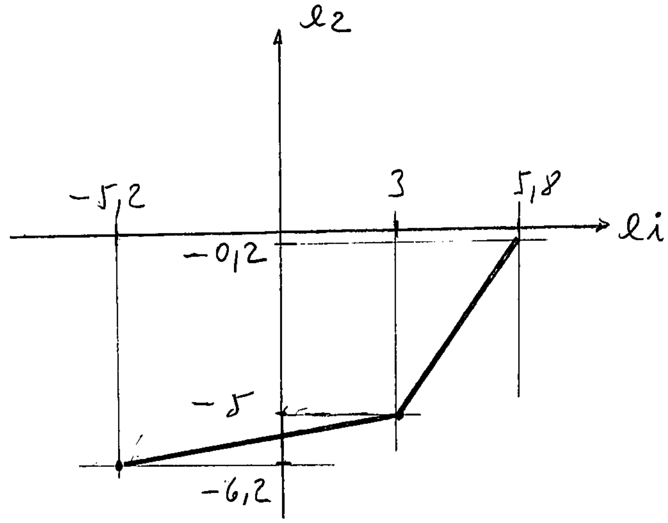
Isolando e_i:

$$e_i = e_2 - V - 150\, I \quad // \quad \leftarrow$$

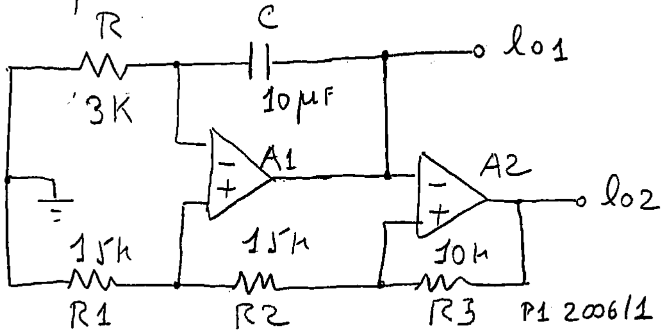
Montando a tabela:

V	I (mA)	e_2	e_i
-7	40	$-6{,}2$	$-5{,}2$
-5	-20	-5	3
3	-60	$-0{,}2$	$5{,}8$

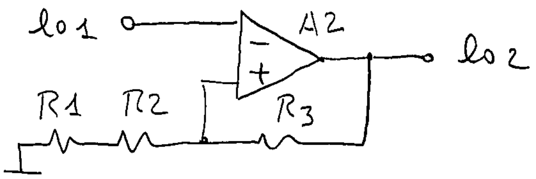




Determine as tensões $e_{o1}(t)$ e $e_{o2}(t)$, marcando todos os pontos de interesse ao plotar o gráfico.
Componentes ideais. $V_{cc} = \pm 12V$



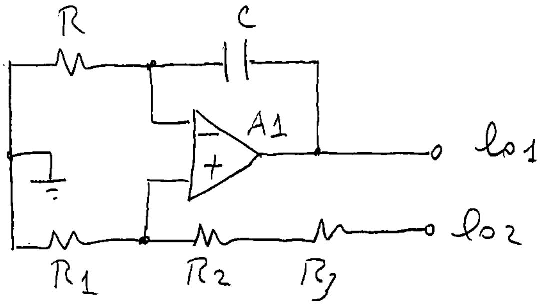
Examinando o circuito:
A1 — Parecido com integrador
A2 — Comparador com histerese.
Dividindo em blocos:



Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

$$e_{o2} \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = e_{o1}$$

$$e_{o1} = \pm 12 \frac{15 + 15}{15 + 15 + 10} = \pm 9 \text{ Volts}$$



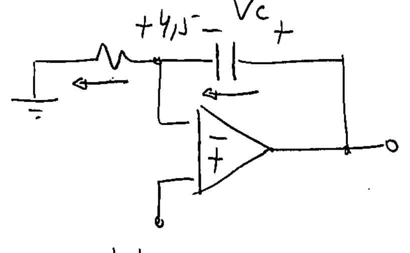
$$e_+ = e_{o2} \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

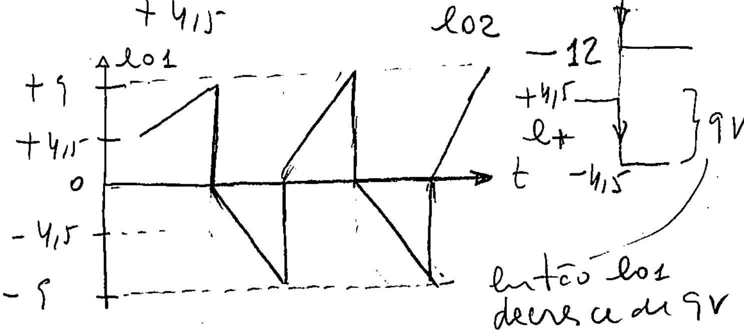
$$e_+ = \pm 12 \frac{15}{15 + 15 + 10} = \pm 4{,}5 \text{ Volts}$$

Corrente de carga/descarga do capacitor:

$$i_C = \frac{e_-}{R} = \frac{e_+}{R} = \frac{\pm 4{,}5}{3K} = \pm 1{,}5 \text{ mA}$$

Supondo $e_+ = 4{,}5V$, a saída e_{o1} aumenta até atingir o limite de 9V do comparador que então vira para $-12V$ levando e_+ para $-4{,}5$.
Como a tensão no cap. não pode mudar instantaneamente, e_{o1} sofre uma queda de:
$4{,}5 - (-4{,}5) = 9$ Volts.
Com $e_+ = -4{,}5$ a corrente no cap. inverte e e_{o1} desce até alcançar -9 Volts levando o comp. a virar.





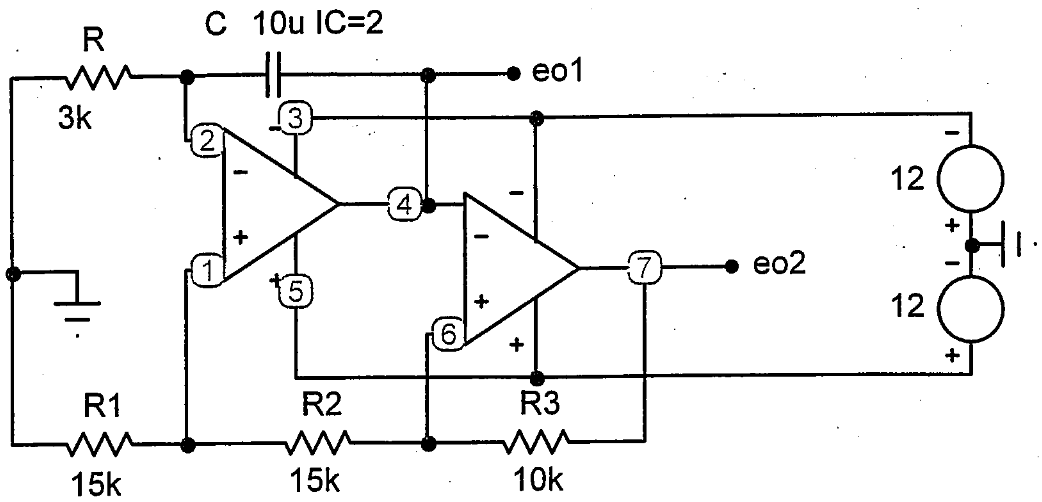
Tempo para e_{o1} subir de zero até 9 Volts:

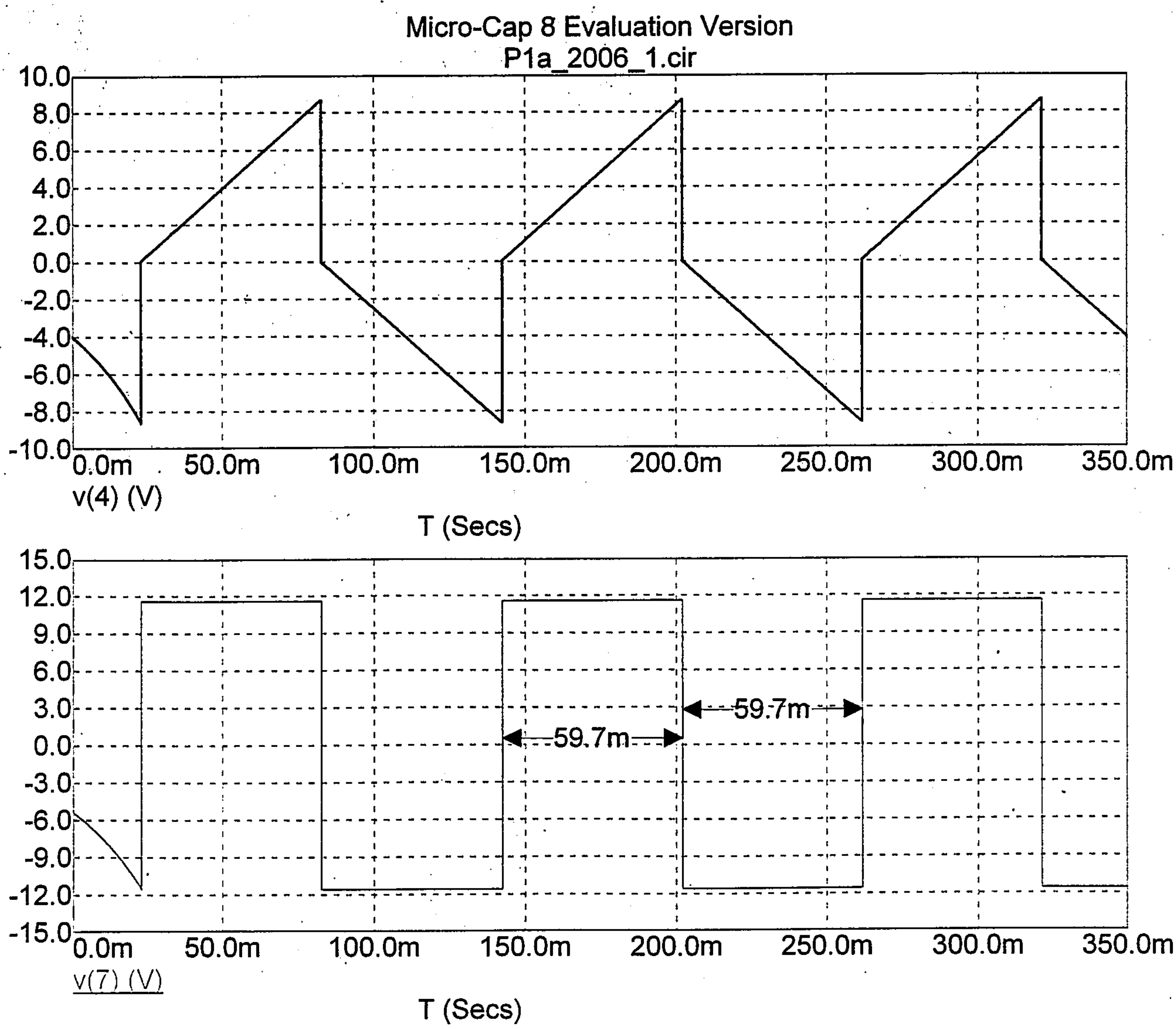
$$V_{fim} = V_{inic} + \frac{i_c}{C} \cdot t$$

$$9 = 0 + \frac{1{,}5 \text{ mA}}{10 \mu} \cdot t$$

$$t = 60 \text{ ms} //$$

Dica: tensão no cap. não pode mudar instantaneamente.


R
3k
C 10u IC=2
eo1
eo2
12
12
R1
15k
R2
15k
R3
10k
1
2
3
4
5
6
7

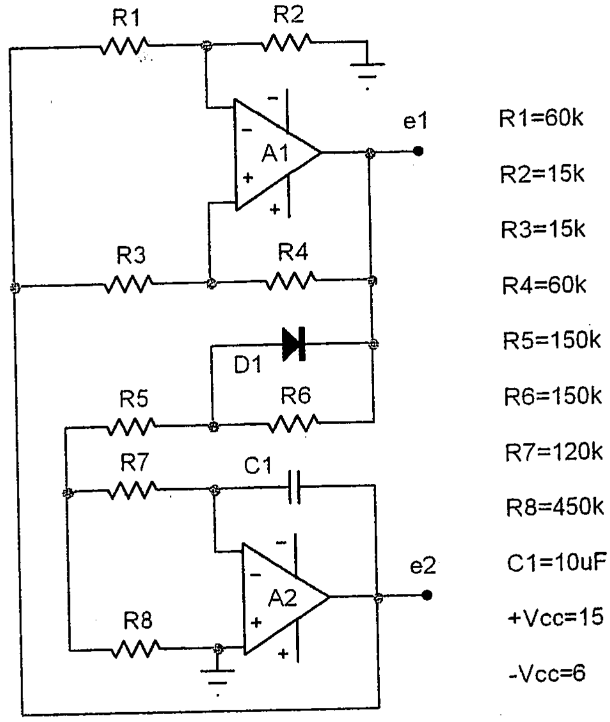

Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1a_2006_1.cir
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
0.0m
50.0m
100.0m
150.0m
200.0m
250.0m
300.0m
350.0m
v(4) (V)
T (Secs)
15.0
12.0
9.0
6.0
3.0
0.0
-3.0
-6.0
-9.0
-12.0
-15.0
59.7m
59.7m
v(7) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2006/2

Prova 1 17/10/2006

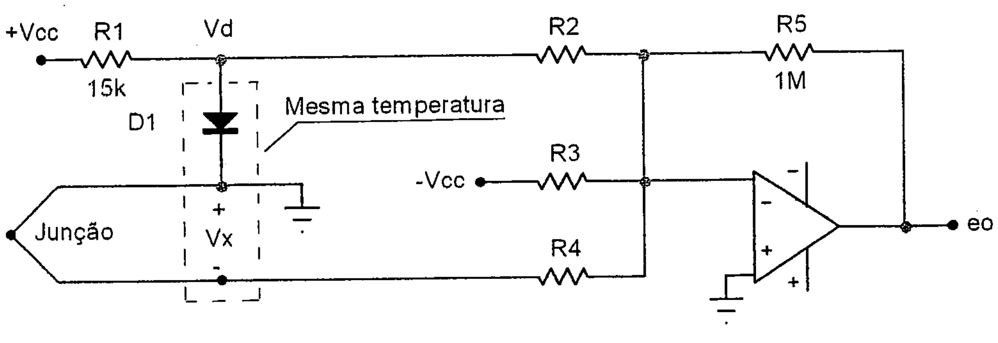
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito a seguir, divida em blocos funcionais e equacione cada um, juntando depois os resultados. Desenhe, com precisão, as curvas de e_1 e e_2 ao longo do tempo, colocando todos os valores calculados nos gráficos. Equacione cada etapa em termos literais e depois coloque os valores numéricos convenientes. Cada etapa deve ser descrita com textos explicativos, diagramas, e equações, pois isso será avaliado. Escreva de cima para baixo e não para os lados. Estas observações valem para todas as questões de todas as provas.

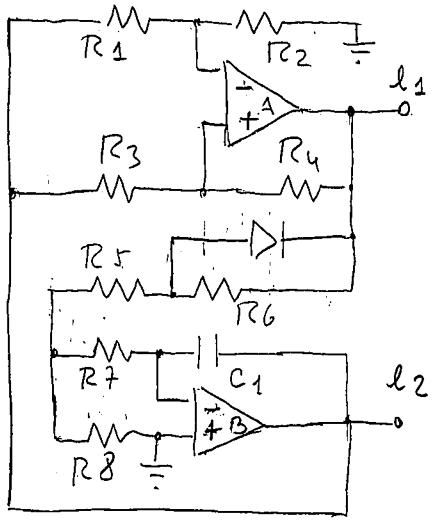


2. O termopar é um sensor linear de temperatura, formado por dois fios de metais diferentes soldados na ponta. Na outra extremidade dos fios aparece uma diferença de potencial proporcional à diferença de temperatura entre este extremo e a ponta soldada. Para usá-lo corretamente, é preciso compensar o efeito da temperatura ambiente no extremo V_x (junta fria). No caso, foi usada uma junção PN de silício (diodo).
   a) Examine o o termômetro descrito a seguir, equacione a saída em função das entradas e separe bem os termos para que e_o seja uma soma de parcelas.
   b) Calcule o valor dos resistores para que um voltmetro ligado em e_o em indique tensões entre 0 e 8,5 V, correspondente a temperaturas T_x entre 0 e 850 °C. Para isso, equacione e_o como representando T_x multiplicado por um fator de escala.
   c) Elimine as parcelas não desejadas.

   Procure esboçar os passos para alcançar a solução antes de se aprofundar nos cálculos. Junção de silício: $V_d\,(25°C) = 0{,}66$ Volts e $\Delta V_d / \Delta T = -2mV / °C$ Logo: $Vd = 0{,}66 - T_o \cdot 2mV / °C$
   Constante do termopar: $K = 33\mu\ V / °C$
   Temperatura absoluta onde $V_x = 0$: $T_o = -273\ °C = 0\ °K$ Deste modo: $V_x = K\,(T_x - T_o)$
   Alimentação regulada em ± 15 Volts.



Divida em blocos o circuito a seguir, equacione cada bloco de maneira literal e depois coloque os valores. Descreva convenientemente cada etapa.
Desenhe com precisão as curvas de e_1 e e_2 ao longo do tempo, colocando todos os valores no gráfico.



componentes ideais. Arredond. 3 dígitos.

$R_1 = 60K$ $R_6 = 150K$
$R_2 = 15K$ $R_7 = 120K$
$R_3 = 15K$ $R_8 = 450K$
$R_4 = 60K$
$R_5 = 150K$ $C = 10\mu F$
$+V_{cc} = 15$
$-V_{cc} = 6$

P1 2006-2

Bloco e_1: Apenas realim. positiva ⇒ compar. com histerese.

$$e_- = e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = e_2 \frac{R_4}{R_3+R_4} + e_1 \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

Igualando e separando:

$$e_1 \frac{R_3}{R_3+R_4} = e_2 \left(\frac{R_2}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4}\right)$$

colocando os valores:

$$e_1\left(\frac{15}{\cancel{15+60}}\right) = e_2\left(\frac{15}{15+60} - \frac{60}{\cancel{15+60}}\right)$$

$$15 \cdot e_1 = -45 \cdot e_2$$

$$e_2 = -\frac{1}{3} e_1 \ //$$

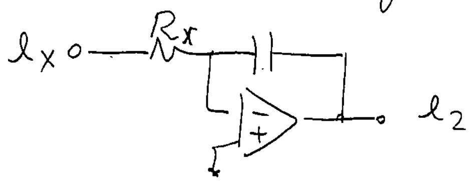
Hipóteses: Se $e_1 = 15V$ o comparador vira com:

$$e_2 = -\frac{1}{3} \cdot 15 \Rightarrow e_2 = -5 \text{ Volts}$$

Se $e_1 = -6$ então o ponto de virada é:

$$e_2 = -\frac{1}{3}(-6) \Rightarrow e_2 = +2 \text{ Volts}$$

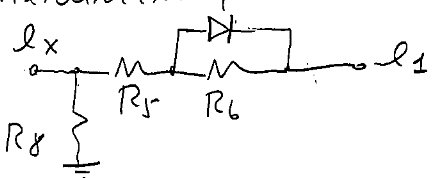
Bloco e_2: Integrador inversor:



$$e_2 = -\frac{1}{RC}\int e_x \cdot dt$$

$$e_2 = -\frac{1}{RC} e_x \cdot t + e_2(t=0)$$

Thévenin para obter e_x e R_x



Hipótese: $e_1 > 0 \Rightarrow$ diodo OFF

$$e_{xON} = \frac{e_1 \cdot R8}{R8+R5+R6} = \frac{e_1 \cdot 450}{450+150+150}$$

$$e_{xON} = 0,6 \cdot e_1 = 9 \text{ Volts}$$

$$R_{xON} = R8 // (R5+R6) = 450 // 300$$

$$R_{xON} = 180K$$

Se $e_1 < 0 \Rightarrow$ diodo ON

$$e_{xOFF} = e_1 \frac{R8}{R8+R5} = e_1 \frac{450}{450+150}$$

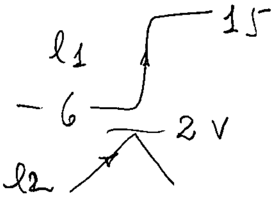
$$e_{xOFF} = 0,75 \cdot e_1 = -4,5 \text{ Volts}$$

$$R_{xOFF} = R8 // R5 = 450 // 150$$

$$R_{xOFF} = 112,5K$$

Colocando em funcionamento:

Ponto de partida:



Transição de e_1 de -6 para $+15V$ causada por e_2 atingir 2 Volts.

Tempo T_1 para e_2 alcançar $-5V$ e virar o comparador de novo:

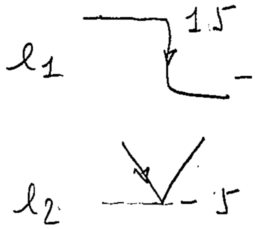
$$e_{2\,final} = -\frac{1}{RC}(0,6 \cdot e_1) + e_{2\,final}$$

Como $R = R_x + R_7 = 180 + 120 = 300K$

$$-5 = -\frac{1}{300 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \cdot 9 \cdot T_1 + 2$$

$T_1 = 2,33$ segundos

Neste instante,

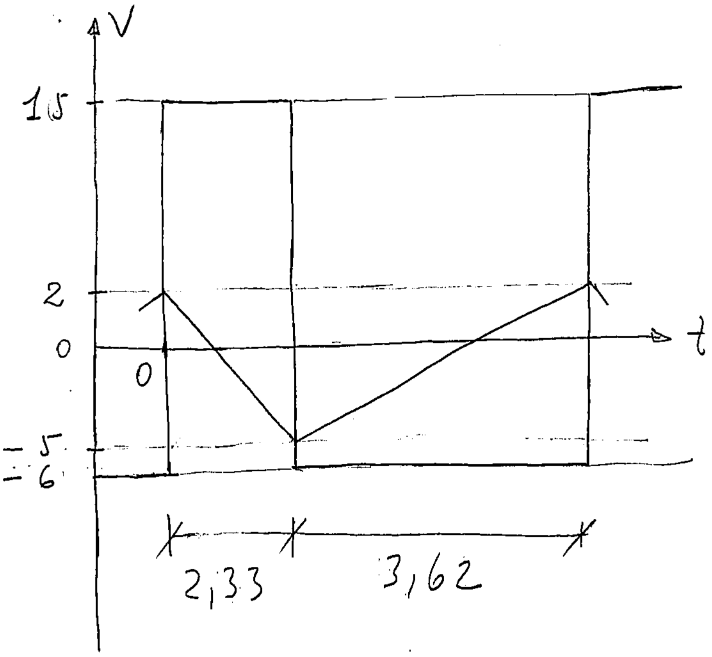


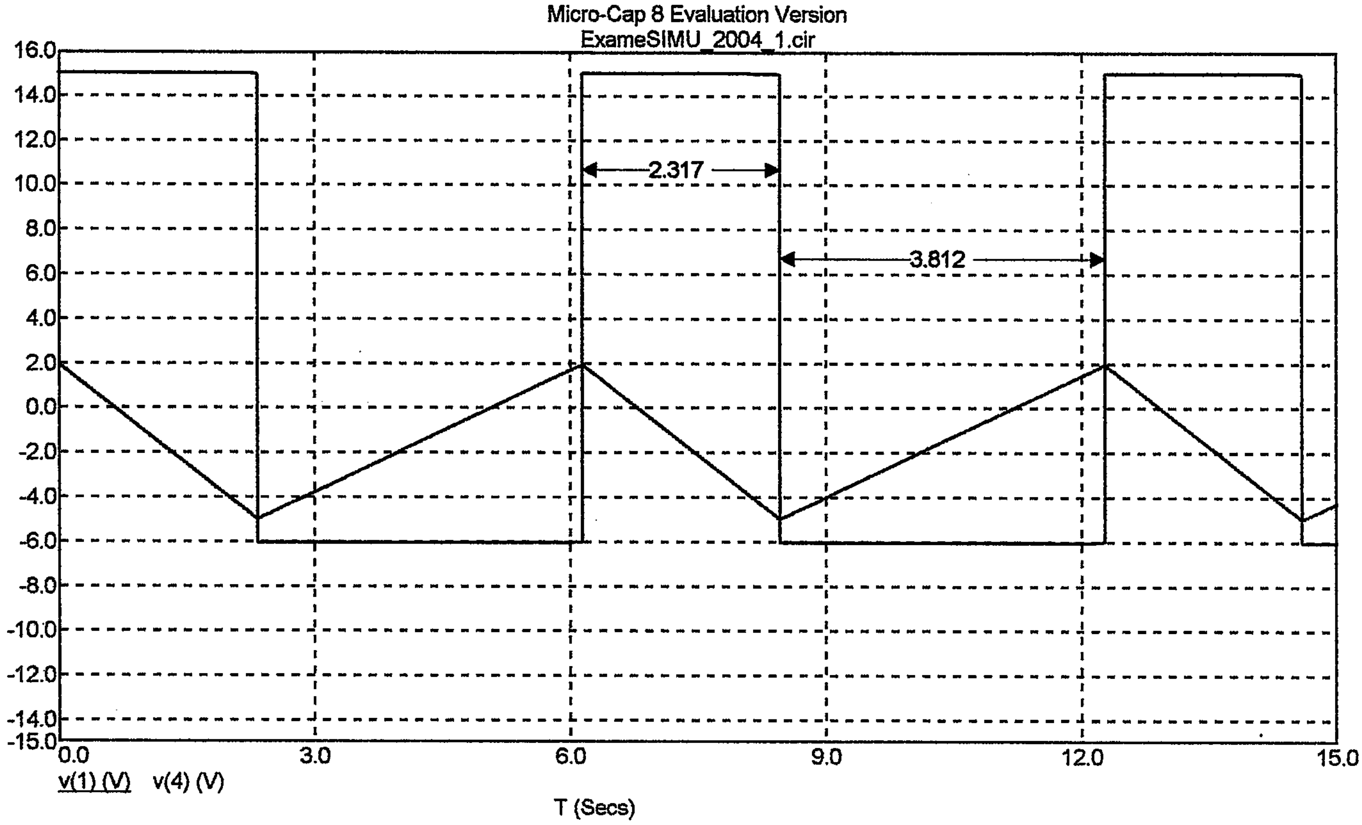
O tempo T2 para e_2 alcançar 2,5V novamente vale:

112,5 + 120

$$2 = -\frac{1}{232,5 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}(-4,5) \cdot T_2 + (-5)$$

$T_2 = 3,62$ segundos





Micro-Cap 8 Evaluation Version
ExameSIMU_2004_1.cir
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
-14.0
-15.0
2.317
3.812
0.0
3.0
6.0
9.0
12.0
15.0
v(1) (V) v(4) (V)
T (Secs)

O termopar é um sensor linear de temperatura, formado por dois fios de metais diferentes soldados na ponta. Na outra extremidade dos fios, aparece uma tensão proporcional a diferença de temperatura entre este extremo e a ponta soldada. Para usá-lo corretamente, é preciso compensar o efeito da temperatura ambiente no extremo V_x (junta fria). Foi usado como sensor de temperatura uma junção PN de silício (diodo)

a) Examine o termômetro descrito a seguir, equacione a saída l_o em função das entradas e separe bem os termos, de modo a obter l_o como uma soma de várias parcelas.

b) Calcule os valores dos resistores para que o voltmetro ligado em l_o indique tensões entre 0 e 8,5 Volts, correspondente a temperaturas T_x entre 0°C e 850°C. Para isso, equacione l_o como representando T_x multiplicado por um fator de escala.

Documente amplamente o seu trabalho com textos e equações.

Procure esboçar os passos para chegar a solução, antes de se aprofundar no equacionamento.

Junção de Si: $V_D\,(25°C) = 0{,}66$ Volts $\quad \dfrac{\Delta V_D}{\Delta T} = -2\,\dfrac{mV}{°C}$

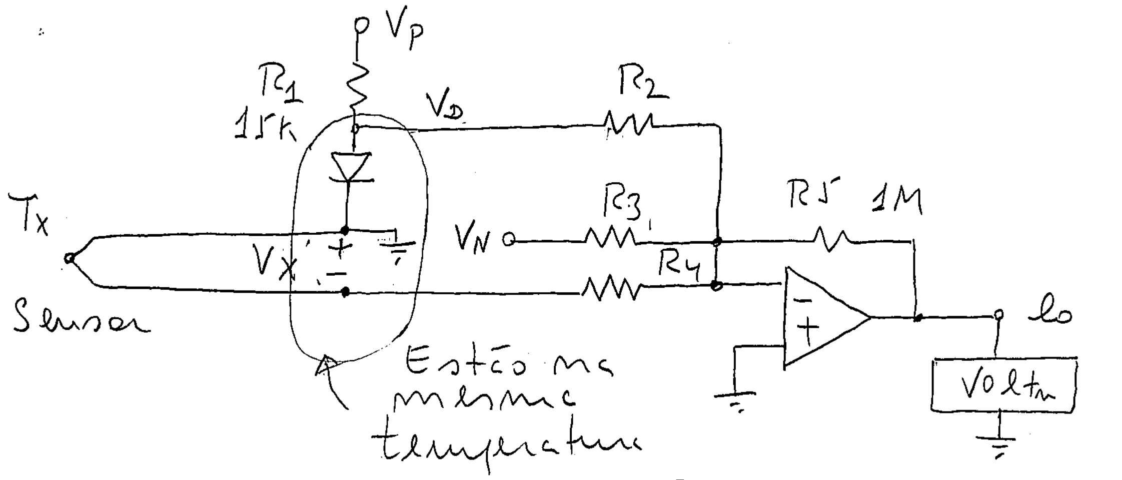
Então $V_D = 0{,}66 - \dfrac{2mV}{°C} \cdot T_o\,(°C)$ Volts

Temperatura absoluta: $T_o = 0°$ Kelvin $= -273°C$

Constante do termopar: $K = \dfrac{33\,\mu V}{°C}$

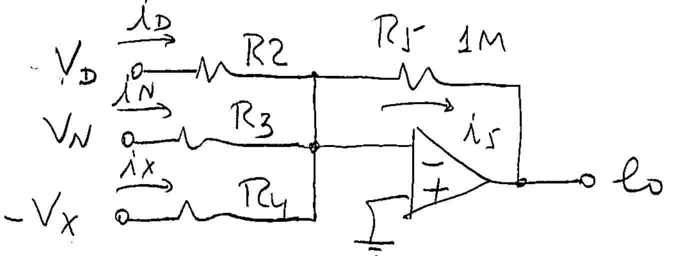
Então $V_x = K\,(T_x - T_o)$

Alimentação regulada $V_P = 15V \quad V_N = -15V$



P1 2006-2

Equacionando: Somador inversor.



Equacionando por corrente:

KVL: $-i_D - i_N - i_x + i_5 = 0$

$$-\frac{V_D}{R_2} - \frac{V_N}{R_3} - \frac{-V_x}{R_4} + \frac{0 - l_o}{R_5} = 0$$

$$l_o = R_5\left[-\frac{0{,}66 - 2\frac{mV}{°C}\cdot T_o}{R_2} - \frac{-15}{R_3} + \frac{K(T_x - T_o)}{R_4}\right]$$

$$l_o = \frac{R_5}{R_2}\left(2\frac{mV}{°C}\cdot T_o - 0{,}66\right) + 15\frac{R_5}{R_3} + \frac{R_5}{R_4}K(T_x - T_o) \quad // \quad (1)$$

Fator de escala para lo:

$$8{,}5V — 850°C$$
$$l_o\,V — T_x\ °C$$

$$l_o = \frac{8{,}5V}{850°C}\cdot T_x\,°C = \frac{0{,}01\,T_x\,(\cancel{°C})}{\cancel{°C}} \text{ Volts}$$

Substituindo em (1) e separando bem os termos:

$$0{,}01\,T_x = \frac{R_5}{R_2}2\frac{mV}{°C}\cdot T_o - 0{,}66\cdot\frac{R_5}{R_2} + 15\frac{R_5}{R_3} + \frac{33\mu V}{°C}T_x\frac{R_5}{R_4} - \frac{33\mu V}{°C}\cdot T_o\frac{R_5}{R_4}$$

Igualando os termos para obter o valor dos resistores:

$$0{,}01\,T_x = \frac{33\mu V}{°C}T_x\frac{R_5}{R_4} \quad \text{Então:}$$

$$R_4 = \frac{33\cdot 10^{-6}V}{°C}\ \frac{1M}{0{,}01}$$

$R_4 = 3K3$ //

Para eliminar as duas parcelas com To:

$$\frac{R_5}{R_2}\cdot 2\frac{mV}{°C}\cdot T_o = \frac{33\mu V}{°C}\cdot T_o\cdot\frac{R_5}{R_4}$$

Então: $\frac{2mV}{°C}\cdot\frac{1}{R_2} = \frac{33\mu V}{°C}\frac{1}{3K3}$

$R_2 = 200k\,\Omega$ //

Para eliminar as duas parcelas ctes.:

$$0{,}66\frac{R_5}{R_2} = 15\frac{R_5}{R_3} \quad \text{Então}$$

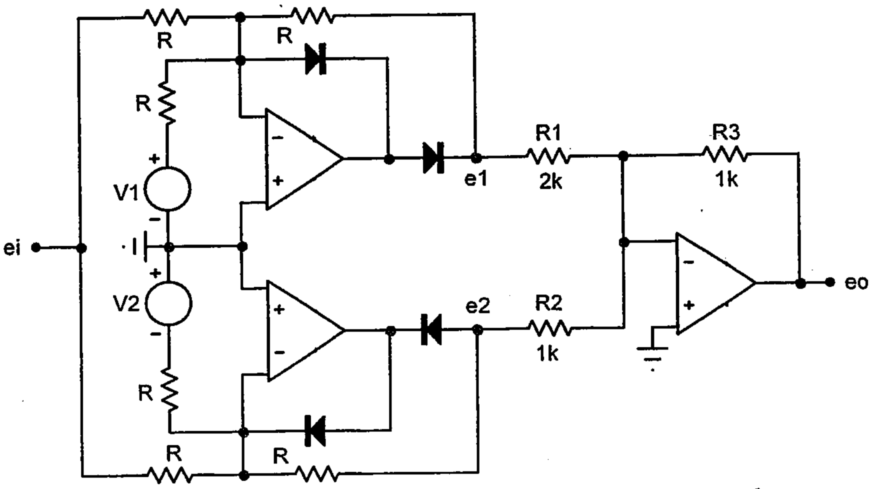
$$\frac{0{,}66}{200k} = 15\frac{1}{R_3} \rightarrow R_3 = 4{,}545M\Omega$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2007/1

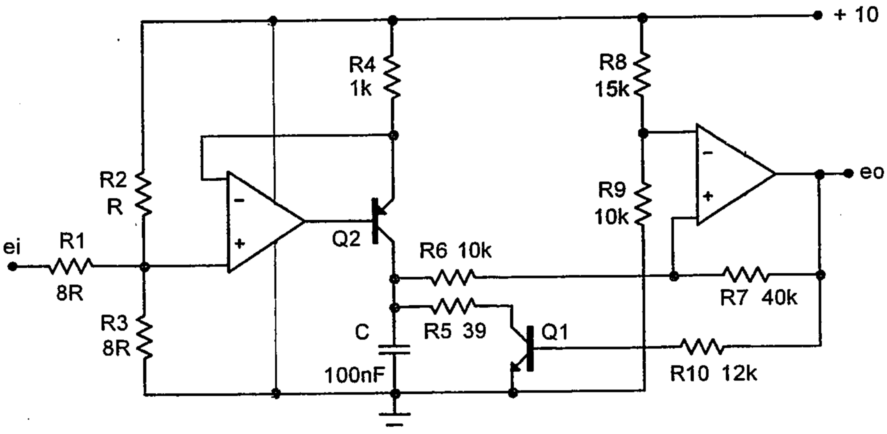
Prova 1 15/5/2006

Nome: GABARITO **Turma:** ______

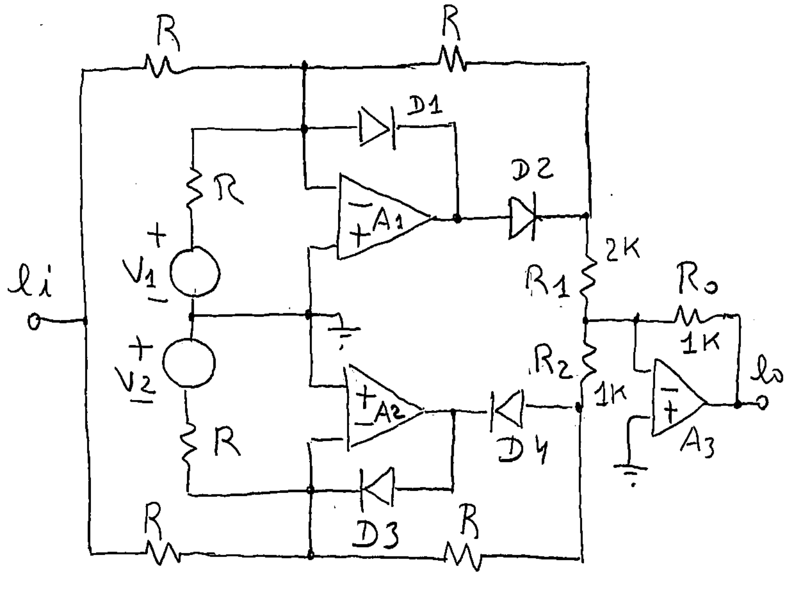
1. Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Separe em blocos, equacione cada um e desenhe a função de transferência saída x entrada, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas. Depois junte (as equações) novamente com o objetivo de desenhar a curva total de $\mathbf{e_0}$ x $\mathbf{e_i}$, com todos os valores que foram calculados. Componentes ideais. Lembre-se: documente tudo amplamente pois isso vai ser avaliado.

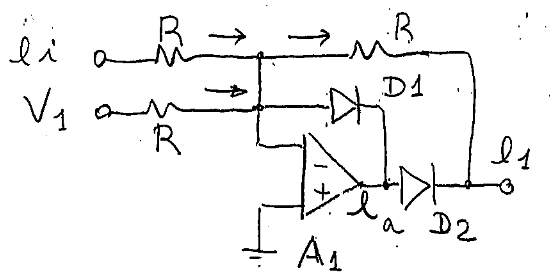


2. Examine o circuito baixo, separe em blocos, classifique, equacione e documente cada um. Determine os gráficos temporais de e_c e e_o, com todos os valores calculados. Suponha inicialmente que o sinal de áudio e_i seja zero e depois faça hipóteses qualitativas quando a entrada for positiva e negativa. Alimentação simples e regulada. Componentes ideais.
Lembre-se: documente tudo amplamente pois isso vai ser avaliado.



Divida o circuito em blocos, analise, equacione e determine a função de transferência de cada bloco e o seu gráfico lo x li. Comp. ideais.





li e V_1 são somados devido à massa virtual e depois retificação de 1/2 onda tipo inversor.

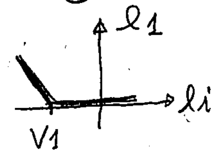
Hipótese: D_2 cortado:
Então $l_1 = 0$ devido à massa virtual e la é negativo. Para isso, a combinação de li e V_1 deve ser positiva.

Hipótese: D_2 conduzindo:
Então l_a = posit. = l_b e a combinação de l_1 e V_1 deve ser negativa:

Equacionando por correntes:

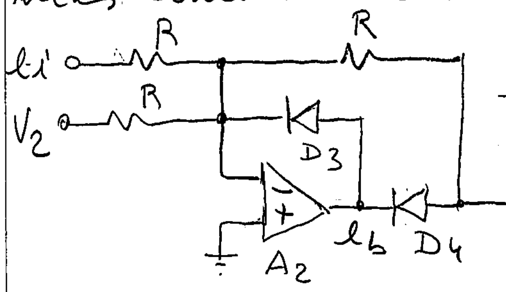
$$-\frac{li-0}{R} - \frac{V_1-0}{R} + \frac{0-l_1}{R} = 0$$

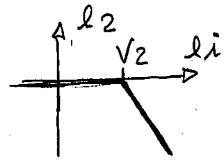
$$l_1 = -(li+V_1) \quad //$$



Equação válida para D2 conduzindo: $(li+V_1)<0$. Como V_1 é positivo então $li > V_1$

Bloco A2: mesmo circuito mas com diodos invertidos.

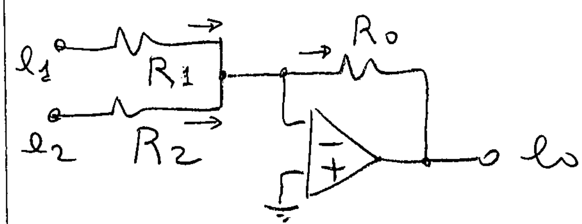




Então: $l_2 = -(li+V_2)$ //

Equação válida para D_4 conduzindo: $li > V_2$.

Bloco A3: somador inversor:

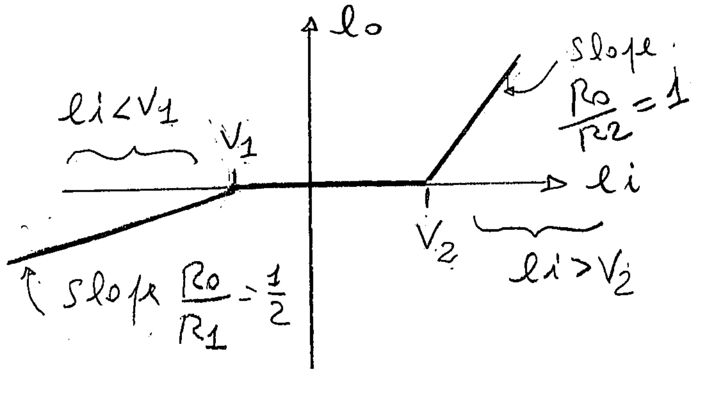


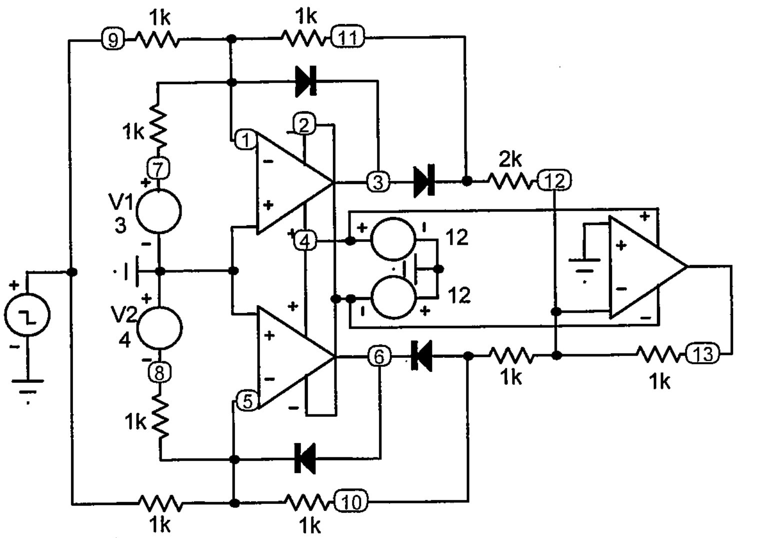
Por correntes:

$$-\frac{l_1-0}{R_1} - \frac{l_2-0}{R_2} + \frac{0-l_o}{R_o} = 0$$

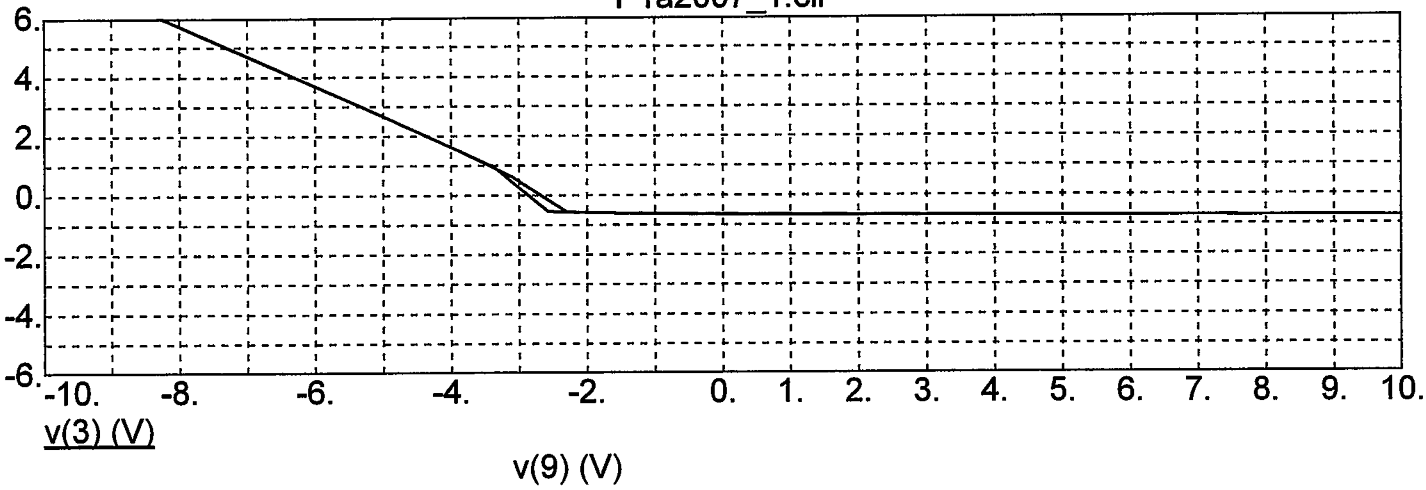
$$l_o = -l_1\frac{R_o}{R_1} - l_2\frac{R_o}{R_2} \quad //$$

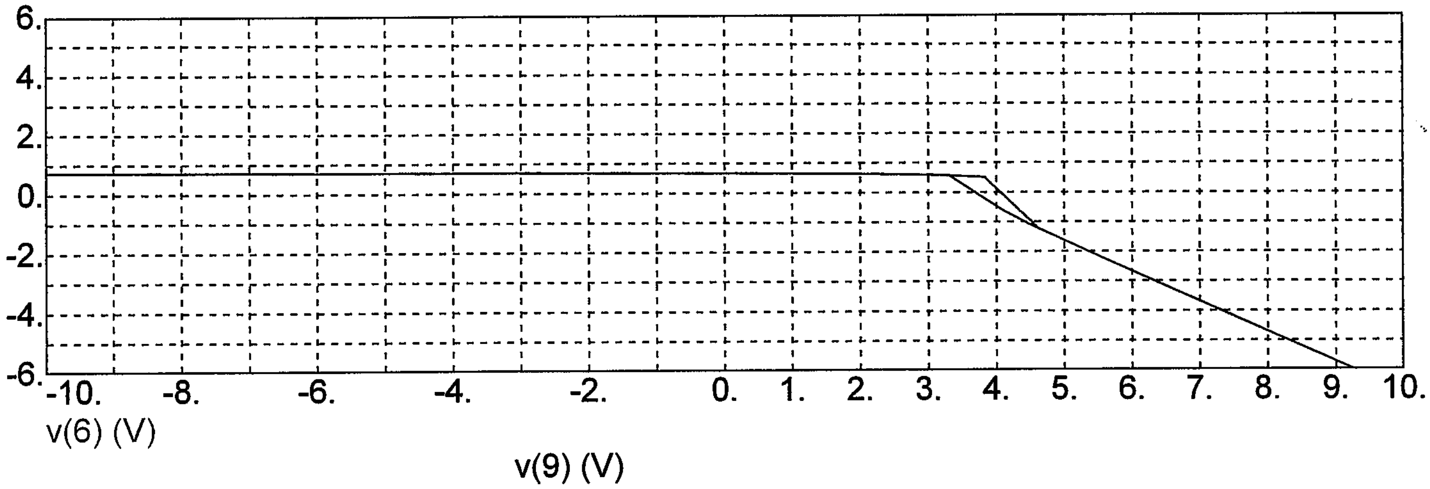
$$l_o = +(li+V_1)\frac{R_o}{R_1} + (li+V_2)\frac{R_o}{R_2} \quad //$$

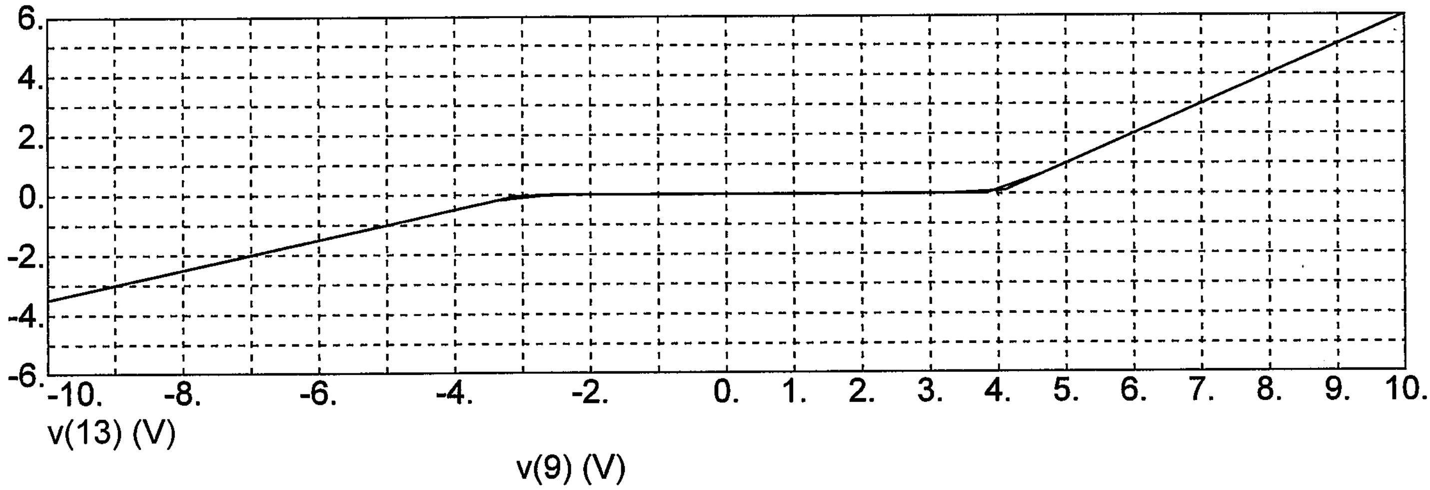




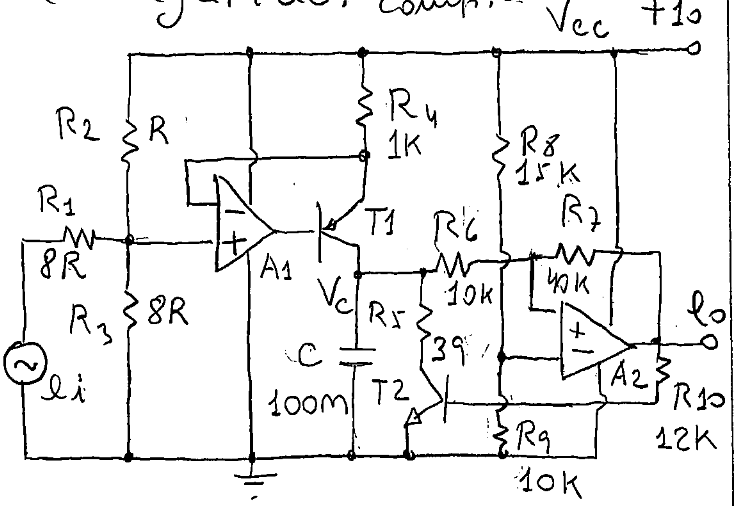
Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1a2007_1.cir





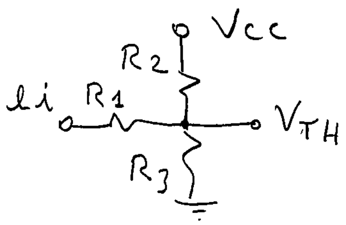


Examine o circuito, separe em blocos, classifique e equacione cada um. Determine os gráficos temporais de V_c e l_o, com precisão. Suponha inicialmente que o sinal de áudio l_i seja zero e depois faça hipóteses qualitativas com l_i positivo e negativo. Alimentação simples regulada, comp. ideais.



Bloco do A_1, T_1:

Simplificando: Thévenin em l_+:



$$R_{TH} = R_1 // R_2 // R_3$$

$$\frac{1}{R_{TH}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

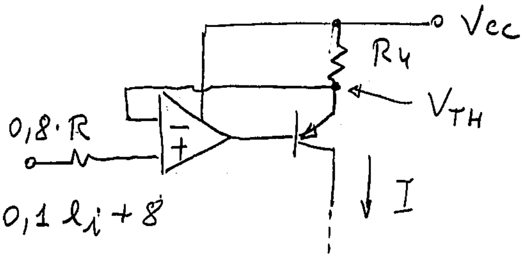
$$\frac{1}{R_{TH}} = \frac{1}{8R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{8R}$$

$$R_{TH} = 0,8 \cdot R \;//$$

$$V_{TH} = l_i \frac{R_2//R_3}{R_1 + R_2//R_3} + V_{cc} \frac{R_1//R_3}{R_2 + R_1//R_3}$$

$$V_{TH} = l_i \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,8$$

$$V_{TH} = 0,1\, l_i + 8 \;//$$



Hipótese: $l_i = 0$

Então $l_+ = l_- = 8$ Volts

Circuito é uma fonte de corrente:

$$I = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_4} = \frac{10-8}{1k} = 2mA \;//$$

C_1 se carrega com 2 mA e V_c = rampa linear.

Bloco A2: Comparador não inversor com referência.

$$l_- = V_{cc} \frac{R_9}{R_8 + R_9} = 10 \frac{10}{10+15}$$

$$l_- = 4 \text{ Volts} \;//$$

Ponto de virada; supondo T2 cortado, $l_+ = l_-$:

$$l_+ = V_c \frac{R_7}{R_6 + R_7} + l_o \frac{R_6}{R_6 + R_7} = 4$$

$$V_c \frac{40}{10+40} + l_o \frac{10}{10+40} = 4$$

como $l_o < \begin{matrix} 10 \text{ Volts} \\ \text{zero} \end{matrix}$ vem:

$$V_c \frac{4}{5} + 10 \cdot \frac{1}{5} = 4 \rightarrow V_c = +2,5 \;//$$

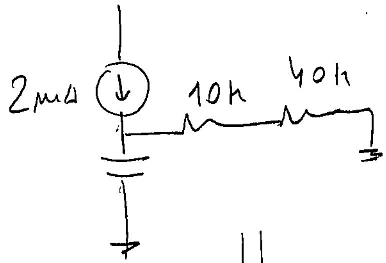
$$V_c \frac{4}{5} + 0 = 4 \rightarrow V_c = +5V \;//$$

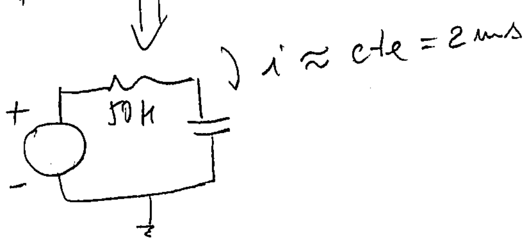
Bloco do T_2:

Quando $l_o = 0$ T_2 = cortado

Quando $l_o = 10V$, T_2 = saturado e C_1 se descarrega por R_5.

Funcionamento global:
Fonte de corrente carrega C1 até atingir 5V quando então $v_o \to 10V$ e T2 descarrega C1 por R5 até que $V_{C1} = 2{,}5$ quando então $v_o \to 0$ e T_2 corta.
Aplicando v_i, a corrente varia e o tempo de carga também.





Tempo de carga com $v_i = 0$:

$$i = C\frac{dV_c}{dt}$$

$$2 \cdot 10^{-3} = 100 \cdot 10^{-9} \frac{5 - 2{,}5}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 125\,\mu s \;//$$

Tempo de descarga de C:

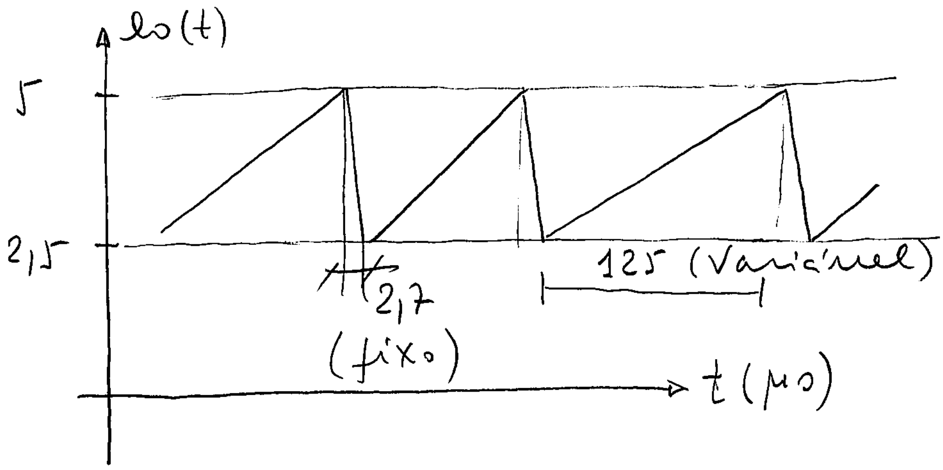
$$t = -R \cdot C \ln\left(\frac{V_\infty - V_f}{V_\infty - V_i}\right)$$

$$t = -39 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \ln\left(\frac{0 - 2{,}5}{0 - 5}\right)$$

$$t = 2{,}7\ \mu s \;// \quad \text{constante.}$$

$$f = \frac{1}{125\,\mu s + 2{,}7\,\mu s}$$

$$f = 7.830\ Hz \;//$$



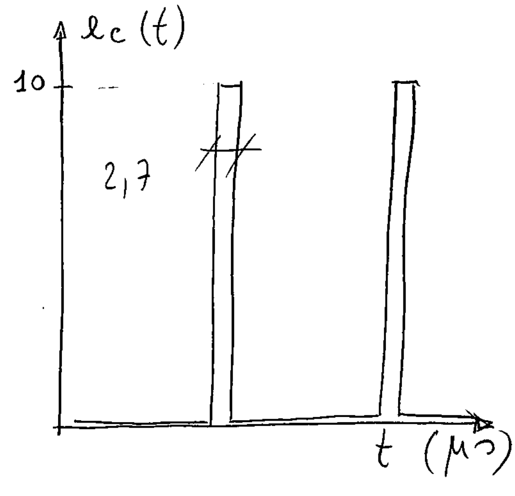
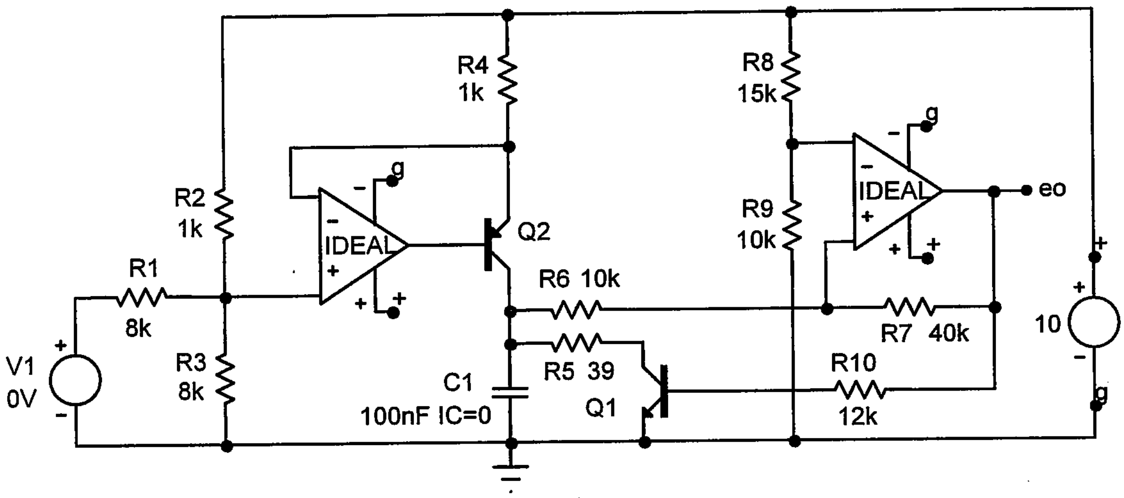
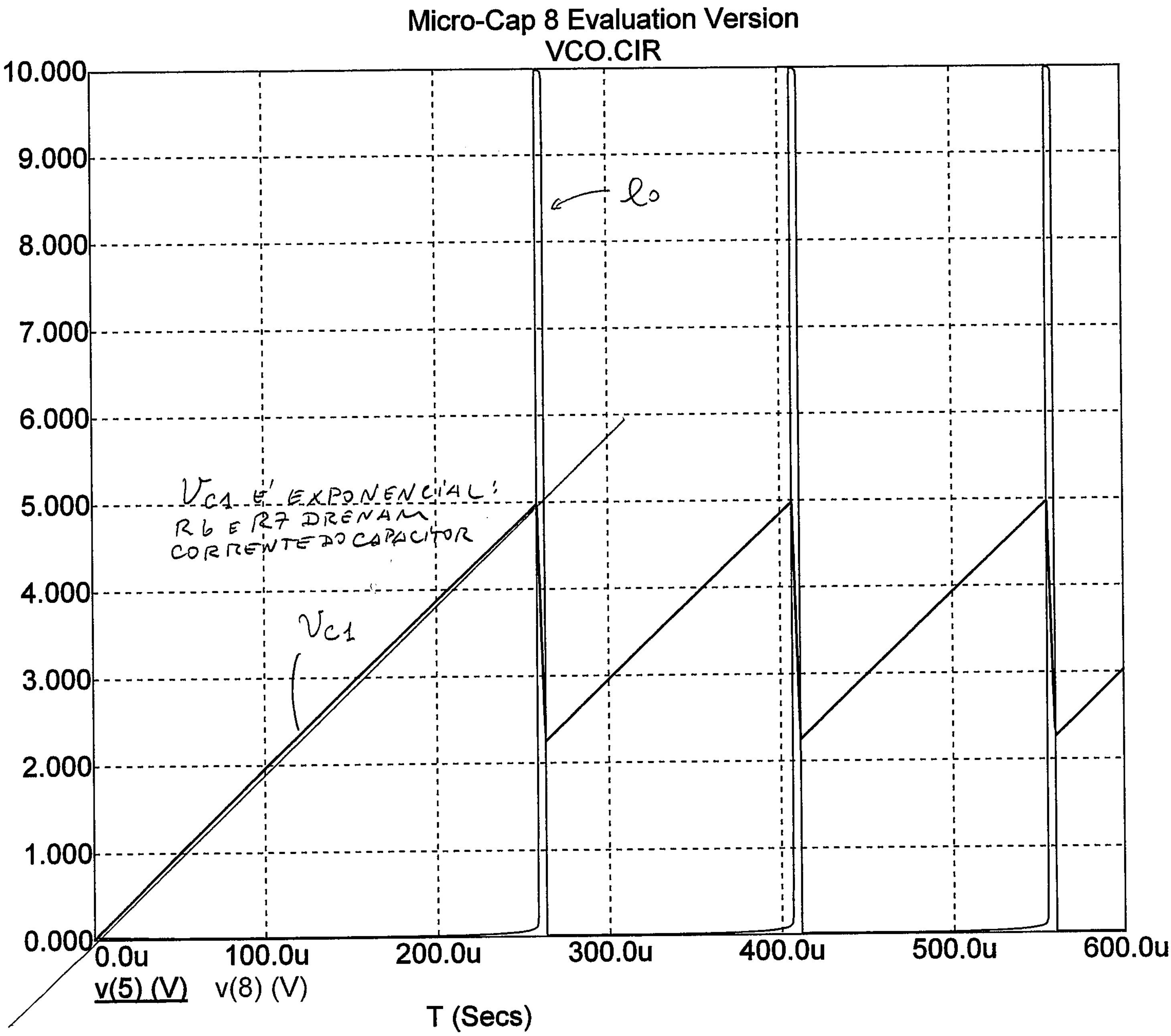
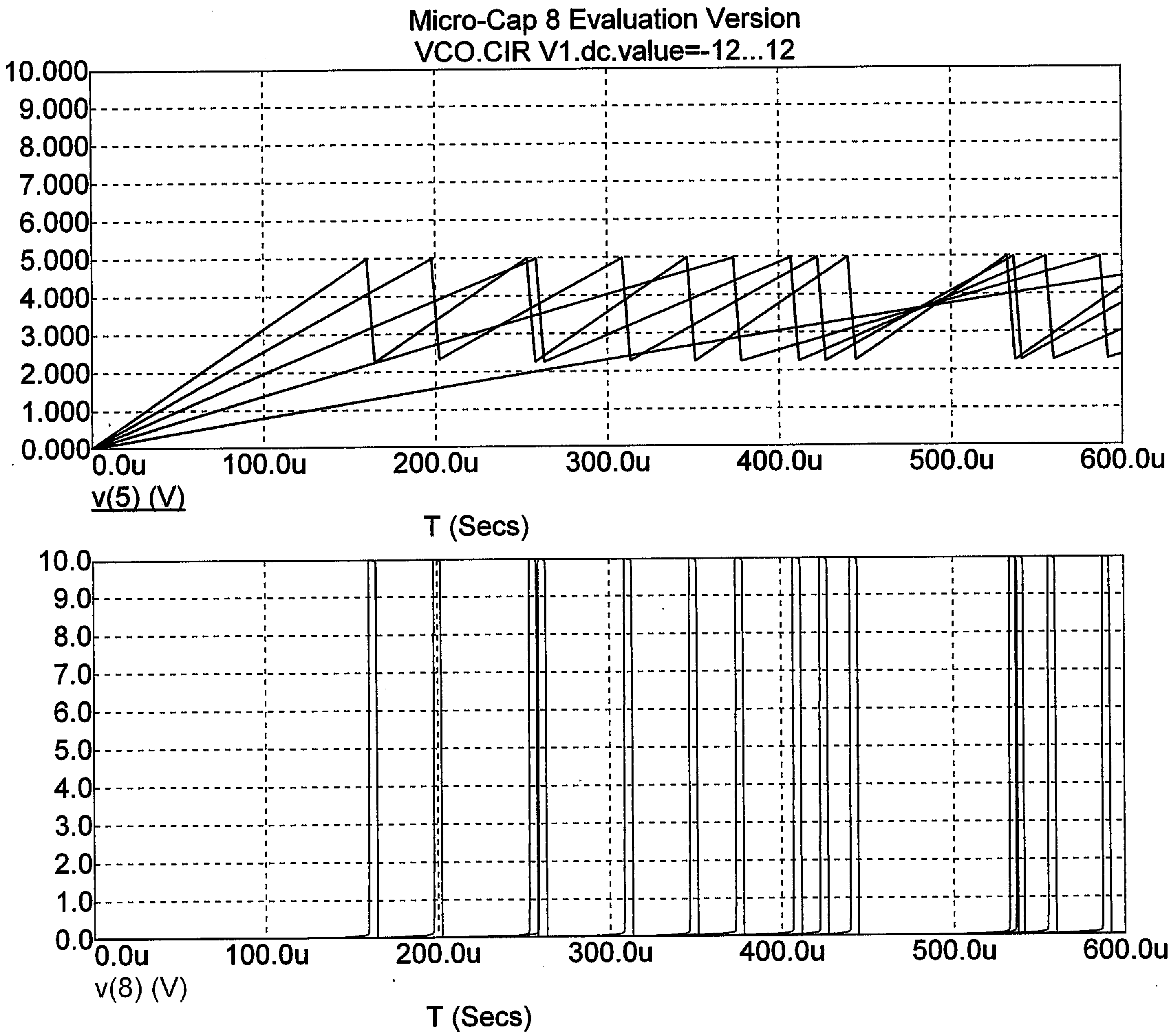


Gráfico válido para $v_i = 0$.
Colocando v_i, varia o tempo de subida e portanto a frequência de oscilação. $\Rightarrow$ VCO //


R4
1k
R8
15k
g
R2
1k
IDEAL
Q2
R9
10k
IDEAL
eo
R1
8k
R6 10k
R7 40k
10
V1
0V
R3
8k
C1
100nF IC=0
R5 39
Q1
R10
12k


Micro-Cap 8 Evaluation Version
VCO.CIR
10.000
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(5) (V)
v(8) (V)
T (Secs)
eo
VC1 E' EXPONENCIAL: R6 E R7 DRENAM CORRENTE DO CAPACITOR
Vc1



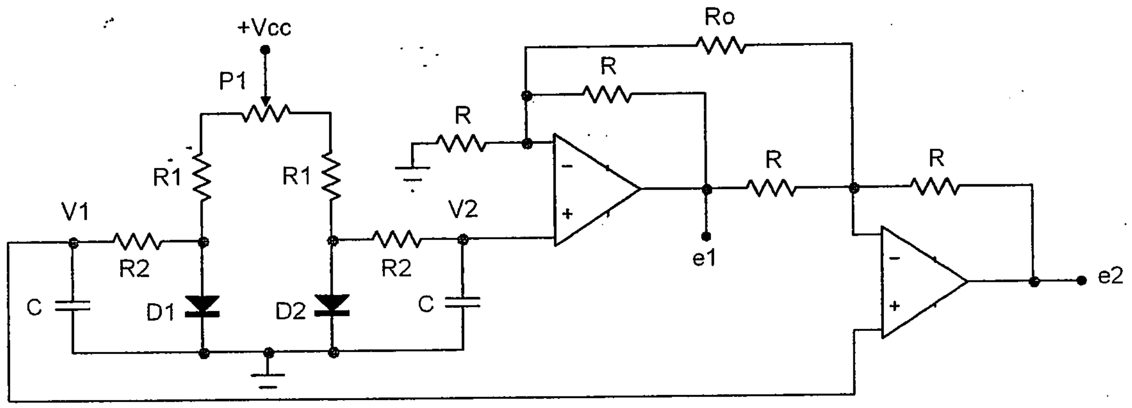
Micro-Cap 8 Evaluation Version
VCO.CIR V1.dc.value=-12...12
10.000
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(5) (V)
T (Secs)
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(8) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2007/2

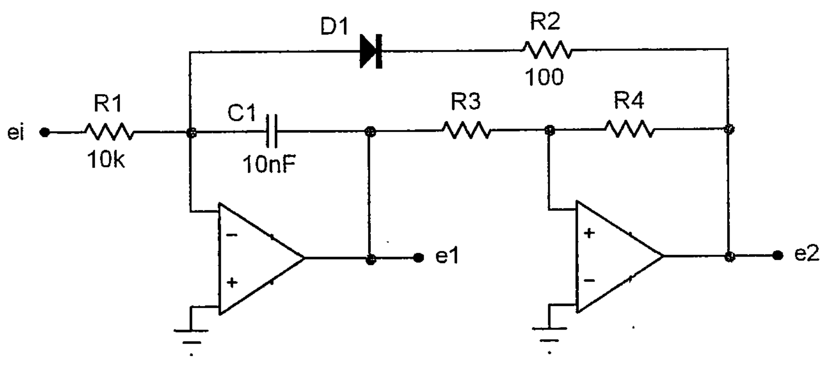
Prova 1 16/10/2007

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. O termômetro descrito a seguir mede a diferença de temperatura entre dois ambientes, indicando o resultado em um voltmetro.
a) Em primeiro lugar, examine o circuito e descreva seu funcionamento qualitativo com o máximo de detalhes que for possível.
b) Divida o circuito em blocos e equacione cada um. Descreva cada etapa do seu trabalho com textos, diagramas e equações pois isso será avaliado sempre. Junte os blocos novamente e:
c) Calcule o valor dos componentes necessários para estabelecer uma escala de 0,5 V/°C.
Componentes ideais, alimentação regulada. O coeficiente de temperatura de uma junção de silício vale -2mV/°C. Use resistores de 22k quando for possível.



2. Examine o oscilador controlado por tensão esquematizado a seguir e:
a) Descreva qualitativamente o seu funcionamento pois isso vai ajudar na solução.
b) Separe em blocos e equacione cada um, em formato literal. Coloque os valores de circuito logo a seguir, descrevendo cada passo com textos esquemas e equações.
c) Junte os blocos para obter o funcionamento global, desenhe os gráficos temporais de e_{o1} e e_{o2} e determine a equação da frequência do VCO. Lembre-se de descrever todas as etapas.
Componentes ideais, alimentação ± 10Volts, $R_4 = 2 \cdot R_3$. Considere a entrada constante dentro de um ciclo de operação. Arredondamento em 3 dígitos significativos.

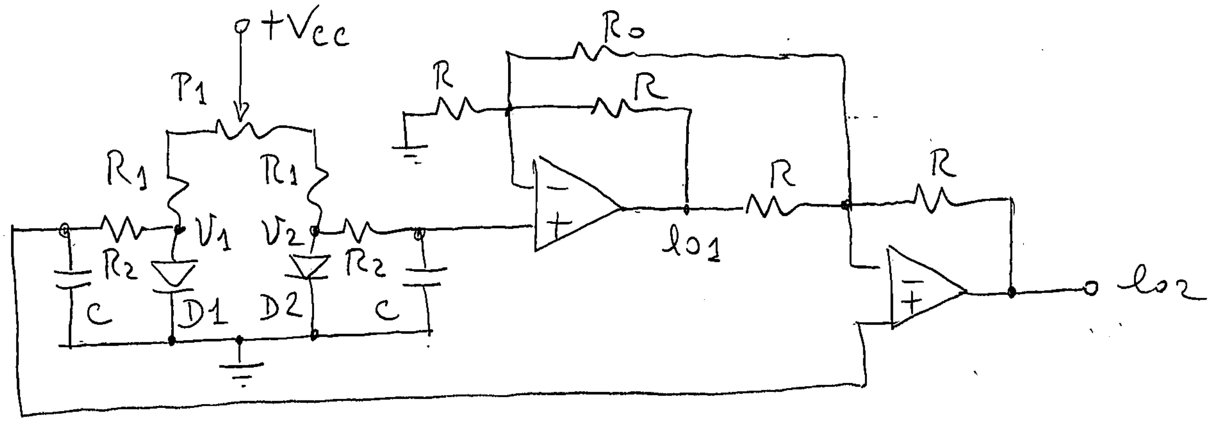


O termometro descrito a seguir mede a diferença de temperatura entre dois pontos, indicando em um voltmetro o resultado.

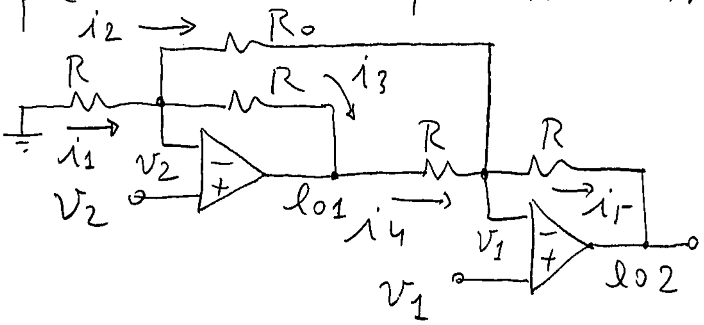
a) Examine o circuito e descreva em detalhes o seu funcionamento.

b) Divide o circuito em blocos e equacione, concentrando seus esforços nos operacionais. Descreva cada etapa do trabalho com textos e equações.

c) Calcule o valor dos componentes necessários para estabelecer uma escala de 0,5 V/°C no voltmetro. Componentes ideais. Alimentação regulada. Coeficiente de temperatura de uma junção de silício = − 2 mV/°C. Use R = 22K quando possível.



Equacionando por corrente:



$$\begin{cases} -i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ -i_4 - i_2 + i_5 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\dfrac{0 - V_2}{R} + \dfrac{V_2 - V_1}{R_o} + \dfrac{V_2 - e_{o1}}{R} = 0 \\ -\dfrac{e_{o1} - V_1}{R} - \dfrac{V_2 - V_1}{R_o} + \dfrac{V_1 - e_{o2}}{R} = 0 \end{cases}$$

Objetivo: $e_{o2} = f(V_1, V_2, ..)$

Variável interna: $e_{o1} \rightarrow$ elimina

$$\begin{cases} \dfrac{V_2}{R} + \dfrac{V_2 - V_1}{R_o} + \dfrac{V_2}{R} = \dfrac{e_{o1}}{R} \\ \dfrac{V_1}{R} - \dfrac{e_{o1}}{R} - \dfrac{V_2 - V_1}{R_o} + \dfrac{V_1}{R} = \dfrac{e_{o2}}{R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_2 + \dfrac{R}{R_o}(V_2 - V_1) + V_2 = e_{o1} \quad (1) \\ V_1 - e_{o1} - \dfrac{R}{R_o}(V_2 - V_1) + V_1 = e_{o2} \quad (2) \end{cases}$$

Levando (1) em (2):

$$V_1 - V_2 - \frac{R}{R_o}(V_2 - V_1) - V_2 - \frac{R}{R_o}(V_2 - V_1) + V_1 = e_{o2}$$

$$e_{o2} = 2(V_1 - V_2) - 2\frac{R}{R_o}(V_2 - V_1)$$

$$e_{o2} = 2(V_1 - V_2) + 2\frac{R}{R_o}(V_1 - V_2)$$

$$e_{o2} = 2(V_1 - V_2)\left(1 + \frac{R}{R_o}\right) //$$

Valor dos componentes:

Escolhemos:

$R_1 = R_2 = R = 22K$ //

C = supressor de ruídos = 100 nF //

Escala do voltímetro:

Solução a

Se $T_1 - T_2 = 1°C$ então $V_1 - V_2 = -2\,mV$ e $V_{eo2} = -0{,}5$ Volts

$$-0{,}5 = 2(-2\,mV)\left(1 + \frac{22k}{R_o}\right)$$

$$-0{,}5 = -4 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}\,\frac{22 \cdot 10^3}{R_o}$$

$$-0{,}496 = \frac{-88}{R_o} \rightarrow R_o = 177{,}4\,\Omega //$$

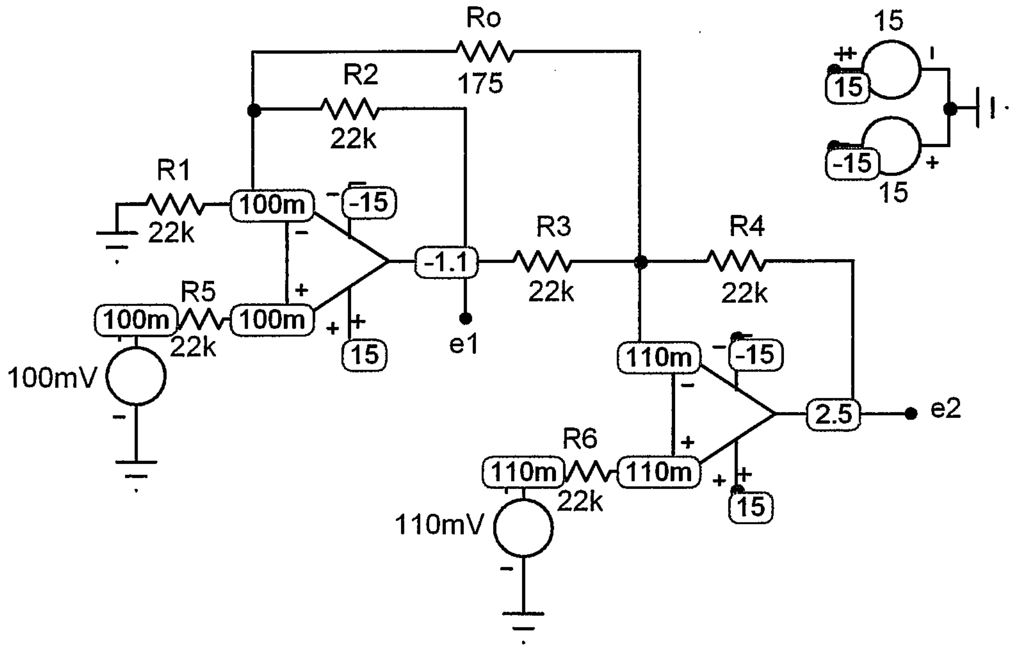
Solução b

Se $T_2 - T_1 = 1°C$ então $V_1 - V_2 = 2\,mV$ e $V_{eo2} = 0{,}5\,V$

$$0{,}5 = 2(2\,mV)\left(1 + \frac{22k}{R_o}\right)$$

$$0{,}5 = 4 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}\,\frac{22 \cdot 10^3}{R_o}$$

$$0{,}496 = \frac{88}{R_o} \rightarrow R_o = 177{,}4\,\Omega //$$



2 mV — 1 °C

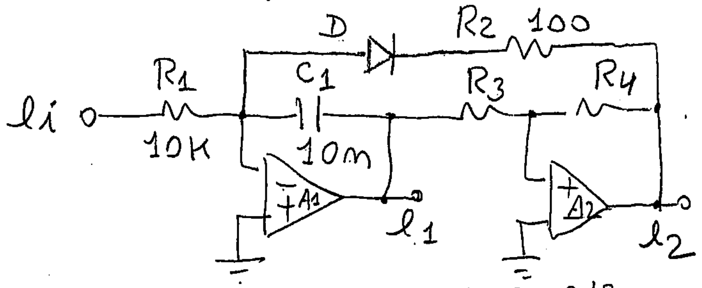
10 mV — T

T = 5 °C

Escala 0,5 V/°C → 2 °C/Volt

Então e_{o2} = 2,5 Volts//

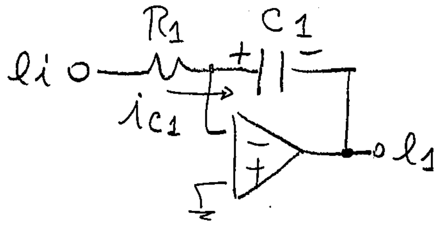
Examine o oscilador controlado por tensão (VCO) e: a) Descreva qualitativamente o seu funcionamento. b) Equacione cada bloco em forma literal e coloque os valores do circuito logo a seguir, descrevendo cada etapa com textos equações e diagramas, pois isso será avaliado. c) Junte os blocos para determinar o funcionamento global e obtenha a equação do VCO. Arredondamento em 3 dígitos. Componentes ideais, alimentação $V_{CC} = \pm 10$ Volts. $R_4 = 2 \cdot R_3$. Considere e_i = constante dentro de um ciclo de oscilação.



P1 2007/2

BLOCO A1: Integrador inversor.

Hipótese: e_i = cte e D cortado:



Então $e_2 > 0$.

$$i_{C1} = i_{R1} = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt}$$

$$\frac{e_i}{R_1} = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = -C_1 \frac{dv_{e1}}{dt}$$

Integrando:

$$\int \frac{e_i}{R_1 C_1} dt = \int -\frac{dv_{e1}}{dt} dt$$

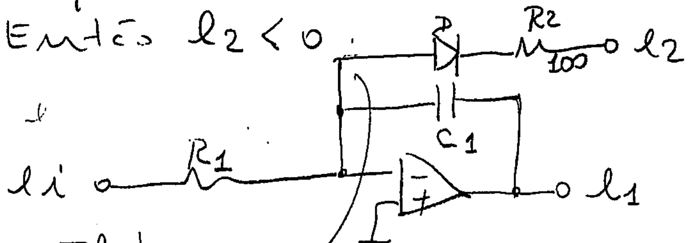
$$e_1(t) = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int e_i \, dt + e_1(0) \quad (1)$$

$$e_1(t) = -\frac{1}{10\cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} e_i \cdot t + e_1(0)$$

$$e_1(t) = -10^4 \cdot e_i \cdot t + e_1(0) \quad (2)$$

Hipótese: e_i = cte e D conduz

Então $e_2 < 0$.



Thévenin:

$$V_{TH} = e_2 \frac{R_1}{R_1+R_2} + e_i \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$V_{TH} = e_2 \frac{10\cdot 10^3}{10\cdot 10^3 + 100} + e_i \frac{100}{10 \cdot 10^3 + 100}$$

$$V_{TH} = 0{,}99\, e_2 + 9{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot e_i$$

$$R_{TH} = R_1 // R_2 = 99\ \Omega$$

Aplicando (1):

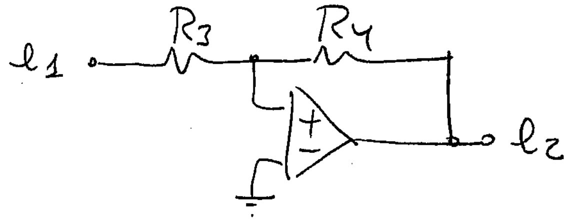
$$e_1(t) = -\frac{1}{R_{TH} \cdot C_1} \int V_{TH} \, dt + e_1(0)$$

$$e_1(t) = -\frac{1}{99 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} \cdot V_{TH} \cdot t + e_1(0)$$

$$e_1(t) = -10{,}1 \cdot 10^6 \left(0{,}99\, e_2 + 9{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot e_i\right) \cdot t + e_1(0) \quad (3)$$

Bloco A2:

Comparador não-inversor com histerese:



Ponto de virada; $l+ = l-$:

$$l_+ = l_1 \frac{R_4}{R_3+R_4} + l_2 \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$l- = 0$ Então:

$$\frac{l_1 R_4}{\cancel{R_3+R_4}} = -l_2 \frac{R_3}{\cancel{R_3+R_4}}$$

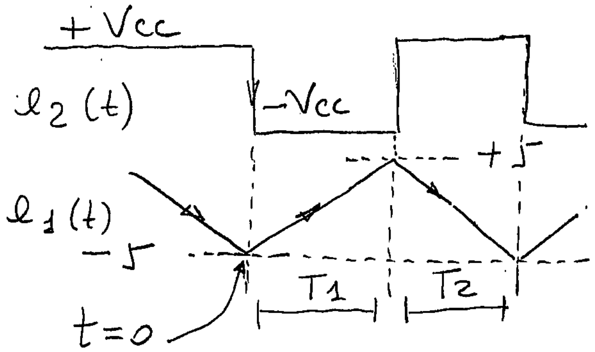
$$l_1 = -l_2 \frac{R_3}{R_4} \qquad R_4 = 2 \cdot R_3:$$

$$l_1 = -\frac{l_2}{2} \quad //$$

Como l_2 só pode ser $\pm V_{cc}$:

$$l_1 = \begin{cases} +5 \\ -5 \end{cases} \quad //$$

Juntando os blocos:



Cálculo de T_1 (D=ON):

Usando ③:

$$\overset{\text{final}}{+5} = -10{,}1 \cdot 10^6 \left(0{,}99 \cdot (-10) + 9{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot l_i\right) \cdot T_1 + \overset{\text{inicial}}{(-5)}$$

$$9{,}9 \cdot 10^{-7} = \left(9{,}9 + 9{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot l_i\right) \cdot T_1$$

T_1 vai ser um valor muito pequeno.

Cálculo de T2 (D=OFF):

Usando ②:

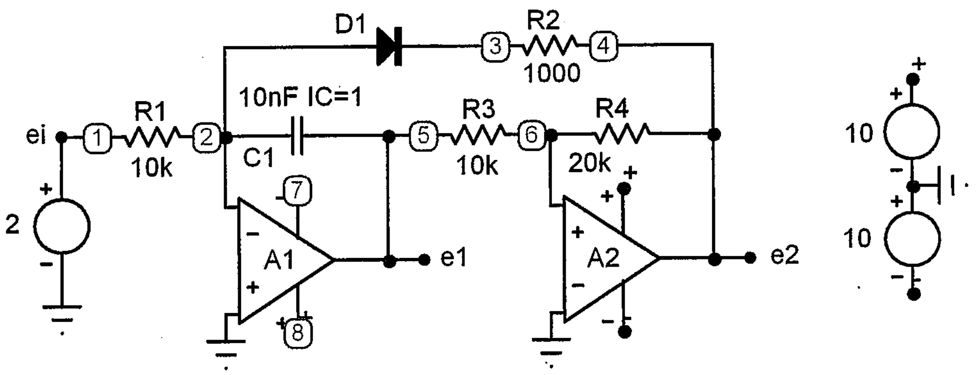
$$\overset{\text{final}}{-5} = -10^4 \cdot l_i \cdot T_2 + \overset{\text{inicial}}{(+5)}$$

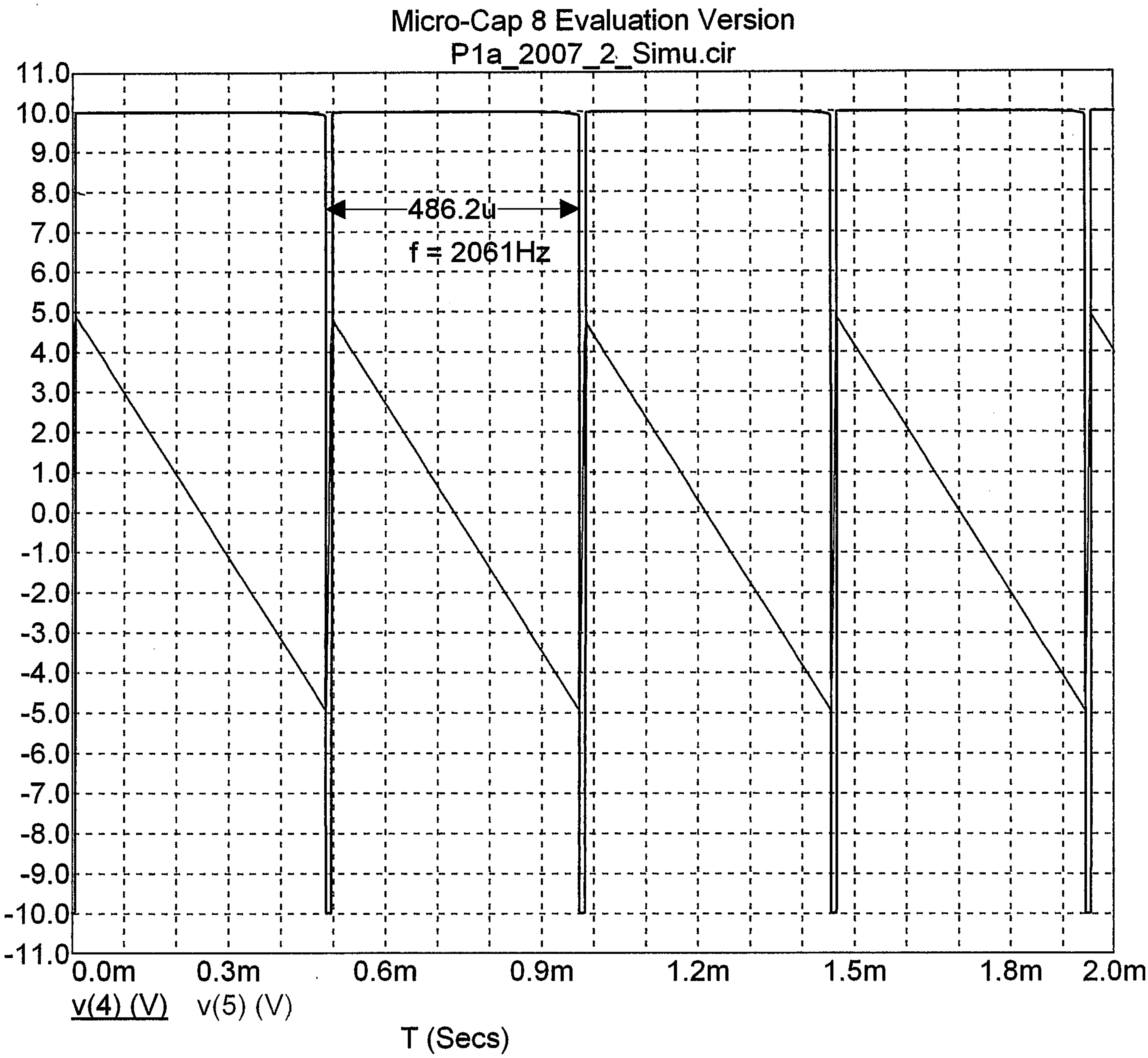
$$10 = 10^4 \cdot l_i \cdot T_2$$

$$T_2 = \frac{0{,}001}{l_i} \quad //$$

Frequência do VCO:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \cong \frac{1}{T_2} = 1000 \cdot l_i$$


D1
R2
3
4
1000
10nF IC=1
R1
R3
R4
ei
1
2
5
6
10k
C1
7
10k
20k
2
A1
e1
A2
e2
8
10
10

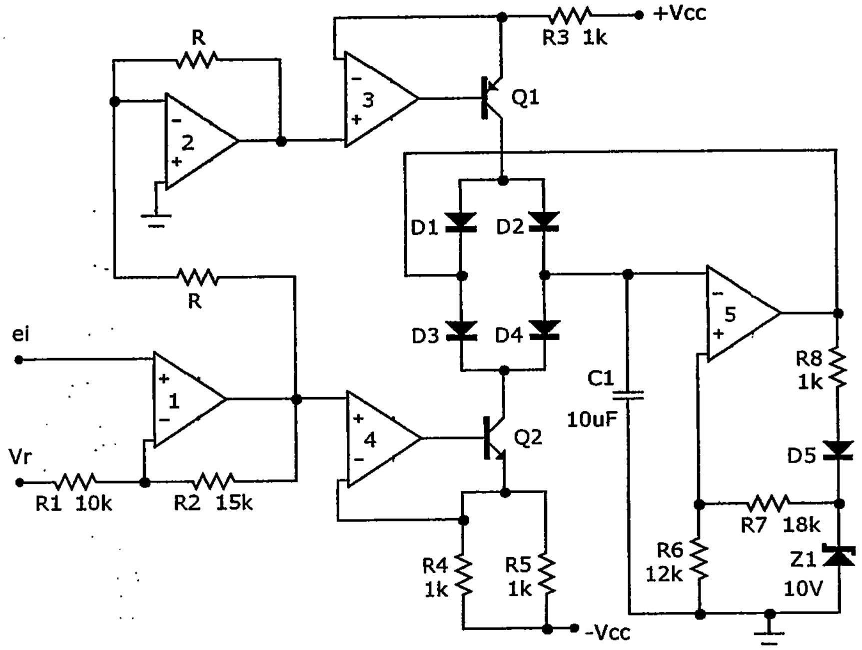

Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1a_2007_2_Simu.cir
486.2u
f = 2061Hz
11.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0
-9.0
-10.0
-11.0
0.0m
0.3m
0.6m
0.9m
1.2m
1.5m
1.8m
2.0m
v(4) (V)
v(5) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2008/1

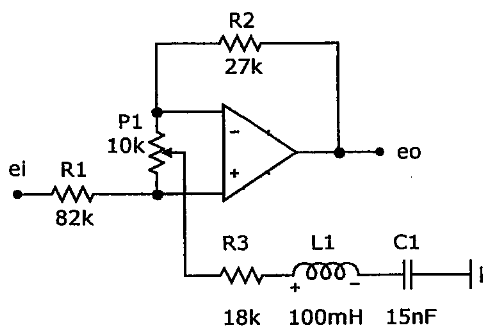
Prova 1 7/5/2008

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (6 pontos) Examine o circuito a seguir e: a) Descreva o que for possível do seu funcionamento. Esta descrição deve ser feita no início da questão. b) Separe em blocos funcionais, descreva e equacione detalhadamente cada um em formato literal. c) Junte as equações com o objetivo de determinar a equação do comportamento temporal da tensão no capacitor em relação a e_i.
d) Particularize a resposta colocando os valores de circuito e desenhe o gráfico temporal no capacitor para e_i = 2 Volts. Cada etapa deve ser amplamente documentada com textos, equações e esquemas pois isso será avaliado. Resultados que aparecem por mágica serão ignorados. Componentes ideais, alimentação regulada Vcc = ±15 Volts, V_r = 10 Volts.

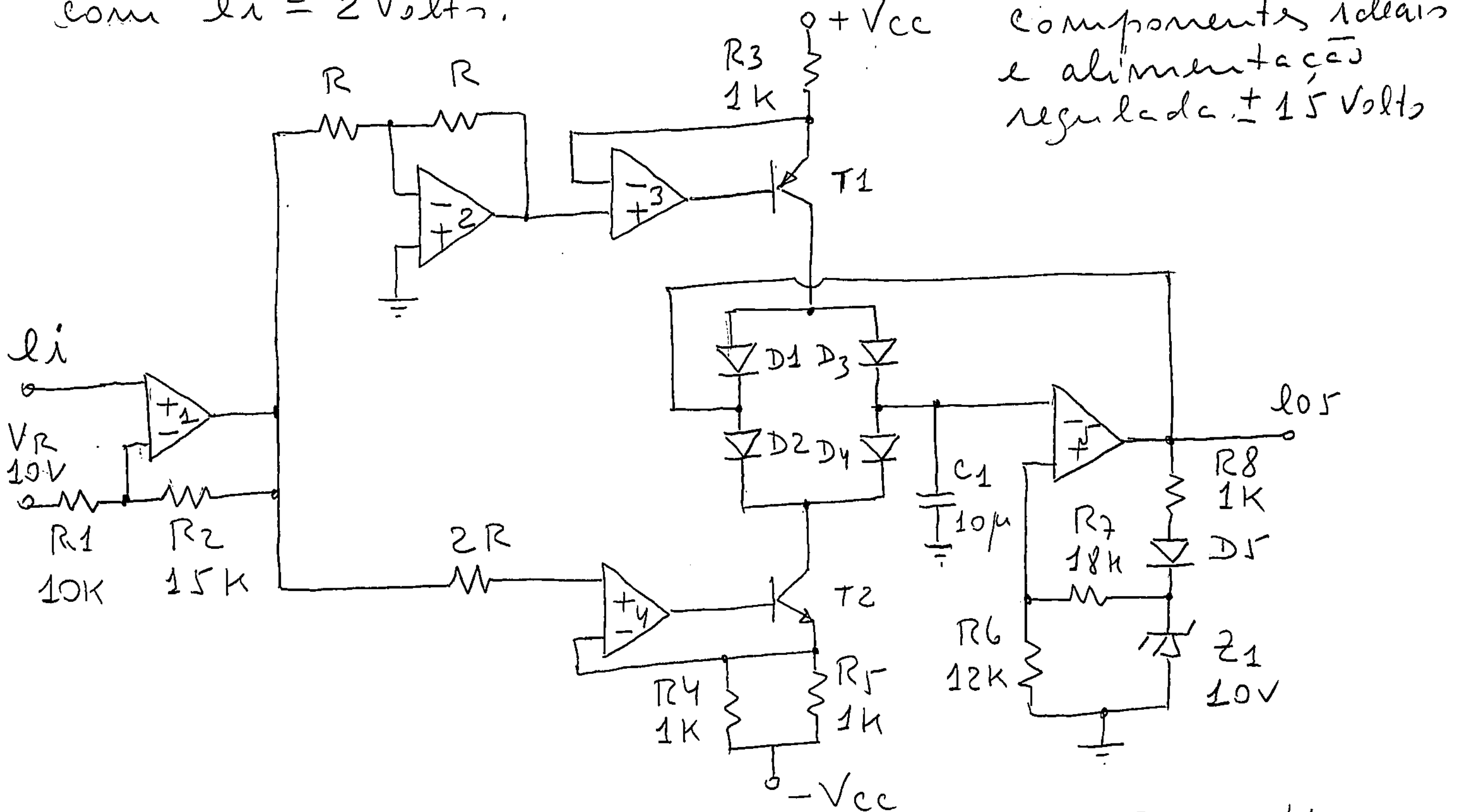


2. (4 pontos) Examine o circuito a seguir procurando entender o seu funcionamento e: a) Descreva o que for possível. b) Equacione, em termos literais, e_o / e_i supondo inicialmente que R_3 esteja ligado diretamente na massa e o potenciômetro nos extremos e no meio do curso. Aplique então os valores de circuito para obter resultados numéricos. c) Adicione agora L_1 e C_1 e esboce a curva de e_o em função da frequência do sinal e_i. Documente cada etapa do seu trabalho com textos equações e esquemas. Componentes ideais.



Divida o circuito em blocos funcionais e equacione cada um, em formato literal e depois em função de e_i apenas. Determine a equação da frequência do sinal e_{o5} de saída em função de e_i, desenhando também o gráfico temporal de tensão sobre o capacitor, com todos os valores calculados e com $e_i = 2$ Volts.

Componentes ideais e alimentação regulada ±15 Volts



P1 2008/1

Bloco 1: Amplif. subtrator:

$e_+ = e_i$

$$e_- = V_R \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_{o1}\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

circuito é linear: $e_+ = e_-$

$$e_{o1} = \frac{R_1+R_2}{R_1}\left(e_i - V_R \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}\right)$$

$$e_{o1} = \frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot e_i - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_R$$

$$e_{o1} = \frac{10+15}{10} \cdot e_i - \frac{15}{10} \cdot 10$$

$$e_{o1} = 2{,}5 \cdot e_i - 15 \ //$$

Bloco 2: Inversor.

$$e_{o2} = -e_{o1} = -2{,}5 \cdot e_i + 15 \ //$$

Bloco 3: Reforçador de corrente unilateral.

$$e_+ = e_{o2} = -2{,}5 \cdot e_i + 15$$

$$e_- = +V_{cc} - V_{R3} = V_{cc} - i_{c1} \cdot R_3$$

circuito é linear: $e_+ = e_-$

$$-2{,}5 \cdot e_i + 15 = V_{cc} - i_{c1} \cdot R_3$$

$$i_{c1} = \frac{V_{cc} + 2{,}5 \cdot e_i - 15}{R_3}$$

$$i_{c1} = \frac{15 + 2{,}5 \cdot e_i - 15}{10^3}$$

$$i_{c1} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e_i \quad //$$

Bloco 4: Igual ao bloco 3.

$$e_+ = e_{o1} = 2{,}5\, e_i - 15$$

$$e_- = V_{R5} - V_{cc} = i_{c2}(R_4 // R_5) - V_{cc}$$

Fazendo $e_+ = e_-$

$$2{,}5\, e_i - 15 = i_{c2} \cdot \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} - V_{cc}$$

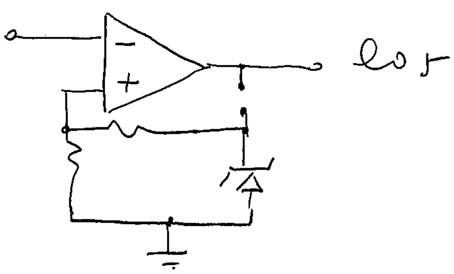
$$i_{c2} = \frac{2{,}5 \cdot e_i - 15 + V_{cc}}{\frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}}$$

$$i_{c2} = \frac{2{,}5 \cdot e_i - 15 + 15}{\frac{1 \cdot 1}{1+1} \cdot 10^3}$$

$$i_{c2} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot e_i \quad //$$

Bloco 5: Tem componentes não-lineares e pode ter realim. positiva.

Hipótese: D5 cortado:



Ficou um comparador sem histerese e inversor

Ponto de virada: $e_+ = e_- = 0$

$$e_{o5} = A_d(e_+ - e_-)$$

$$e_{o5} = \infty(0 - e_-)$$

$e_{o5} = -V_{cc}$ para $v_{c1} > 0$ //

(D5 cortado)

Hipótese: D5 conduzindo: comparador com histerese e $e_{o5} = +V_{cc}$

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

Como o zener está conduzindo:

$$e_+ = V_{Z1} \frac{R_6}{R_6 + R_7}$$

$e_- = v_{c1}$ Igualando:

$$v_{c1} = 10 \frac{12}{12+18} \rightarrow v_{c1} = 4 \quad //$$

A tensão no capacitor excursiona entre $0 \leq v_{c1} \leq 4$

Bloco comutador com diodos:

Hipótese: $e_{o5} = +V_{cc}$:

D1 e D4 cortados

D2 e D3 conduzindo

i_{c1} carrega o capacitor

$$v_c = \frac{1}{C}\int i_c \cdot dt \rightarrow v_c = \frac{1}{C} i_c \cdot t$$

$$T_1 = \frac{\Delta V_c \cdot C_1}{i_{c1}} = \frac{4 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e_i}$$

$$T_1 = \frac{0{,}016}{e_i} \quad //$$

Hipótese: $e_{o5} = -V_{cc}$:

D2 e D3 cortados

D1 e D4 conduzindo

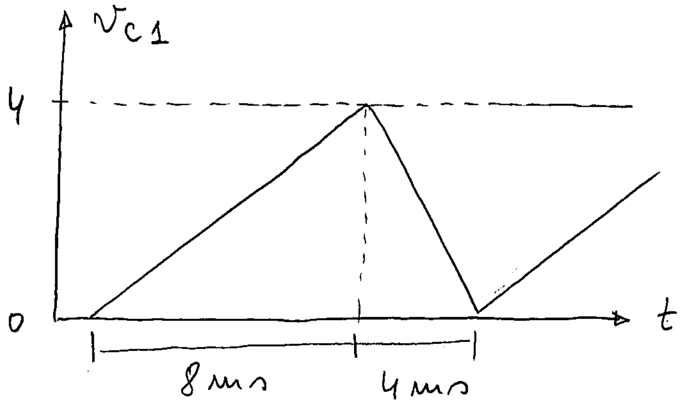
$$T_2 = \frac{\Delta V_c \cdot C_1}{i_{c2}} = \frac{4 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot e_i \cdot 10^{-3}}$$

$$T_2 = \frac{0{,}008}{e_i} \quad //$$

Com $e_i = 2$ Volts:

$$T_1 = \frac{0{,}016}{2} = 8\,ms$$

$$T_2 = \frac{0{,}08}{2} = 4\,ms$$



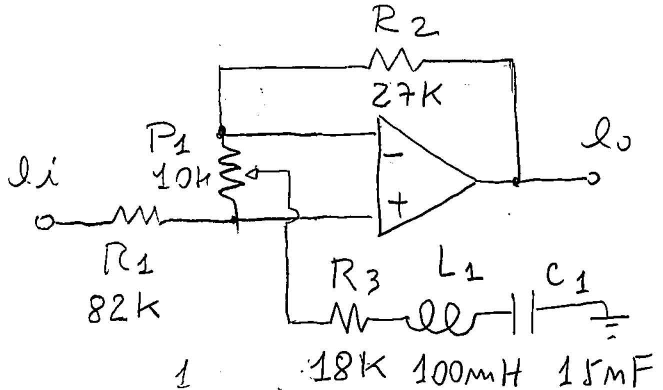
Frequência:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} = \frac{1}{\frac{0{,}016}{e_i} + \frac{0{,}008}{e_i}}$$

$$f = \frac{e_i}{0{,}024} \rightarrow f = 41{,}67 \cdot e_i \ Hz$$

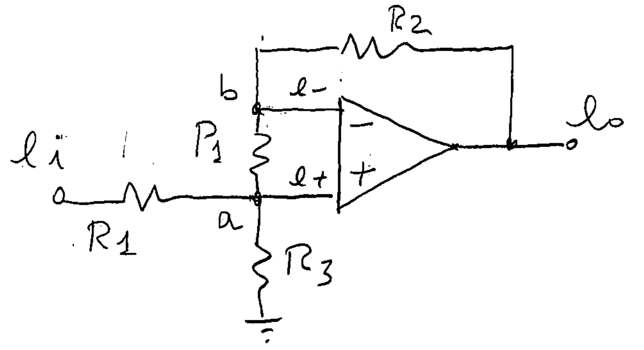
$$f = 83{,}33\ Hz \text{ com } e_i = 2$$

Examine o circuito procurando entender o seu funcionamento. Equacione e_o/e_i supondo inicialmente que R_3 vai direto para a massa (L_1 e C_1 não existem). Aplique os valores do circuito e determine o ganho e_o/e_i nos extremos e centro do potenciômetro. Adicione agora L_1 e C_1 e esboce a curva do ganho em função da frequência do sinal e_i. Documente cada etapa. Componentes ideais.



$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \ \frac{rad}{s}$$

Sem L_1 e C_1 e P_1 no extremo inferior (a):



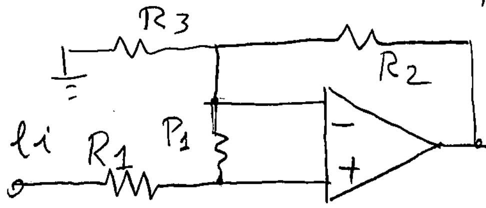
Como o circuito é linear, $e_+ = e_-$ e não há corrente em P_1.

$$e_- = e_o$$

$$e_+ = e_i \frac{R_3}{R_1+R_3} \quad \text{então:}$$

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_a = \frac{R_3}{R_1+R_3} \quad //$$

Sem L_1 e C_1 e com P_1 no extremo superior (b):



Não há corrente por P1:

$$e_+ = e_i$$

$$e_- = e_o \frac{R_3}{R_2+R_3} \quad \text{então:}$$

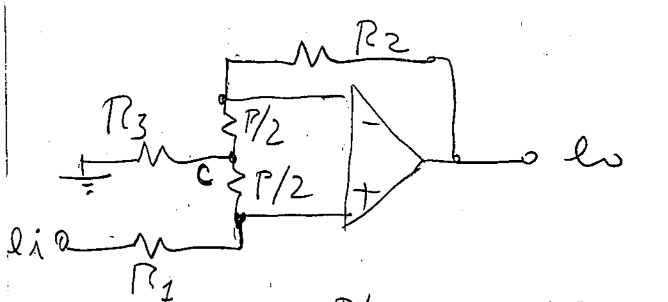
$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_b = \frac{R_2+R_3}{R_3} \quad //$$

Colocando os valores:

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_a = \frac{18}{82+18} = 0{,}18 \ //$$

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_b = \frac{27+18}{18} = 2{,}5 \ //$$

Com o cursor no meio:



$$e_- = e_o \frac{R_3 + P/2}{R_2+R_3+P/2} = \frac{18+5}{27+18+5} \cdot e_o$$

$$e_+ = e_i \frac{R_3 + P/2}{R_1+R_3+P/2} = \frac{18+5}{82+18+5} \cdot e_i$$

Note que o operacional produz e_o para equilibrar e_i

Igualando os termos:

$$\frac{e_o}{e_i}\Big|_c = 0{,}476 \;//\; = \frac{P_1/2 + R_3 + R_2}{P_1/2 + R_3 + R_1}$$

Colocando L_1 e C_1:

Circuito RLC série com ressonância em:

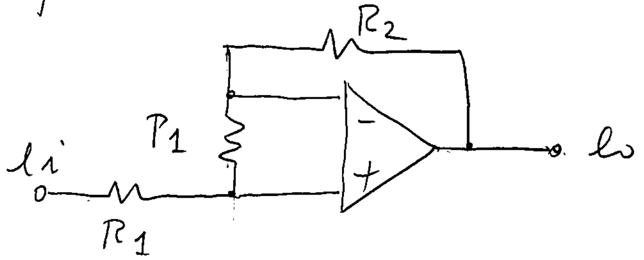
$$W_0 = 2\cdot\pi\cdot f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1\cdot C_1}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\cdot\pi\sqrt{100\cdot10^{-3}\cdot 15\cdot10^{-9}}}$$

$f_0 = 4{,}11\ kHz$ //

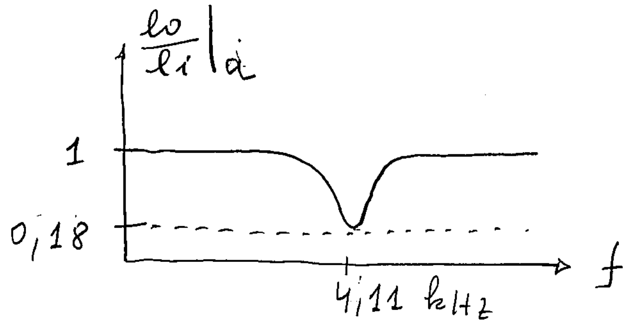
Nesta frequência, $X_L = X_C$ e a impedância de e_+ para a mesma fica R_3 apenas.

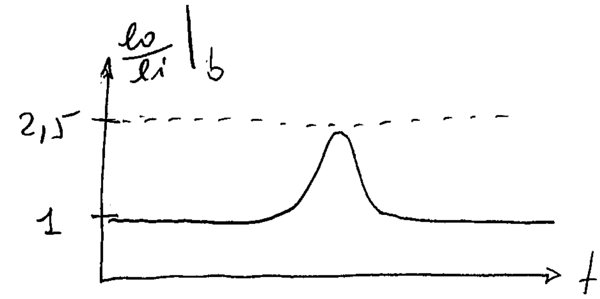
Acima e abaixo de f_0 a impedância tende à infinito e o circuito fica:

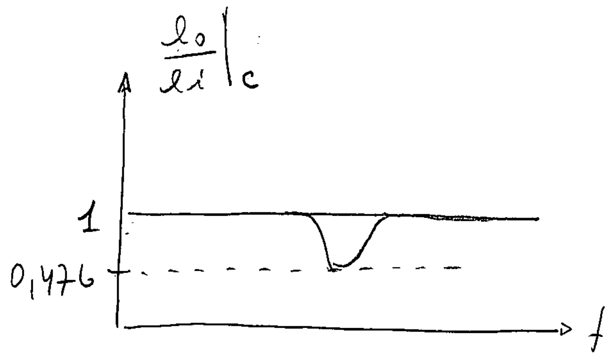


cujo ganho é unitário.

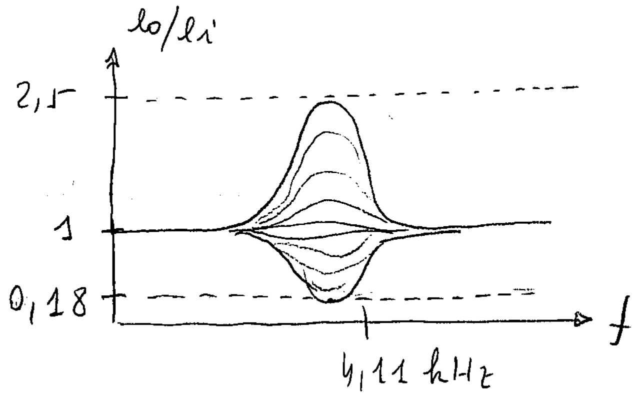
Gráficos:







Juntando:

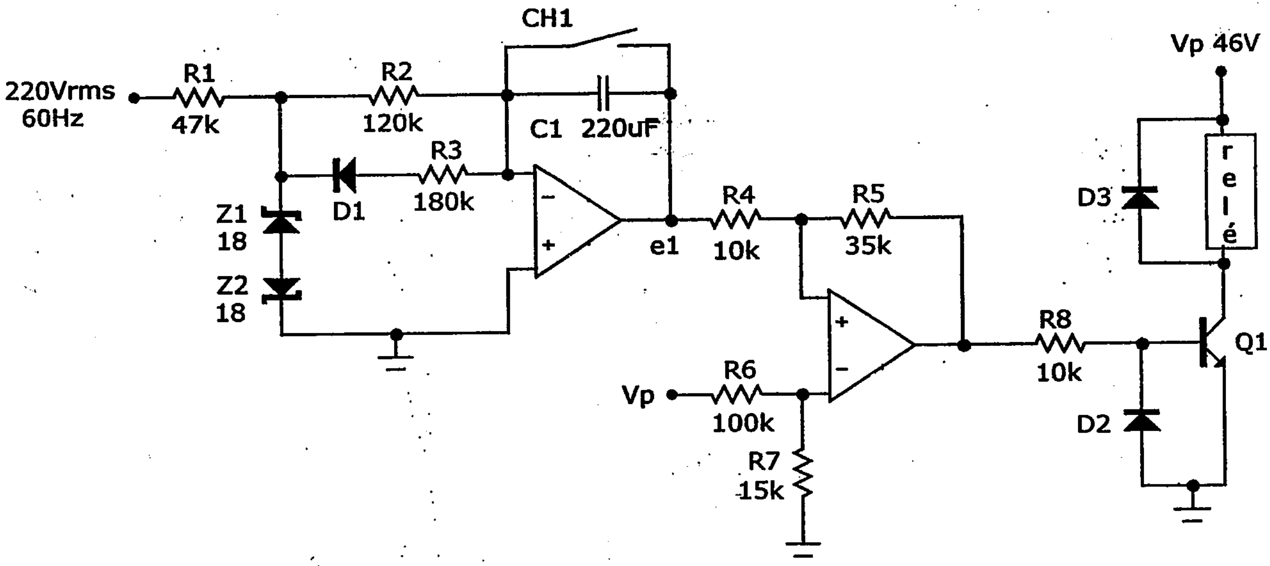


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2008/2

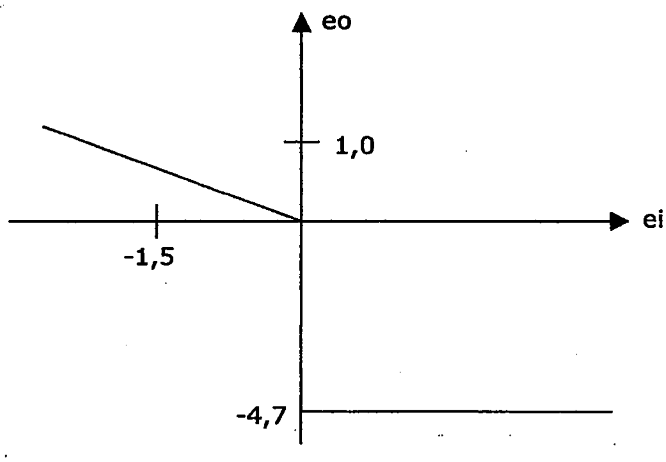
Prova 1 14/10/2008

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (6 pontos) Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Separe em blocos funcionais e equacione cada um, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso será avaliado sempre. Junte os resultados com o objetivo de determinar a equação da resposta de e_1 (literal e com os valores de circuito) e a resposta do relé após abrir a chave. Componentes ideais, $V_Z = 18$, $V_d = 0$, alimentação simétrica de 15 Volts.

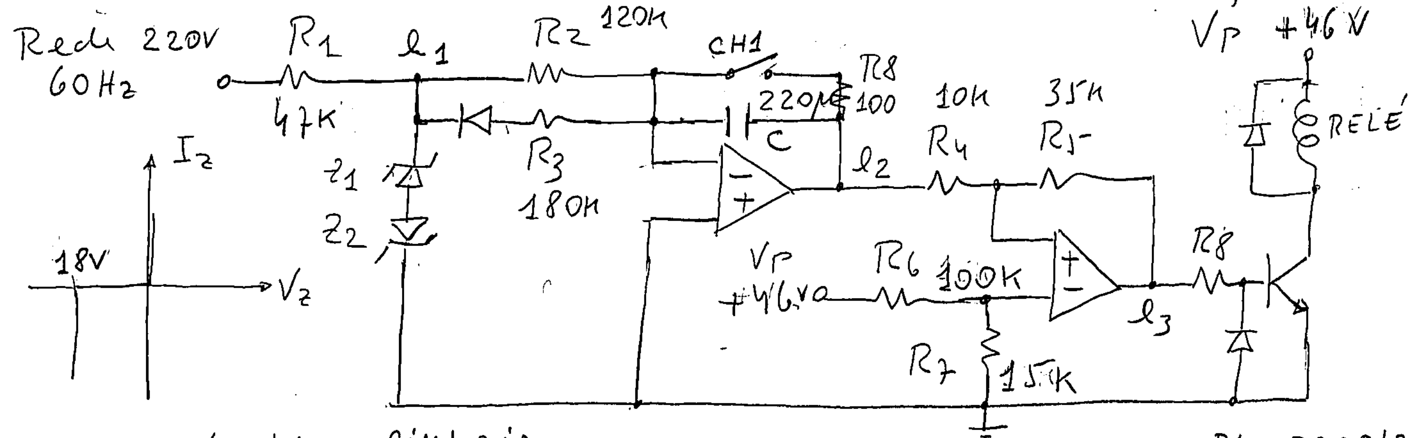


2. (4 pontos) Implemente um circuito que apresente a resposta descrita pelo gráfico a seguir. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas. Após completar o projeto, desenhe o gráfico temporal da saída, com uma onda triangular simétrica de 5V de pico na entrada.Use a hierarquia. Alimentação simétrica de 10 Volts.



Examine o circuito procurando entender o seu funcionamento. Divida em blocos funcionais, classifique e equacione cada um, descrevendo com textos e diagrama cada etapa. Junte os resultados com o objetivo de determinar a equação (com resist. e cap.) que permite calcular o tempo entre abrir a chave e o acionamento do relé. Alimentação ±15. Comp. ideais.

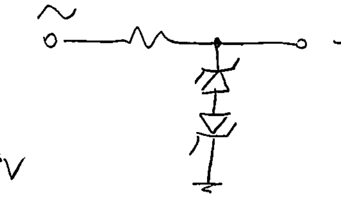
- Equação literal de e_2
- Tempo entre abrir CH1 e o relé fechar.



Ver timerSIMU.cir

P1 - 2008/2

Bloco 1: Limitador com zener:



$e_1 = \pm 18V$

Bloco 2: Integrador inversor:

$$e_2 = \frac{-1}{C}\int_0^t i_c \cdot dt \quad e \quad i_c = \frac{e_1}{R}$$

$$e_2 = \frac{-1}{R \cdot C} e_1 \cdot t + e_2(t=0)$$

Com $R = 120k \rightarrow e_2 = -5{,}88\ mV$

Com $R = R_2 // R_3 = 72k \rightarrow e_2 = +9{,}47\ mV$

usando $t = 8{,}33\ ms = 1/2$ ciclo da rede

Bloco 3: Comparador não inversor, com histerese e tensão de referência.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_- = V_p \cdot \frac{R_7}{R_6+R_7} = 46 \cdot \frac{15}{100+15} = 6 \text{ Volts}$$

Usando superposição:

$$e_+ = e_2 \frac{R_5}{R_4+R_5} + e_3 \frac{R_4}{R_4+R_5}$$

Fazendo $e_+ = e_-$ e isolando e_2:

$$e_2 = \frac{6(R_4+R_5) - e_3 \cdot R_4}{R_5}$$

Como e_3 só pode ser $\pm V_{cc}$ vem:

$$e_2 = \begin{cases} 12 & (e_3 = -15V) \\ 3{,}43 & (e_3 = 15V) \end{cases}$$

Bloco 4: Transistor reforçador de corrente.

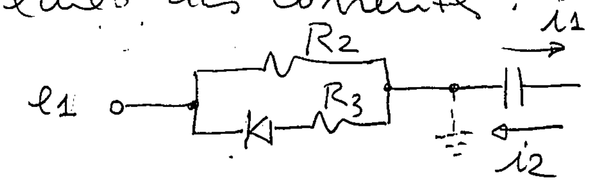
Se $e_{o3} = +V_{cc}$ o relé liga.

Análise:

A rede elétrica produz em e_1 uma onda quadrada de ± 18 Volts, que vai carregar/descarregar o capacitor com a corrente limitada por R_2 e R_3.

Como as correntes são diferentes, pouco a pouco a tensão no capacitor vai aumentando até fazer virar o comparador e ligar o relé.

Cálculo das correntes:



$$i_1 = \frac{e_1}{R_2} = \frac{+18}{120k} = 0{,}15\,mA$$

$$i_2 = \frac{e_1}{R_2 // R_3} = \frac{-18}{72k} = -0{,}25\,mA$$

A corrente média no capacitor é então:

$$i_c = \frac{i_1 - i_2}{2} = -0{,}05\,mA$$

entrando em e_1, de modo que, ao abrir a chave, e_2 aumenta de zero volt para:

$$e_2 = \frac{-1}{220 \cdot 10^{-6}}\left(-0{,}05 \cdot 10^{-3}\right) \cdot t + 0$$

$$e_2 = 0{,}227 \cdot t \ //$$

Tempo para e_2 atingir $V_{HIGH} = 12V$ e acionar o relé:

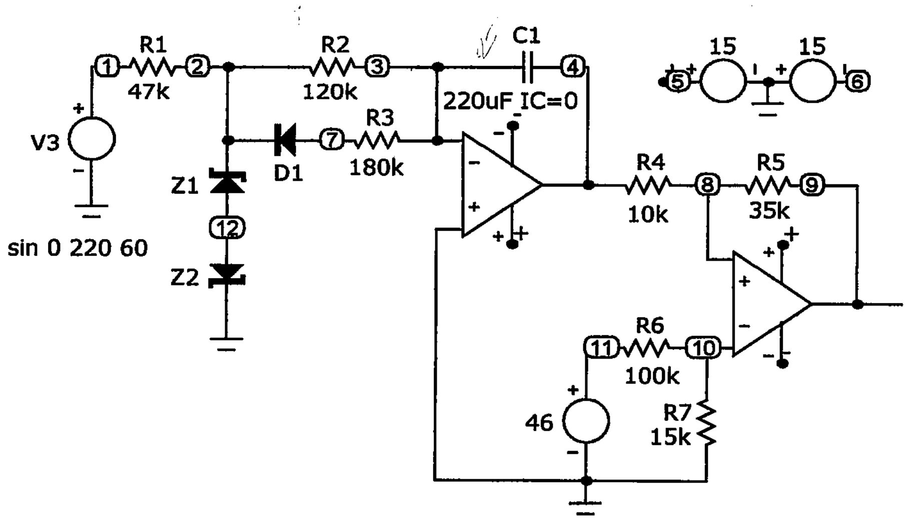
$$12 = 0{,}227 \cdot t$$

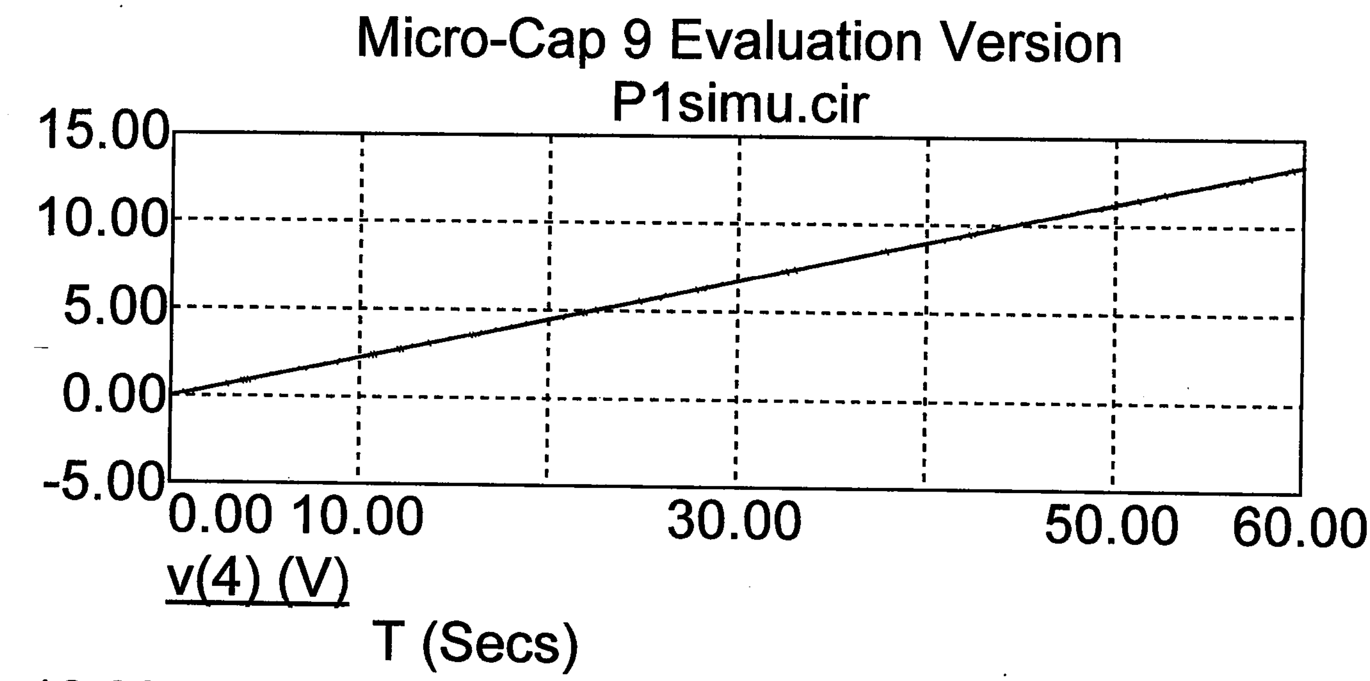
$$t = 52{,}8 \text{ segundos} \ //$$

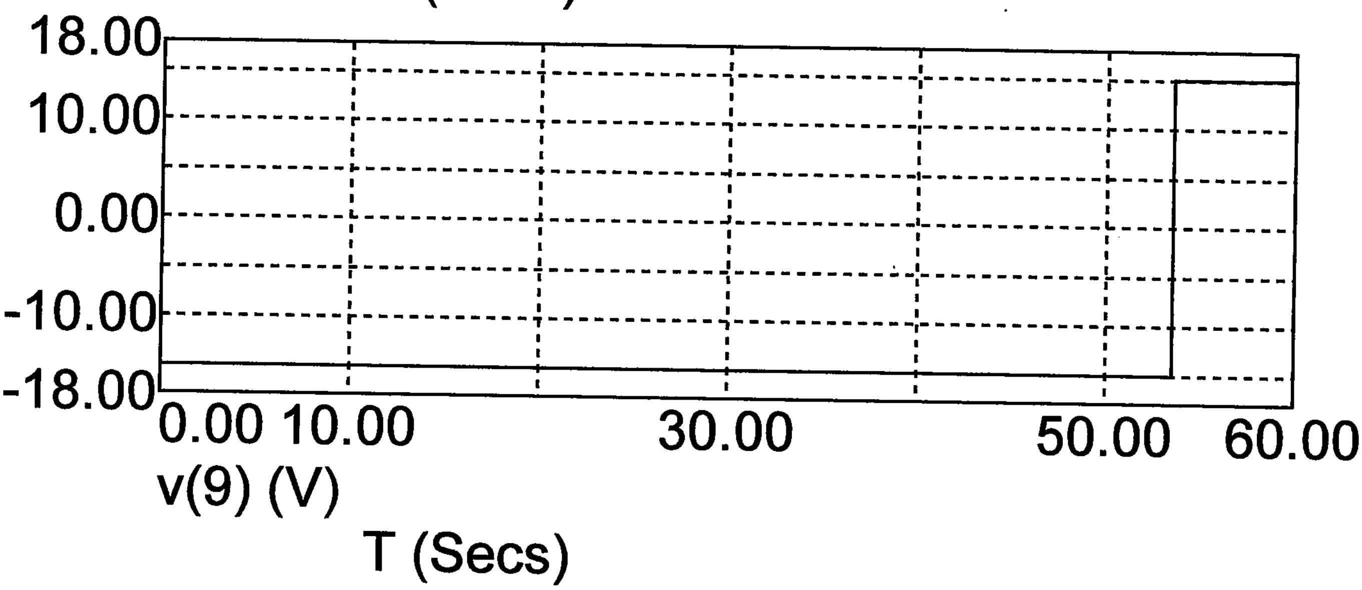
Fechando então a chave, o capacitor se descarrega instantaneamente e $e_2 < V_{LOW} = 3{,}43$, de modo que e_3 vira para $-V_{cc}$ e o relé desliga.

Equação literal:

$$e_2 = \frac{-\left(\frac{e_1}{R_2} - \frac{e_1}{R_2 // R_3}\right)}{2 \cdot C} \cdot t \ //$$

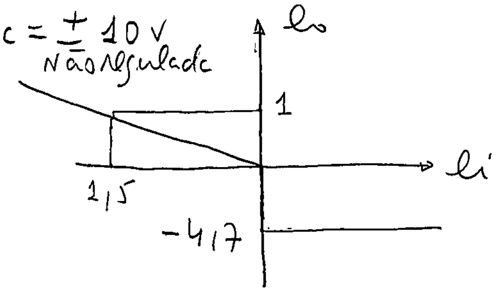

R1
47k
R2
120k
C1
220uF IC=0
R3
180k
D1
V3
Z1
Z2
sin 0 220 60
15
15
R4
10k
R5
35k
R6
100k
R7
15k
46


Micro-Cap 9 Evaluation Version
P1simu.cir
15.00
10.00
5.00
0.00
-5.00
0.00 10.00
30.00
50.00
60.00
v(4) (V)
T (Secs)


18.00
10.00
0.00
-10.00
-18.00
0.00 10.00
30.00
50.00
60.00
v(9) (V)
T (Secs)

Implemente um circuito que apresente a resposta descrita a seguir sob forma do gráfico $e_o \times e_i$. Descreva cada etapa do seu trabalho, comp. ideais.

$V_{cc} = \pm 10\,V$
Não regulada



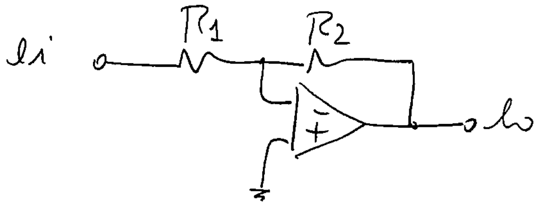
P1-2008/2

O gráfico mostra uma parte linear, para $e_i < 0$, uma parte constante para $e_i > 0$ e ainda uma transição em $e_i = 0$

O circuito como um todo tem o comportamento inversor.

a) Parte linear.

Pode ser implementada por um amplf. inversor:



$$e_o = -e_i \frac{R_2}{R_1}$$

Medindo no gráfico,

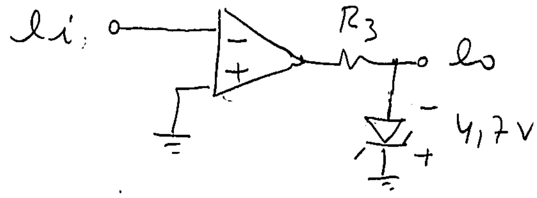
$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{1}{1,5} = \frac{R_2}{R_1}$$

Escolhemos $R_2 = 18k$ e $R_1 = 12k$ //

b) Parte não-linear:

É um comparador com zero, sem histerese inversor com grampeador na saída em 4,7V pois a alimentação é 10V.

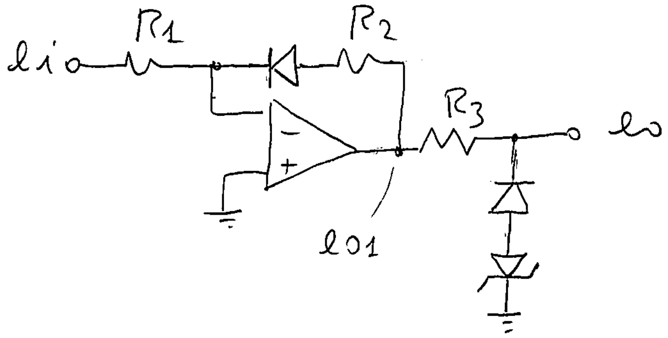
Pode ser implementado por:



Combinando os circuitos:

- Não pode haver realim. negativa para $e_i > 0$ ⇒ usar um diodo.
- Não pode haver interferência do zener para $e_i < 0$ ⇒ usar um diodo.

Fica então:



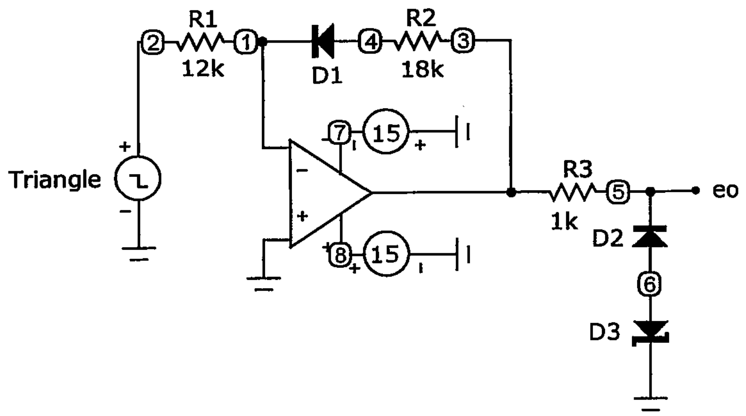
Cálculo de R_3:

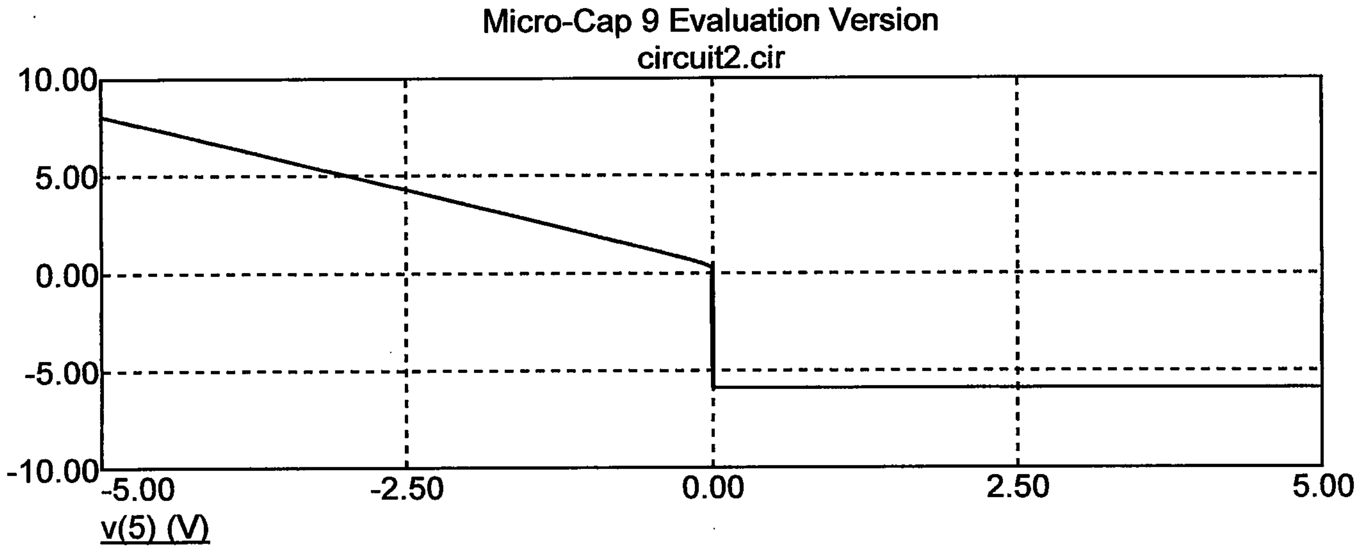
Depende da carga.

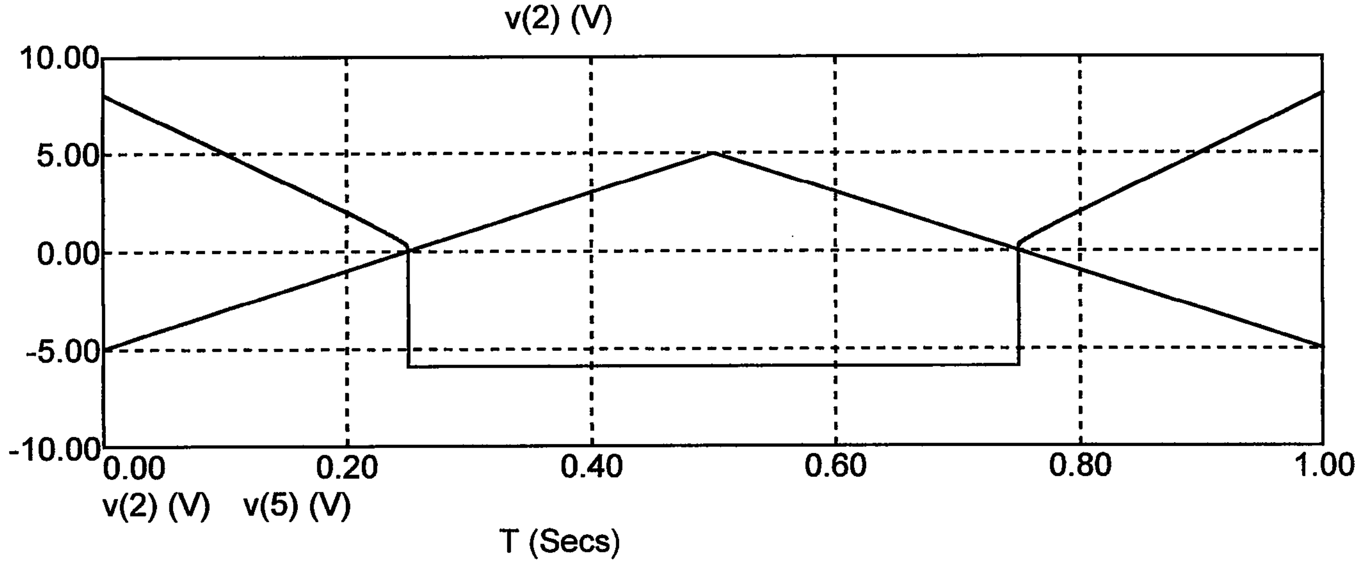
Imaginando 3mA pelo zener e 3mA na carga:

$$R_3 = \frac{e_{o1} - e_o}{I_z + I_L} = \frac{10 - 4,7}{3mA + 3mA} = 0,88k$$

$R_3 = 1k$ //


R1
12k
D1
R2
18k
Triangle
15
15
R3
1k
eo
D2
D3


Micro-Cap 9 Evaluation Version
circuit2.cir
10.00
5.00
0.00
-5.00
-10.00
-5.00
-2.50
0.00
2.50
5.00
v(5) (V)
v(2) (V)

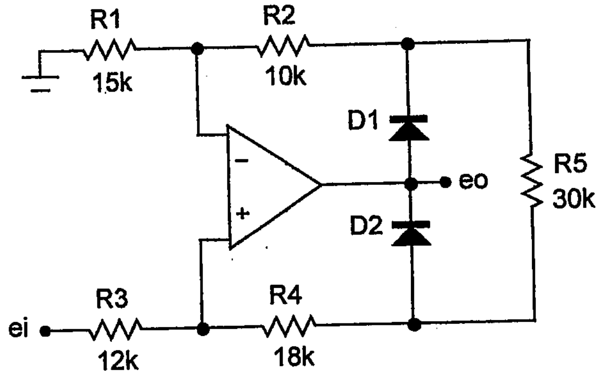

10.00
5.00
0.00
-5.00
-10.00
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00
v(2) (V) v(5) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2009/1**

Prova 1 **6/5/2009**

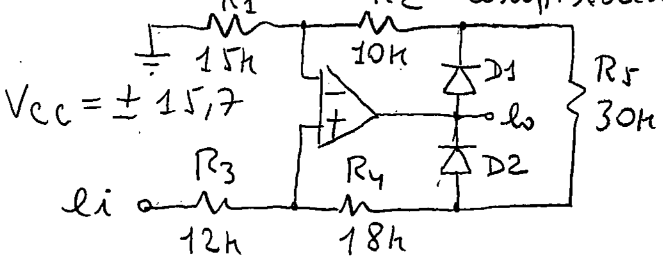
Nome: GABARITO **Turma:** _____

1. Examine o circuito a seguir, entenda o seu funcionamento e equacione, com o objetivo de desenhar o gráfico de e_o x e_i com todos os valores numéricos que foram calculados, documentando cada etapa da solução com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Componentes ideais. Alimentação simétrica de 15,7 Volts.



2. Projete um circuito para detetar e guardar a maior tensão negativa de um sinal, com a saída retornando para zero quando o sinal ficar positivo. A saída deve ter baixa impedância e seguir a entrada enquanto ela estiver descendo, memorizar o valor mais negativo quando ela estiver subindo e zerar se a entrada ficar positiva.
Use o método hierárquico, começando por um diagrama em blocos e esboços, topologia de cada bloco, reunião dos blocos, análise da topologia completa, eventuais reiterações, equacionamento, atribuição e cálculo dos valores de circuito, análise e considerações finais.
Operacionais *single supply*, diodos, transistores... podem ser usados.
Alimentação simples de -30 Volts, entrada máxima de ±200mV, saída a maior possível.
Por ser um projeto, deve haver ampla e detalhada documentação sobre a escolha justificada de cada bloco, as decisões de projeto, a atribuição dos valores e todas as demais tarefas.

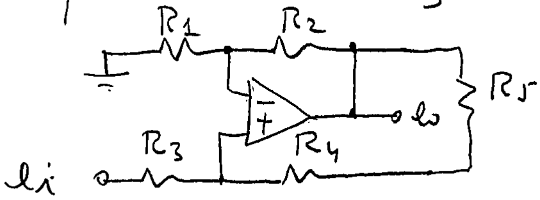
Examine o circuito a seguir, entenda o seu funcionamento e equacione com o objetivo de desenhar o gráfico de $\ell_o \times \ell_i$ com todos os valores numéricos. comp. ideais.



Simu 1a 2007-2

circuito com duas realim. e diodos.

Hipótese: $\ell_o > 0$ de modo que D1 conduza:



Realim. negativa:

$$\ell_N = \ell_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = \ell_o \frac{15}{10+15} = 0,6 \cdot \ell_o$$

Realim. positiva:

$$\ell_p = \ell_o \frac{R_3}{R_3+R_4+R_5} = \ell_o \frac{12}{12+18+30}$$

$$\ell_p = 0,2\,\ell_o \;//$$

Então $\ell_N > \ell_p \Rightarrow$ amplif.

Cálculo do ganho: $\ell_+ = \ell_-$

$$\ell_- = \ell_N = \ell_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = 0,6\,\ell_o$$

$$\ell_+ = \ell_o \frac{R_3}{R_3+R_4+R_5} + \ell_i \frac{R_4+R_5}{R_3+R_4+R_5}$$

$$\ell_+ = \ell_o \frac{12}{12+18+30} + \ell_i \frac{18+30}{12+18+30}$$

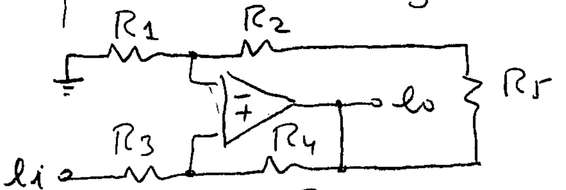
$$\ell_+ = 0,2\,\ell_o + 0,8\,\ell_i$$

Igualando:

$$0,6\,\ell_o = 0,2\,\ell_o + 0,8\,\ell_i$$

$$\ell_o = 2 \cdot \ell_i \;//$$

Hipótese: $\ell_o < 0$ de modo que D2 conduz:



$$\ell_N = \ell_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_5} = \ell_o \frac{15}{15+10+30}$$

$$\ell_N = 0,273 \cdot \ell_o$$

$$\ell_p = \ell_o \frac{R_3}{R_3+R_4} = \ell_o \frac{12}{12+18} = 0,4 \cdot \ell_o$$

Então: $\ell_P > \ell_N \Rightarrow$ comp. com histerese

Ponto de virada: $\ell_+ = \ell_-$:

$$\ell_- = \ell_N = 0,273 \cdot \ell_o$$

$$\ell_+ = \ell_o \frac{R_3}{R_3+R_4} + \ell_i \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

$$\ell_+ = \ell_o \frac{12}{12+18} + \ell_i \frac{18}{12+18}$$

$$\ell_+ = 0,4\,\ell_o + 0,6\,\ell_i$$

Igualando:

$$0,273\,\ell_o = 0,4\,\ell_o + 0,6\,\ell_i$$

$$\ell_i = -0,212 \cdot \ell_o \;//$$

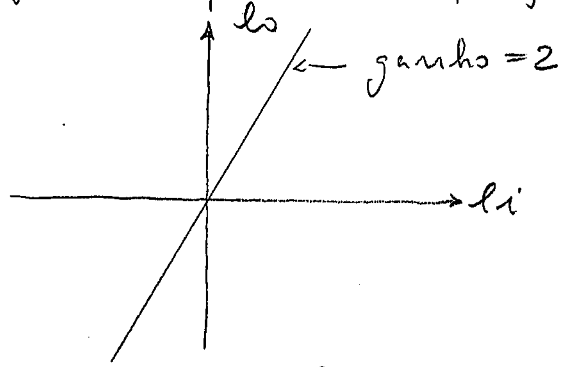
Valores de ℓ_i que podem virar o comparador:

$$\ell_i \begin{cases} -0,212 \cdot 15,7 = -3,33 \\ -0,212 \cdot (-15,7) = +3,33 \end{cases}$$

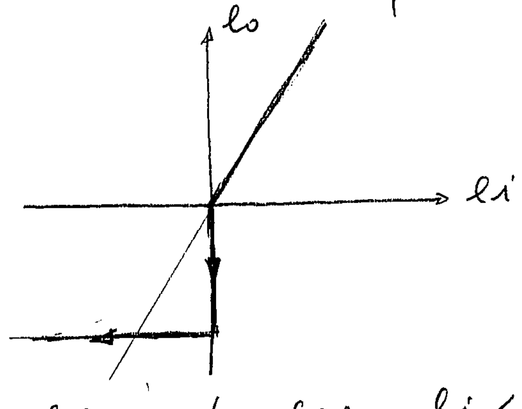
Para estes valores de ei,
o circuito operando como
amplificador vai fornecer:

$$e_o \begin{cases} 2\cdot(-3{,}33) = -6{,}66 \\ 2\cdot 3{,}33 = 6{,}66 \end{cases}$$

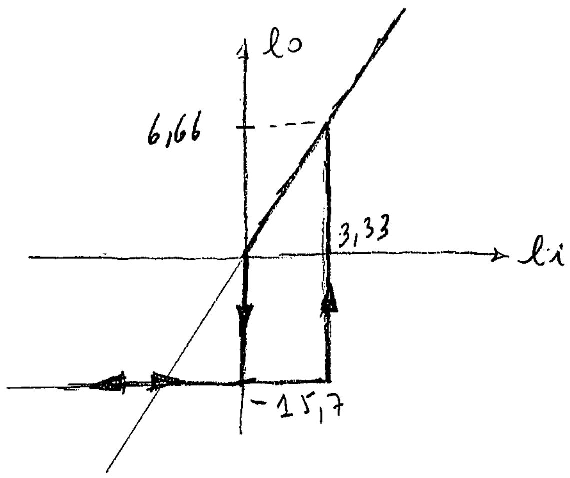
Montando o gráfico:
Se fosse apenas amplific.:

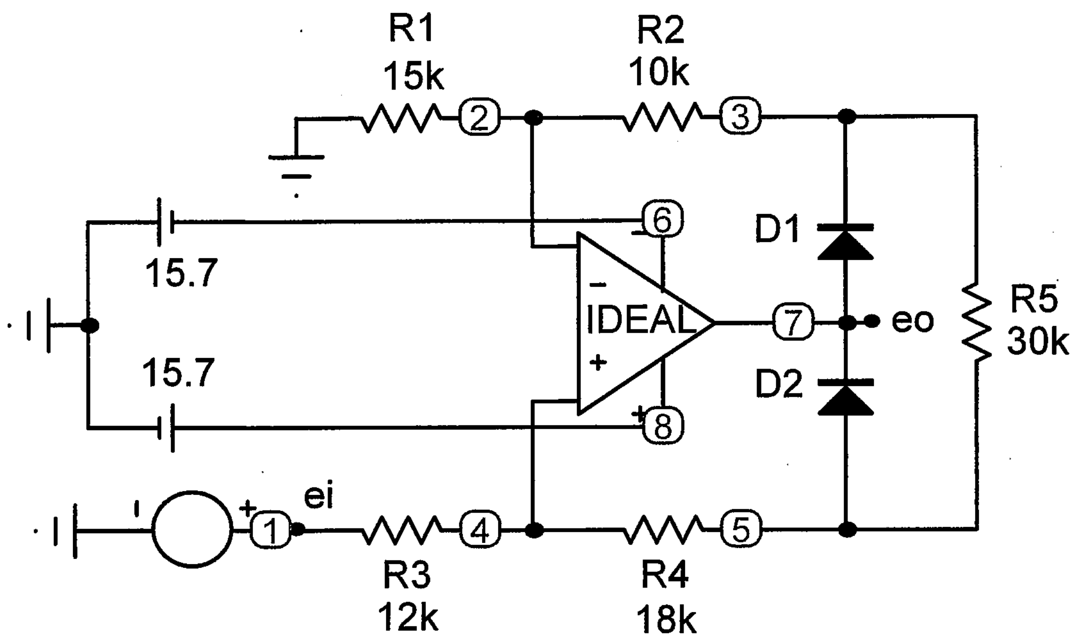


Mas quando eo < 0 o
circuito vira comparador:

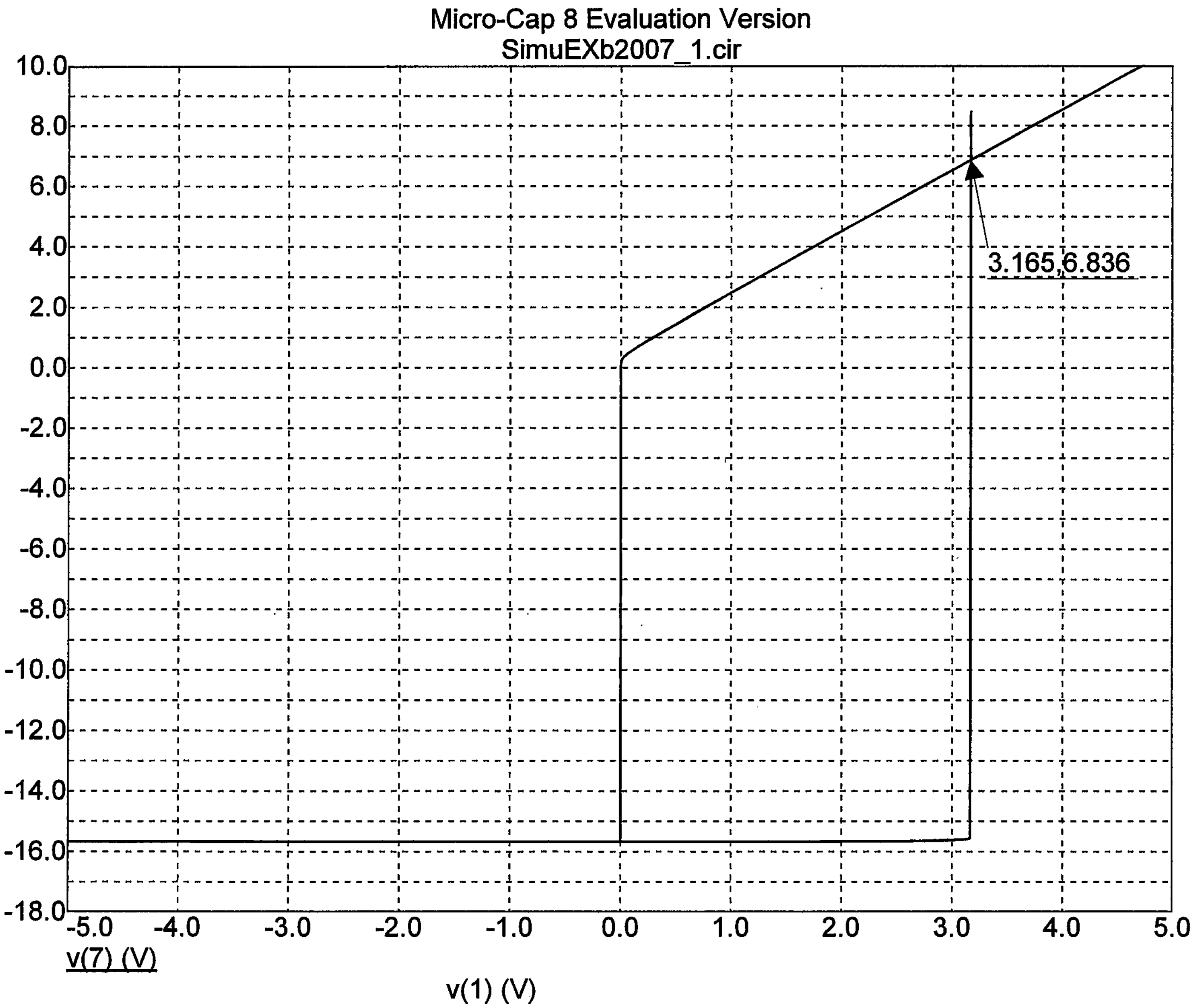


começando com ei < 0
e aumentando, o comp.
vira com ei = +3,33:





DC 0 AC 1 0 Pulse -5 5 0 500m 500m 0 1

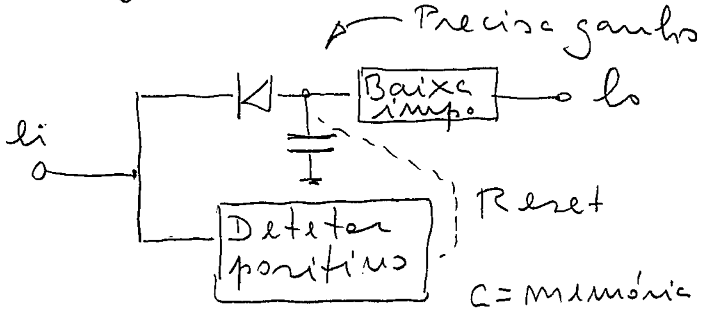


Projetar um circuito para detetar e guardar a maior tensão negativa de um sinal, com a saída retornando a zero quando o sinal ficar positivo. A saída deve ter baixa impedância e seguir a entrada enquanto ela estiver descendo e memorizar o valor mais negativo quando ela estiver subindo e zerar se a entrada ficar positiva. Use o método hierárquico, começando por um diagrama em blocos, topologia de cada bloco, reunião dos blocos, análise da topologia completa, equacionamento, cálculo dos valores e análise final.

Operacionais single supply, transistores, diodos etc. podem ser usados.

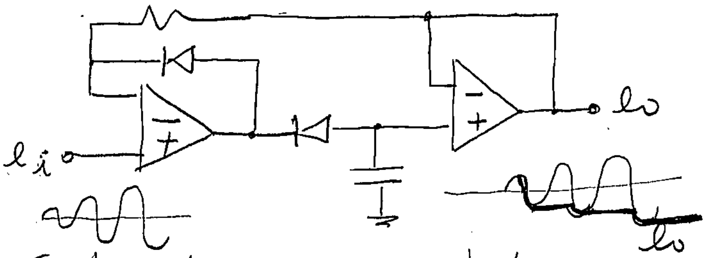
Alimentação simples de -30V, entrada máxima ±200mV, saída a maior possível.

Diagrama em blocos:



Topologias:

Detetor de pico negativo com memória: Diodo ideal + capacitor + buffer:



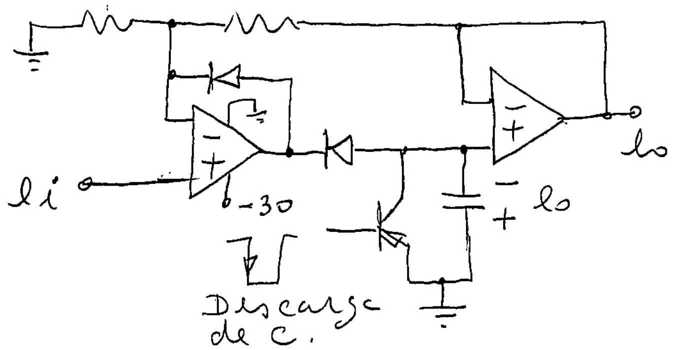
Este é o núcleo básico.

Precisa ganho e reset para zero quando $e_i > 0$.

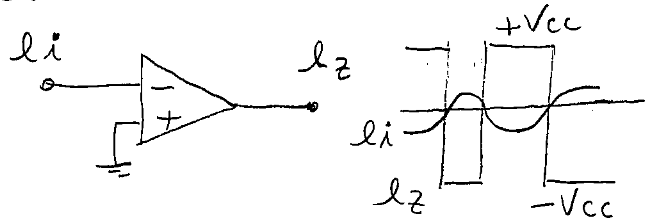
Ganho: Estágio adicional ou usar retificador com ganho.

Reset: Transistor para descarregar C e detetor de cruzamento por zero.

Fica então:



Comparador com zero, sem histerese; Deve ser inversor.



Alimentação é ⏚ e -30V:

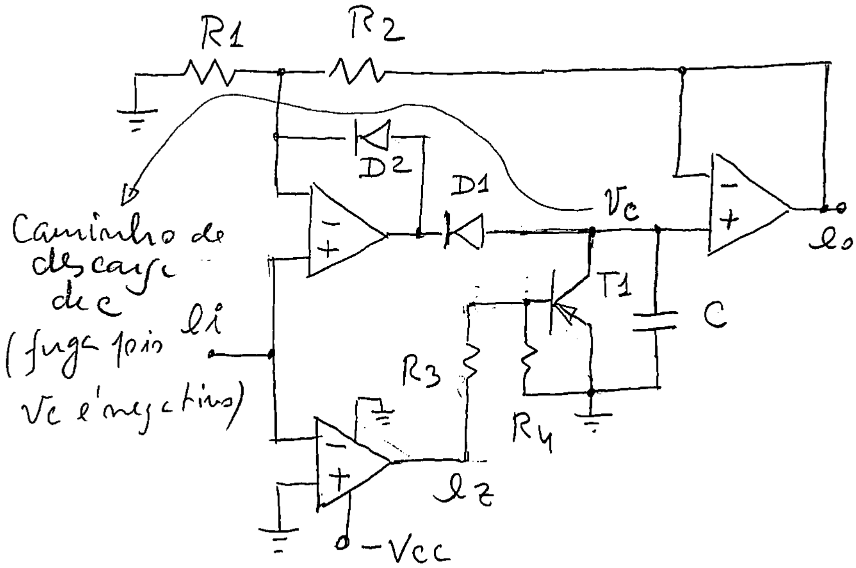
e_o é sempre negativo → OK,

retificador com saída neg. → OK

comparador: $V_{HIGH} = 0$ $V_{LOW} = -30$ → OK

Transistor corta com $V_{BE} = 0$. Usar resistor entre base e emissor para garantir e limitar a corrente de base com outro resistor.

Juntando os blocos:



Equacionamento:

$e_{i\,máx} = \pm 200\,mV$

$e_{o\,máx} = {}^{+0}_{-30}\,V$

$$Ganho = \frac{e_o}{e_i} = \frac{-30}{-200\,mV} = 150$$

Colocando todo o ganho no retificador; com e_i positivo, $D1 = ON$ $D2 = OFF$ e como o buffer tem ganho unitário, ficou um amplif. não-inversor:

$e_+ = e_i$

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o = e_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

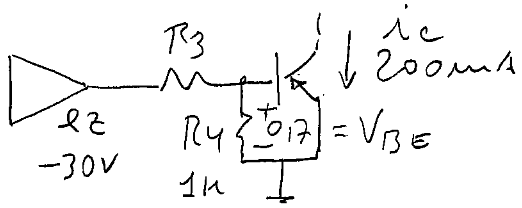
Então $\frac{e_o}{e_i} = 150 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

Escolhendo $R_1 = 1k$,
$R_2 = 150K$

com e_i positivo, $D1 = OFF$ e $D2 = ON$ e o capacitor fica isolado → OK.

A taxa de variação de e_i é desconhecida. Vamos escolher $C_1 = 100MF$ e $I_{descarga} = 200\,mA$ para usar um transistor BC337 comum com $h_{FE} = 100$ típico.

Escolhendo $R_4 = 1k$, calculamos R_3:



$$i_b = \frac{i_c}{h_{FE}} = \frac{200\,mA}{100} = 2\,mA$$

$$i_{R4} = \frac{V_{BE}}{R_4} = \frac{0{,}7}{1k} = 0{,}7\,mA$$

$$R_3 = \frac{e_z - V_{BE}}{i_b + i_{R4}} = \frac{30 - 0{,}7}{2\,mA + 0{,}7\,mA}$$

$R_3 = 10K$

Considerações finais:

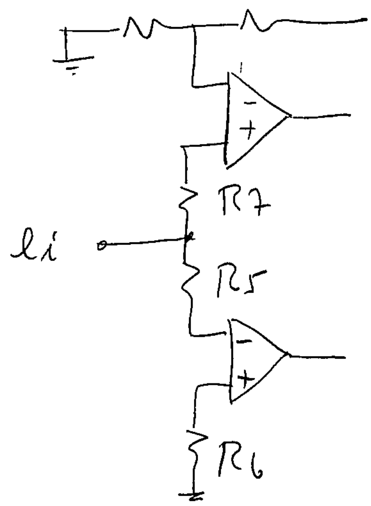
- Operacional e_o precisa ser com FET na entrada.
- Limitar a corrente da entrada e_- de e_z pois e_+ está sempre na massa: Resistores R_5 e R_6 →

- Neutralizar os offsets de corrente colocando em e_+ do retificador um resistor $R_7 = R_1 // R_2$.

- Escolher um transistor com baixa corrente de fuga de coletor para não descarregar C quando D1 = OFF.

- Otimizar o valor de C e a corrente de reset para zero em função da velocidade de variação do sinal.

- Distribuir o ganho de 150 entre o retificador e um estágio de ganho adicional. - - - -



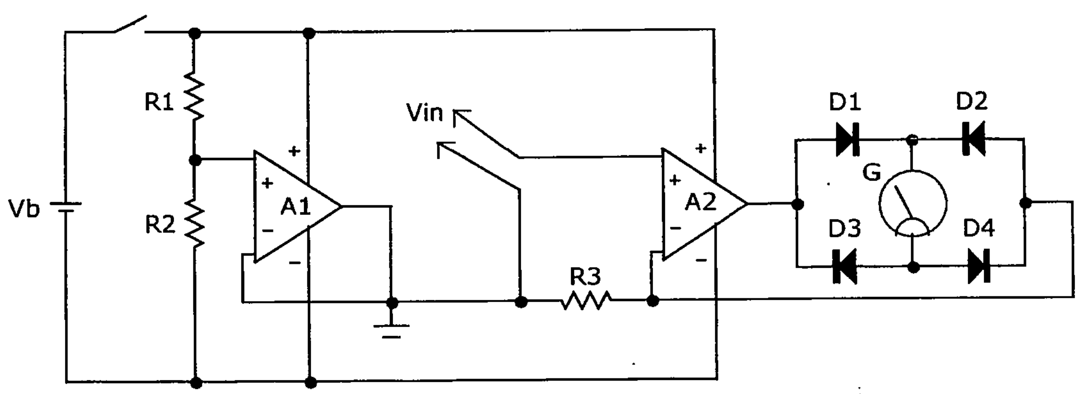
$R_5 = R_6 = R_7 = 1k$ //

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2009/2

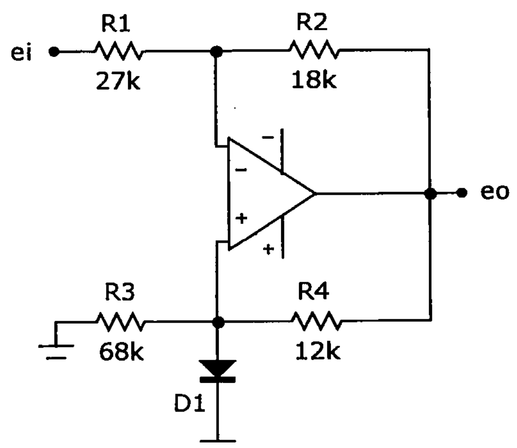
Prova 1 27/10/2009

Nome: GABARITO **Turma:** ______

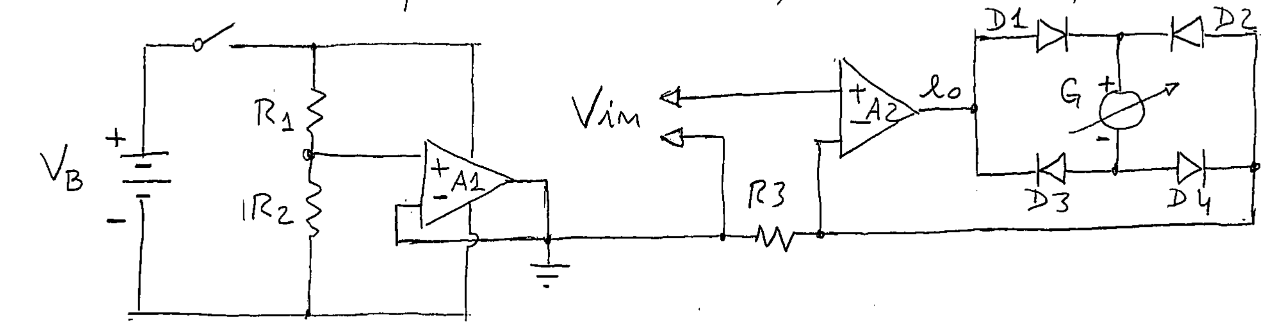
1. A topologia a seguir pretende ser um milivoltmetro para tensões AC ou DC, sem perturbar o circuito sob medição. Inicialmente, descreva o funcionamento e comente suas características e correção. Faça isso agora, para ter menos trabalho depois. Determine o valor dos componentes para uma escala de 2 Volts máximos de pico de entrada. Por último, desenhe os gráficos temporais de Vin (triangular com 2V de pico) e Ig. Qual a posição do ponteiro nesta situação? O galvanômetro tem um sensibilidade de Ig = 5mA para plena deflexão do ponteiro e resitência de Rg = 100Ω no fio da bobina. Diodos de germânio tipo AA143 (Vd = 0,3 e Rd = 15Ω). Operacional duplo tipo low-dropout, alimentação por duas pilhas de lítio com 3,3V cada. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso será avaliado sempre.



2. Equacione o circuito a seguir com o objetivo de determinar a sua função de transferência e o gráfico de e_o x e_i com os valores numéricos em todos os pontos de interesse.
A seguir, com as informações obtidas do gráfico de e_o x e_i, desenhe o gráfico temporal de e_o com uma triangular de ± 15 Volts na entrada.
Componentes ideais e alimentação simétrica de 12 Volts. Cada etapa da solução deve ser documentada com textos, equações e diagramas.



A topologia a seguir pretende ser um milivoltímetro para tensões AC ou DC, sem perturbar o circuito sob medição. Inicialmente descreva o funcionamento e comente suas características e correção. Determine o valor dos componentes para uma escala de 2 Volts (de pico) máximos de entrada. O galvanômetro tem sensibilidade de $I_G = 5\,mA$ para plena deflexão do ponteiro e resistência $R_G = 100\,\Omega$ no fio da bobina. Diodos AA143 (Ge $V_D = 0{,}3$, $R_D = 15\,\Omega$) operacional duplo tipo low-dropout, alimentação por duas pilhas de lítio com 3,3 Volts cada. Descreva cada passo da solução (textos, equações, esquemas)

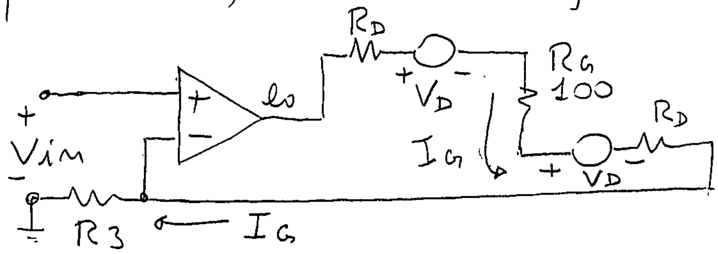


A1 cria um ponto de massa no meio da alimentação simples de 6,6 Volts.
A2 é um amplificador não inversor. A ponte de 4 diodos comuns retifica o AC para o medidor.

- Impedância de entrada de Vin é infinita. OK.
- Diodos e resistência dentro do laço de realimentação são neutralizados.
- Perdas de tensão em lo, diodos e R_G devem ser pequenas para o circuito operar mesmo com a baixa tensão de alimentação (de $\pm$ 3,3 Volts.

<u>Bloco A1:</u> Buffer conversor de impedâncias. Definimos $R_1 = R_2 = 330K$ para fornecer alimentação simétrica para os operacionais e baixo consumo de corrente.

<u>Bloco A2:</u> Circuito linear, $e+ = e-$. Se Vin for positivo, o circuito fica:



$e+ = V_{in}$

$e- = I_G \cdot R_3$

igualando e isolando R_3:

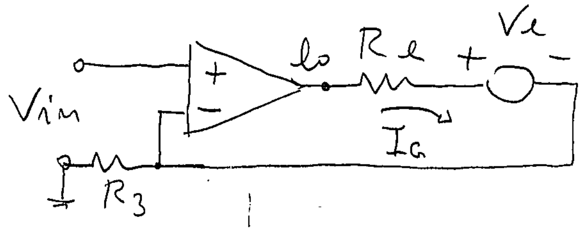
$$R_3 = \frac{V_{in}}{I_G}$$

Para máxima deflexão:

$$R_3 = \frac{2V_{pico}}{5mA} = 400\Omega \,//$$

OUTRO MODO DE RESOLVER, MAIS EXTENSO, CONSIDERANDO V_D, R_D e R_G QUE ESTÃO DENTRO DO LAÇO DE REALIM.

Associando os componentes da figura:



$R_e = R_D + R_G + R_D = 15+100+15$

$R_e = 130\Omega$

$V_e = V_D + V_D = 0,3 + 0,3 = 0,6\,V$

$$e_- = (e_o - V_e)\frac{R_3}{R_3+R_e} = e_+ = V_{in} \quad (1)$$

$$e_- = (e_o - 0,6)\frac{R_3}{R_3+130} = V_{in}$$

Interna $I_G = \dfrac{(e_o - V_e) - V_{in}}{R_G}$ (2)

Isolando e_o de (1):

$$\frac{e_o \cdot R_3}{R_3+R_e} = V_{in} + \frac{V_e \cdot R_3}{R_3+R_e}$$

$$e_o = \frac{R_3+R_e}{R_3}\left(V_{in} + \frac{V_e R_3}{R_3+R_e}\right)$$

$e_o = \left(1+\dfrac{R_e}{R_3}\right)V_{in} + V_e$ Levando em (2):

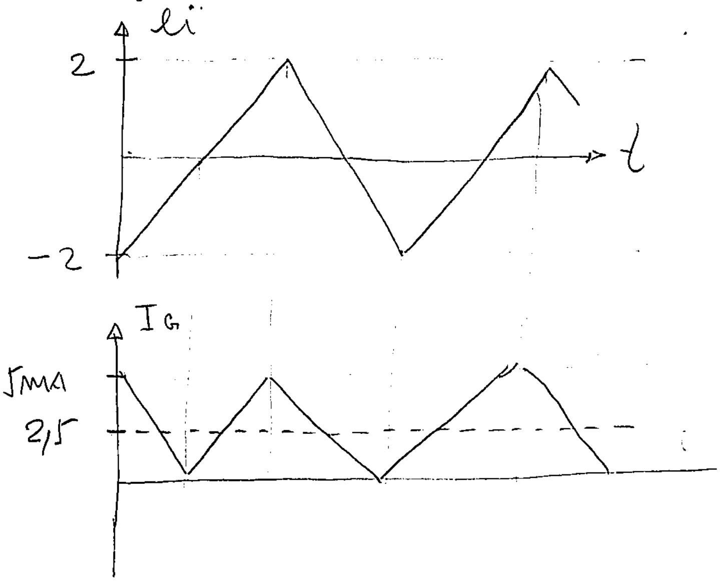
$$I_g = \frac{\cancel{V_{in}} + \frac{R_e}{R_3}V_{in} + V_e - \cancel{V_{in}}}{R_G}$$

com $V_{in} = 2$, $I = 5mA$:

$$5\cdot10^{-3} = \frac{\frac{130}{R_3}\cdot 2 + 0,6}{100}$$

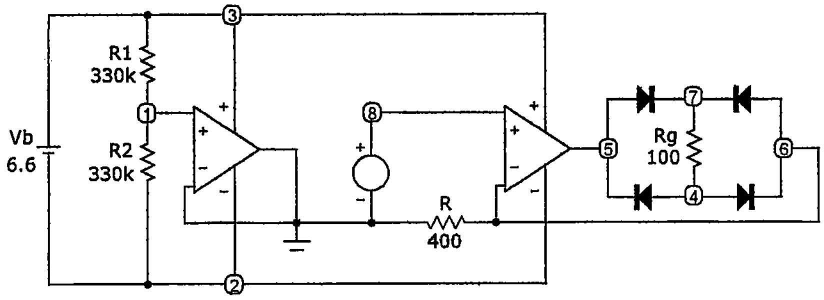
$$R_3 = 400\Omega \,//$$

Gráficos:



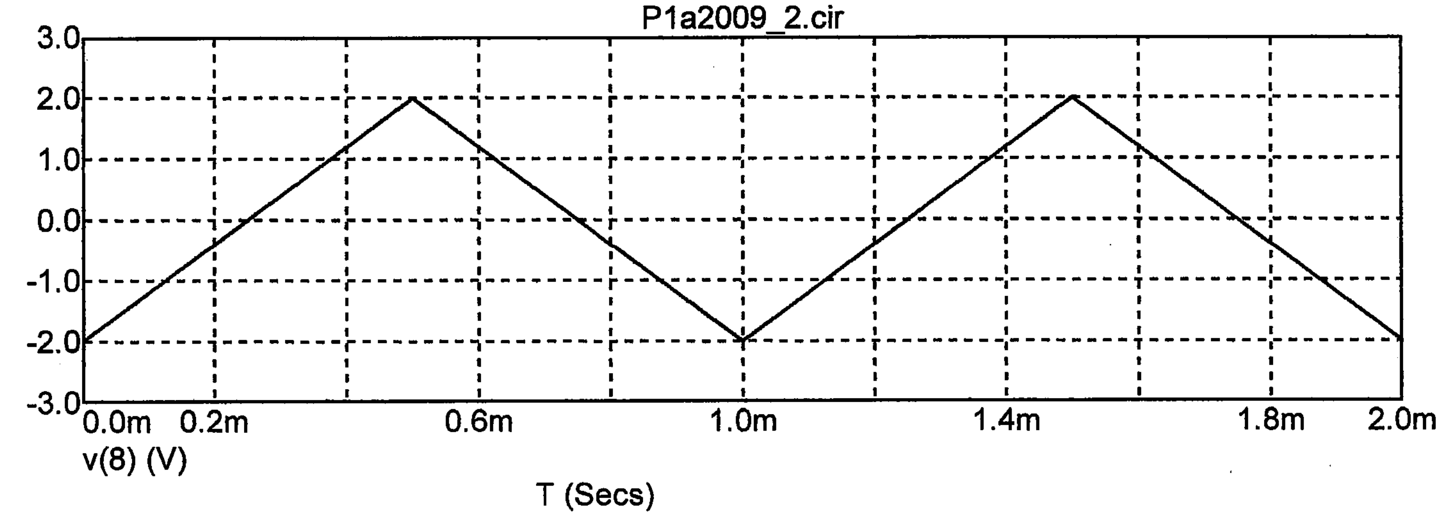
O medidor vai indicar o valor médio. No caso será $\frac{5mA}{2} = 2,5mA$, pois a triangular é linear em amplitude. Leitura do medidor será a metade da escala: $V_G = 1\,Volt$ //

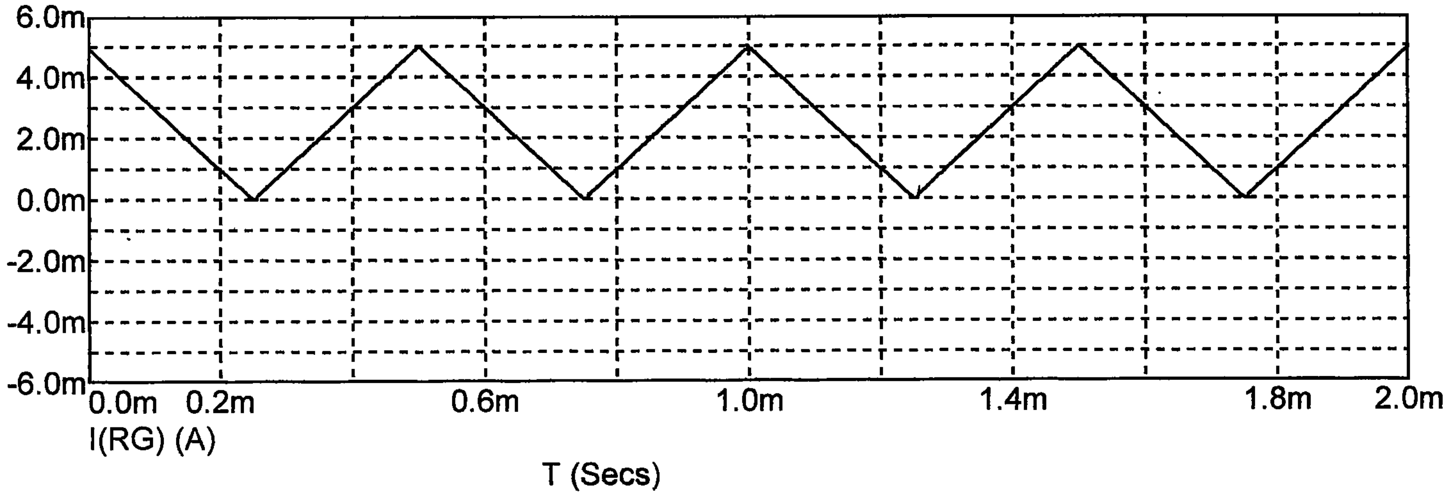
A corrente no medidor é ei/R
Independe de Rmedidor, Vdiodo, Rdiodo

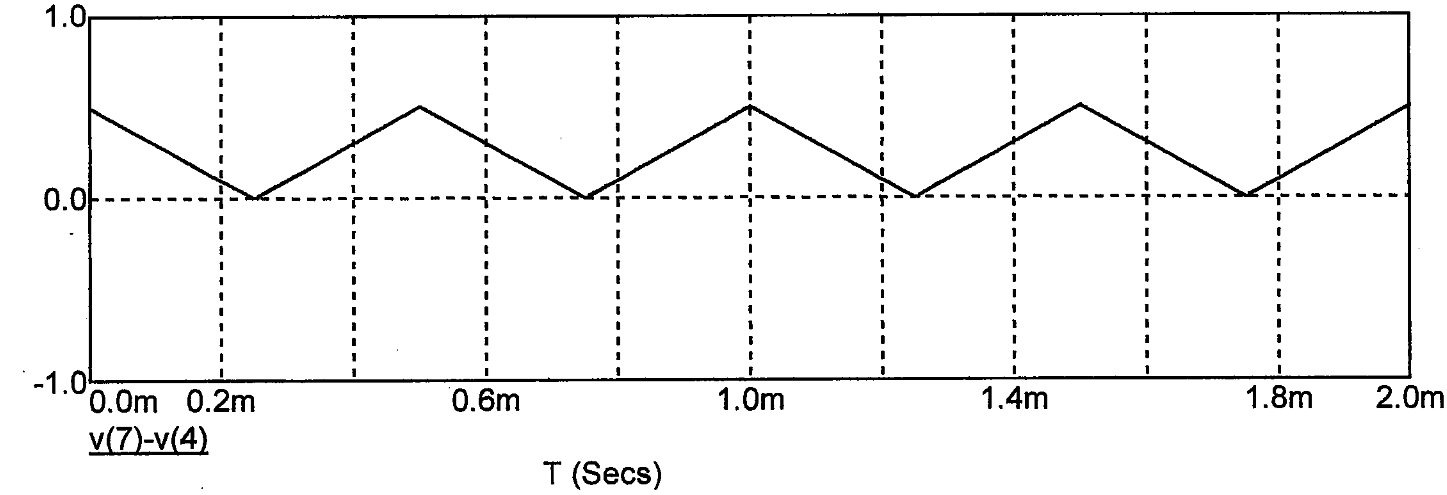


DC 0 AC 1 0 Pulse -2 2 0 500u 500u 0 1m

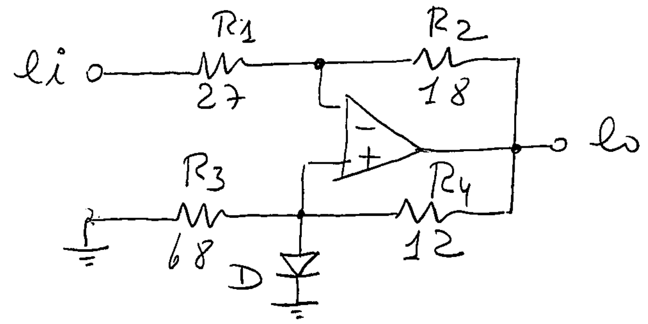
P1a2009_2.cir







Equacione o circuito com o objetivo de obter a sua função de transferência e o gráfico de $e_o \times e_i$ correspondente, com o valor numérico dos pontos de interesse. Descreva cada etapa. Componentes ideais e alimentação ± 12 Volts.



Circuito com realimentação positiva e negativa com D = OFF e apenas realim. negativa com D = ON.

Hipótese: D = ON. Então e_o = positivo e e_i = negativo.

Circuito linear, $e_+ = e_-$

$$e_+ = 0$$

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} + e_i \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o = -\frac{\cancel{R_1+R_2}}{R_1} \cdot e_i \frac{R_2}{\cancel{R_1+R_2}}$$

$$e_o = -\frac{18}{27} e_i$$

$$e_o = -0{,}667\, e_i = -\frac{2}{3} e_i$$

Válido para e_i = negativo.

Hipótese: D = OFF. Então e_o = negativo.

Examinando os dois divisores de tensão de e_o, nota-se que a realimentação positiva é maior e ficou um comparador com histerese.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$e_+ = e_o \frac{68}{68+12} \rightarrow e_+ = 0{,}85 \cdot e_o$$

e_- = o mesmo. Igualando e isolando e_i:

$$e_o \left(\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_1}{R_1+R_2} \right) = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$e_o (0{,}85 - 0{,}6) = e_i \cdot 0{,}4$$

Então: $e_i = 0{,}625 \cdot e_o$

Pontos de virada, com $e_o = \pm V_{cc}$:

$$e_i = 0{,}625(\pm 12) \rightarrow e_i = \pm 7{,}5\,V$$

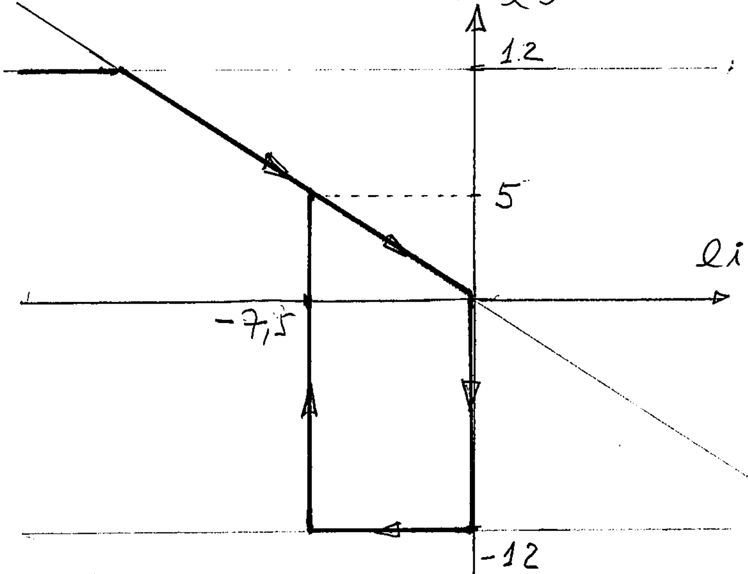
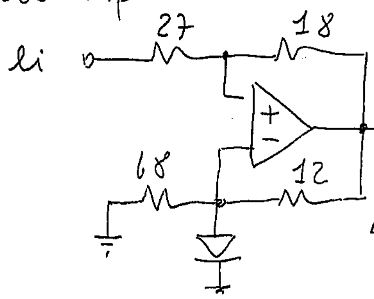


Gráfico: começar pela parte linear ($e_o < 0$) e aumentar e_i até que $e_o = 0$ ---

$\Rightarrow$

Invertendo as entradas do operacional:



$\beta_+ = \frac{27}{27+18}$

$\Rightarrow \beta_- > \beta_+ \Rightarrow$ linear

$\beta_- = \frac{68}{68+12}$

Hipótese:
e_i posit., e_o posit., D cortado:

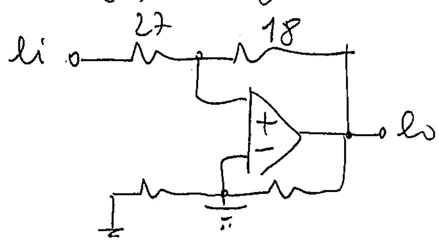
$$e_+ = \frac{18 \cdot e_i}{27+18} + \frac{27 \cdot e_o}{27+18} = 0{,}4\, e_i + 0{,}6\, e_o$$

$$e_- = \frac{68 \cdot e_o}{68+12} = 0{,}85 \cdot e_o$$

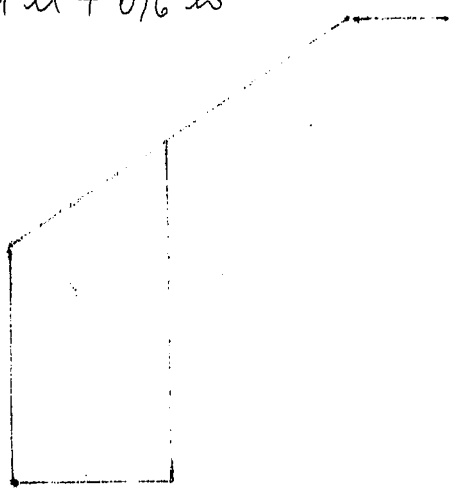
Igualando e isolando e_o:

$$e_o = 1{,}6\, e_i \;//$$

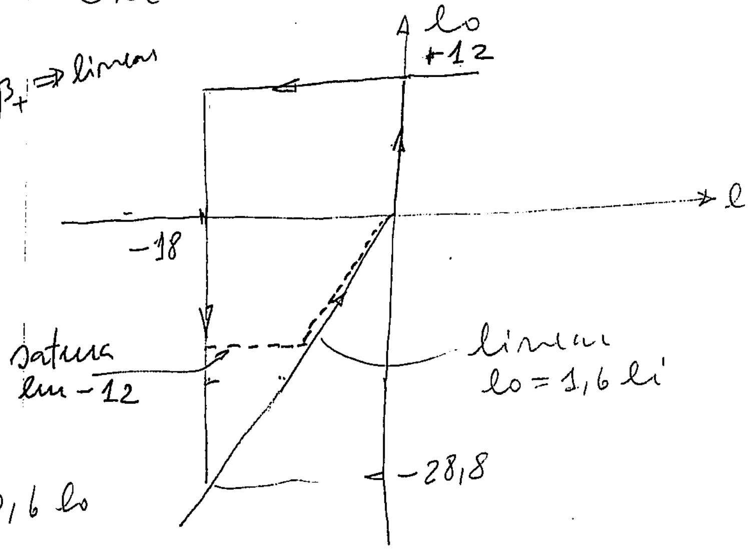
Hipótese:
e_i neg., e_o neg., D conduzindo:



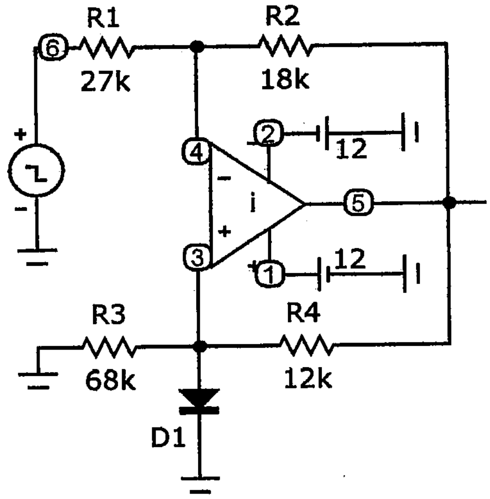
$e_+ = 0{,}4\, e_i + 0{,}6\, e_o$
$e_- = 0$

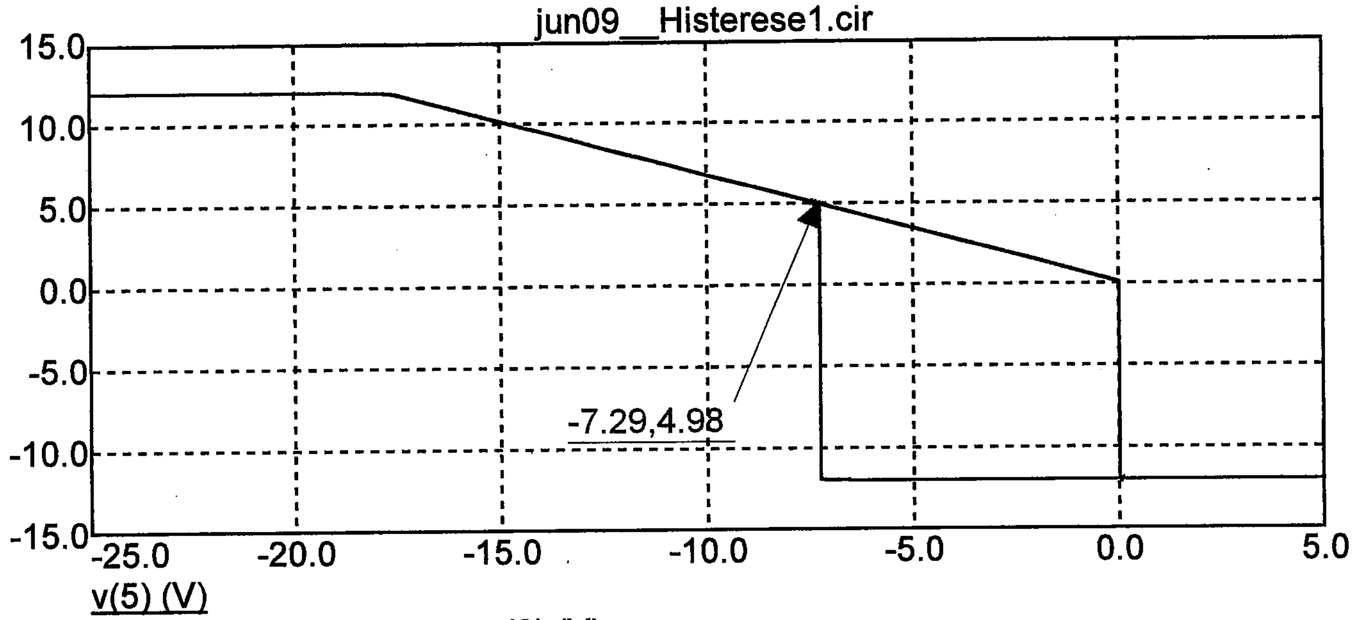


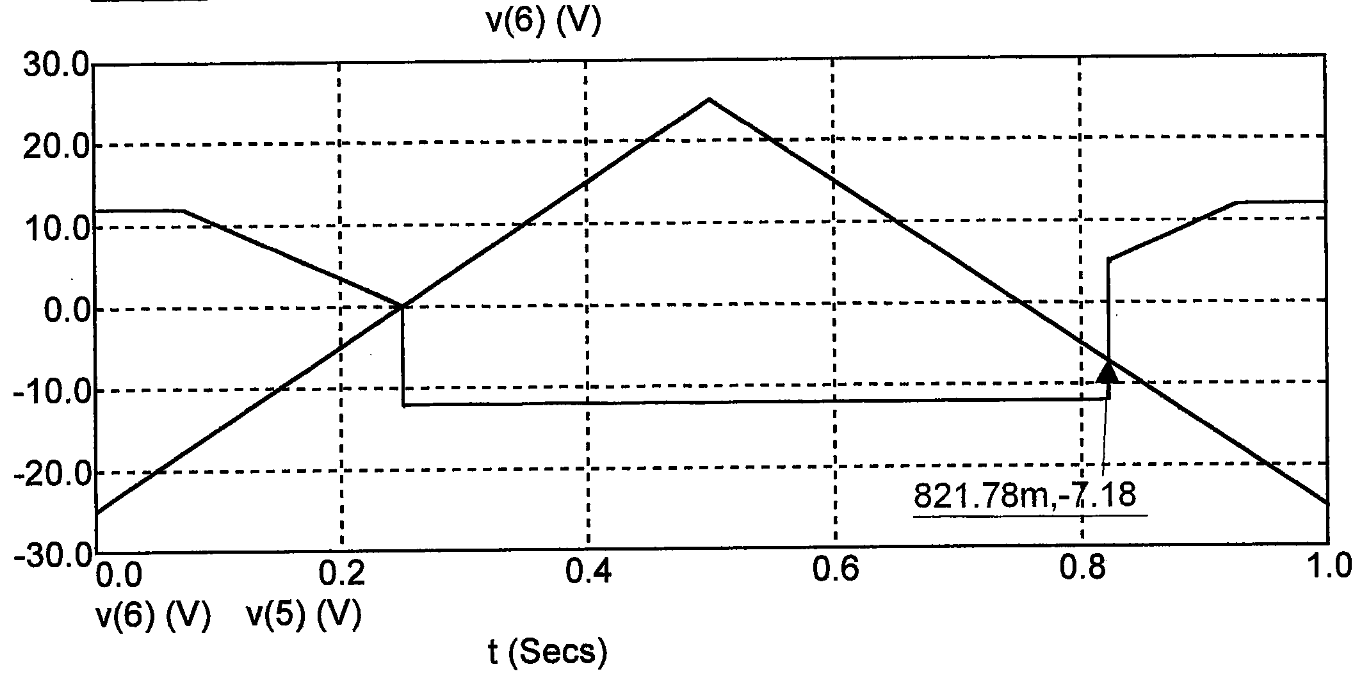
Igualando e isolando e_i:
$e_i = -1{,}5 \cdot e_o$ com $e_o = 12V$
$e_i = -18$
Então:

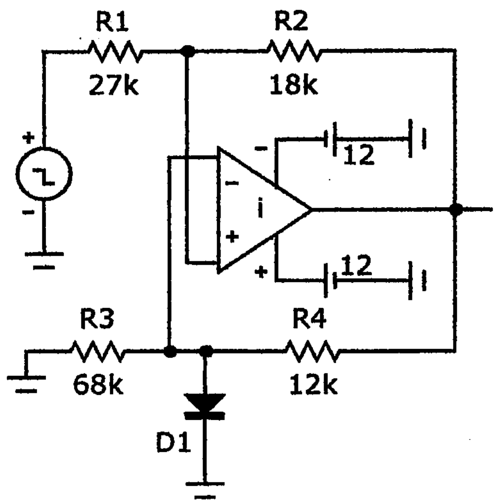


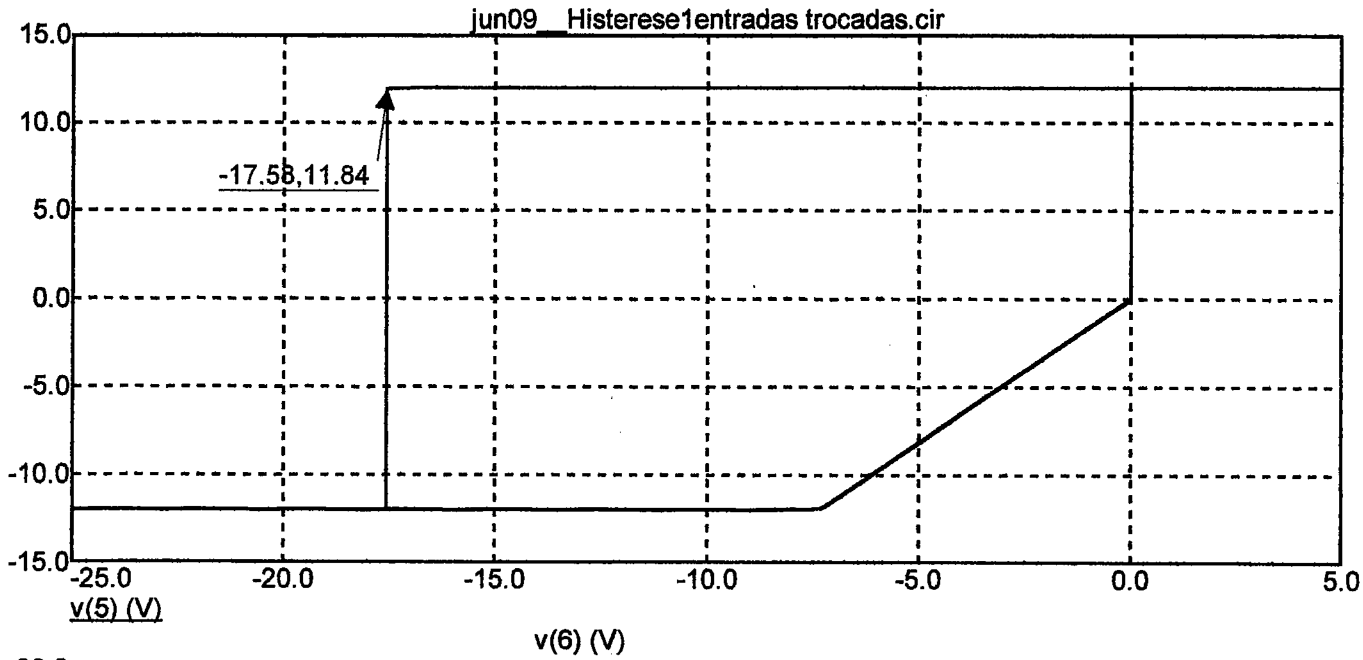
com $e_i = -18$, na zona linear,
$e_o = 1{,}6 \cdot (-18) = -28{,}8$

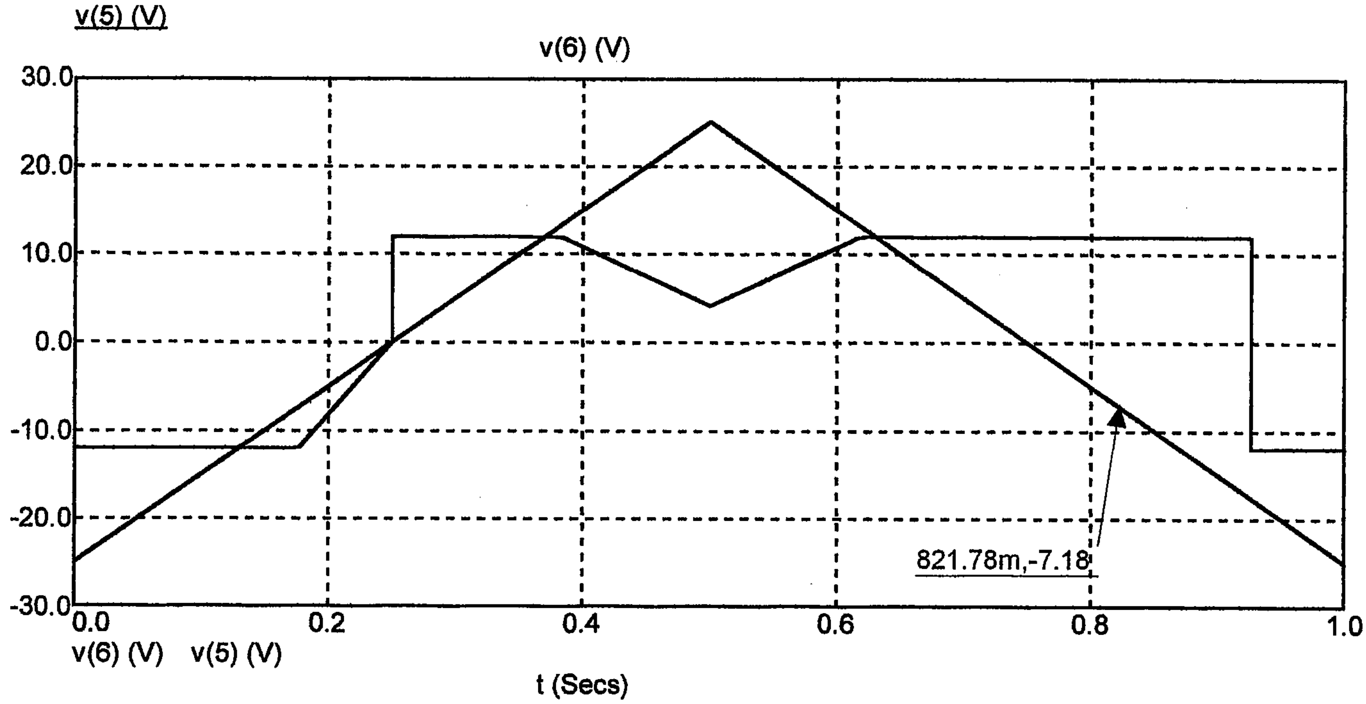

R1
27k
R2
18k
12
12
R3
68k
R4
12k
D1


jun09__Histerese1.cir
-7.29,4.98
v(5) (V)
v(6) (V)


821.78m,-7.18
v(6) (V) v(5) (V)
t (Secs)


R1
27k
R2
18k
12
12
R3
68k
R4
12k
D1


jun09__Histerese1entradas trocadas.cir
15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
-25.0
-20.0
-15.0
-10.0
-5.0
0.0
5.0
-17.58,11.84
v(5) (V)
v(6) (V)

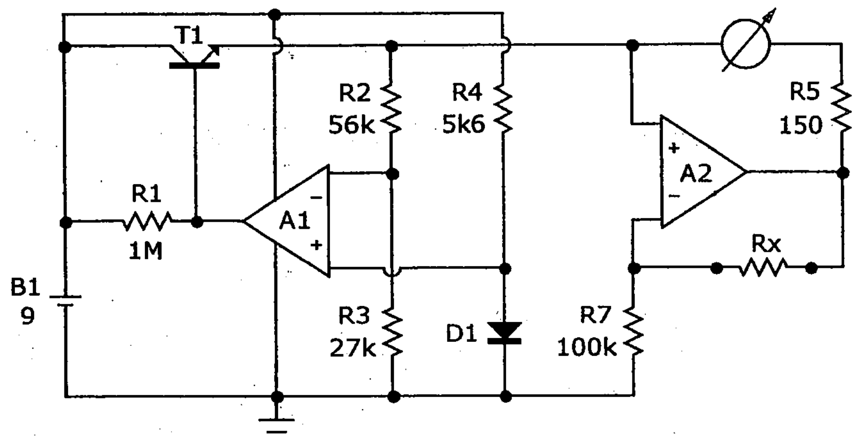

30.0
20.0
10.0
0.0
-10.0
-20.0
-30.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
821.78m,-7.18
v(6) (V) v(5) (V)
t (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2010/1

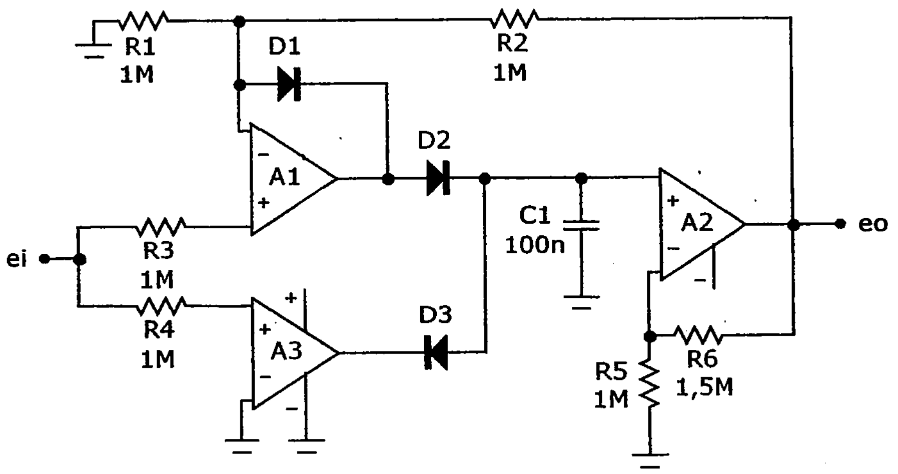
Prova 1 11/5/2010

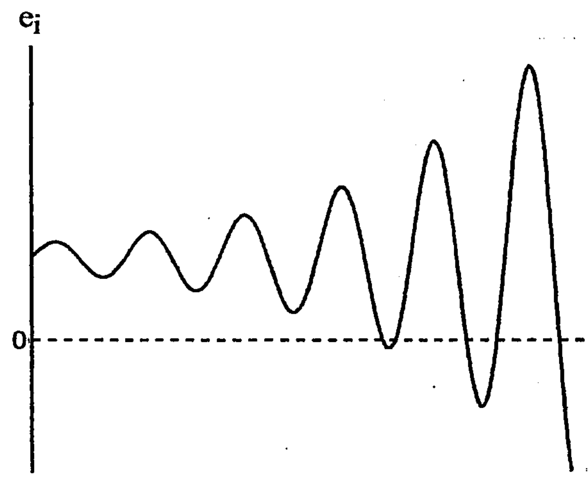
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. O circuito a seguir é um medidor de resistências analógico, usando um galvanômetro convencional.
   a) Examine o circuito e descreva o seu funcionamento, como for possível.
   b) Separe em blocos e equacione cada bloco em termos literais, aplicando os valores de circuito logo a seguir. Junte os blocos (equações) novamente para obter o relacionamento de R_X com e_o.
   c) Teste o resultado fazendo R_X valer 0Ω, 15k e 200k. Comente os resultados e determine os limites de operação deste medidor. Comente os resultados e aponte inperfeições no circuito.
   Documente cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Escreva de cima para baixo; use duas colunas se desejar; peça mais papel se necessário.
   O movimento do ponteiro é proporcional à corrente I_m no galvanômetro que tem $R_m = 50\Omega$ e sensibilidade de 5mA para plena deflexão do ponteiro. Componentes comuns, $V_d = 0{,}65$.

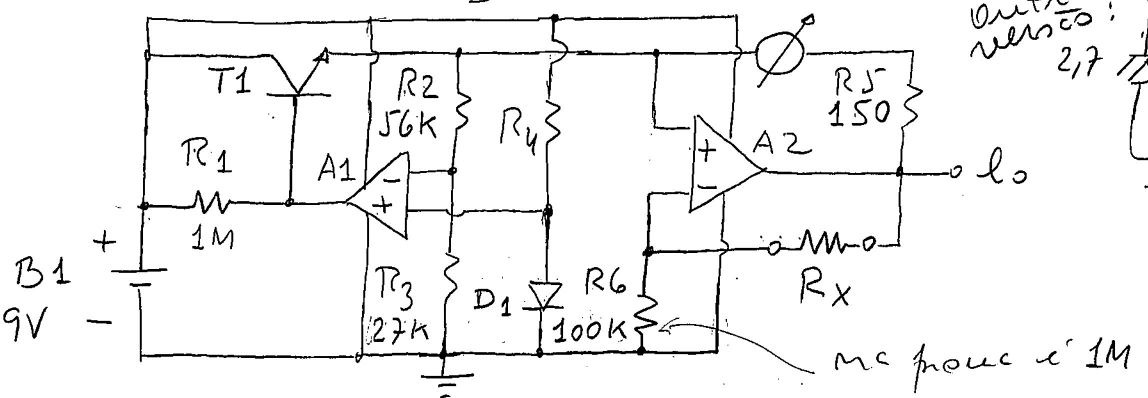


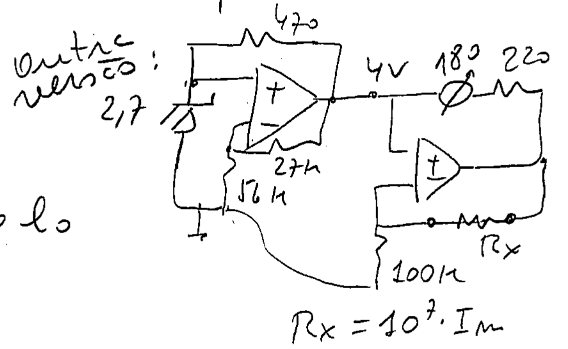
2. a) Examine a topologia a seguir com o objetivo de determinar a sua função e o seu funcionamento qualitativo.
   b) Separe em blocos, equacione cada um e atribua os valores de circuito.
   c) Determine a equação da função de transferência e_o / e_i em cada situação.
   d) Desenhe e_o no gráfico de e_i, usando um fator de escala que torne mais inteligível o funcionamento do circuito. Comente os resultados.
   Todas as etapas devem ser amplamente documentadas com textos, equações e diagramas. Alimentação simples. Componentes ideais.





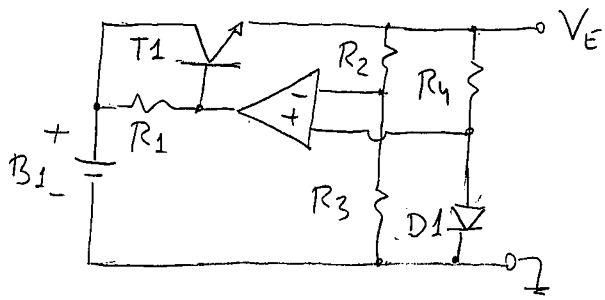
O circuito a seguir é um medidor de resistências analógico. a) Examine o circuito e descreva o seu funcionamento em termos gerais.
b) Separe em blocos, analise e equacione (em termos literais), de modo a obter um resultado significativo, comentando cada passo com textos, equações e diagramas. Coloque os valores do circuito logo depois de equacionar.
O movimento do ponteiro é proporcional à corrente Im no galvanômetro que tem $R_m = 50\Omega$ e sensibilidade de 5mA para plena deflexão. Rx está sendo medida e R6 define a escala do medidor.
c) Teste os resultados fazendo $R_x = 0$, 15K e 200K. Calcule o Rx máximo e Im máximo para esta escala. $V_D = 0{,}65$ Volts.





a) Bateria de 9V → tensão não-regulada. A1 regula a tensão. A2 recebe tensão constante em e+ e o ganho depende de Rx. Corrente Im depende deste ganho. Alimentação simples.

b) Bloco A1:



Circuito linear: $e_+ = e_-$

$$e_- = V_E \cdot \frac{R3}{R2+R3}$$

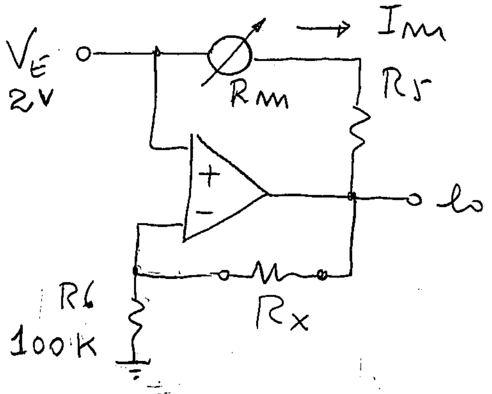
$e_+ = V_D$ igualando e isolando V_E:

$$V_E = \frac{R2+R3}{R3} \cdot V_D \quad //$$

$$V_E = \frac{56+27}{27} \cdot 0{,}65$$

$$V_E = 2 \text{ Volts} \quad //$$

Bloco 2: Amplificador não-inversor.



$e_+ = V_E$

$$e_- = e_o \frac{R_6}{R_x+R_6}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o = V_E \cdot \frac{R_x+R_6}{R_6} \rightarrow e_o = V_E\left(1+\frac{R_x}{R_6}\right) \quad (1)$$

Como interessa a leitura do medidor, vamos equacionar a sua corrente:

$$I_m = \frac{V_E - e_o}{R_m+R_5} \quad (2)$$

e_o é uma variável interna e deve ser eliminada. I_m deve ser expressa em função de R_x e dos componentes.

Levando (1) em (2):

$$I_m = \frac{V_E - V_E\left(1+\frac{R_x}{R_6}\right)}{R_m+R_5}$$

$$I_m = -\frac{V_E\cdot\frac{R_x}{R_6}}{R_m+R_5}$$ Sentido oposto ao indicado

Isolando R_x:

$$R_x = \frac{I_m\cdot(R_m+R_5)\cdot R_6}{V_E} \quad //$$

Colocando os valores:

$$R_x = \frac{I_m\cdot(50+150)\cdot 100k}{2}$$

$$R_x = 10^7\cdot I_m \quad //$$

c) Testando o medidor:

com $R_x = 0$:

$$I_m = \frac{R_x}{10^7} = \frac{0}{10^7} = \text{zero.}$$

com $R_x = 15k$:

$$I_m = \frac{15k}{10^7} = 1{,}5\,mA$$

com $R_x = 200k$

$$I_m = \frac{200k}{10^7} = 20\,mA \;!$$

Ultrapassou a máxima corrente no galvanômetro.

Máximo resistor que pode ser medido nesta escala:

Fazendo $I_m = 5\,mA$:

$$5\cdot 10^{-3} = \frac{R_{x\,máx}}{10^7}$$

$$R_{x\,máx} = 50k \quad //$$

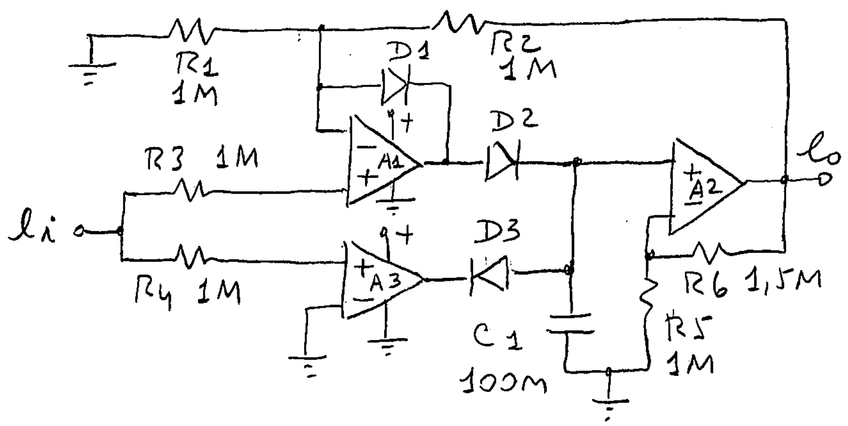
O circuito a seguir foi construído com componentes ideais.

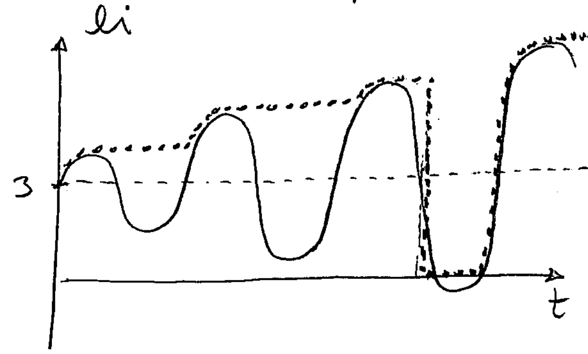
a) Examine a topologia com o objetivo de determinar a sua função e funcionamento qualitativo.

b) Separe em blocos e equacione cada um

c) Determine (equacione) a função de transferência eo/ei em cada situação.

d) Desenhe eo no gráfico de ei, usando um fator de escala que torne mais evidente o funcionamento do circuito. Comp. ideais. Alimentação simples. Documente cada etapa.





a)
- Retificador 1/2 onda ideal.
- Amplificador
- comparador simples

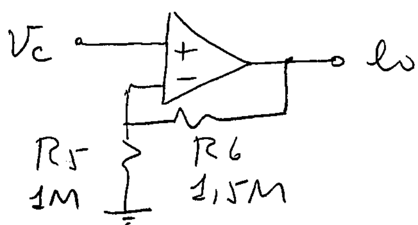
Todos são não-inversores.

A1 permite que ei positivo passe, carregando C1. É um detetor de pico.

A3 é positivo para ei positivo e D3 fica cortado. Se ei fica negativo, A3 vai para zero e D3 descarrega o capacitor, resetando o detetor de pico. R3, R4 compensam offset.

A2 = buffer com ganho.

Bloco A2:



Linear, $e_+ = e_-$;

$e_+ = V_c$

$e_- = e_o \frac{R_5}{R_5 + R_6}$ isolando eo:

$e_o = V_c \frac{R_5 + R_6}{R_5} \rightarrow \boxed{e_o = V_c \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right)}$

Vc é uma variável interna. isolando Vc e colocando valores:

$V_c = e_o \frac{R_5}{R_5 + R_6} = e_o \frac{1M}{1M + 1{,}5M}$ $V_c = 0{,}4 \cdot e_o$

Bloco A1, e_i positivo:

Linear, $e_+ = e_-$, D1 aberto, D2 cond.

$e_+ = e_i$

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Isolando e_o:

$$e_o = e_i \frac{R_1 + R_2}{R_1} = e_i\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$e_o = e_i\left(1 + \frac{1M}{1M}\right) \rightarrow e_o = 2 \cdot e_i \quad (1)$$

Bloco A1, e_i negativo:

D1 conduz e D2 aberto.

V_c aparece em e_o, amplificado pelo bloco A2.

Bloco A3:

comparador não-inversor.

Ponto de virada $e_+ = e_-$

$e_+ = e_i$, $e_- = $ zero

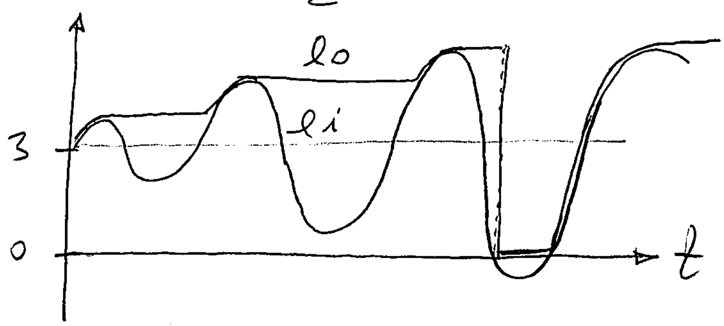
Fica então:

$e_i > 0$: $e_{o3} = V_{cc}$ e D3 cortado.

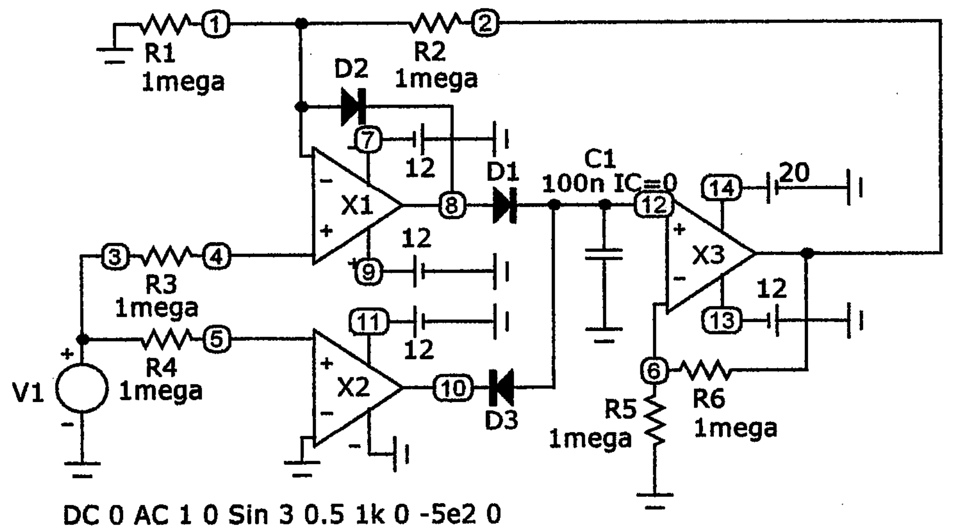
$e_i < 0$: $e_{o3} = 0$ e D3 conduz, levando V_c para zero.

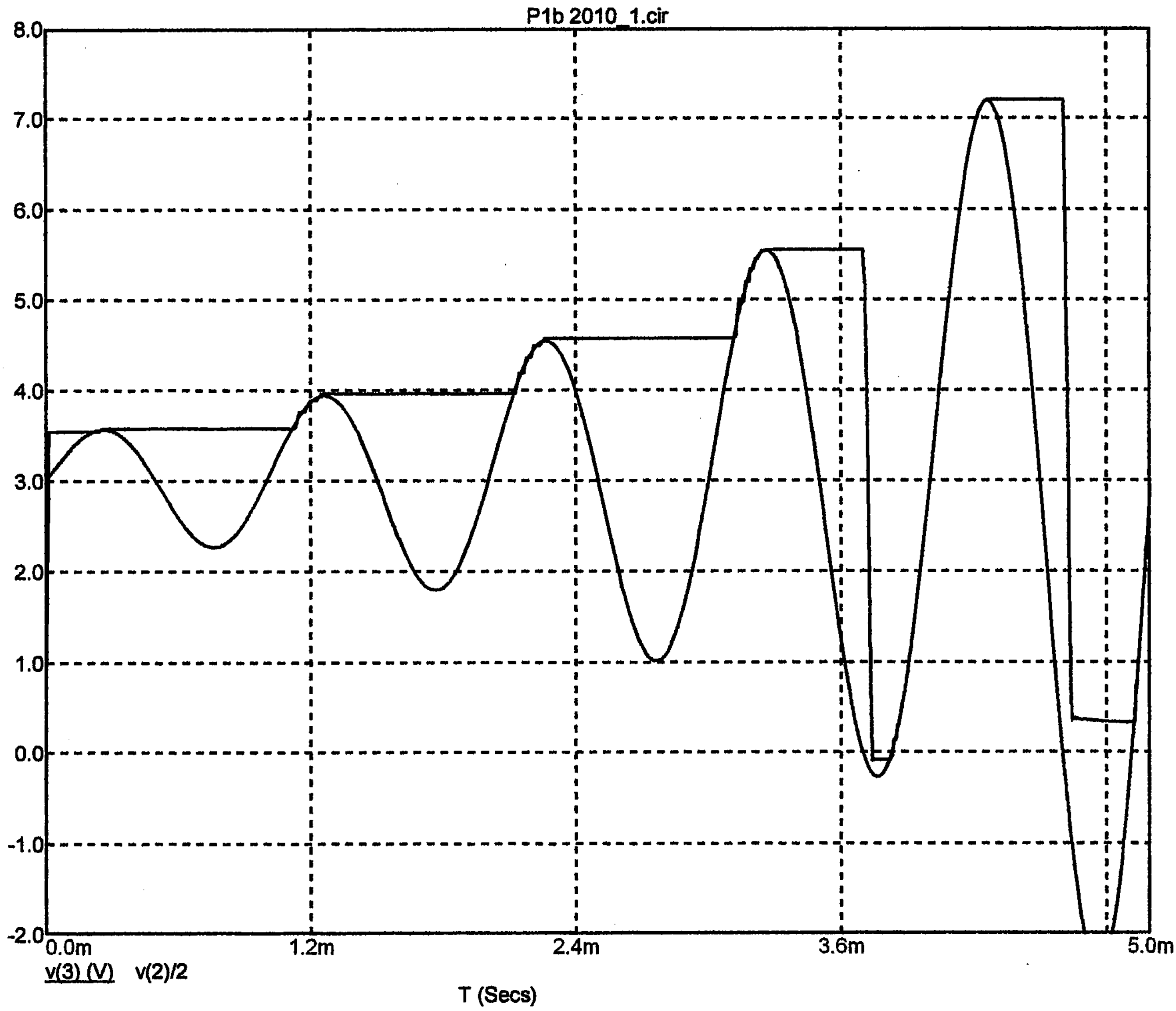
Desenho de e_o no gráfico de e_i:

Como (1) informa que e_o foi amplificado, vamos desenhar $\frac{e_o}{2}$ no gráfico.



O circuito é um detetor de pico positivo de e_i e resete para zero quando e_i fica negativo.


R1
1mega
R2
1mega
D2
D1
D3
C1
100n IC=0
X1
X2
X3
R3
1mega
R4
1mega
R5
1mega
R6
1mega
V1
12
20
DC 0 AC 1 0 Sin 3 0.5 1k 0 -5e2 0

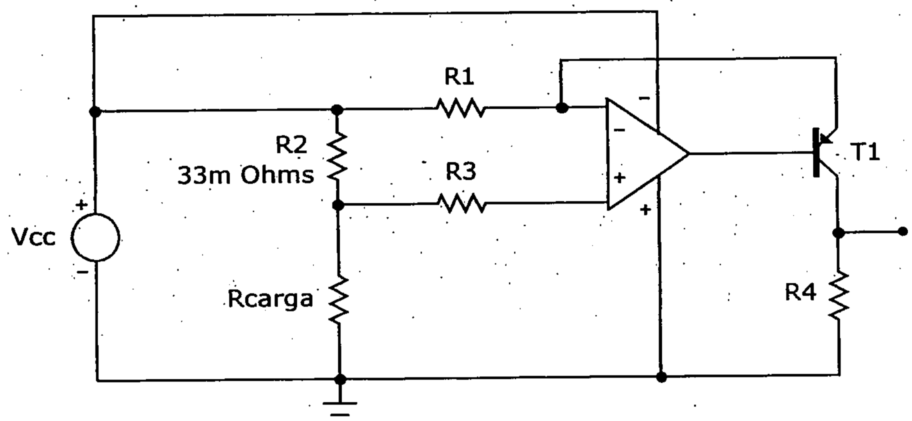

P1b 2010_1.cir
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
0.0m
1.2m
2.4m
3.6m
5.0m
v(3) (V) v(2)/2
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2010/2

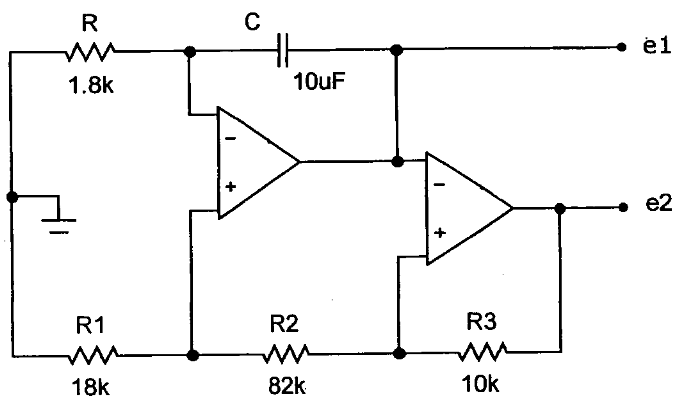
Prova 1 29/10/2010

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Estude o circuito a seguir, descubra a sua função e determine o seu funcionamento, relatando agora o que for possível. Após entender como funciona, equacione o circuito com o objetivo de determinar a variável de saída em relação à entrada, descrevendo cada passo com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Por último, atribua valores coerentes para os componentes, baseado no que foi equacionado, de modo que a saída seja numericamente igual à entrada. Alimentação simples, componentes ideais, $R_1 = R_3$.

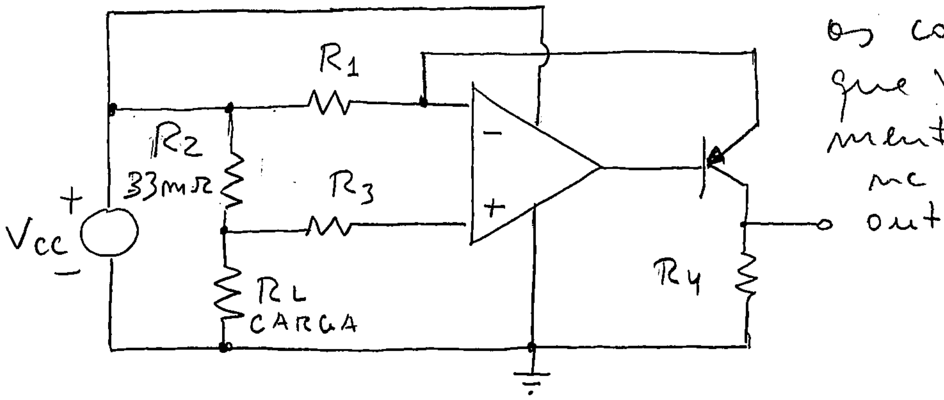


2. Examine o circuito a seguir, divida em blocos funcionais e descreva cada um como for possível, pois isso ajuda a resolver corretamente.
Equacione em formato literal as tensões $e_1(t)$ e $e_2(t)$, descrevendo cuidadosamente cada etapa com textos, equações e diagramas. Com os dados obtidos, aplique os valores de circuito e desenhe os gráficos respectivos, colocando os valores calculados em todos os pontos de interesse. Componentes ideais, $V_{cc} = \pm 11$ Volts.
Dicas: A tensão sobre um capacitor não pode mudar instantaneamente, a menos que a corrente aplicada seja infinita. $V_{final} = V_{inicial} + i_c(t) \cdot t / C$.



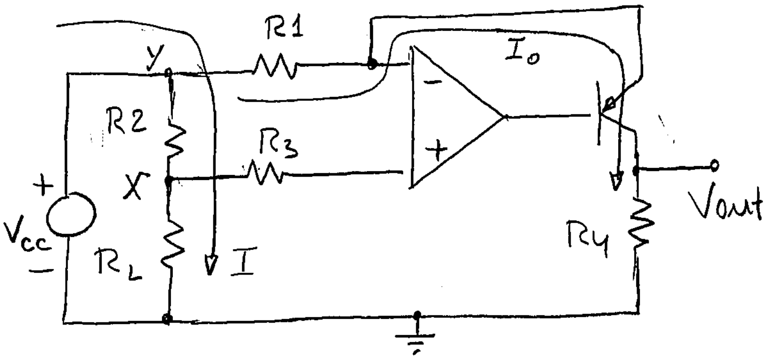
Examine o circuito a seguir, descubra a sua função e determine o seu funcionamento, descrevendo agora o que for possível.
Equacione o circuito com o objetivo de determinar a variável de saída em relação à entrada, descrevendo cada passo do seu trabalho. Alimentação simples Vcc com qualquer valor entre 3 e 30 Volts. $R_1 = R_3$.
Componentes ideais.

Por último, atribua valores coerentes para os componentes de modo que Vout seja numericamente igual à corrente na carga.



Apenas realimentação negativa ⇒ circuito linear.
Vcc alimenta a carga via $R_2 = 33\,m\Omega$ que deve ser um sensor de corrente.
R_2 é flutuante (não está ligado à massa).
Operacional mede a tensão sobre R2.
Transistor parece converter a saída do operacional no sinal out, referido à massa.
Conclusão: é um medidor da corrente consumida pela carga.
A tensão de saída out é proporcional à corrente.

Equacionamento:
Nomeando alguns pontos no circuito:



$e_+ = V_x$

$V_y = V_x + I \cdot R_2$

$e_- = V_y - I_0 \cdot R_1$

como $e_+ = e_-$:

$V_x = (V_x + I \cdot R_2) - I_0 \cdot R_1$

Isolando I_0 :

$I_0 \cdot R_1 = (V_x + I \cdot R_2) - V_x$

$I_0 = I \cdot \frac{R_2}{R_1}$ // Então, $V_{out} = I \cdot \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1}$ //

Conclusão: O circuito é um medidor da corrente que passa pela carga onde

$$V_{out} = I \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1}.$$

Atribuindo valor para os resistores:

Para que $V_{out} = I$ numericamente, devemos fazer:

$$\frac{R_2 \cdot R_4}{R_1} = 1$$

$$R_1 = R_2 \cdot R_4$$

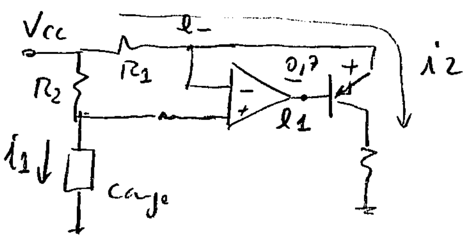
$$R_1 = 33 \cdot 10^{-3} \cdot R_4 \;//$$

Escolhendo $R_4 = 100k$ //

$$R_1 = 33 \cdot \cancel{10^{-3}} \cdot 100 \cdot \cancel{10^{3}}$$

$$R_1 = 3300 \rightarrow R_1 = 3{,}3k \;// = R_3$$

Solução de um aluno:



$$e_+ = \frac{V_{cc} \cdot R_{carga}}{R_2 + R_{carga}} = V_{cc} - i_1 \cdot R_2$$

$$e_+ = e_- \longrightarrow \overbrace{e_1 + 0{,}7}^{e_-} = \overbrace{V_{cc} - i_1 \cdot R_2}^{e_+}$$

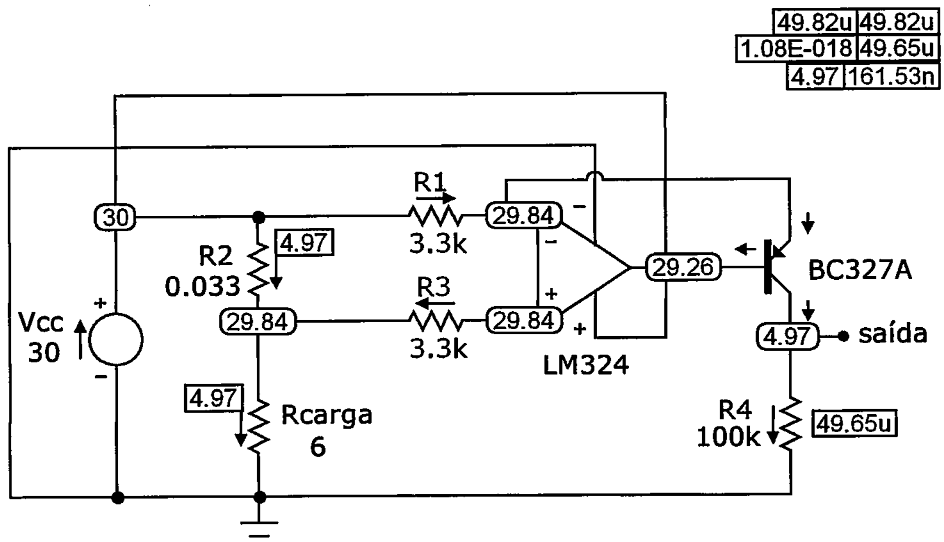
$$i_2 = \frac{V_{cc} - 0{,}7 - e_1}{R_1}$$

juntando

$$i_2 = \frac{V_{cc} - 0{,}7 - (V_{cc} - i_1 \cdot R_2 - 0{,}7)}{R_1}$$

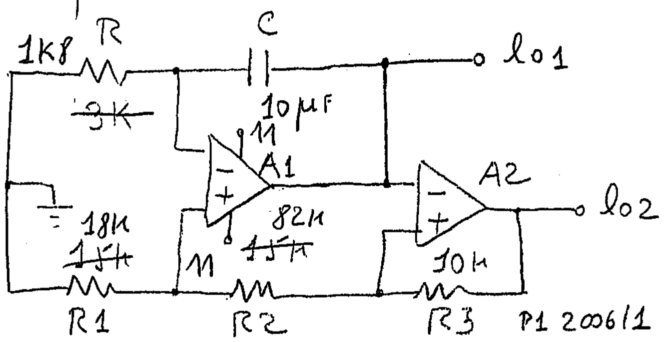
$$i_2 = i_1 \frac{R_2}{R_1} \;//$$

$$e_0 = i_2 \cdot R_4 \rightarrow e_0 = \frac{i_1 R_2 R_4}{R_1} \;//$$

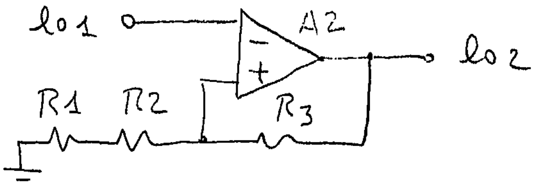


49.82u
49.82u
1.08E-018
49.65u
4.97
161.53n
30
R1
3.3k
29.84
R2
0.033
4.97
29.84
R3
3.3k
29.84
29.26
BC327A
LM324
Vcc
30
4.97
saída
4.97
Rcarga
6
R4
100k
49.65u

Determine as tensões $e_{o1}(t)$ e $e_{o2}(t)$, marcando todos os pontos de interesse ao plotar o gráfico.
Componentes ideais. $V_{cc} = \pm 12V$



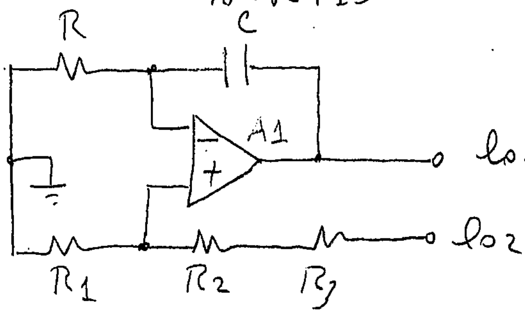
Examinando o circuito:
A1 — Parecido com integrador
A2 — Comparador com histerese.
Dividindo em blocos:



Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

$$e_{o2}\frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+R_3} = e_{o1}$$

$$e_{o1} = \pm \cancel{12}\,11 \; \frac{\cancel{1{,}5+1{,}5}\;\; 18+82}{\cancel{1{,}5+1{,}5+1{,}0}\;\; 18+82+10} = \pm 10 \;\; \cancel{\pm 9\text{ Volt.}}$$



$$e_+ = e_{o2}\frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$$

$$e_+ = \pm \cancel{12}\,11 \; \frac{\cancel{1{,}5}\,18}{\cancel{1{,}5+1{,}5+1{,}0}\;\; 18+82+10} = \pm 1{,}8 \;\; \cancel{\pm 4{,}5\text{ Volt.}}$$

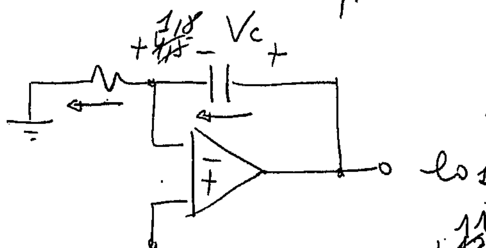
Corrente de carga/descarga do capacitor:

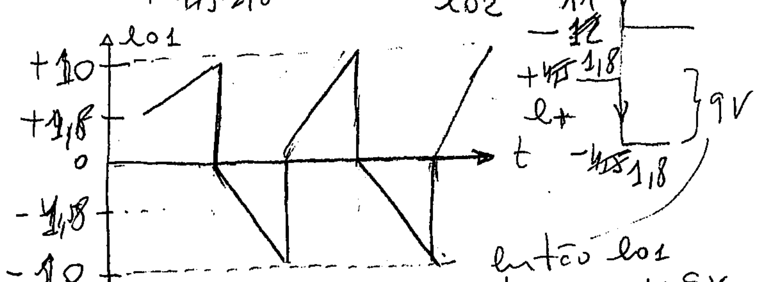
$$i_C = \frac{e_-}{R} = \frac{e_+}{R} = \frac{\cancel{\pm 4{,}5}\ \pm 1{,}8}{\cancel{3K}\ 1K8} = \pm \cancel{1{,}5\,mA}\ 1\,mA$$

Supondo $e_+ = \cancel{4{,}5}\ 1{,}8\,V$, a saída e_{o1} aumenta até atingir o limite de ~~9V~~ 10 do comparador que então vira para ~~-12~~ -11 V levando e_+ para ~~-4,5~~ -1,8

Como a tensão no cap. não pode mudar instantaneamente, e_{o1} sofre uma queda de:
$\cancel{4{,}5}\,1{,}8 - (-\cancel{4{,}5}\,1{,}8) = \cancel{9}\,3{,}6$ Volts.

com $e_+ = \cancel{-4{,}5}\ -1{,}8$ a corrente no cap. inverte e e_{o1} desce até alcançar ~~-9~~ -10 Volts levando o comp. a virar.





então e_{o1} decresce de 9V

~~Tempo para e_{o1} subir de zero até 12 Volts:~~

~~$V_{fim} = V_{inic} + \frac{i_C}{C}t$~~

~~$10 = 0 + \frac{1{,}5\,mA}{10\mu}t$~~

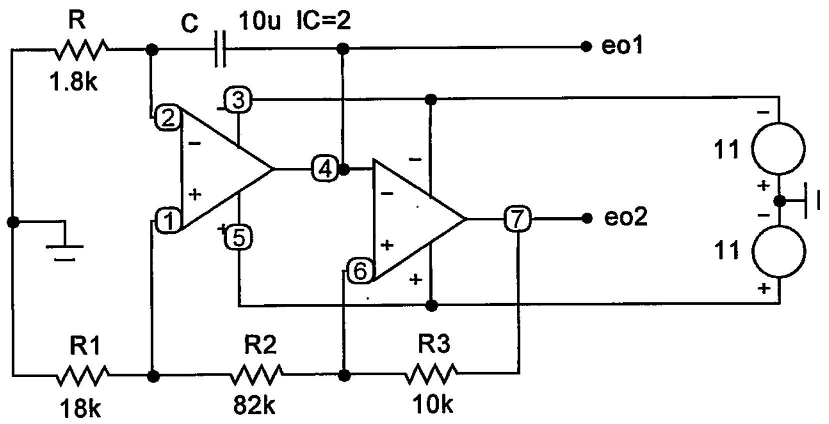
~~$t = 60\,ms$~~

Descontando o salto, tempo para subir ou descer:

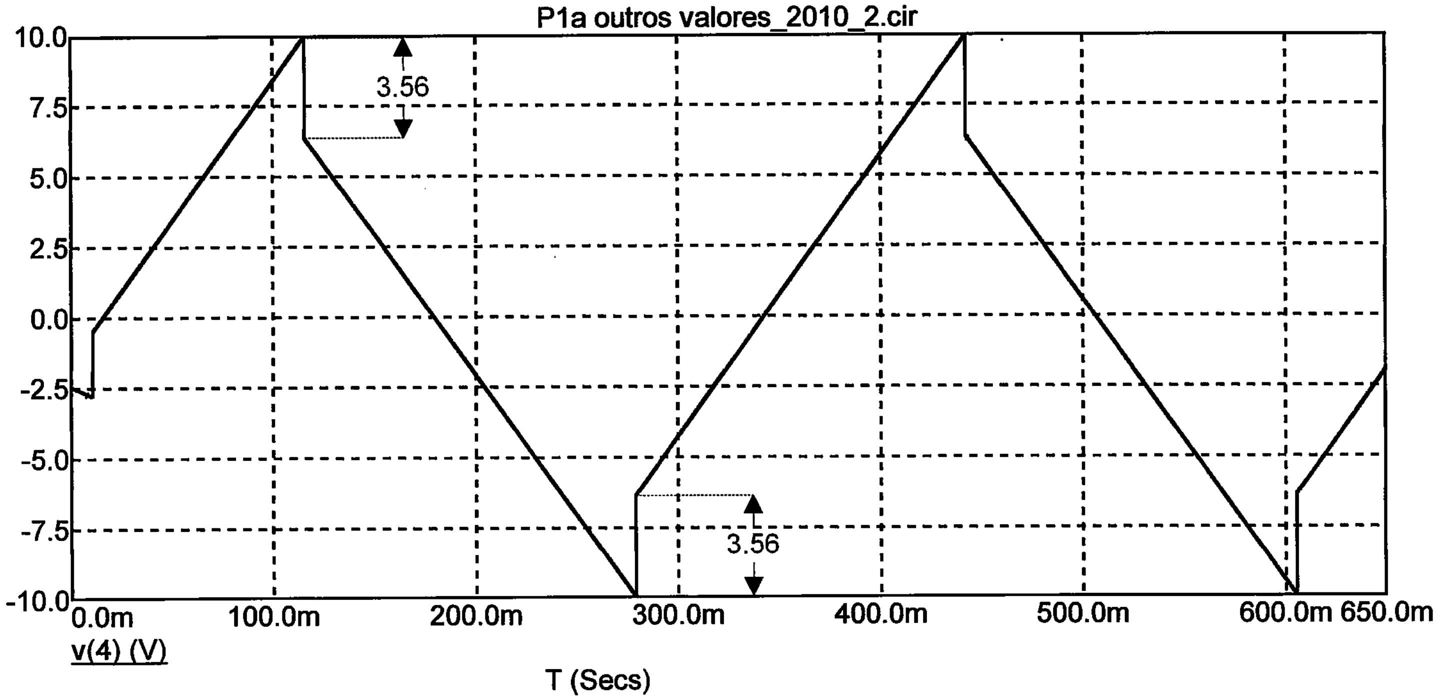
~~$+10 - (-10)$~~ $\quad [10-(-10)] - [1{,}8-(-1{,}8)] = 16{,}4$

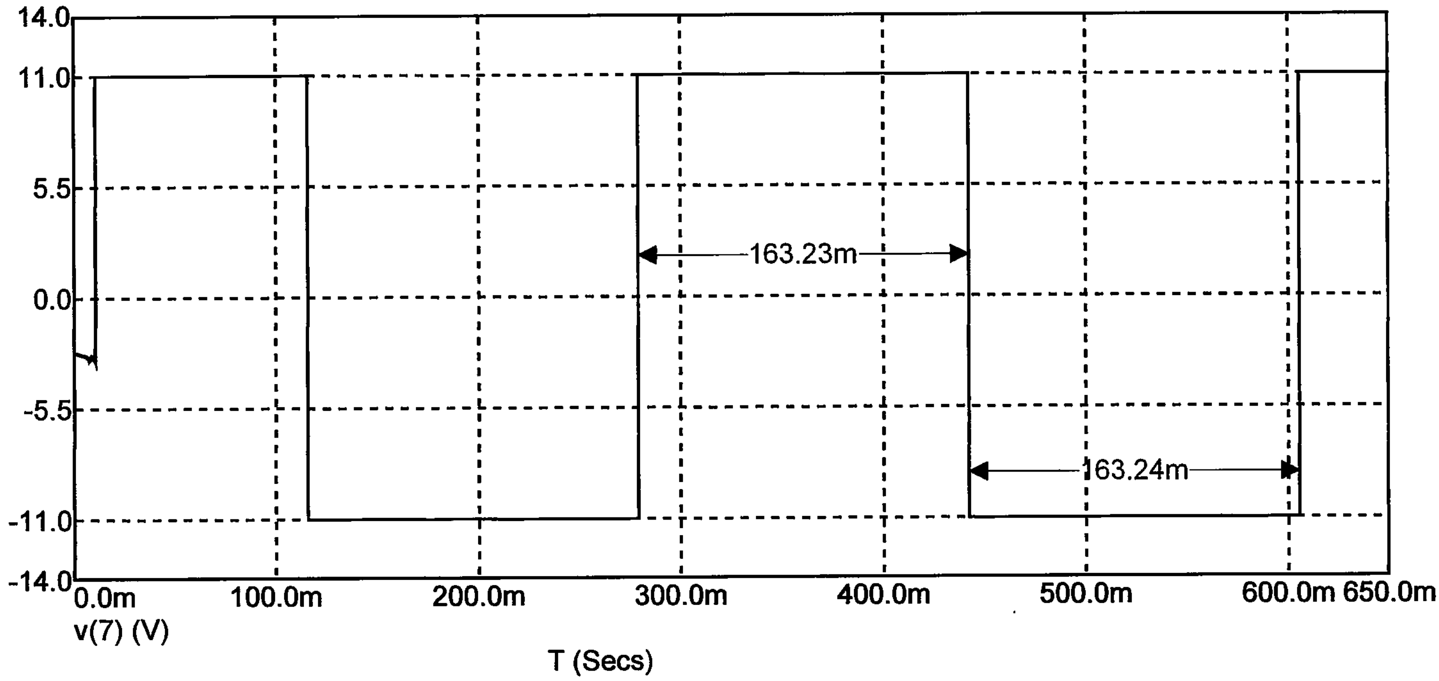
$$20 - 3{,}6 = \frac{1\,mA}{10\mu}\cdot t \rightarrow t = 164\,ms$$

Dica: tensões no cap. não pode mudar instantaneamente.



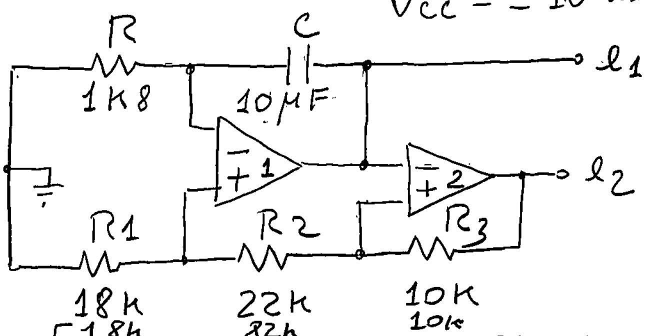
P1a outros valores_2010_2.cir



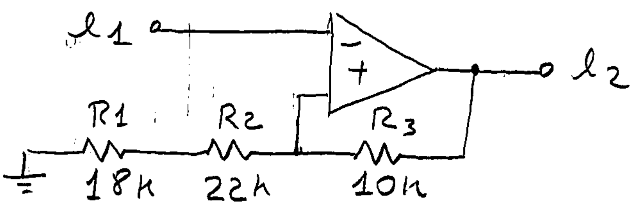


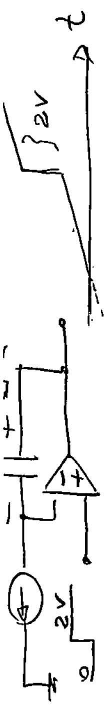
VERSÃO 2010/2

$V_{cc} = \pm 10$ Volts



P1 2010/2





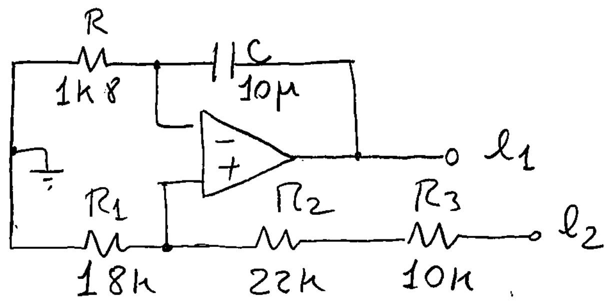
Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = e_1$$

$$e_2 \cdot \frac{18k + 22k}{18k + 22k + 10k} = e_{01}$$

Como $e_2 = \pm V_{cc} = \pm 10$, o comparador vira com:

$$e_1 = \pm 8 \text{ Volts} //$$



$$e_+ = e_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Como $e_2 = \pm V_{cc} = \pm 10$,

$$e_+ = \pm 10 \frac{18k}{18k + 22k + 10k}$$

$$e_+ = \pm 3{,}6 \text{ Volts} //$$

Dica: Tensão no capacitor não muda instantaneamente.

Funcionamento:

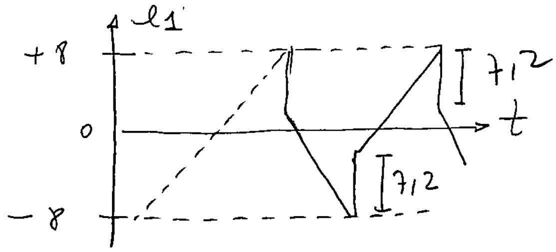
Supondo $e_2 = +10$ e portanto $e_+ = 3{,}3 = e_-$, a saída e_1 aumenta até 8 Volts e o comparador vira para $e_2 = -10$ e portanto $e_+ = -3{,}6 = e_-$. Como a tensão no capacitor não muda instantaneamente, e_1 sofre um decréscimo de $3{,}6 - (-3{,}6) = 7{,}2$ Volts. //

Com $e_+ = e_- = -3{,}6$, e_1 diminui até -8 Volts e o comparador vira para $+10$.

Corrente de carga de C:

$$i_C = \frac{e_-}{R} = \frac{\pm 3{,}6}{1{,}8k} \rightarrow i_C = \pm 2mA //$$

Esboço de e_1:

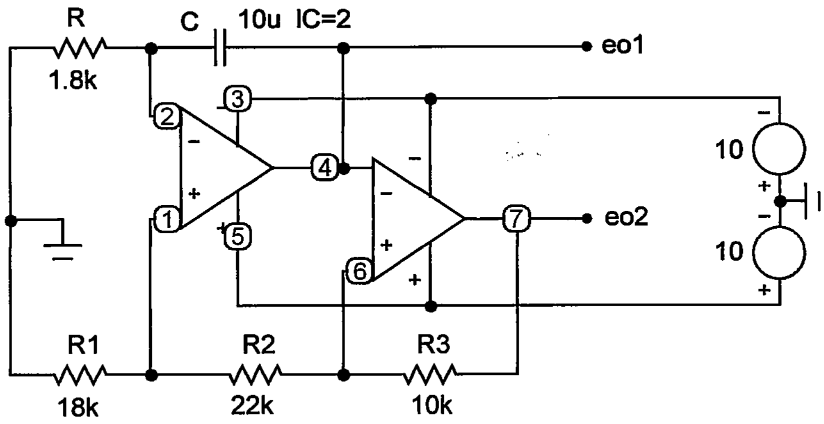


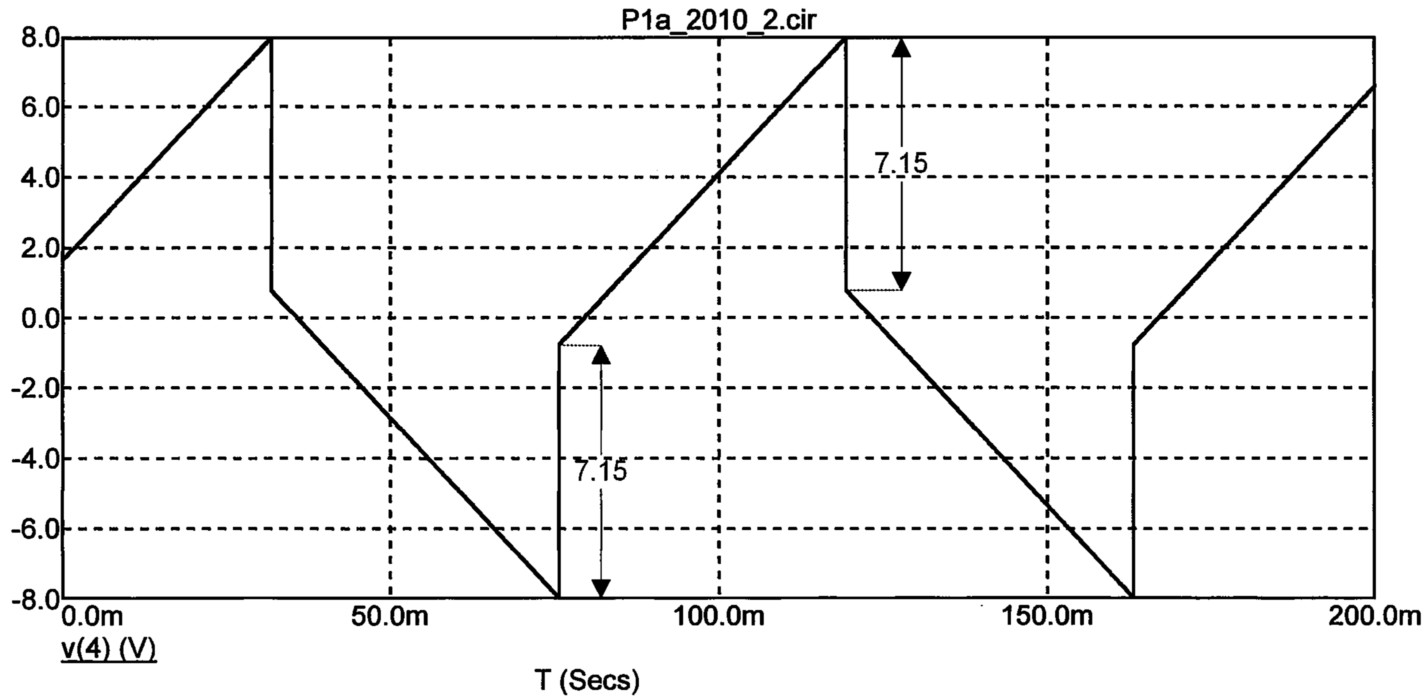
Tempo para o capacitor carregar com 2mA entre os limites do comparador (+8 --- −8) descontando o salto instantâneo (3,6 --- −3,6) ou seja: $(8 - (-8)) - (3{,}6 - (-3{,}6)) = 8{,}8$ Volts;

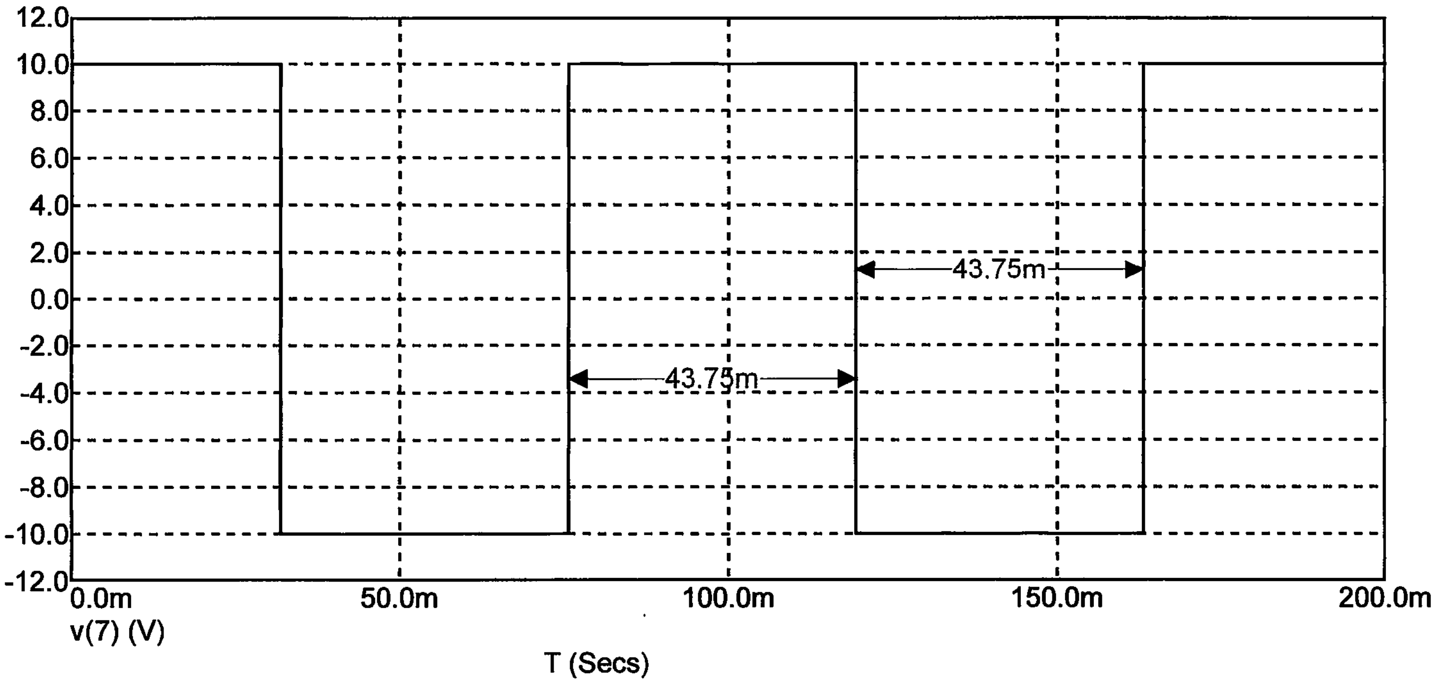
$$v_C(t) = \frac{i_C(t)}{C} \cdot t$$

$$8{,}8 = \frac{2\,mA}{10\,\mu F} \cdot t$$

$$t = 44\,ms //$$


R
1.8k
C
10u IC=2
eo1
eo2
10
10
R1
18k
R2
22k
R3
10k


P1a_2010_2.cir
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
7.15
7.15
0.0m
50.0m
100.0m
150.0m
200.0m
v(4) (V)
T (Secs)

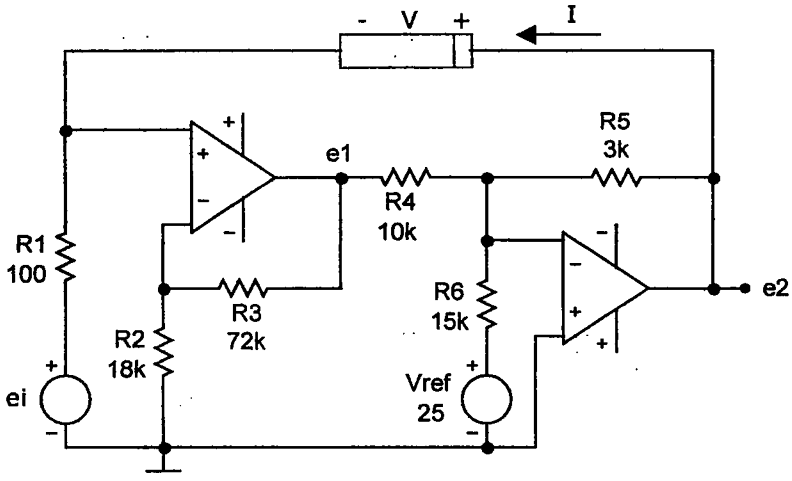

12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
43.75m
43.75m
0.0m
50.0m
100.0m
150.0m
200.0m
v(7) (V)
T (Secs)

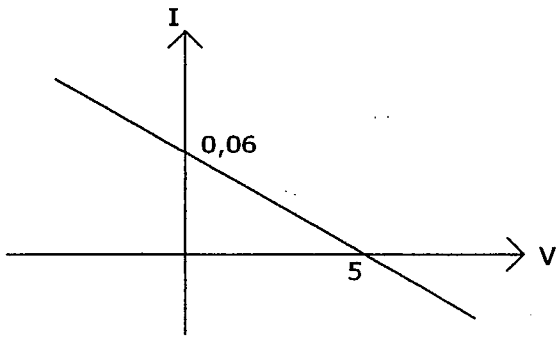
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2011/1

Prova 1 17/5/2011

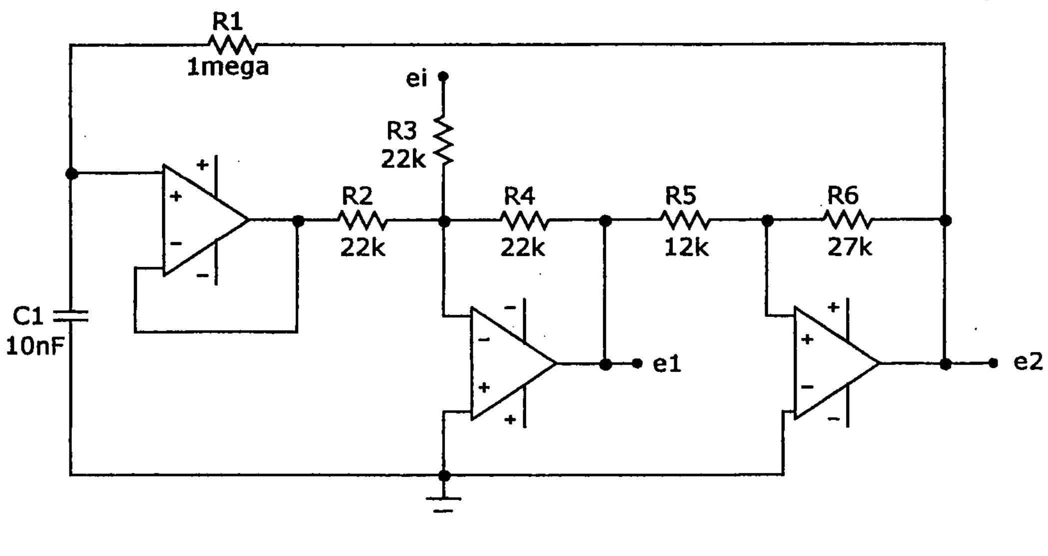
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (5 pontos) O circuito linear a seguir utiliza um bloco funcional descrito por sua curva característica V-I. Use este bloco assim como está desenhado.
Descreva todas as etapas da solução com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
a) Examine a topologia, atente para os detalhes e entenda o seu funcionamento.
b) Separe em blocos, identifique a função de cada um, equacione em formato literal primeiro e coloque os valores de circuito logo após.
c) Junte os blocos (equações) com o objetivo de equacionar e_i e e_2 em termos de V, I e os componentes.
d) Coloque os valores do gráfico V-I nas equações de e_i e e_2 e desenhe a curva e_i x e_2 do circuito, lembrando de descrever todo o seu trabalho.





2. (5 pontos) O circuito a seguir foi criado para ser um PWM (Pulse Width Modulator).
a) Examine a topologia procurando entender o funcionamento.
b) Separe em blocos funcionais, classifique e equacione em formato literal e então teste o funcionamento aplicando e_i = +3 Volts e calculando os limites da tensão no capacitor.
c) Desenhe as curvas da tensão no capacitor e da saída e_2 no mesmo gráfico, colocando os valores calculados. Quais os limites para e_i = -3 Volts? Escreva suas conclusões e observações sobre este circuito. $t = -R \cdot C \cdot \ln\{[v_c(\infty) - v_c(t)]/[v_c(\infty) - v_c(0)]\}$ $V_{cc} = \pm 9$ Volts



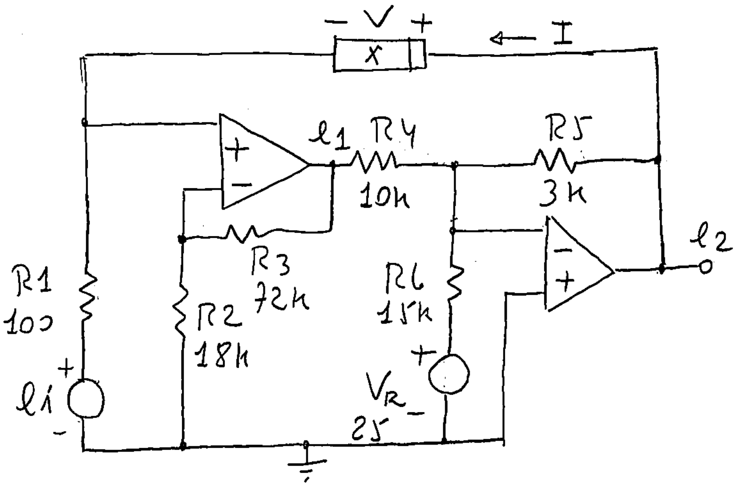
O circuito linear a seguir, utiliza um elemento com resistência negativa, descrito pela sua curva característica V x I.

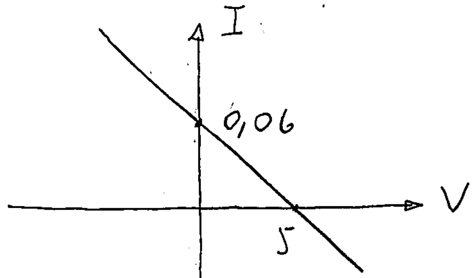
a) Examine a topologia, atente para os detalhes e entenda o funcionamento.

b) Separe em blocos, identifique a função e equacione.

c) Junte os blocos (equações) com o objetivo de descrever e_i e e_2 em termos de V, I e dos componentes.

d) Desenhe a curva da função de transferência $e_2 \times e_i$ extraindo valores de V e I do gráfico fornecido.





V	I	e_i	e_2

(ref. P1 2006/1)

P1 2011/1

---

a) Bloco e_1 tem duas realim., mas é dito linear.

Bloco e_2: somador inversor.

b) Equacionando bloco e_1:

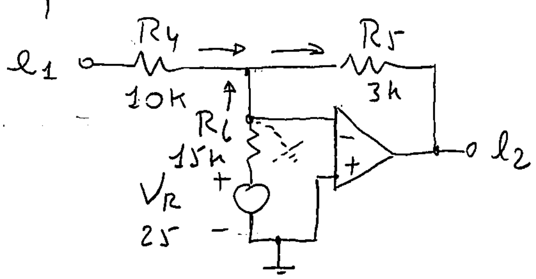
$$e_- = e_1 \frac{R_2}{R_2+R_3} = e_1 \frac{18}{18+72}$$

$$e_- = 0,2 \cdot e_1$$

$e_+ = e_2 - V$ como $e_+ = e_-$:

$$0,2 \cdot e_1 = e_2 - V \quad (1)$$

Equacionando bloco e_2:



é um somador inversor

$e_+ = 0$

KCL no nó e_- (massa virtual)

$$\frac{e_1-0}{R_4} - \frac{V_R-0}{R_6} + \frac{0-e_2}{R_5} = 0$$

$$e_2 = -e_1 \frac{R_5}{R_4} - V_R \frac{R_5}{R_6}$$

$$e_2 = -e_1 \frac{3}{10} - 25 \frac{3}{15}$$

$$e_2 = -0,3\, e_1 - 5 \quad (2)$$

A variável interna e_1 precisa ser eliminada.

Isolando e_1 em (1) e substituindo em (2):

$$e_1 = \frac{e_2 - V}{0,2} = 5(e_2 - V) \quad (3)$$

$$e_2 = -0,3 \cdot 5 (e_2 - V) - 5$$

$$e_2 = -1,5\, e_2 + 1,5 V - 5$$

$2{,}5\,e_2 = 1{,}5V - 5$

$e_2 = 0{,}6 \cdot V - 2$ // (4)

Falta agora a equação de e_i.

Examinando o circuito:

$$I = \frac{e_+ - e_i}{R_1}$$

como $e_+ = e_- = 0{,}2 \cdot e_1$

$$I = \frac{0{,}2 \cdot e_1 - e_i}{R_1}$$

Substituindo a variável interna e_1 por (3):

$$I = \frac{0{,}2\,(5\,(e_2 - V)) - e_i}{R_1}$$

$$I = \frac{e_2 - V - e_i}{R_1}$$ isolando e_i:

$e_i = e_2 - V - I \cdot R_1$

$e_i = e_2 - V - 100 \cdot I$ // (5)

Gráfico de $e_2 \times e_i$ usando (4) e (5):

No ponto $I = 0{,}06$ e $V = 0$:

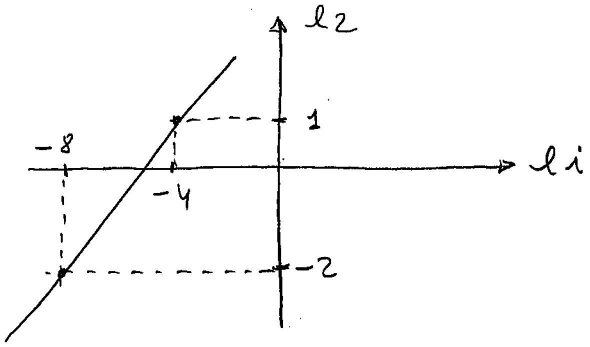
$e_2 = 0{,}6 \cdot 0 - 2 \rightarrow e_2 = -2$ //

$e_i = -2 - 0 - 100 \cdot 0{,}06 \rightarrow e_i = -8$ //

No ponto $I = 0$ e $V = 5$:

$e_2 = 0{,}6 \cdot 5 - 2 \rightarrow e_2 = 1$ //

$e_i = 1 - 5 - 100 \cdot 0 \rightarrow e_i = -4$ //



Equações do componente X:

É uma reta:

$V = a + b \cdot I$

Do gráfico:

$5 = a + b \cdot 0 \rightarrow a = 5$

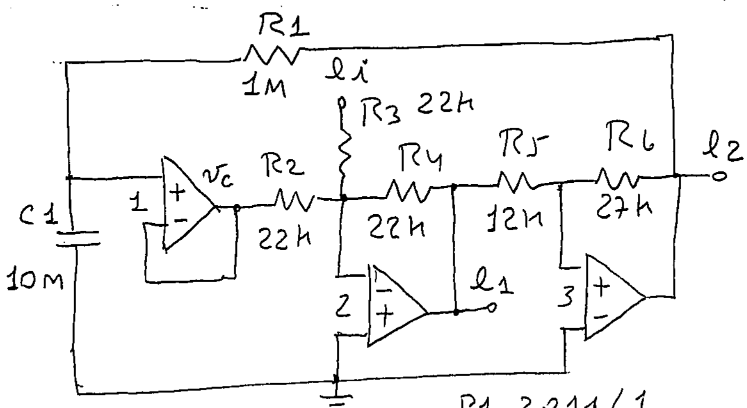
$0 = 5 + b \cdot 0{,}06 \rightarrow b = -83{,}3$

Então:

$V = 5 - 83{,}3\,I$ //

(usado na simulação)

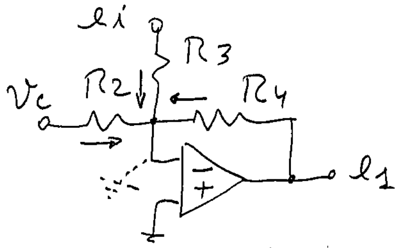
O circuito a seguir foi criado para ser um PWM. Examine, separe em blocos funcionais, equacione em formato literal e depois coloque os valores do circuito. Junte os blocos (equações) com o objetivo de desenhar $V_c(t)$ e $e_2(t)$ com todos os valores de interesse calculados, considerando dois casos: $e_i = 3$ Volts e $e_i = -3$ Volts. $V_{cc} = \pm 9$.



P1 2011/1

Bloco 1: Seguidor de tensão $e_+ = e_- = V_c$ = saída

Bloco 2: Amplificador somador inversor.



Aplicando KCL na massa virtual:

$$-\frac{V_c - 0}{R_2} - \frac{e_i - 0}{R_3} - \frac{e_1 - 0}{R_4} = 0$$

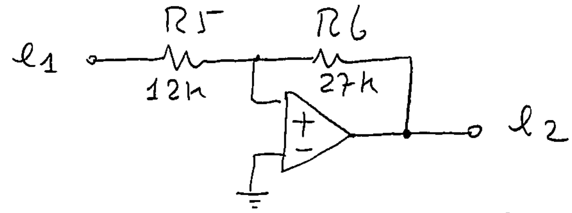
$$\frac{e_1}{R_4} = -\frac{V_c}{R_2} - \frac{e_i}{R_3}$$

Colocando os valores:

$$\frac{e_1}{22k} = -\frac{V_c}{22k} - \frac{e_i}{22k}$$

$$e_1 = -V_c - e_i \quad // \quad (1)$$

Bloco 3: comparador não inversor com histerese.



Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = e_1 \frac{R_6}{R_5 + R_6} + e_2 \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

$$e_- = 0$$

Igualando e isolando e_1:

$$e_1 \frac{R_6}{\cancel{R_5 + R_6}} + e_2 \frac{R_5}{\cancel{R_5 + R_6}} = 0$$

$$e_1 = -e_2 \frac{R_5}{R_6} \quad (2)$$

$$e_1 = -e_2 \frac{12k}{27k} \rightarrow e_1 = -\frac{12 \cdot e_2}{27} \quad //$$

como e_2 está saturado em $\pm V_{cc}$:

$$e_1 = \begin{cases} -\frac{12 \cdot 9}{27} = -4 \\ -\frac{12(-9)}{27} = +4 \end{cases}$$

Juntando os blocos:

como e_1 é uma variável interna, usamos (1) na equação (2):

$$-V_c - e_i = -e_2 \cdot \frac{R_5}{R_6}$$

$$V_c = e_2 \frac{R_5}{R_6} - e_i \quad //$$

Colocando os valores:

$$V_C = \pm 9 \frac{12k}{27k} - 3$$

$$V_C = \begin{cases} 1 \\ -7 \end{cases}$$

Funcionamento:

$e_2 = +V_{cc}$ carrega C_1 até que $V_C = 1$ Volt. Neste momento, e_2 vira para $-V_{cc}$ e C_1 descarrega até -7 Volts e o ciclo se repete.

a) carga de C_1 de -7 até 1:

$$T_1 = -R_1 \cdot C_1 \cdot \ln\left(\frac{V_{cc} - (1)}{V_{cc} - (-7)}\right)$$

$$T_1 = -10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \ln\left(\frac{8}{16}\right)$$

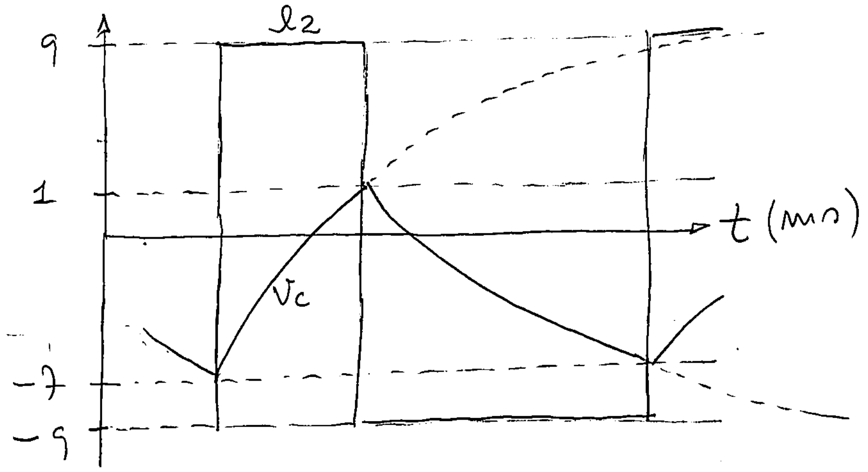
$$T_1 = 6{,}93\ ms \ //$$

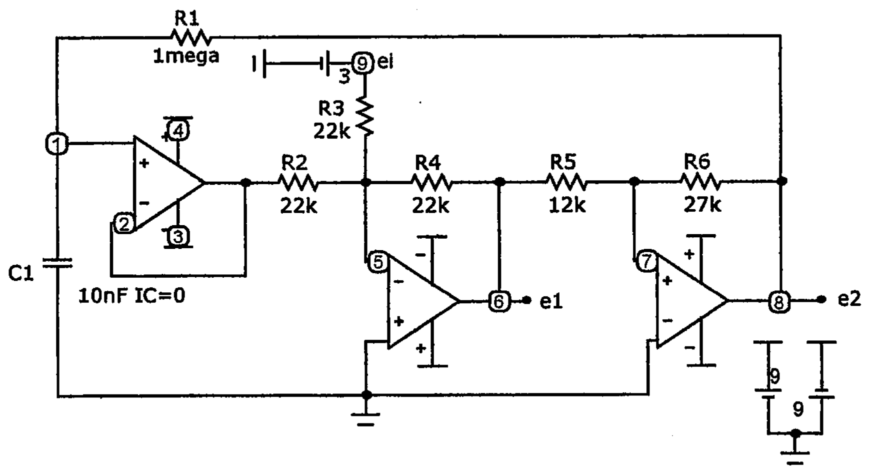
b) Descarga de C_1 de 1 até -7:

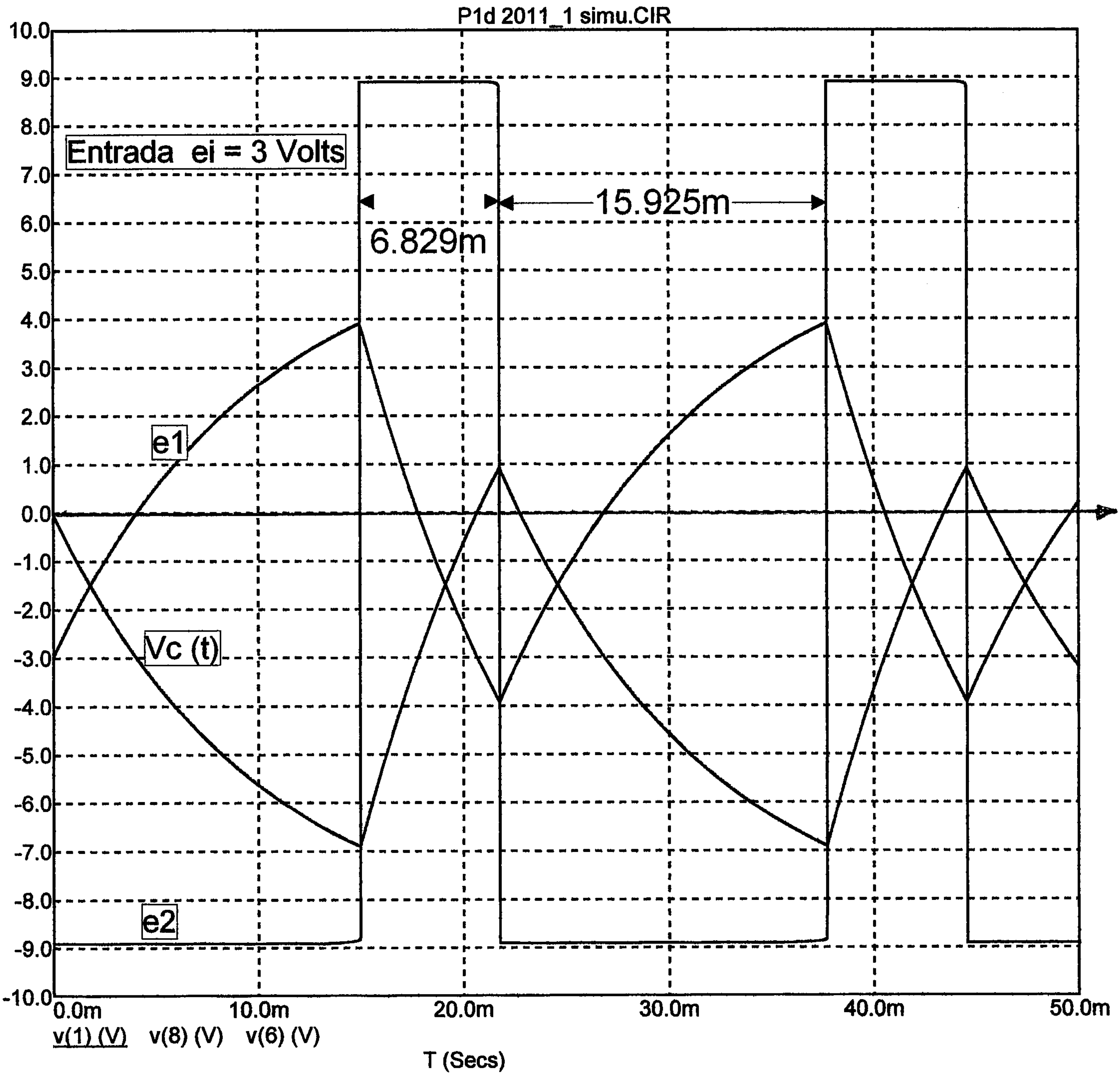
$$T_2 = 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \ln\left(\frac{-V_{cc} - (-7)}{-V_{cc} - (+1)}\right)$$

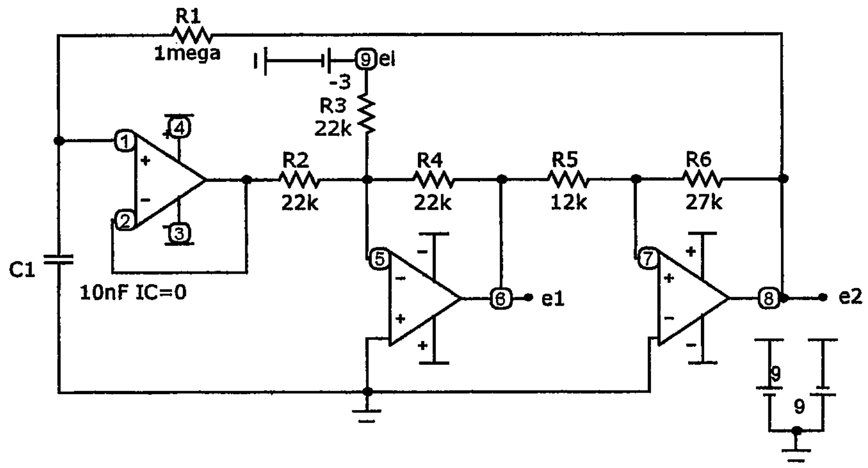
$$\ln\left(\frac{-2}{-10}\right)$$

$$T_2 = 16{,}1\ ms //$$

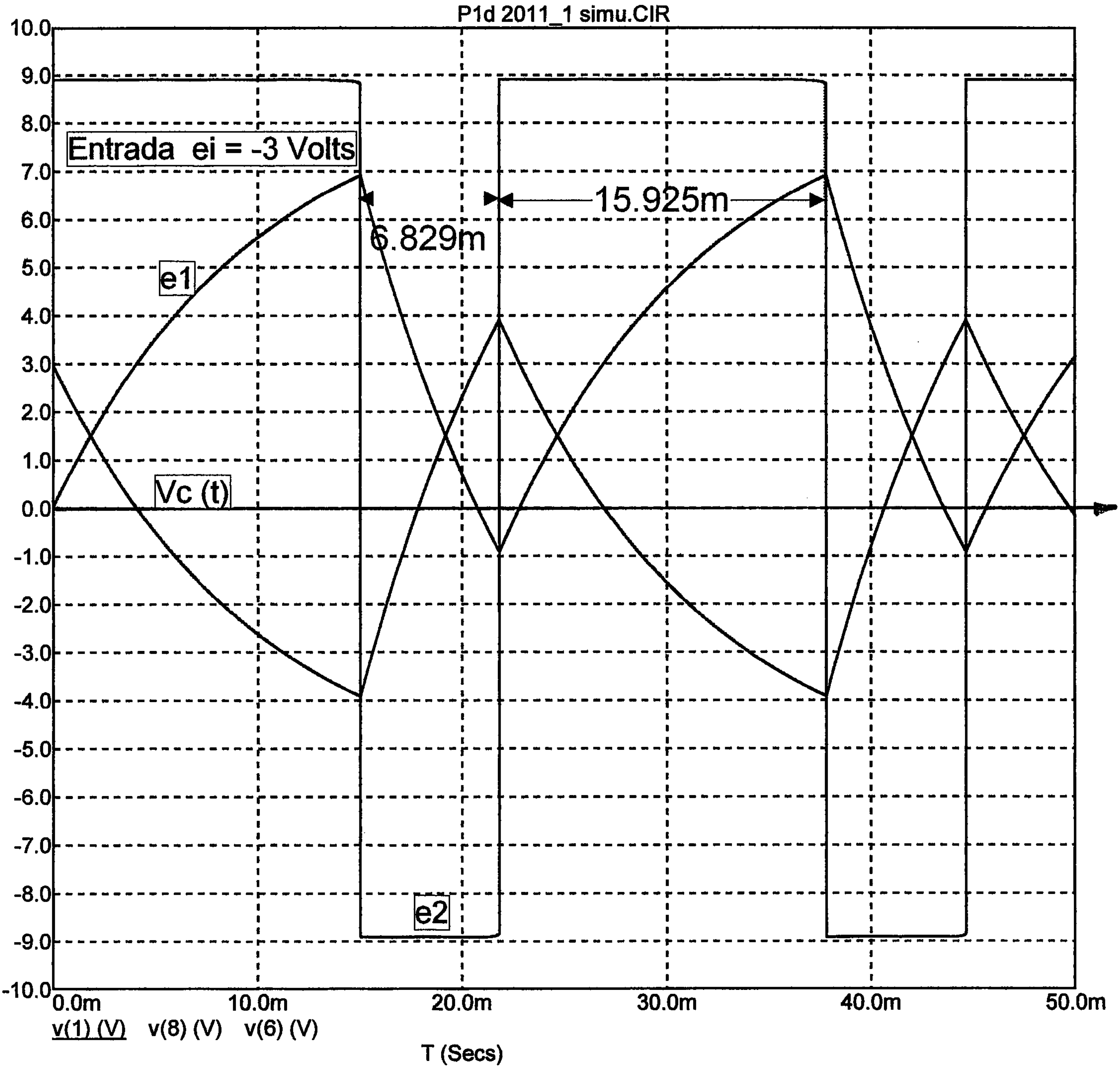



R1
1mega
ei
3
R3
22k
R2
22k
R4
22k
R5
12k
R6
27k
C1
10nF IC=0
e1
e2
9
9


P1d 2011_1 simu.CIR
Entrada ei = 3 Volts
6.829m
15.925m
e1
Vc (t)
e2
v(1) (V) v(8) (V) v(6) (V)
T (Secs)



R1
1mega
el
-3
R3
22k
R2
22k
R4
22k
R5
12k
R6
27k
C1
10nF IC=0
e1
e2
9
9



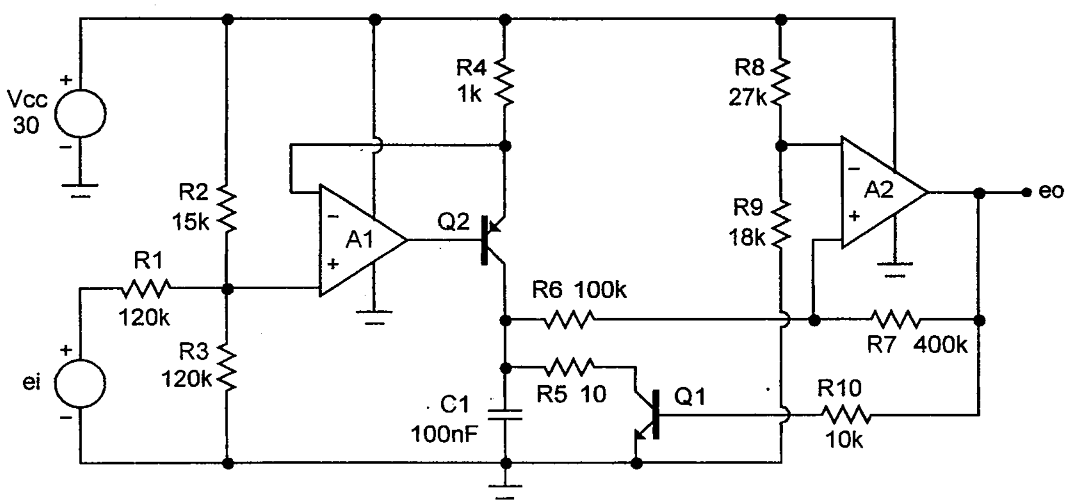
P1d 2011_1 simu.CIR
Entrada ei = -3 Volts
6.829m
15.925m
e1
Vc (t)
e2
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0
-9.0
-10.0
0.0m
10.0m
20.0m
30.0m
40.0m
50.0m
v(1) (V) v(8) (V) v(6) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2011/2

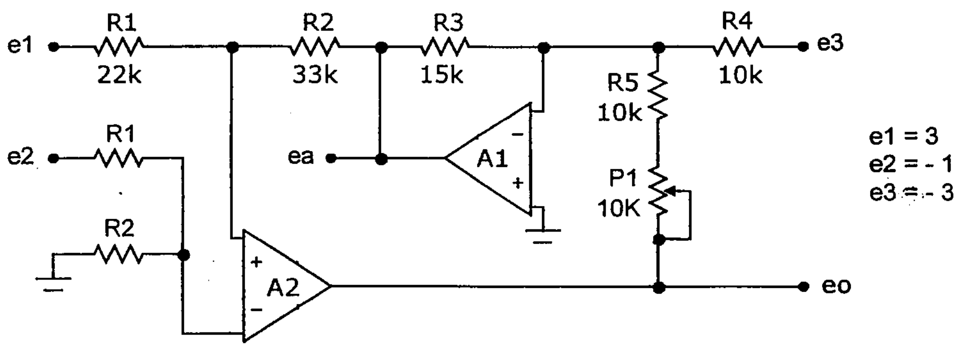
Prova 1 25/10/2011

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. circuito a seguir é um VCO (voltage controlled oscillator) do qual deseja-se obter os gráficos temporais de $v_{c1}(t)$ e $e_0(t)$, com todos os valores de interesse identificados. Como sempre, use a hierarquia, organização e método, analisando cuidadosamente a topologia e o funcionamento, separando em blocos, documentando cada etapa com textos, equações e esquemas e analisando os resultados. A questão precisa estar bem fundamentada para ser avaliada. Em qualquer prova, exame ou seleção, o candidato está demonstrando seus conhecimentos.
Equacione o circuito com zero na entrada e após concluir o trabalho descreva qualitativamente as mudanças nos gráficos com sinais positivos e negativos. Componentes ideais.

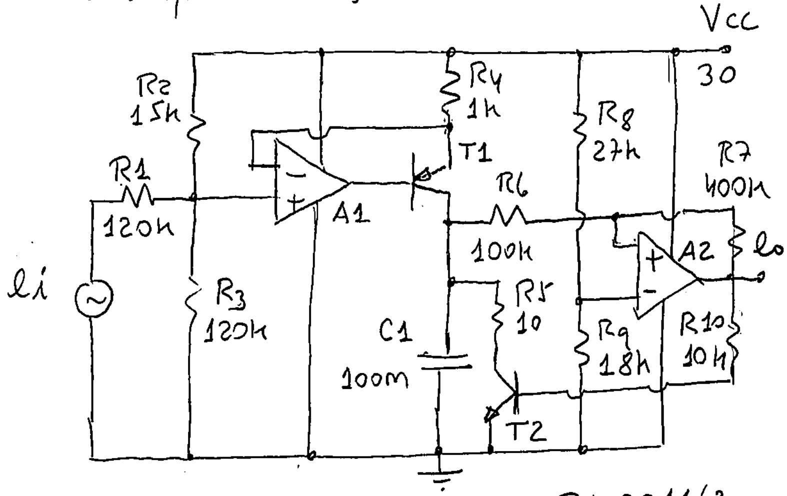


2. Equacione em formato literal o circuito a seguir, de modo a obter e_0 e e_a em função das entradas, documentando cada etapa com textos, equações e esquemas pois isso vai ser sempre avaliado.
Coloque então o valor dos resistores e explicite e_0 e e_a novamente.
Por último, aplique os demais valores numéricos e teste os limites do potenciômetro sobre estas mesmas saídas. Componentes ideais.



foi P1 2007/1 com modificações

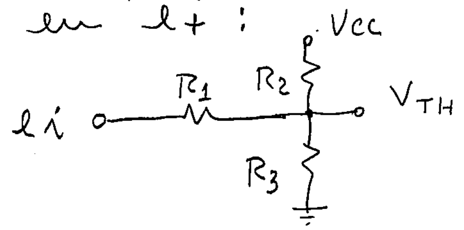
Examine o VCO, separe em blocos e equacione em formato literal. Determine os gráficos temporais de $V_c(t)$ e $e_o(t)$, supondo a entrada em zero Volt. Depois faça um estudo quantitativo com a entrada assumindo valores positivos e negativos. Componentes ideais.



P1 2011/2

Bloco A1, T1: É linear, $e_+ = e_-$.

Simplificando: Thévenin em e_+:



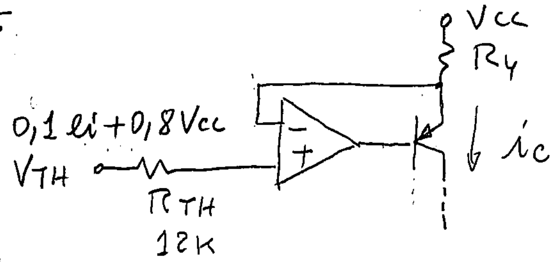
$$R_{TH} = R_1 // R_2 // R_3$$

$$\frac{1}{R_{TH}} = \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} = \frac{1}{120}+\frac{1}{15}+\frac{1}{120}$$

$$R_{TH} = 12K$$

$$V_{TH} = e_i \cdot \frac{\overbrace{R_2//R_3}^{13,333}}{R_1 + R_2//R_3} + V_{cc}\frac{\overbrace{R_1//R_3}^{60k}}{R_2+R_1//R_3}$$

$$V_{TH} = 0,1\cdot e_i + 0,8\cdot V_{cc}$$



$$e_+ = e_- = V_{TH}$$

$$i_c = \frac{V_{cc} - e_-}{R_4} = \frac{V_{cc} - (0,1 e_i - 0,8 V_{cc})}{R_4}$$

$$i_c = \frac{0,2\cdot V_{cc} - 0,1\cdot e_i}{R_4} \quad (1)$$

Fonte de corrente.

com e_i = zero:

$$i_c = \frac{0,2\cdot 30 - 0,1\cdot 0}{1k} \rightarrow i_c = 6\,mA$$

C1 se carrega com i_c e v_c = rampa linear.

Bloco A2: comparador não-inversor com referência.

$$e_- = V_{cc}\frac{R_9}{R_8+R_9}$$

$$e_- = 30\,\frac{18}{27+18} \rightarrow e_- = 12 \text{ Volts}$$

$$e_+ = V_c\frac{R_7}{R_6+R_7} + e_o\frac{R_6}{R_6+R_7}$$

$$e_+ = V_c\,\frac{400}{100+400} + e_o\,\frac{100}{100+400}$$

$$e_+ = 0,8\cdot V_c + 0,2\cdot e_o$$

Como $e_o = \begin{cases} V_{cc} \\ \text{zero} \end{cases}$

$$e_+ = 0,8\cdot V_c + \begin{cases} 6 \\ \text{zero} \end{cases}$$

Hipótese: T2 cortado.

Pontos de virada: $e_+ = e_-$;

Igualando e isolando V_c:

$$V_c\frac{R_7}{R_6+R_7} = V_{cc}\frac{R_9}{R_8+R_9} - e_o\frac{R_6}{R_6+R_7}$$

$$V_c = V_{cc}\frac{R_9(R_6+R_7)}{R_7(R_8+R_9)} - e_o\frac{R_6}{R_7}$$

Limites de carga de C1:

$$V_C = 30\,\frac{18\,(100+400)}{400\,(27+18)} - \left\langle\begin{array}{l} 30\cdot\frac{100}{400} \\ 0\;\frac{100}{400}\end{array}\right.$$

$$V_C = 15 - \left\langle\begin{array}{l} 7{,}5 \\ 0\end{array}\right.$$

$$V_C = \left\langle\begin{array}{l} 7{,}5 \\ 15\end{array}\right. \quad //$$

Bloco T2:

Com lo = 0, T2 cortado e C1 se carrega com i1.

Com lo = Vcc, T2 saturado e C1 se descarrega rapidamente por R5.

Funcionamento global:

Ao ligar, $V_C = 0$, $lo = 0V$ e C1 se carrega com $i_1 = 6mA$ que $V_C = 15V$, virando lo para $lo = 30V$, saturando T2 e descarregando C1 até alcançar $V_C = 7{,}5V$. Então o comparador vira e o ciclo se repete.

Tempo de carga de C1:

$$i_C = C\cdot\frac{dV_C}{dt} = C\,\frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

$$6mA = 100n\,\frac{15-7{,}5}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 125\mu s //$$

Tempo de descarga de C1:

Supondo i_C = zero:

$$t = -R\cdot C\,\ln\left(\frac{V_\infty - V_{fim}}{V_\infty - V_{início}}\right)$$

$$t = -R_5\cdot C_1\,\ln\left(\frac{V_{CC} - V_C = 15}{V_{CC} - V_C = 7{,}5}\right)$$

$$t = -10\cdot 100\cdot 10^{-9}\,\ln\left(\frac{30-15}{30-7{,}5}\right)$$

$$t = -10^{-6}\,(-0{,}40546)$$

$$t = 0{,}405\,\mu s //$$

Frequência do VCO:

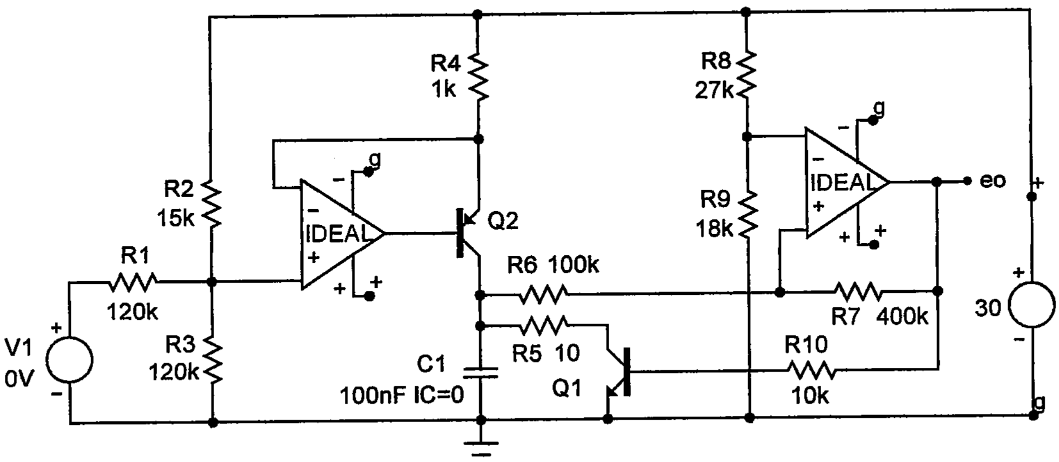
$$f = \frac{1}{\Delta t + t} = \frac{1}{125\mu s + 0{,}405\mu s}$$

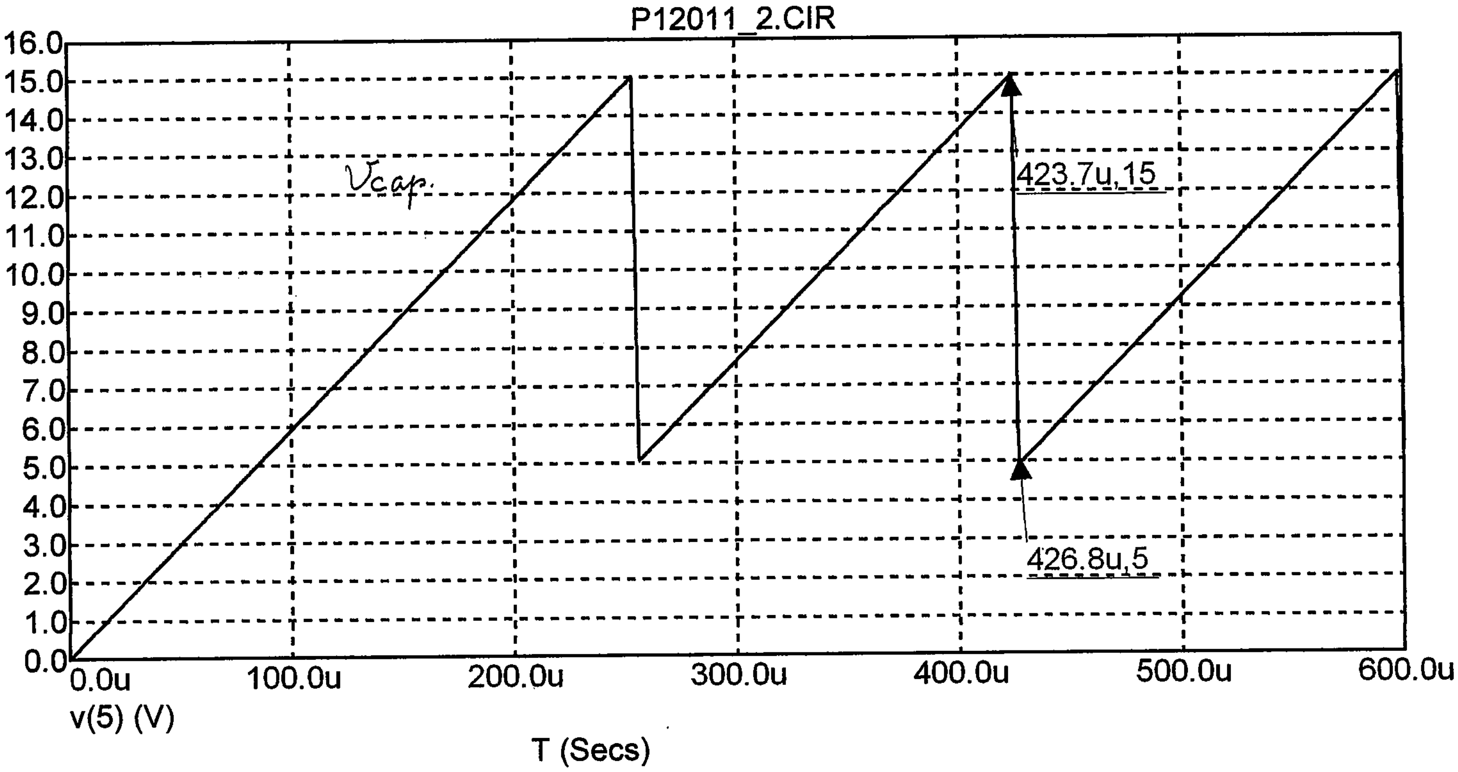
$$f = 8\,kHz //$$

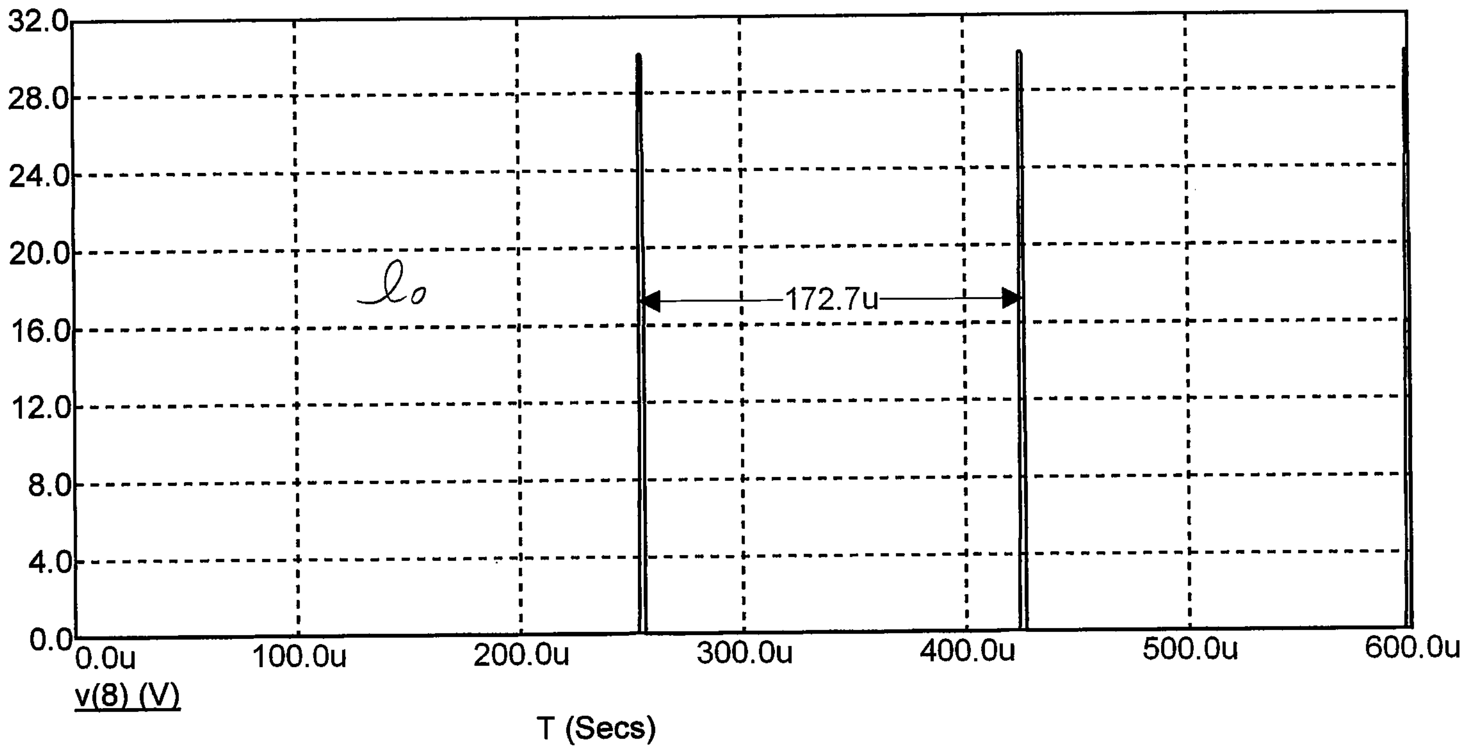
Com li positivo:

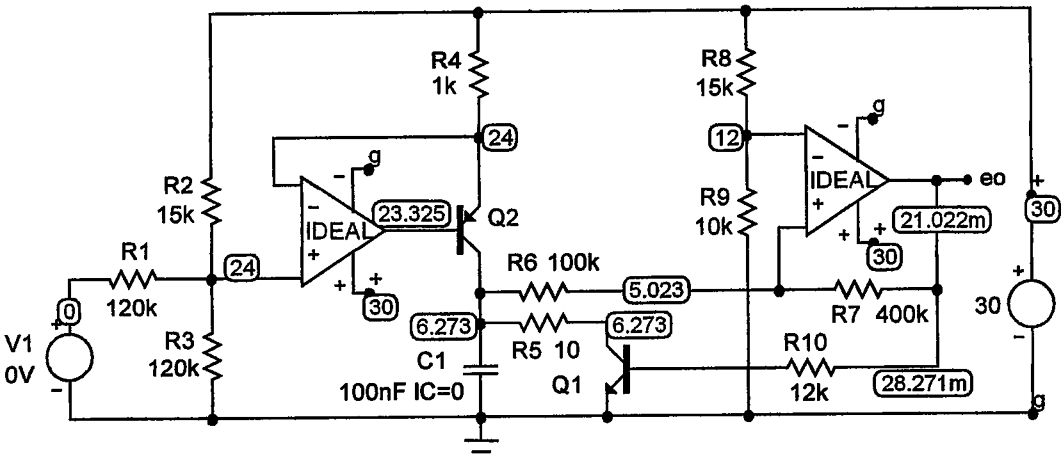
i_C diminui (equação 1) logo capacitor carrega mais devagar e a freq. diminui //

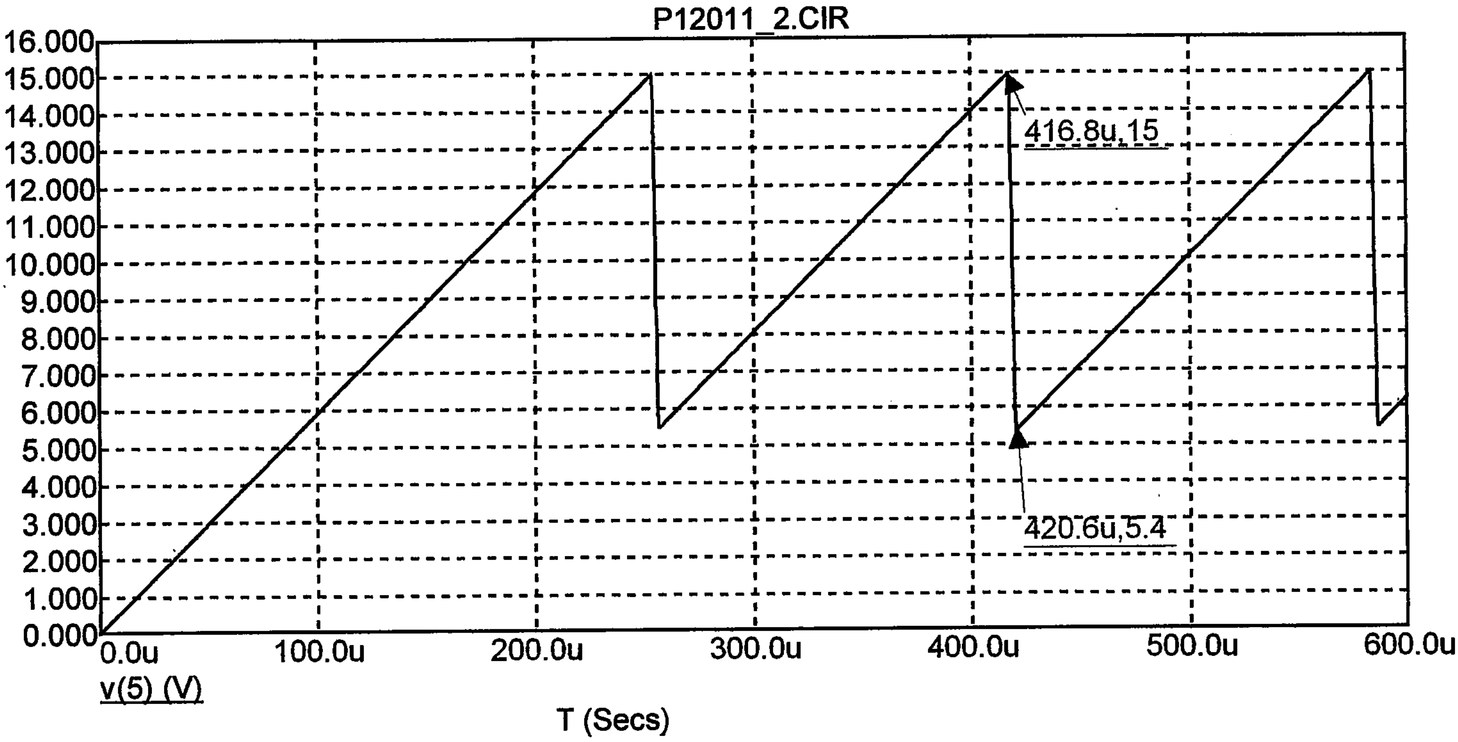
Com li negativo, i_C aumenta e a freq. aumenta //

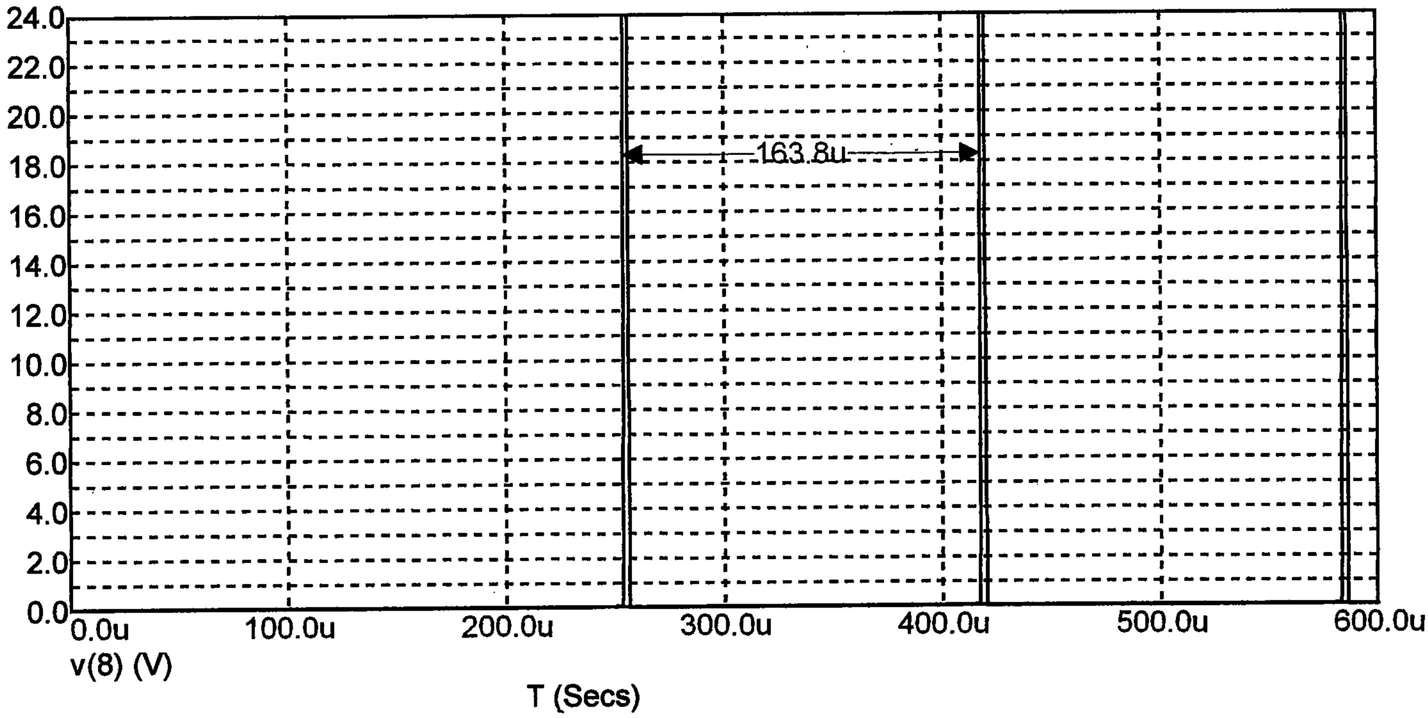

R4
1k
R8
27k
R2
15k
IDEAL
Q2
IDEAL
eo
R9
18k
R1
120k
R6 100k
R7 400k
30
V1
0V
R3
120k
C1
100nF IC=0
R5 10
Q1
R10
10k
g


P12011_2.CIR
Vcap.
423.7u,15
426.8u,5
16.0
15.0
14.0
13.0
12.0
11.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(5) (V)
T (Secs)

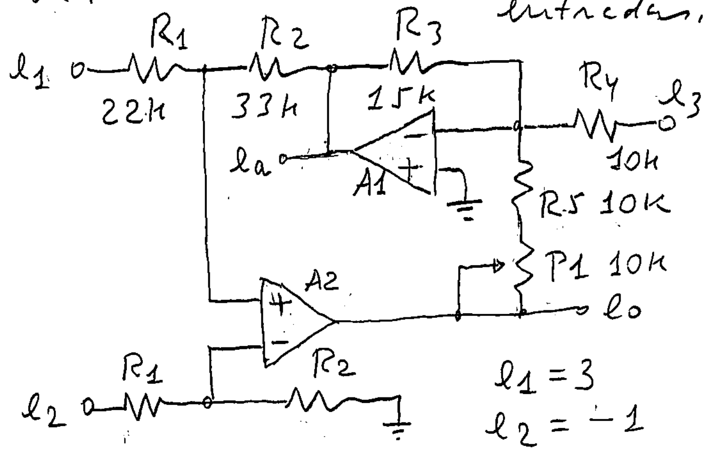

eo
172.7u
32.0
28.0
24.0
20.0
16.0
12.0
8.0
4.0
0.0
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(8) (V)
T (Secs)


R4
1k
R8
15k
24
12
g
g
R2
15k
IDEAL
IDEAL
eo
23.325
Q2
21.022m
30
R9
10k
R1
120k
24
R6 100k
5.023
30
30
0
R7 400k
30
V1
0V
R3
120k
6.273
R5 10
6.273
C1
100nF IC=0
Q1
R10
12k
28.271m
g


P12011_2.CIR
16.000
15.000
14.000
13.000
12.000
11.000
10.000
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
416.8u,15
420.6u,5.4
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(5) (V)
T (Secs)


24.0
22.0
20.0
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
163.8u
0.0u
100.0u
200.0u
300.0u
400.0u
500.0u
600.0u
v(8) (V)
T (Secs)

Equacione o circuito a seguir com o objetivo de obter e_a e e_o em função das entradas, em formato literal. Coloque então o valor dos resistores fixos. Por último teste os limites de P1 com colocando o valor das entradas.



$e_1 = 3$

$e_2 = -1$

$e_3 = -3$

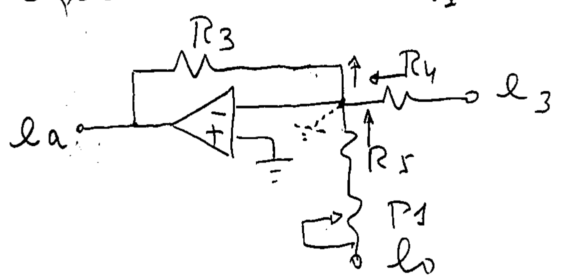
P1 2011/2

Examinando a topologia:

A1: amplificador somador inversor linear.

A2: parecido com amplif. subtrator; realimentação é negativa pois A1 inverte.

Equacionando A1: $e_+ = e_-$



$e_+ = 0$

KCL em e_-, aproveitando a massa virtual:

$+i_3 - i_4 - i_5 = 0$

$$\frac{0-e_a}{R_3} - \frac{e_3-0}{R_4} - \frac{e_o-0}{R_5+P_1} = 0$$

igualando e isolando e_o:

$$e_o = -(R_5+P_1)\cdot\left(\frac{e_a}{R_3} + \frac{e_3}{R_4}\right) \quad // \ (1)$$

e_a é variável interna: eliminar.

Equacionando A2: $e_+ = e_-$

$$e_- = e_2 \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

Por superposição:

$$e_+ = e_1 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_a \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando e isolando e_a:

$$e_a \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} = e_2 \frac{R_2}{\cancel{R_1+R_2}} - \frac{e_1 R_2}{\cancel{R_1+R_2}}$$

$$e_a = \frac{R_2}{R_1}(e_2-e_1) \quad // \ (2)$$

Levando em (1):

$$e_o = -(R_5+P_1)\cdot\left[\frac{R_2}{R_1\cdot R_3}(e_2-e_1) + \frac{e_3}{R_4}\right]$$

colocando o valor dos resistores:

$$e_o = -(10+P_1)\left[\frac{33}{22\cdot 15}(e_2-e_1) + \frac{e_3}{10}\right]$$

Aplicando o sinal $-$:

$$e_o = (10+P_1)\left[0,1(e_1-e_2) - \frac{e_3}{10}\right] \quad //$$

colocando o valor das fontes:

$$e_o = (10+P_1)\left[0,1(3-(-1)) - \frac{-3}{10}\right]$$

$$e_o = (10+P_1)[0,6] \quad //$$

Variando P1:

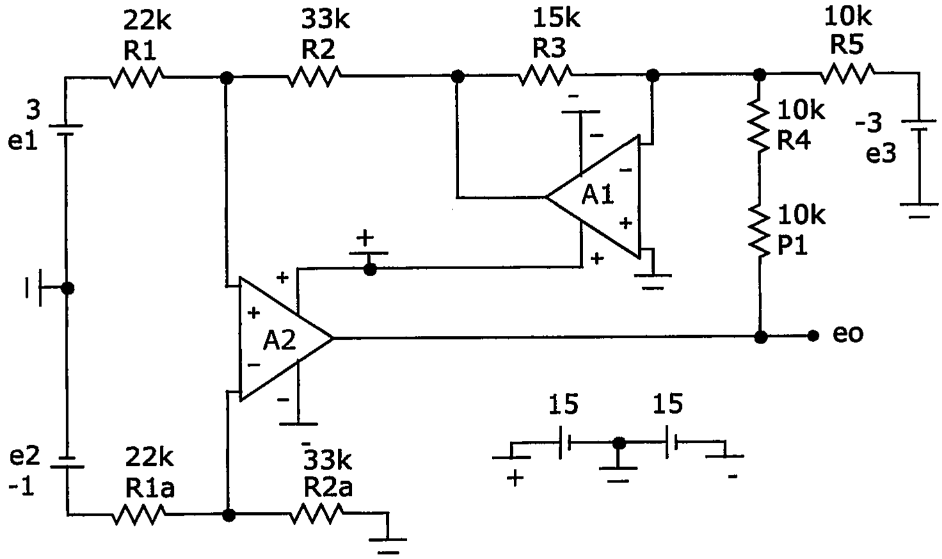
$P_1 = 10 \rightarrow e_o = (10+10)(0,7) = 14\,V$ //

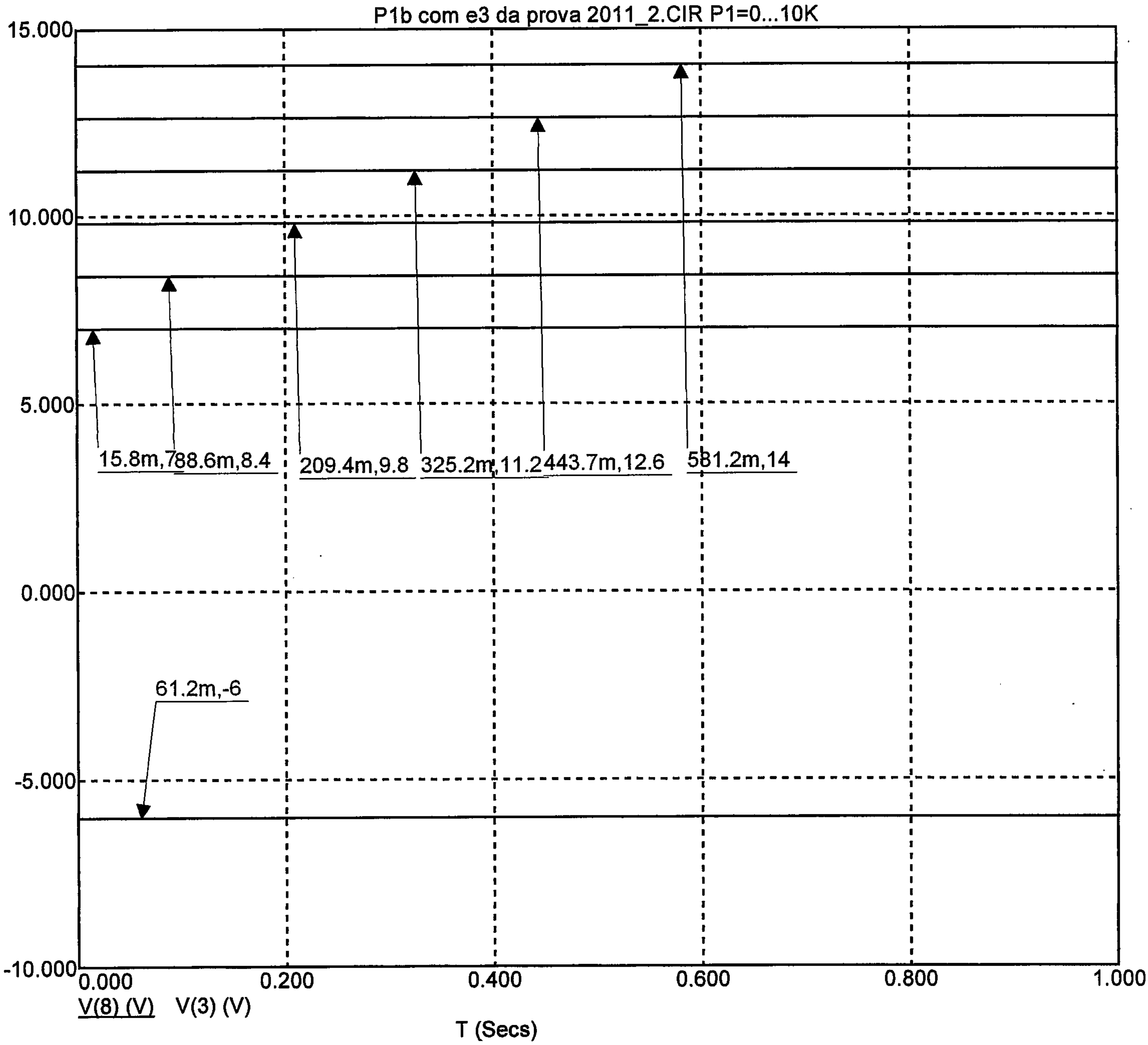
$P_1 = 0 \rightarrow e_o = (10+0)(0,7) = 7\,V$ //

colocando valores em (2):

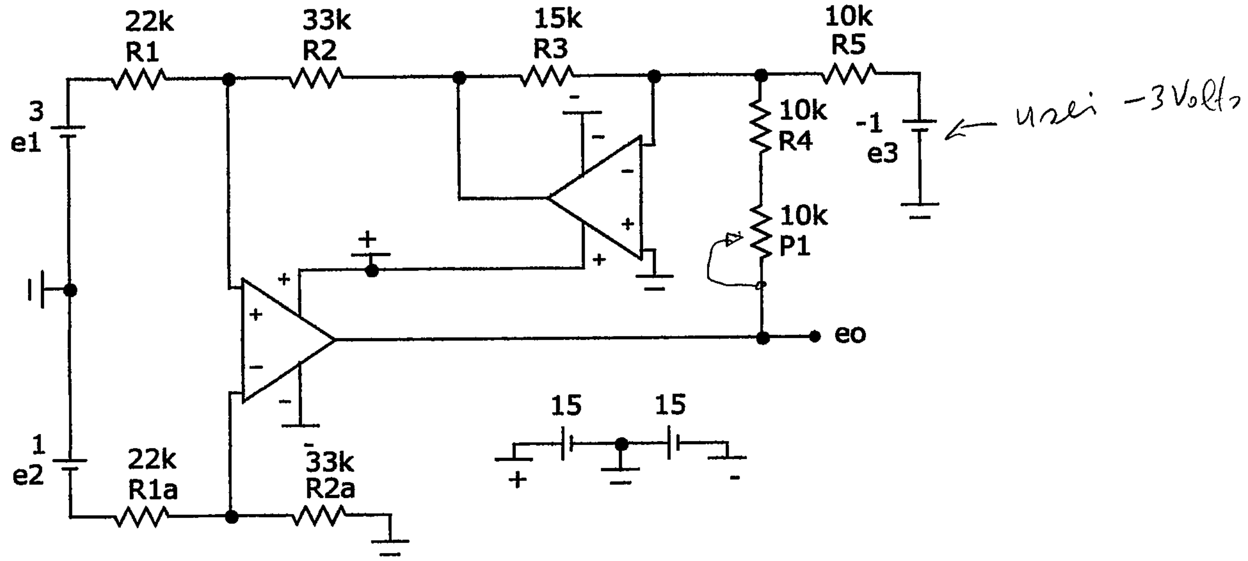
$$e_a = \frac{33}{22}(e_2-e_1) \rightarrow e_a = 1,5(e_2-e_1)$$

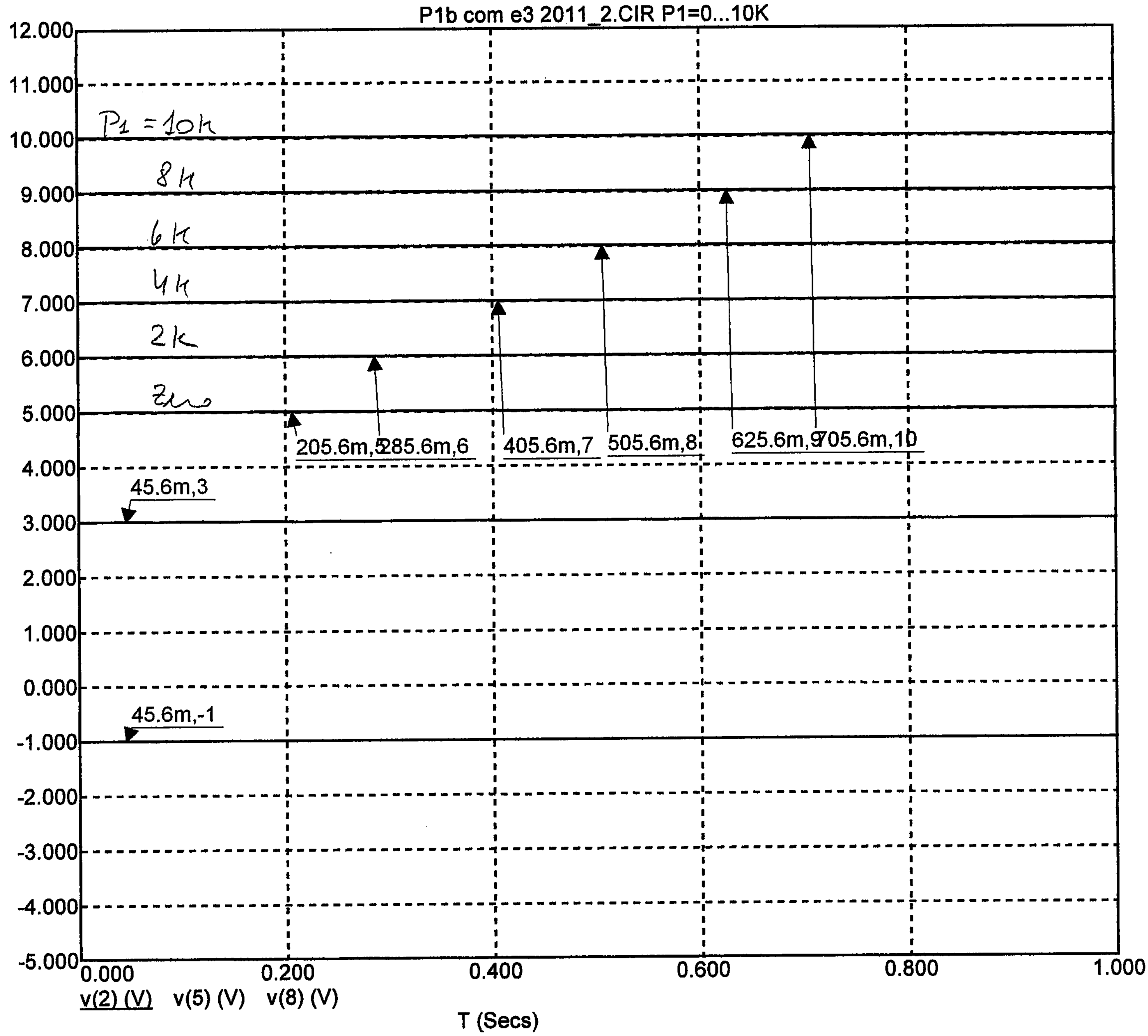
$e_a = -6$ volts //

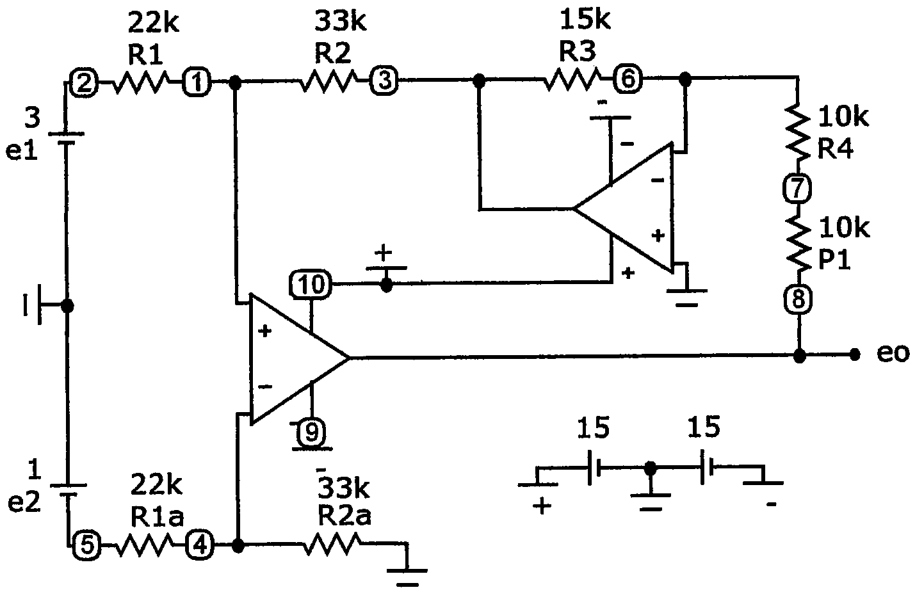

22k
R1
33k
R2
15k
R3
10k
R5
3
e1
10k
R4
-3
e3
A1
10k
P1
A2
eo
15
15
e2
-1
22k
R1a
33k
R2a

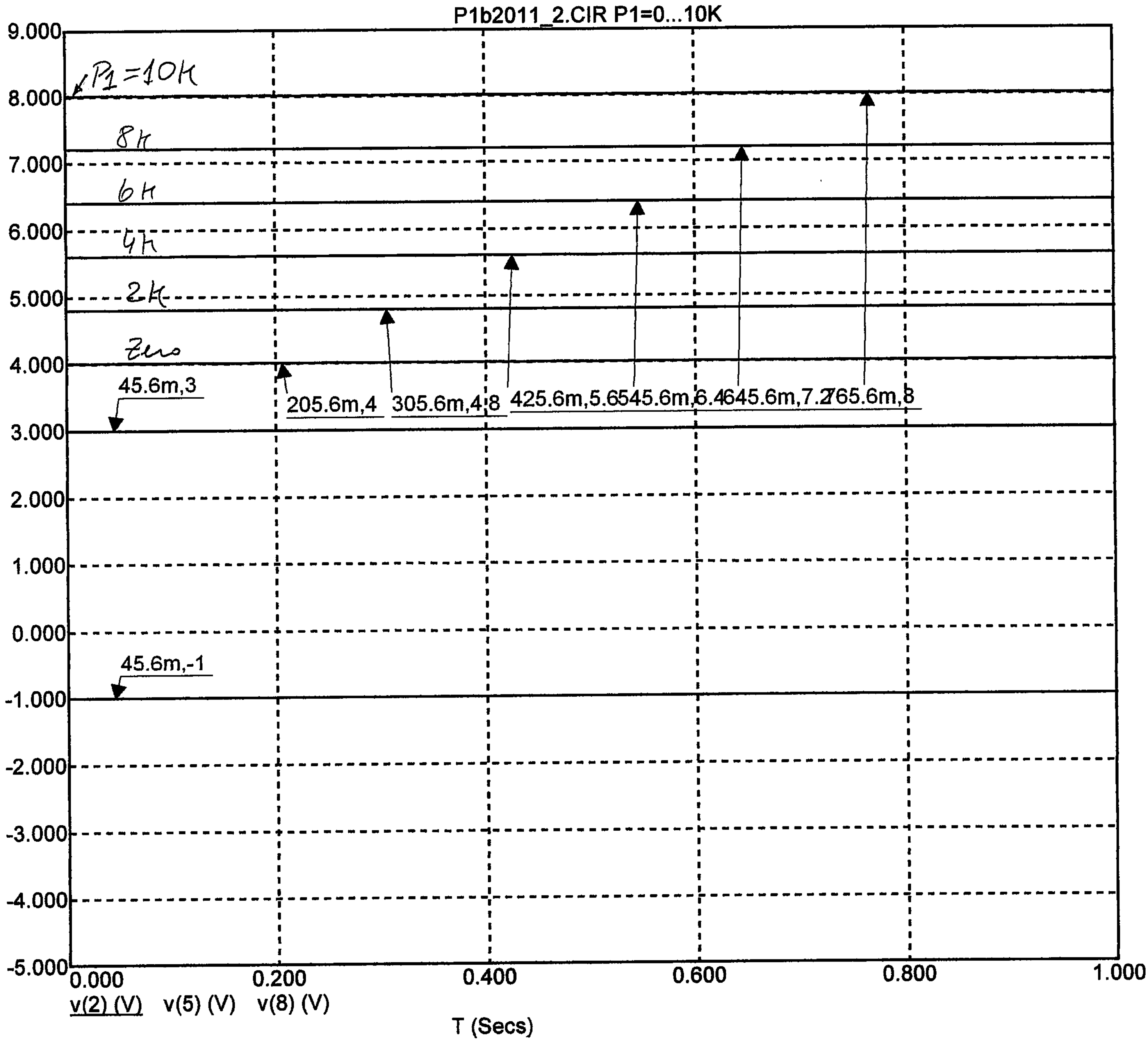

P1b com e3 da prova 2011_2.CIR P1=0...10K
15.000
10.000
5.000
0.000
-5.000
-10.000
15.8m,7
88.6m,8.4
209.4m,9.8
325.2m,11.2
443.7m,12.6
581.2m,14
61.2m,-6
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
V(8) (V)
V(3) (V)
T (Secs)

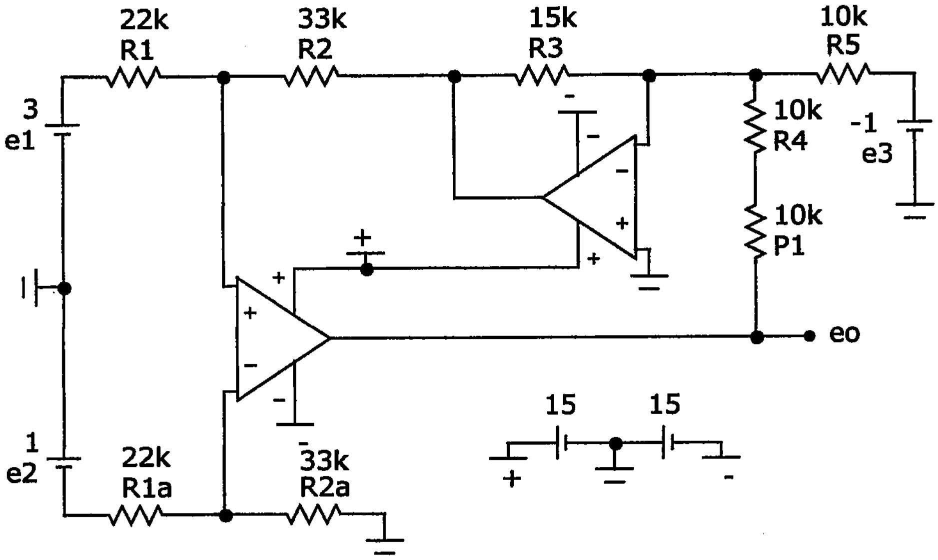
P1 2011 - 1

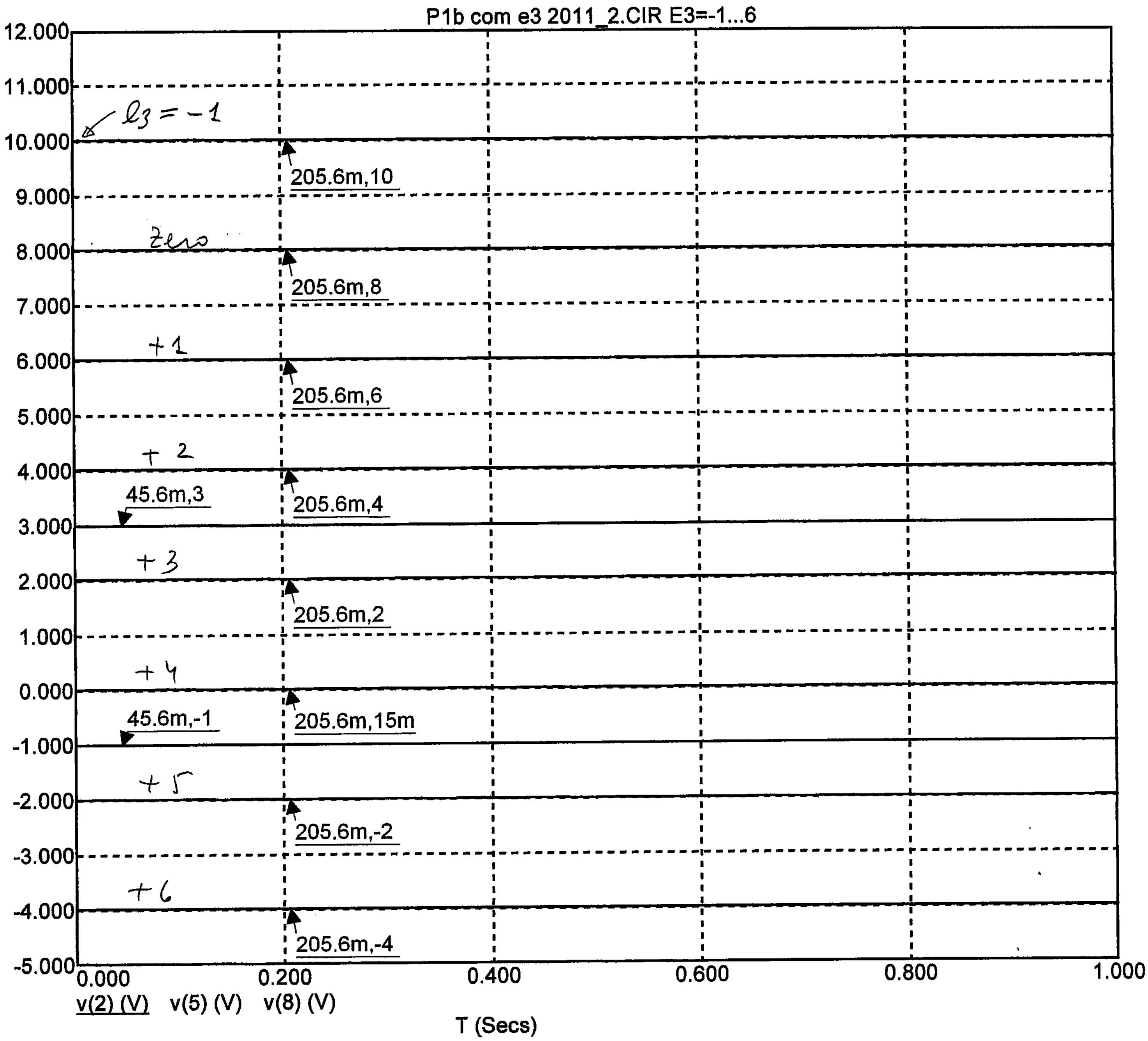

22k
R1
33k
R2
15k
R3
10k
R5
3
e1
10k
R4
-1
e3
usei -3 Volts
10k
P1
eo
1
e2
22k
R1a
33k
R2a
15
15

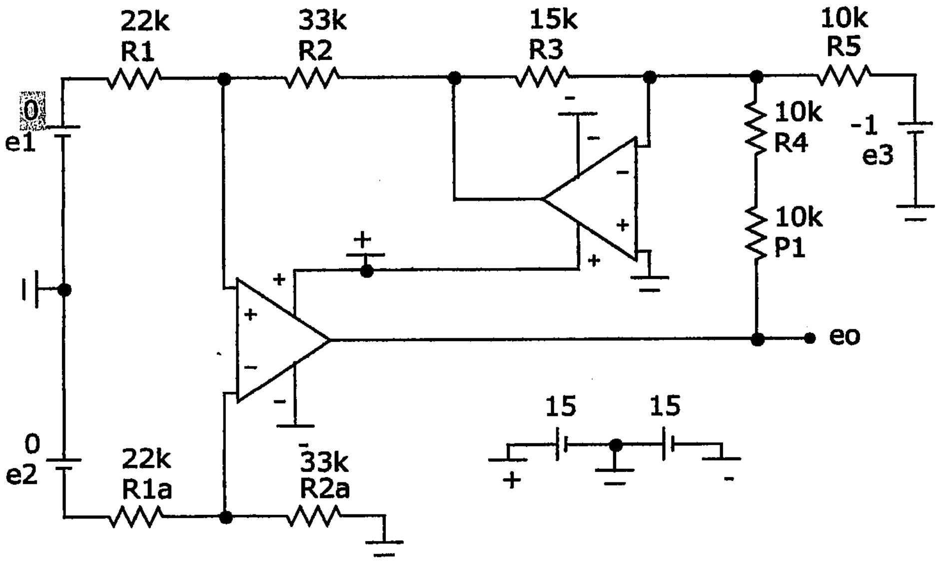

P1b com e3 2011_2.CIR P1=0...10K
P1 = 10k
8k
6k
4k
2k
Zero
205.6m,5
285.6m,6
405.6m,7
505.6m,8
625.6m,9
705.6m,10
45.6m,3
45.6m,-1
v(2) (V) v(5) (V) v(8) (V)
T (Secs)


22k
R1
33k
R2
15k
R3
3
e1
1
e2
22k
R1a
33k
R2a
10k
R4
10k
P1
eo
15
15

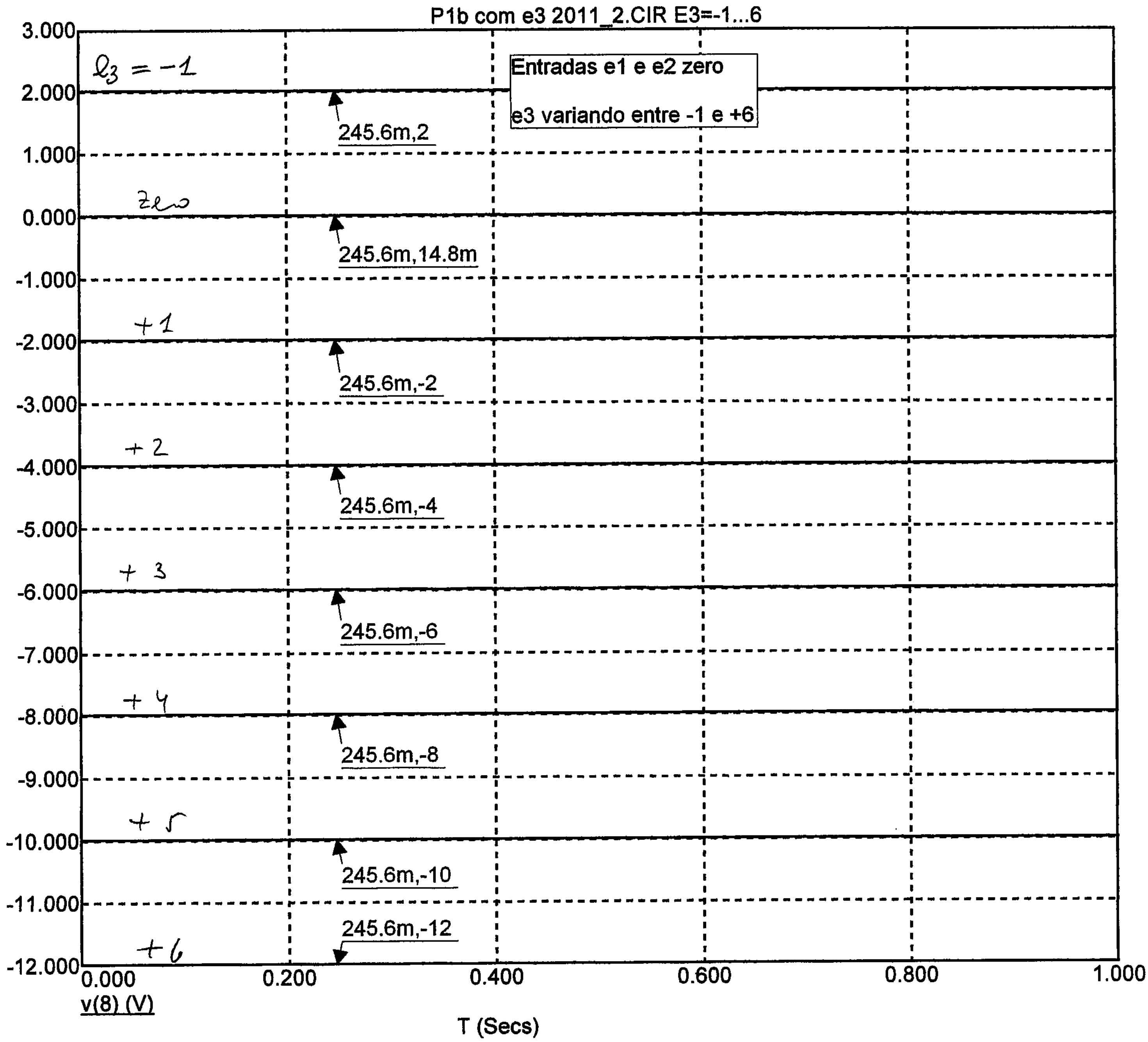

P1b2011_2.CIR P1=0...10K
P1=10K
8K
6K
4K
2K
Zero
45.6m,3
205.6m,4
305.6m,4.8
425.6m,5.6
545.6m,6.4
645.6m,7.2
765.6m,8
45.6m,-1
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
-1.000
-2.000
-3.000
-4.000
-5.000
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
v(2) (V) v(5) (V) v(8) (V)
T (Secs)


22k
R1
33k
R2
15k
R3
10k
R5
3
e1
10k
R4
-1
e3
10k
P1
eo
1
e2
22k
R1a
33k
R2a
15
15


P1b com e3 2011_2.CIR E3=-1...6
12.000
11.000
10.000
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
-1.000
-2.000
-3.000
-4.000
-5.000
e3 = -1
205.6m,10
zero
205.6m,8
+1
205.6m,6
+2
45.6m,3
205.6m,4
+3
205.6m,2
+4
45.6m,-1
205.6m,15m
+5
205.6m,-2
+6
205.6m,-4
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
v(2) (V) v(5) (V) v(8) (V)
T (Secs)



22k
R1
33k
R2
15k
R3
10k
R5
10k
R4
-1
e3
10k
P1
e1
e2
eo
15
15
0
0
22k
R1a
33k
R2a



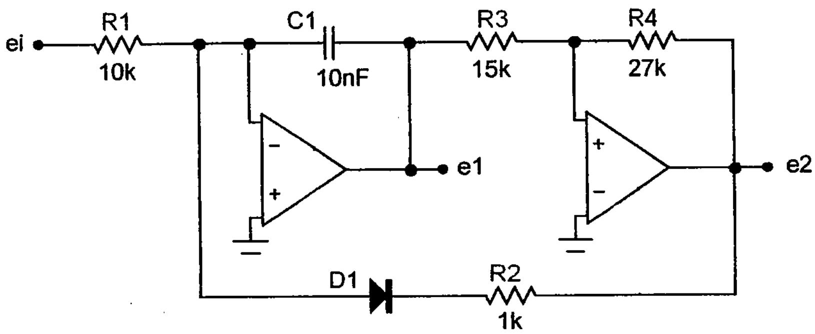
P1b com e3 2011_2.CIR E3=-1...6
Entradas e1 e e2 zero
e3 variando entre -1 e +6
$e_3 = -1$
zero
+1
+2
+3
+4
+5
+6
245.6m,2
245.6m,14.8m
245.6m,-2
245.6m,-4
245.6m,-6
245.6m,-8
245.6m,-10
245.6m,-12
3.000
2.000
1.000
0.000
-1.000
-2.000
-3.000
-4.000
-5.000
-6.000
-7.000
-8.000
-9.000
-10.000
-11.000
-12.000
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
v(8) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B   2012/1

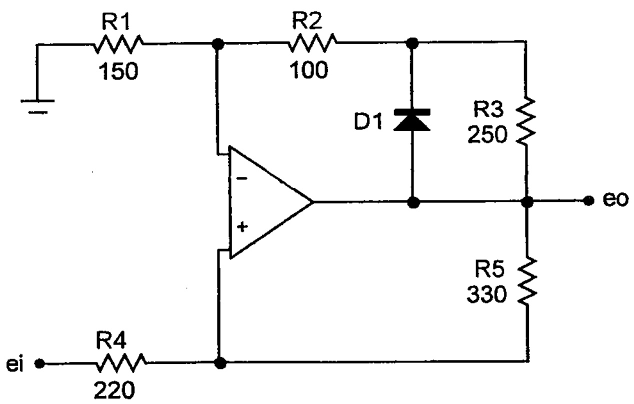
Prova 1   15/5/2012

Nome: GABARITO **Turma:** ______

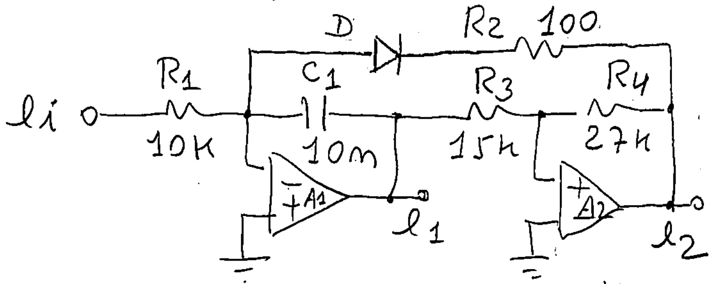
1. circuito a seguir mostra um oscilador controlado por tensão (Voltage Controlled Oscillator).
   a) Examine a topologia e descreva qualitativamente o seu funcionamento
   b) Separe em blocos, equacione em formato literal e coloque os valores de circuito logo a seguir, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado
   c) Junte os blocos (equações) novamente e obtenha a equação do VCO em função da entrada.
   Componentes ideais, alimentação simétrica de 9 Volts, e_i constante durante um ciclo de oscilação.



2. Equacione a função de transferência do circuito a seguir, e desenhe o gráfico de eo x ei e marque todos os valores de interesse que foram calculados.
   Descreva amplamente todas as etapas da solução pois isso vai ser avaliado sempre.
   Componentes ideais. Alimentação simétrica de 18 Volts.



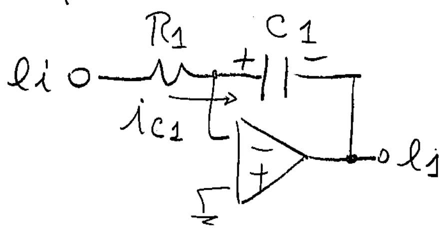
Examine o oscilador controlado por tensão (VCO) e: a) Descreva qualitativamente o seu funcionamento. b) Equacione cada bloco em forma literal e coloque os valores do circuito logo a seguir, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas, pois isso será avaliado. c) Junte os blocos para determinar o funcionamento global e obtenha a equação do VCO. Arredondamento em 3 dígitos. Componentes ideais, alimentação $V_{cc} = \pm 9$ Volts. Suponha e_i = constante dentro de um ciclo de oscilação.



P1 2007/2

BLOCO A1: Integrador inversor.

Hipótese: e_i = cte e D cortado:



Então $e_2 > 0$.

$$i_{C1} = i_{R1} = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt}$$

$$\frac{e_i}{R_1} = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = -C_1 \frac{de_1}{dt} \quad (1)$$

Integrando:

$$\int \frac{e_i}{R_1 C_1} dt = \int -\frac{de_1}{dt} dt$$

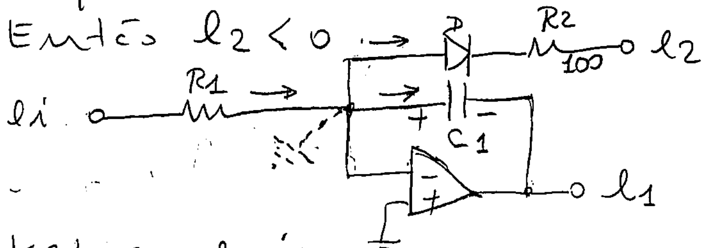
$$e_1(t) = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \int e_i \, dt + e_1(0)$$

$$e_1(t) = -\frac{1}{10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} e_i \cdot t + e_1(0)$$

$$e_1(t) = -10^4 \cdot e_i \cdot t + e_1(0) \quad (2)$$

Hipótese: e_i = cte e D conduz

Então $e_2 < 0$



KCL em $e-$:

$$-i_1 + i_2 + i_c = 0$$

$i_c = i_1 - i_2$ massa virtual:

$$i_c = \frac{e_i - 0}{R_1} - \frac{0 - e_2}{R_2}$$ usando (1):

$$\frac{e_i}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} = -C_1 \frac{de_1}{dt}$$

Integrando e isolando e_1:

$$\int \left(\frac{e_i}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \right) dt = -C_1 \int \frac{de_1}{dt} dt$$

$$e_1(t) = \frac{-1}{C_1} \int \left(\frac{e_i}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \right) dt + e_1(0)$$

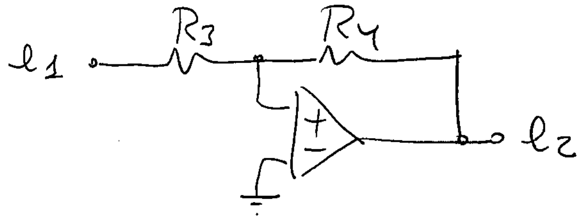
$$e_1(t) = \frac{-1}{10 \cdot 10^{-9}} \left(\frac{e_i}{10^4} + \frac{e_2}{10^2} \right) \cdot t + e_1(0)$$

Válido pois e_1 e e_2 são constantes. (3)

$$e_1(t) = -\left(10^4 \cdot e_i + 10^6 \cdot e_2 \right) t + e_1(0)$$

Bloco A2:

Comparador não-inversor com histerese:



Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_1 \frac{R_4}{R_3+R_4} + e_2 \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$e_- = 0$ Então:

$$\frac{e_1 R_4}{\cancel{R_3+R_4}} = -e_2 \frac{R_3}{\cancel{R_3+R_4}}$$

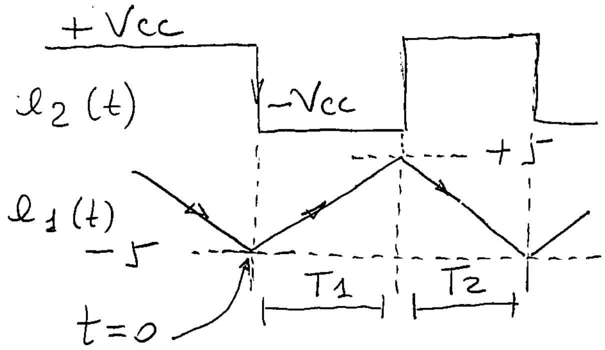
$$e_1 = -e_2 \frac{R_3}{R_4} = -e_2 \frac{15}{27}$$

$$e_1 = -0{,}555 \cdot e_2 \quad \boxed{\tfrac{22}{33}\cdot 9 = 6}$$

Como e_2 só pode ser $\pm V_{cc}$:

$$e_1 = \begin{cases} -5 \\ +5 \end{cases} \quad //$$

Juntando os blocos:



Cálculo de T_1 (D=ON):

Usando ③ e a figura acima:

$$\overset{\text{final}}{+5} = -\left(10^4 \cdot e_i + 10^6 \cdot (-9)\right) \cdot T_1 + \overset{\text{inicial}}{(-5)}$$

$$T_1 = \frac{10}{-(10^4 \cdot e_i - 9 \cdot 10^6)} = \frac{10}{9 \cdot 10^6 - 10^{-4} \cdot e_i} \qquad T_1 = \frac{1}{9 \cdot 10^5 - 10^{-3} \cdot e_i}$$

como $9 \cdot 10^5 >> 10^{-3} e_i$ fica então: $T_1 = \frac{1}{9 \cdot 10^5}$ segundos

Cálculo de T2 (D=OFF):

Usando ②:

$$\overset{\text{final}}{-5} = -10^4 \cdot e_i \cdot T_2 + \overset{\text{inicial}}{(+5)}$$

$$10 = 10^4 \cdot e_i \cdot T_2$$

$$T_2 = \frac{0{,}001}{e_i} \text{ segundos } //$$

Frequência do VCO:

$$f = \frac{1}{\underbrace{T_1}_{\text{muito pequeno}} + T_2} \cong \frac{1}{T_2} = 1000 \cdot e_i$$

Exemplo:

Aplicando $e_i = 2$ Volts,

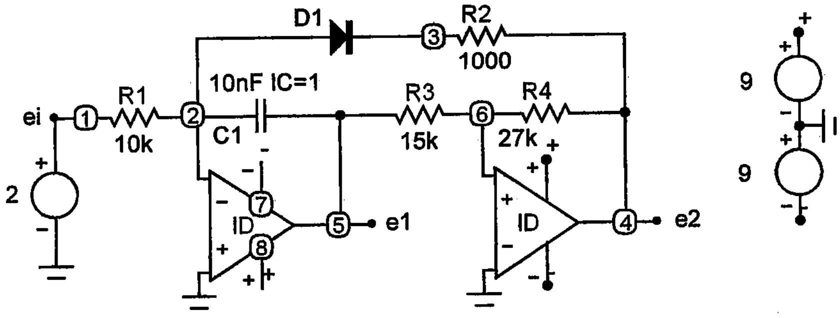
$$T_1 = \frac{1}{9 \cdot 10^5} = 0{,}111 \cdot 10^{-5}$$

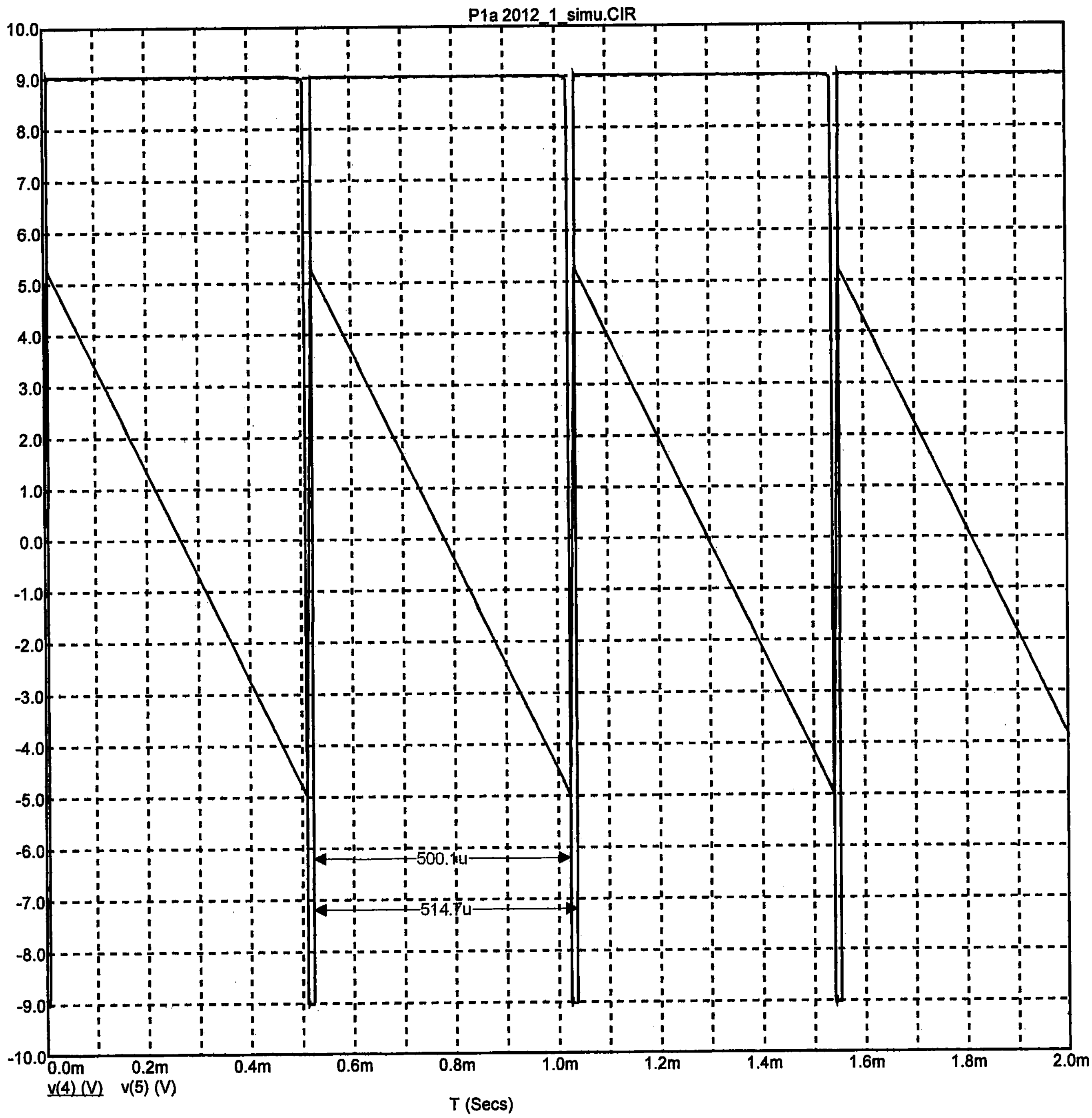
$$T_2 = \frac{0{,}001}{2} \rightarrow T_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ segundos } //$$

$$T = 0{,}111 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-4} \doteq 5{,}011 \cdot 10^{-}$$

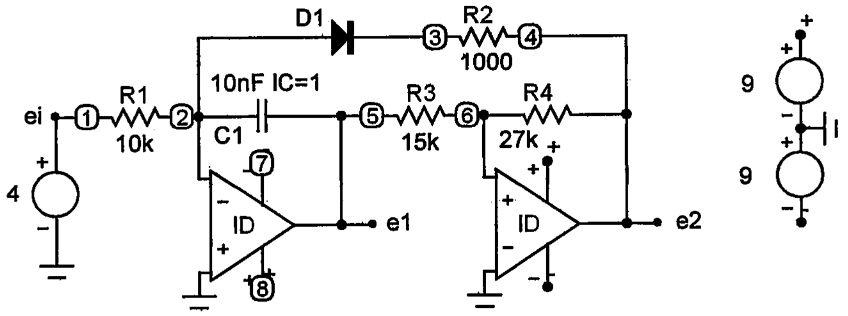
$$f = \frac{1}{T} \doteq 1995 \text{ Hz} \cong 2 \text{ kHz}$$

ei = 2

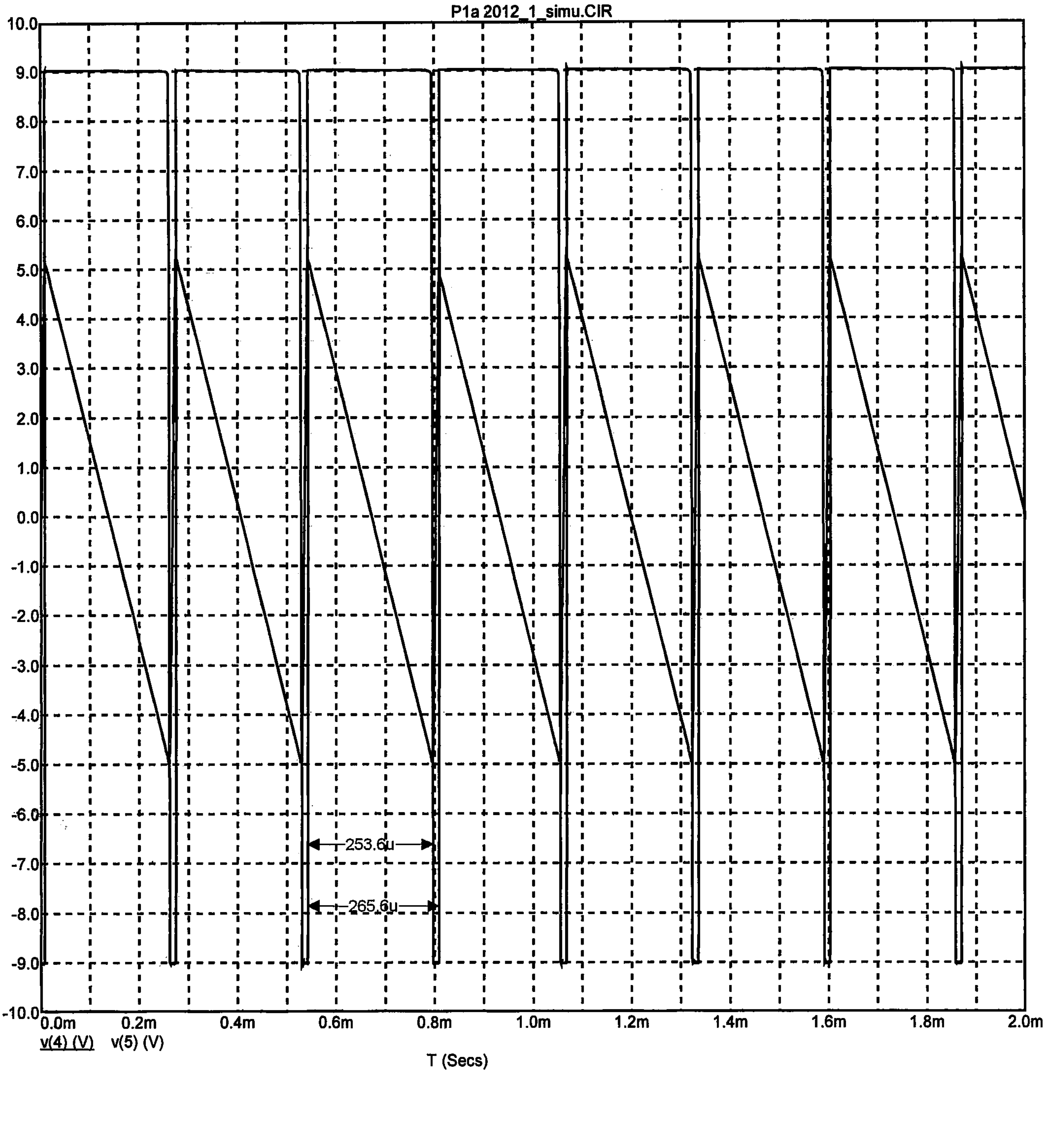

D1
R2
3
1000
ei
1
R1
10k
2
10nF IC=1
C1
R3
15k
6
R4
27k
7
ID
8
5
e1
ID
4
e2
2
9
9


P1a 2012_1_simu.CIR
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0
-9.0
-10.0
500.1u
514.7u
0.0m
0.2m
0.4m
0.6m
0.8m
1.0m
1.2m
1.4m
1.6m
1.8m
2.0m
v(4) (V) v(5) (V)
T (Secs)

$li = 4$

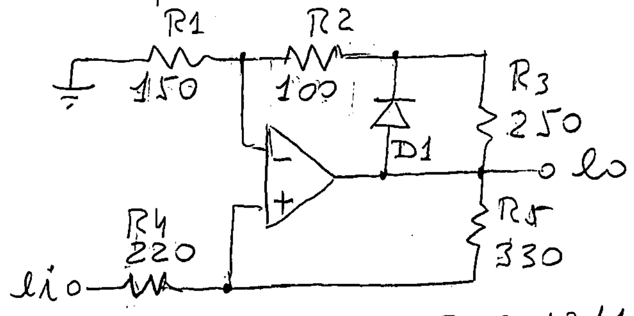


D1
R2
1000
ei
R1
10k
10nF IC=1
C1
R3
15k
R4
27k
4
ID
e1
ID
e2
9
9



P1a 2012_1_simu.CIR
253.6u
265.6u
v(4) (V) v(5) (V)
T (Secs)

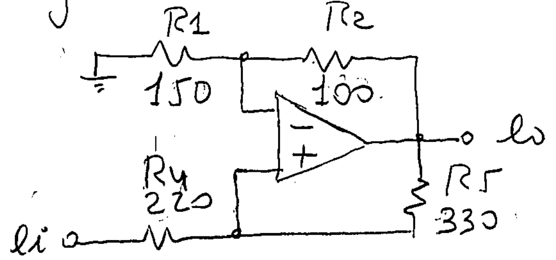
Equacione a função de transferência do circuito e desenhe o gráfico $e_o \times e_i$. Alimentação ± 18 Volts componentes ideais.



P1 2012/1

Circuito com dua realim. não-inversor.

a) Hipótese mais fácil: e_o positivo, D1 conduzindo para aumentar a realim. negativa:



$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_o \frac{150}{150+100}$$

$$e_- = 0,6\, e_o$$

$$e_+ = e_i \frac{R_5}{R_4+R_5} + e_o \frac{R_4}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = e_i \frac{330}{220+330} + e_o \frac{220}{220+330}$$

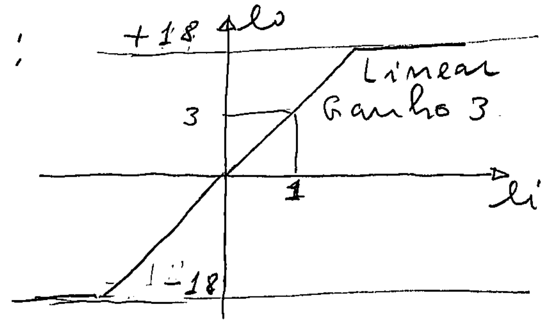
$$e_+ = 0,6 \cdot e_i + 0,4 \cdot e_o \quad (1)$$

Igualando:

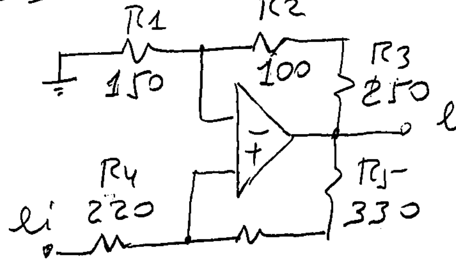
$$0,6\, e_o = 0,6\, e_i + 0,4 \cdot e_o$$

$$e_o = 3 \cdot e_i \,// \quad (3)$$

Esboço:



b) Hipótese: e_o negativo e D1 cortado; menos real. negativa;



$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3} = e_o \frac{150}{150+100+250}$$

$$e_- = 0,3 \cdot e_o = \beta_- \quad \text{(fator de realimentação)}$$

Com $e_i = 0$ em (1):

$$\beta_+ = e_o \frac{R_4}{R_4+R_5} = e_o \frac{220}{220+330} = 0,4\, e_o$$

Como $\beta_+ > \beta_-$ circuito é um comparador não inversor com histerese

Ponto de virada: $e_+ = e_-$;

Aproveitando (1) e igualando $e_+ = e_-$:

$$0,6\, e_i + 0,4\, e_o = 0,3\, e_o$$

Isolando e_i:

$$e_i = -\frac{1}{6} e_o \,//$$

Como e_o satura em $\pm V_{cc}$ devido à histerese:

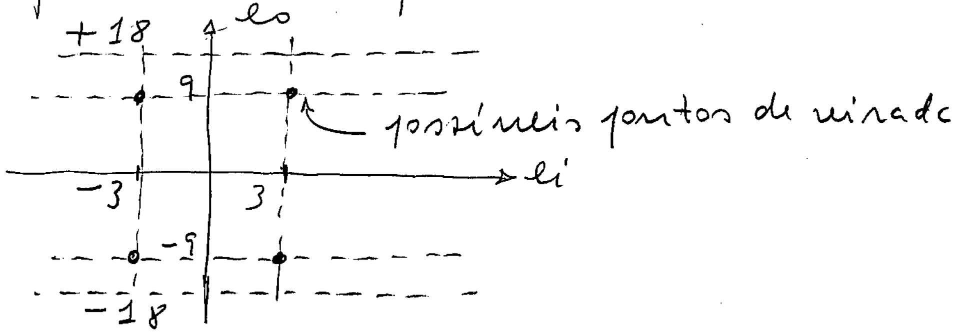
$$e_i = -\frac{1}{6}(\pm 18) \rightarrow e_i = \mp 3 \quad (2) \text{ pontos de virada}$$

No limite linear-saturado, aplicando (3) em (2):

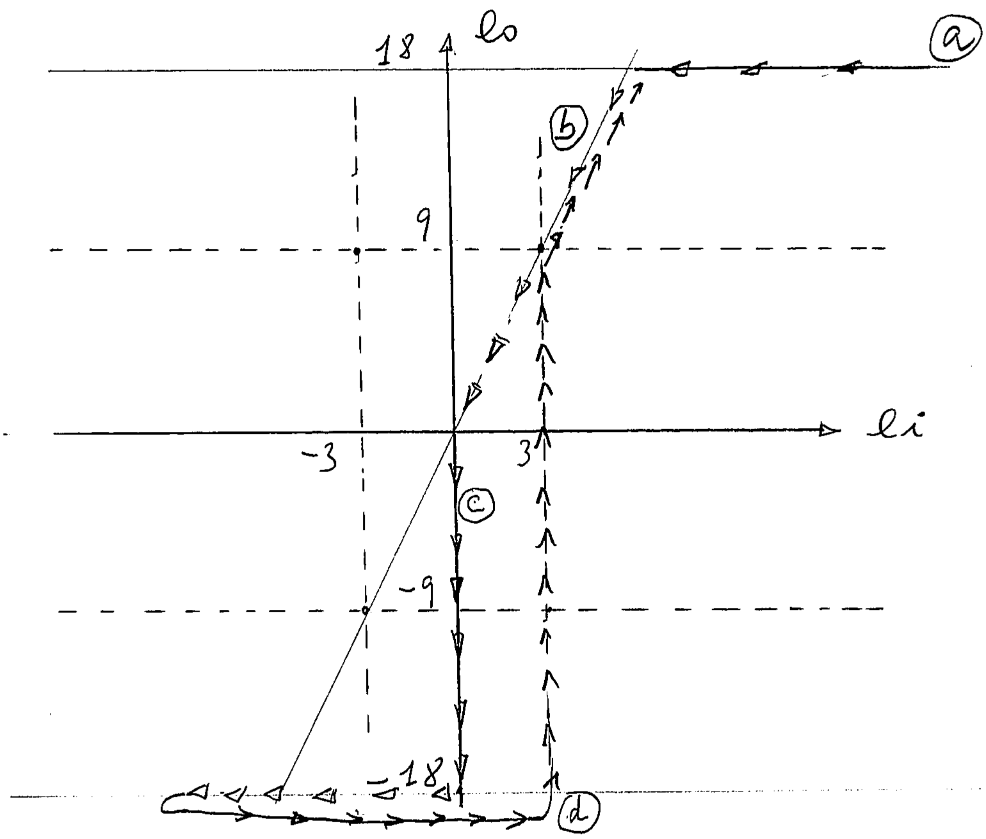
$$e_o = 3(\mp 3) \rightarrow e_o = \mp 9 \text{ Volts}$$

nos pontos de virada.

Gráfico desta hipótese:



Juntando os dois gráficos:

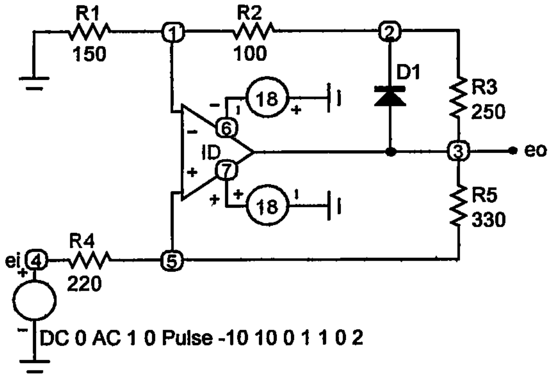


a) começando com li muito positivo → lo positivo → linear

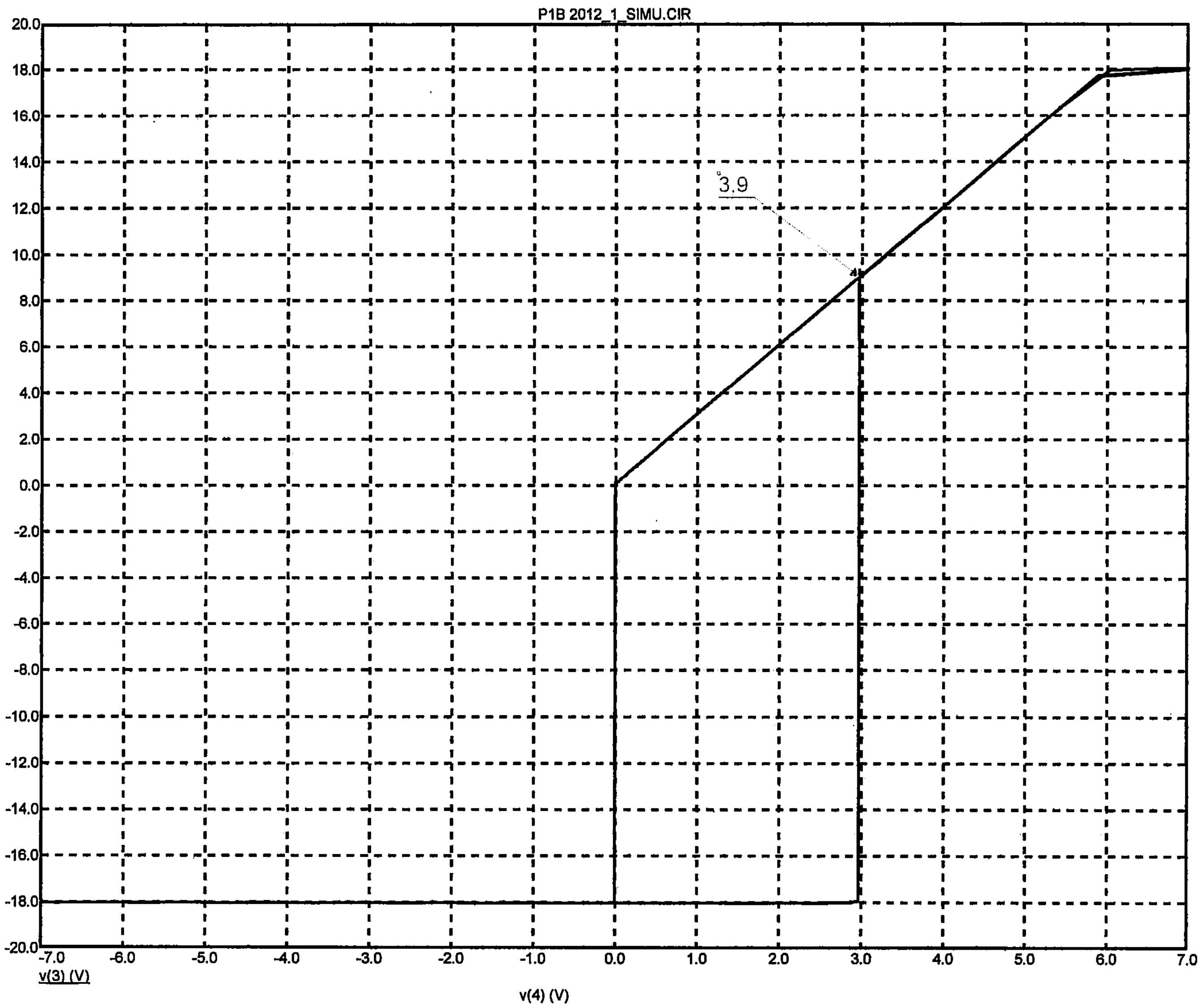
b) Reduzindo li, lo = 3·li reduz linearmente.

c) Quando li < 0, D = OFF → comparador e lo pula para -Vcc

d) O pulo de lo para -Vcc muda o ponto de comparação e agora precisa li > 0 para para lo mudar de estado, que ocorre no ponto de virada em li = 3. O circuito volta a ser linear para li > 3.



Operacional ideal
Diodo: editar os parâmetros:
Level 4
NG 0,1

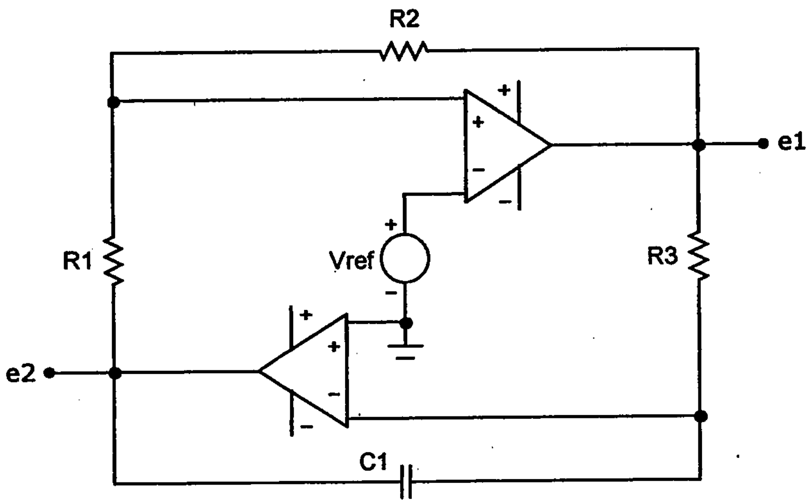


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2012/2

Prova 1 14/11/2012

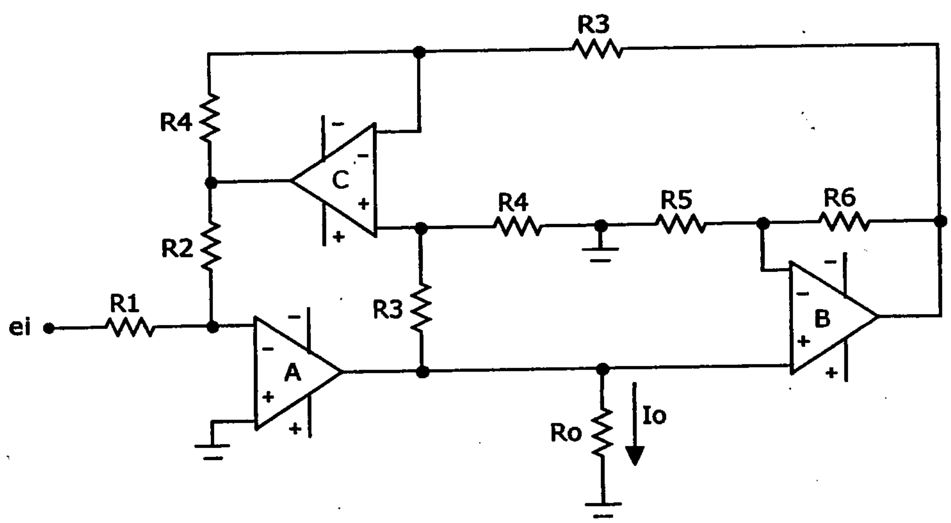
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito a seguir, descreva o que for possível e equacione os blocos em formato literal, documentando cada etapa com textos, equações e esquemas pois isso vai ser sempre avaliado. Calcule e dimensione o valor dos componentes para que e_2 excursione entre zero e 6 Volts, com período de 8 milisegundos. Componentes ideais, alimentação simétrica de 15 Volts.

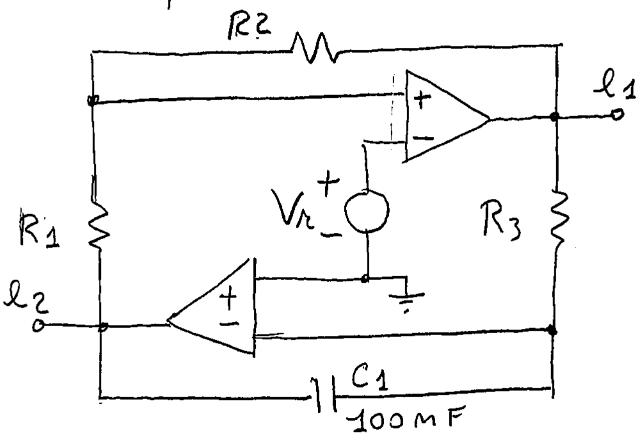


2. circuito a seguir é um pedaço de um circuito maior que é a parte eletrônica de um aparelho científico funcional mas obsoleto. Com o intuíto de modernizar o aparelho, este pedaço deve ser estudado, entendido, equacionado, documentado e, se possível, substituído por uma versão mais simples com idênticas características, de modo que o circuito maior não perceba a troca.

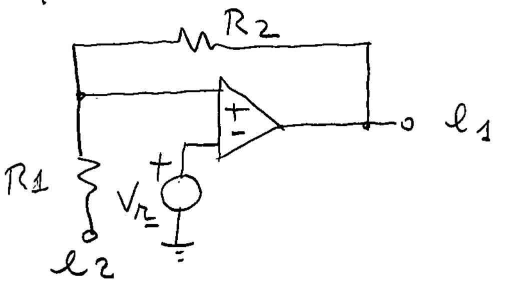
Lembrando o que foi dito acima, equacione a saída I_0 em função da entrada e_i, descrevendo todas as etapas com textos, equações e diagramas.
A seguir, examine o resultado e projete um circuito mas simples que tenha perfeitamente as mesmas características. Equacione o novo circuito, examine o resultado e prove a sua validade em todos os aspectos ou, pelo menos, identifique as diferenças entre eles.



Examine o circuito a seguir e equacione os blocos em formato literal, descrevendo cada passo com textos, equações e diagramas pois isso vai ser sempre avaliado. Calcule/dimensione os componentes para que e_2 excursione entre zero e 6 Volts com um período de 8 ms.
Componentes ideais, alimentação simétrica de 15 Volts.



Topologia: comparador com histerese e referência, não-inversor.
Integrador inversor.
Provável:
$e_1 \rightarrow$ onda retangular $\pm V_{cc}$
$e_2 \rightarrow$ onda triangular
Separando em blocos:



Ponto de virada: $e_+ = e_-$
Superposição:

$$e_+ = e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_1 \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = V_r$$

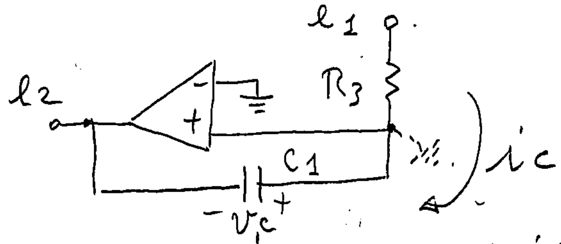
Igualando e isolando e_2:

$$e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_1 \frac{R_1}{R_1+R_2} = V_r$$

$$e_2 \cdot R_2 + e_1 \cdot R_1 = V_r \cdot (R_1+R_2)$$

$$e_2 = \frac{1}{R_2}\left[V_r \cdot (R_1+R_2) - e_1 \cdot R_1\right]$$

$$e_2 = V_r\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right) - e_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$



Devido à massa virtual:

$$i_c = \frac{e_1 - 0}{R_3} \quad e \quad i_c = C\frac{dv_c}{dt}$$

como $v_c = 0 - e_2 = -e_2$:

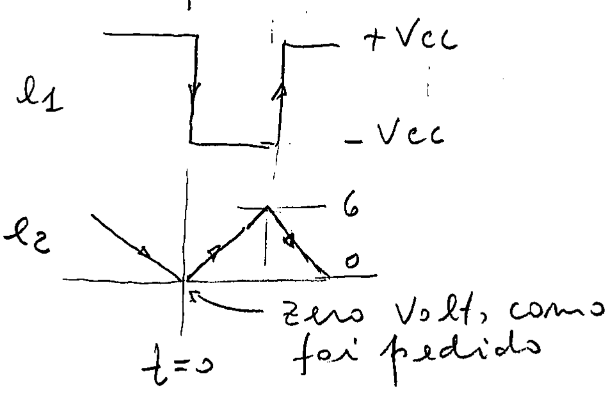
$$\frac{e_1}{R_3} = -C_1 \cdot \frac{de_2}{dt}$$

$$\frac{e_1}{C_1 \cdot R_3} = -\frac{de_2}{dt} \quad \text{integrando:}$$

$$\int \frac{e_1}{C_1 \cdot R_3} \cdot dt = -\int \frac{de_2}{dt} \cdot dt$$

$$e_2 = -\frac{1}{R_3 C_1}\int e_1 \cdot dt + e_2(t=0) \quad (2)$$

Para calcular os componentes, precisamos definir as tensões e_1 e e_2 em um certo momento do tempo; escolhido quando o comparador muda de estado:



Para e_2 descer até zero, precisa $e_1 = +Vcc$.

Para e_2 subir até 6V, precisa $e_1 = -Vcc$.

Aplicando em ①:

$$\begin{cases} 0 = V_r\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right) - (+15)\cdot\frac{R_1}{R_2} \\ 6 = V_r\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right) - (-15)\cdot\frac{R_1}{R_2} \end{cases}$$

Multiplicando a primeira equação por -1 membro-a-membro e somando com a segunda equação:

$$\begin{cases} -0 = -V_r\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right) + 15\,\frac{R_1}{R_2} \\ 6 = +V_r\left(1+R_1/R_2\right) + 15\,\frac{R_1}{R_2} \end{cases}$$

$$6 = 30\cdot\frac{R_1}{R_2} \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = 0{,}2 \;//\; ③$$

Levando na segunda equação:

$$6 = V_r\,(1+0{,}2) + 15\cdot 0{,}2$$

$$6 = 1{,}2\cdot V_r + 3 \rightarrow V_r = 2{,}5\,V$$

Para um período de 8ms, e_2 leva 4ms para subir e 4ms para descer. Usando ② e supondo e_2 excursionando de 0 até 6 Volts, o que ocorre quando $e_1 = -Vcc$:

$$+6 = -\frac{1}{R_3\cdot C_1}\int -15\cdot dt + 0$$

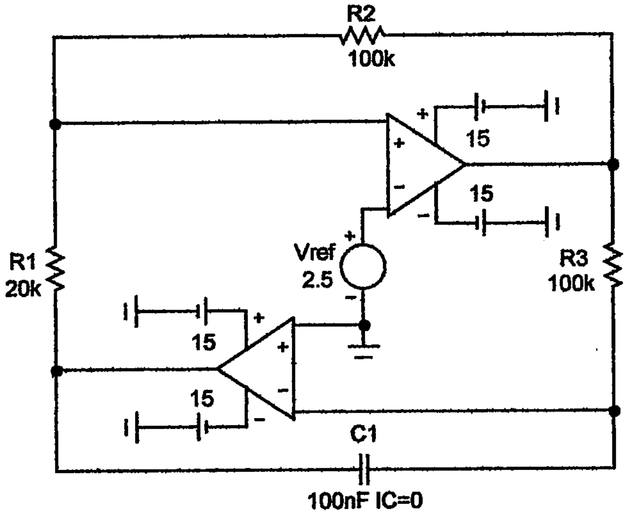
$$6 = \frac{15}{R_3\cdot C_1}\cdot T_1 \quad \text{com } T_1 = 4ms;$$

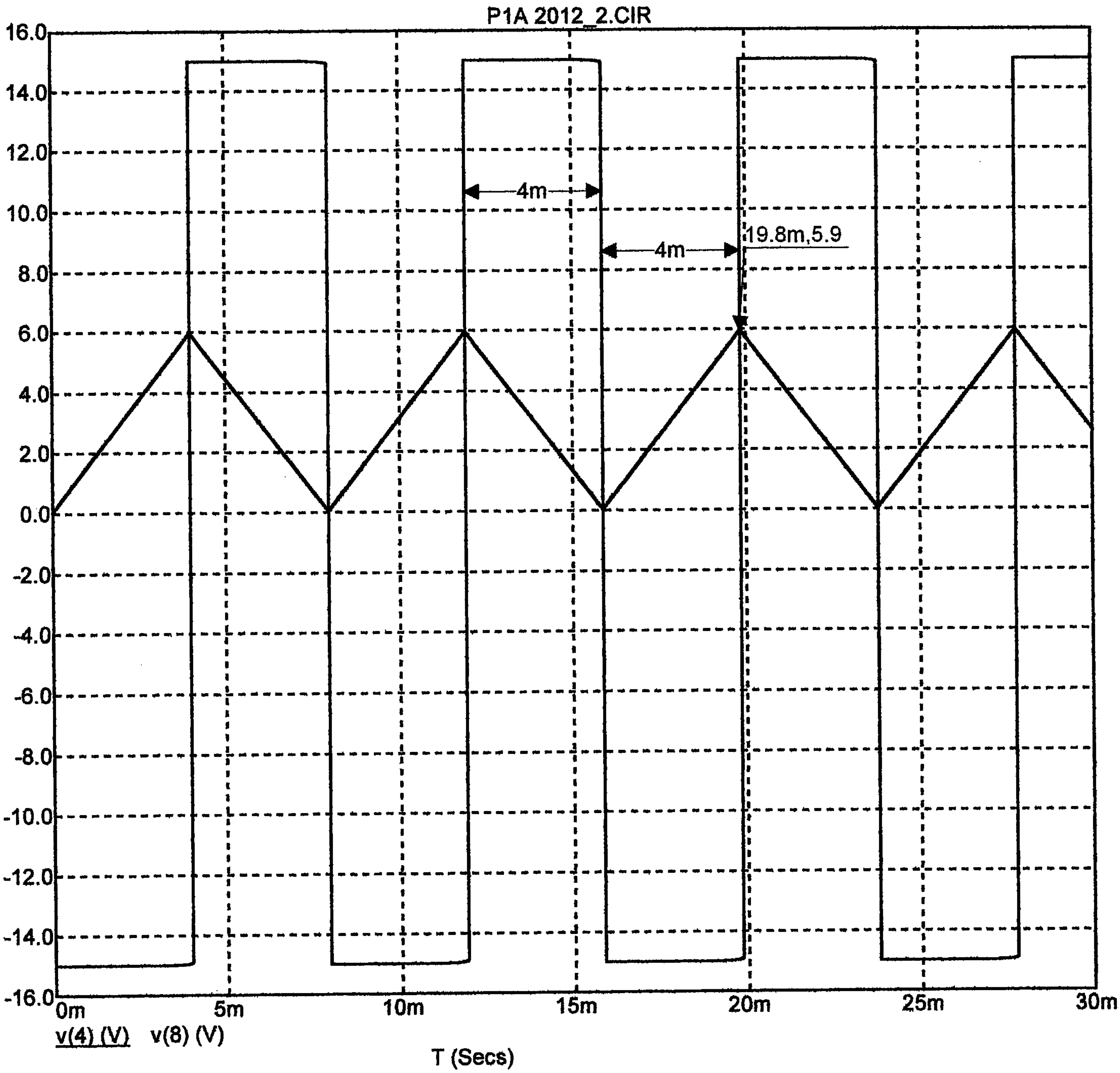
$$6 = \frac{15}{R_3\cdot 100\cdot 10^{-9}}\cdot 4\cdot 10^{-3}$$

$$R_3 = 100k \;//$$

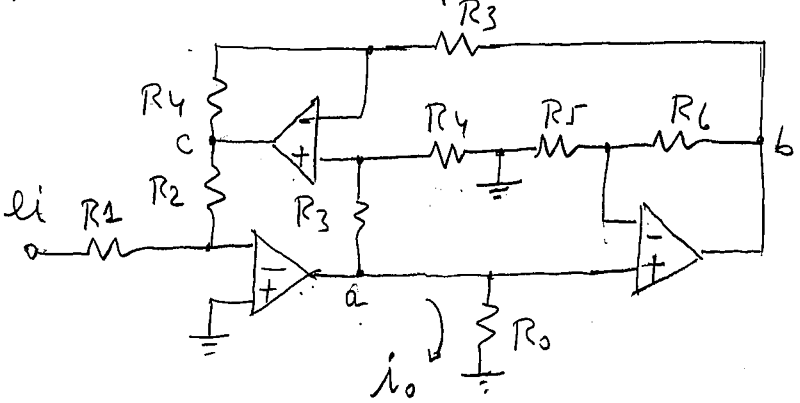
Falta ainda R_1 e R_2; Escolhendo $R_1 = R_3 = 100K$ // e usando ③:

$$\frac{100k}{R_2} = 0{,}2 \rightarrow R_2 = 20k \;//$$


R2
100k
15
15
R1
20k
Vref
2.5
R3
100k
15
15
C1
100nF IC=0

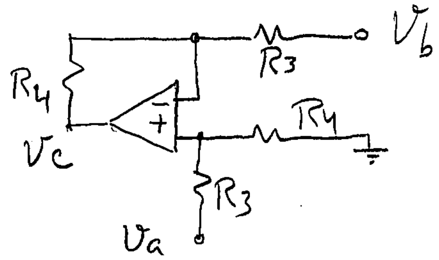

P1A 2012_2.CIR
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
-14.0
-16.0
4m
4m
19.8m,5.9
0m
5m
10m
15m
20m
25m
30m
v(4) (V)
v(8) (V)
T (Secs)

Equacione o circuito a seguir com o objetivo de determinar a saída io em função da entrada li, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
Examine os resultados e classifique este circuito. (é inversor? é fonte de corrente?)
Por último, projete um circuito mais simples que realize perfeitamente a mesma função e equacione para provar a sua validade e possíveis restrições.



Separando em blocos:

Bloco c:



$$e_+ = V_a \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

$$e_- = V_c \frac{R_3}{R_3+R_4} + V_b \frac{R_4}{R_4+R_3}$$

Igualando e isolando V_c:

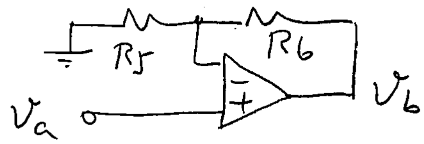
$$\frac{V_a \cdot R_4}{\cancel{R_3+R_4}} = \frac{V_c \cdot R_3}{\cancel{R_3+R_4}} + \frac{V_b R_4}{\cancel{R_3+R_4}}$$

$$V_c \cdot R_3 = V_a \cdot R_4 - V_b R_4$$

$$V_c = \frac{R_4}{R_3}(V_a - V_b) \quad //$$

Amplif. subtrator.

Bloco b:



$$e_+ = V_a$$

$$e_- = V_b \frac{R_5}{R_5+R_6}$$

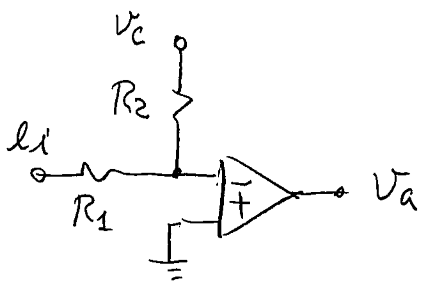
Igualando e isolando V_b:

$$V_b = V_a \cdot \frac{R_5+R_6}{R_5}$$

$$V_b = V_a \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) //$$

Amplif. não-inversor

Bloco a:



$e_+ = 0$

$$e_- = e_i \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_c \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando e isolando e_i:

$$e_i \frac{R_2}{\cancel{R_1+R_2}} = -e_c \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}}$$

$$e_i = -e_c \frac{R_1}{R_2} \quad //$$

Substituindo V_c:

$$e_i = -\frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_4}{R_3} (V_a - V_b)$$

Substituindo V_b:

$$e_i = -\frac{R_1 \cdot R_4}{R_2 \cdot R_3} \left(V_a - V_a \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right)\right)$$

$$e_i = -\frac{R_1 \cdot R_4}{R_2 \cdot R_3} V_a \left(\cancel{1} - \cancel{1} - \frac{R_6}{R_5} \right)$$

$$e_i = V_a \frac{R_1 \cdot R_4 \cdot R_6}{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}$$

Como $i_o = \frac{V_a}{R_o}$:

$$e_i = i_o \cdot R_o \frac{R_1 \cdot R_4 \cdot R_6}{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}$$

Logo:

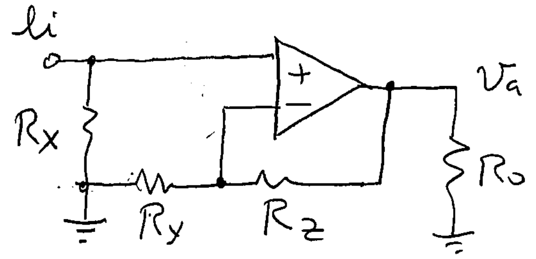
$$i_o = e_i \cdot \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}{R_1 \cdot R_4 \cdot R_6 \cdot R_o} \quad //$$

como $V_a = i_o \cdot R_o$:

$$V_a = e_i \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}{R_1 \cdot R_4 \cdot R_6} \quad // \quad (1)$$

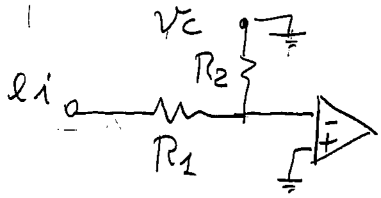
É um amplificador não-inversor com carga R_o.

Circuito mais simples:



R_x = carga para e_i:

Rin matando as fontes:



$$R_x = R_1 + R_2 \quad //$$

$e_+ = e_i$

$$e_- = V_a \frac{R_y}{R_y + R_z}$$

Igualando e isolando V_a:

$$V_a = e_i \left(1 + \frac{R_z}{R_y}\right)$$

Comparando com (1)

$$1 + \frac{R_z}{R_y} = \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}{R_1 \cdot R_4 \cdot R_6} \quad //$$

Limitação deste circuito mais simples:

$$\frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}{R_1 \cdot R_4 \cdot R_6} \geq 1 \quad //$$

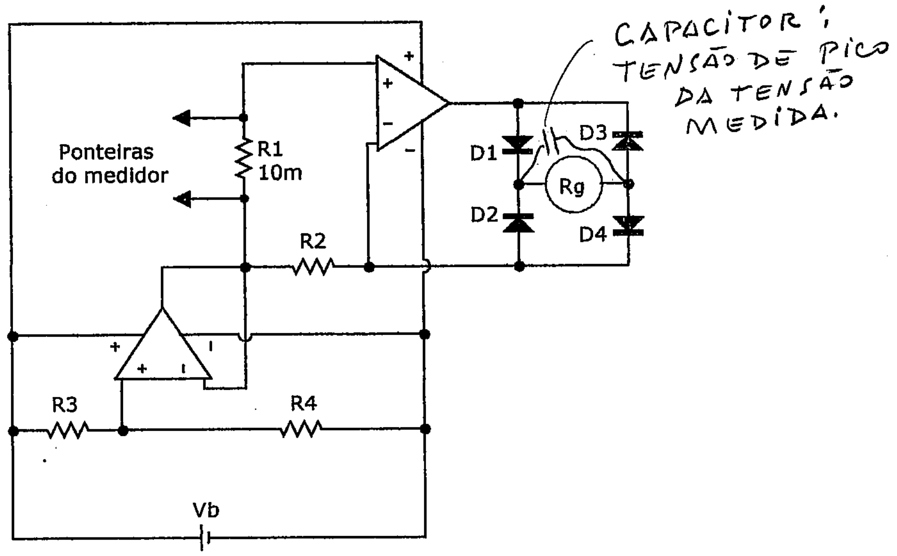
O circuito original pode ter ganho < 1 mas o circuito simples sempre tem ganho > 1.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2013/1

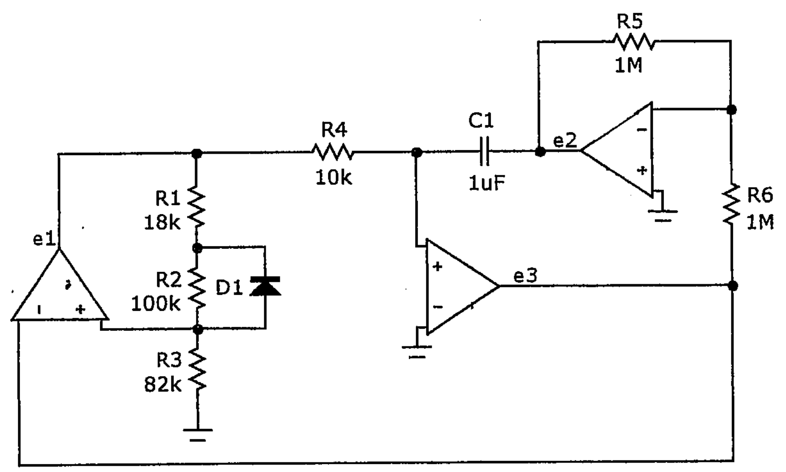
Prova 1 28/5/2013

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine a topologia do ampermetro e entenda o seu funcionamento. Equacione o circuito em formato literal com o objetivo de personalizar o ampermetro com as especificações a seguir, documentando todas as etapas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
Sensibilidade do aparelho: S=500 Ampères/Volt
Escala: 0 - 30 Ampères
Medidor analógico (galvanômetro): $R_G=400\Omega$ e $I_G=2mA$ para plena deflexão do ponteiro
Operacionais tipo rail-to-rail, com perda máxima $V_p=0,5V$ entre alimentações e saída
$R_3 = R_4$ e diodos Schottky com $V_D=0,3$ V.
Por último, calcule quantas pilhas de 1,5V são necessárias para alimentar o aparelho.



2. Estude o circuito a seguir procurando entender o funcionamento e então equacione a sua resposta temporal, em formato literal primeiro e depois coloque os valores de circuito. Explique cada etapa da solução com textos, equações e diagramas.
A seguir, desenhe no mesmo gráfico $e_1(t)$ e $e_3(t)$ colocando os valores.
Componentes ideais e alimentação simétrica de 10 Volts.



Examine a topologia do amperímetro, entenda o seu funcionamento, equacione e personalize com os dados e especificações a seguir, documentando cada etapa.

Sensibilidade do amperímetro: $S = 500\ A/V$.

corrente máxima: 30 A

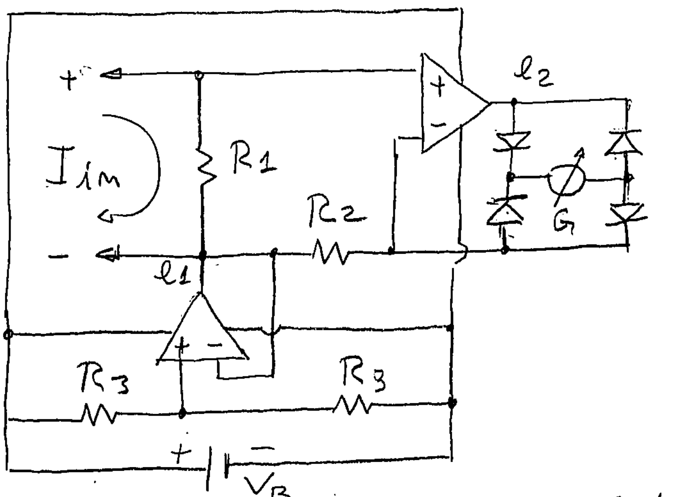
Galvanômetro: $R_G = 400\,\Omega$

$I_G = 2\ mA$ para plena deflexão

Operacionais rail-to rail, com perda máxima de $V_p = 0,5V$ entre $\pm V_{cc}$ e saídas.

Diodos Schottky com $V_D = 0,3V$.

Calcule quantas pilhas de 1,5 V são necessárias para a alimentação.



P1 2013-1

Examinando o circuito:

l_1 — seguidor de tensão

l_2 — parece um amplif. não-inversor

Diodos — retificam l_2 para ter cc no galvanômetro.

Equacionando l_1 $(l+ = l-)$:

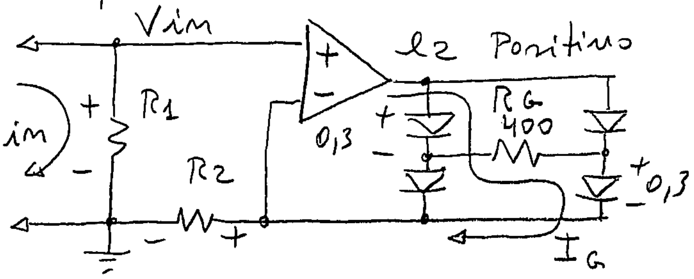
$l- = l_1$

$$l+ = V_B \frac{R_3}{R_3+R_3} = \frac{V_B}{2}$$

Igualando, $l_1 = V_B/2$

Então l_1 define uma tensão entre os dois extremos da bateria. Vamos usá-lo como a massa do circuito.

Equacionando l_2, supondo l_2 positivo:



$l+ = V_{in}$ $\quad$ $l-$ = divisor de tensão

$$l- = (l_2 - V_D - V_D)\frac{R_2}{R_G + R_2}$$

Como $V_{in} = I_{in} \cdot R_1$, igualando:

$$I_{in} \cdot R_1 = (l_2 - 2 \cdot V_D)\frac{R_2}{R_G + R_2} \quad (1)$$

Personalizando:

Com corrente máxima na entrada,

$I_{in} = 30\ A$ e $I_G = 2\ mA$

Sensibilidade:

Se $I_{in} = 500A$, $V_{in} = 1V$

Se $I_{in} = 30A$ então

$$V_{in} = \frac{30A \cdot 1V}{500A} \rightarrow V_{in} = 60mV$$

Resistência interna do galvanômetro:

$$R_1 = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{60mV}{30A} \rightarrow R_1 = 2\,m\Omega$$

Observando novamente o circuito,

$e_+ = V_{in}$

$e_- = I_G \cdot R_2$

Igualando e isolando R_2:

$$R_2 = \frac{V_{in}}{I_G}$$

$$R_2 = \frac{60\,mV}{2\,mA} \rightarrow R_2 = 30\,\Omega$$

cálculo de V_B:

Precisamos determinar o valor de e_2 para colocar $I_{G\,máx}$ no galvanômetro.

Usando a equação ①:

$$30 \cdot 2m = (e_2 - 2 \cdot 0{,}3)\,\frac{30}{400+30}$$

Então $e_{2\,máx} = 1{,}46$ Volts

considerando a queda V_P entre e_2 e cada alimentação,

$+V_{cc} = e_{2\,máx} + V_P$

$+V_{cc} = 1{,}46 + 0{,}5 = 1{,}96\,V$

Vale o mesmo para $-V_{cc}$

Então $V_{B\,mín} = 2 \cdot V_{cc}$

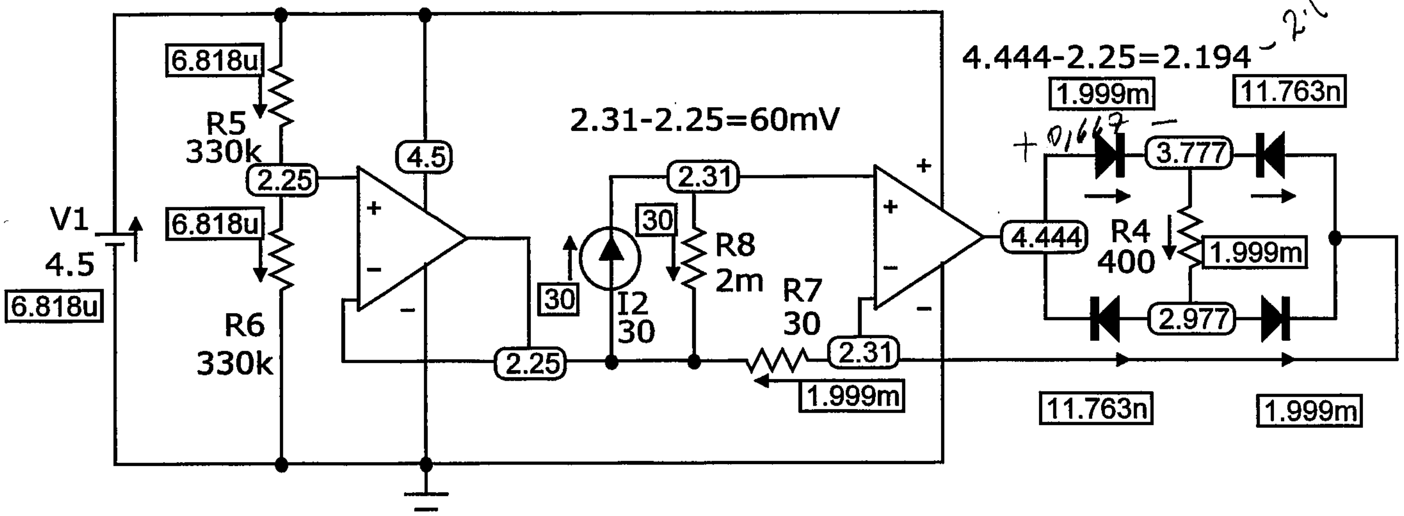
$V_{B\,mín} = 2 \cdot 1{,}96 = 3{,}92$ Volts

Então precisa 3 pilhas de 1,5 Volt

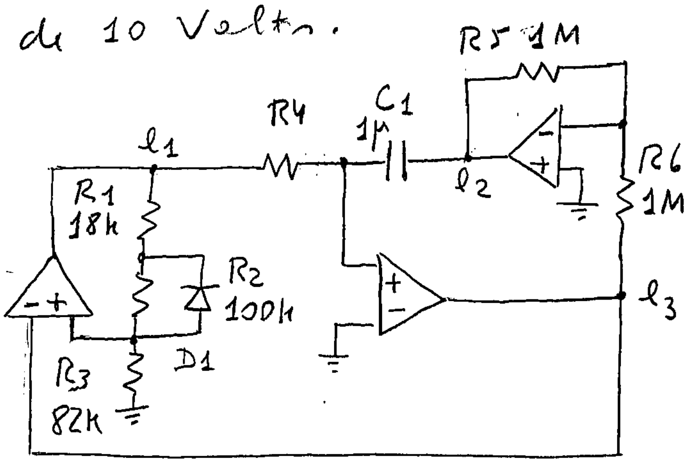
Conclusão:

O amperímetro é capaz de medir correntes contínuas ou alternadas na faixa 0--30 Ampères, com resistência interna de $2\,m\Omega$ apenas.

A corrente no medidor é ei/R
Independe de Rmedidor, Vdiodo, Rdiodo



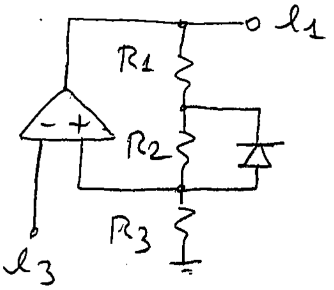
Examine o circuito e equacione a resposta temporal de e_3, em formato literal primeiro e depois coloque os valores. Documente cada etapa. Desenhe no mesmo gráfico $e_1(t)$ e $e_3(t)$ com todos os valores. Componentes ideais, alimentação simétrica de 10 Volts.



P1 2013-1

Comparador inversor, integrador não-inversor com realimentação positiva mas o amplificador e_2 inverte a fase.

Separando em blocos e Equacionando o comparador:



Tem histerese: $e_1 = \pm V_{cc}$

Hipótese: $e_1 = +V_{cc}$

Então D1 está aberto

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$e_- = e_3$

$$e_+ = e_1 \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$e_3 = 10 \cdot \frac{82}{18 + 100 + 82}$$

$e_3 = 4{,}1$ Volts // $= +\Delta$

Hipótese: $e_1 = -V_{cc}$

Então D1 é um curto.

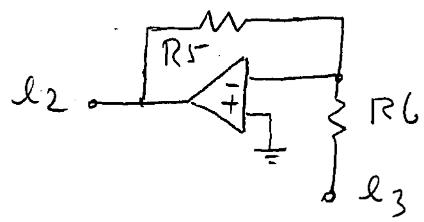
$e_- = e_3$

$$e_+ = e_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

$$e_3 = -10 \cdot \frac{82}{18 + 82}$$

$e_3 = -8{,}2$ Volts // $= -\Delta$

Equacionando o amplificador:



Bloco linear, $e_+ = e_-$:

$e_- = 0$ Por superposição:

$$e_+ = e_2 \frac{R_6}{R_5 + R_6} + e_3 \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

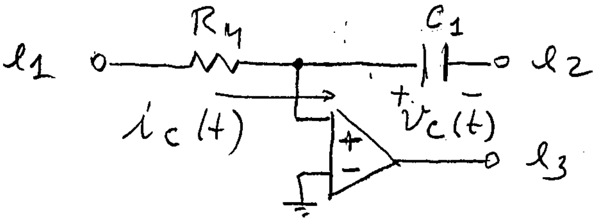
Igualando e isolando e_2:

$$e_2 = -e_3 \frac{R_5}{R_6} = -e_3 \frac{1M}{1M}$$

Então $e_2 = -e_3$ // $= -\Delta$

Deste modo, o integrador recebe realimentação negativa.

Bloco do integrador:



Massa virtual:

$$i_c(t) = \frac{e_1 - 0}{R_4} = \frac{e_1}{R_4}$$

$$i_c(t) = C_1 \cdot \frac{dv_c(t)}{dt}$$

$$V_c(t) = -e_2 = +e_3$$

Então:

$$\frac{e_1}{R_4} = C_1 \cdot \frac{d}{dt} e_3(t)$$

Integrando:

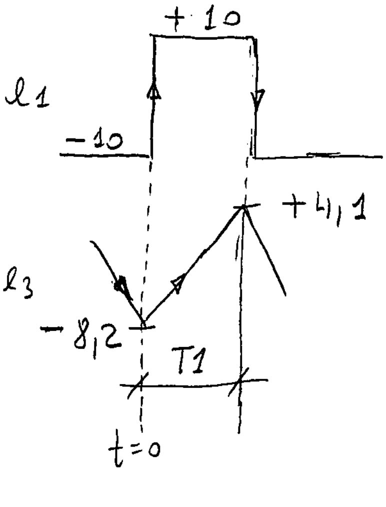
$$\int \frac{e_1}{R_4}\, dt = \int C_1 \frac{d}{dt} e_3(t) \cdot dt$$

Isolando $e_3(t)$ e lembrando da constante de integração:

$$e_3(t) = \frac{1}{R_4 \cdot C_1} \int e_1(t)\, dt + e_3(t=0) \quad (1)$$

Juntando as equações:

Hipótese: e_1 virou para $+V_{cc}$ neste instante. Então e_3 alcançou $-\Delta$.



Agora o integrador não inversor integra $e_1 = +10$ até $e_3 = +\Delta = 4,1\,V$

Colocando estes valores em (1):

$$\underset{\text{final}}{4,1} = \frac{1}{10k \cdot 1\mu} \int +10\, dt + \underset{\text{inicial}}{(-8,2)}$$

$$4,1 = 100 \cdot 10 \cdot T_1 - 8,2$$

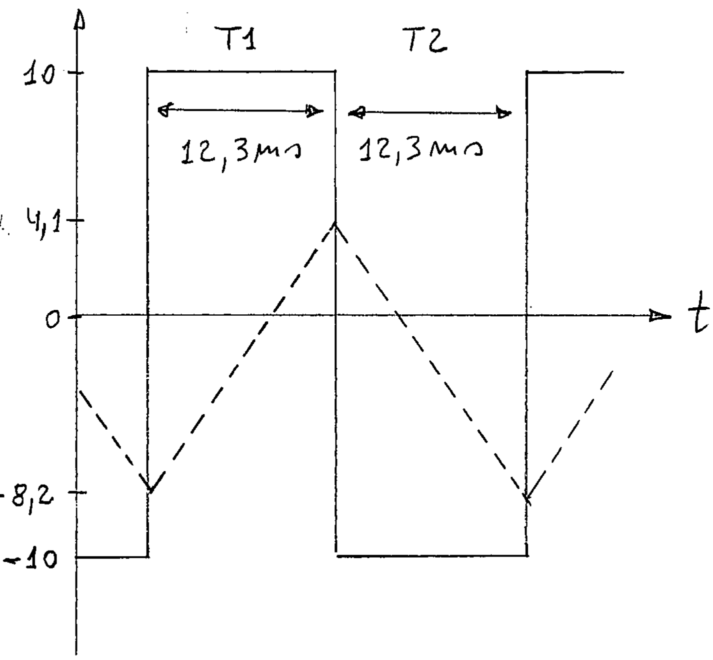
Então $T_1 = 0,0123$ segundos

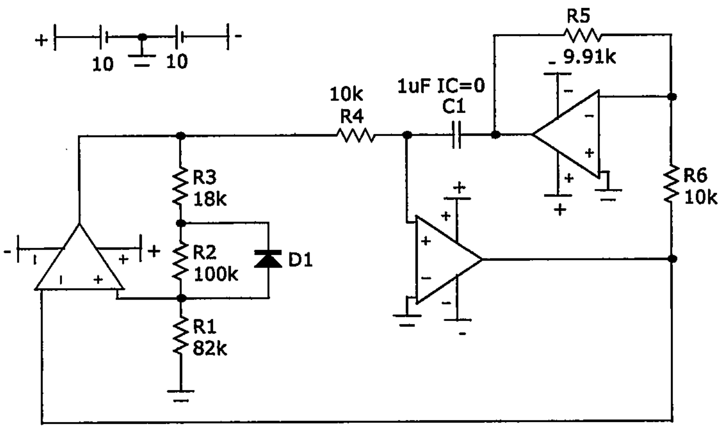
Hipótese: e_1 para $-V_{cc}$ neste instante.

Então e_3 alcançou $+\Delta$

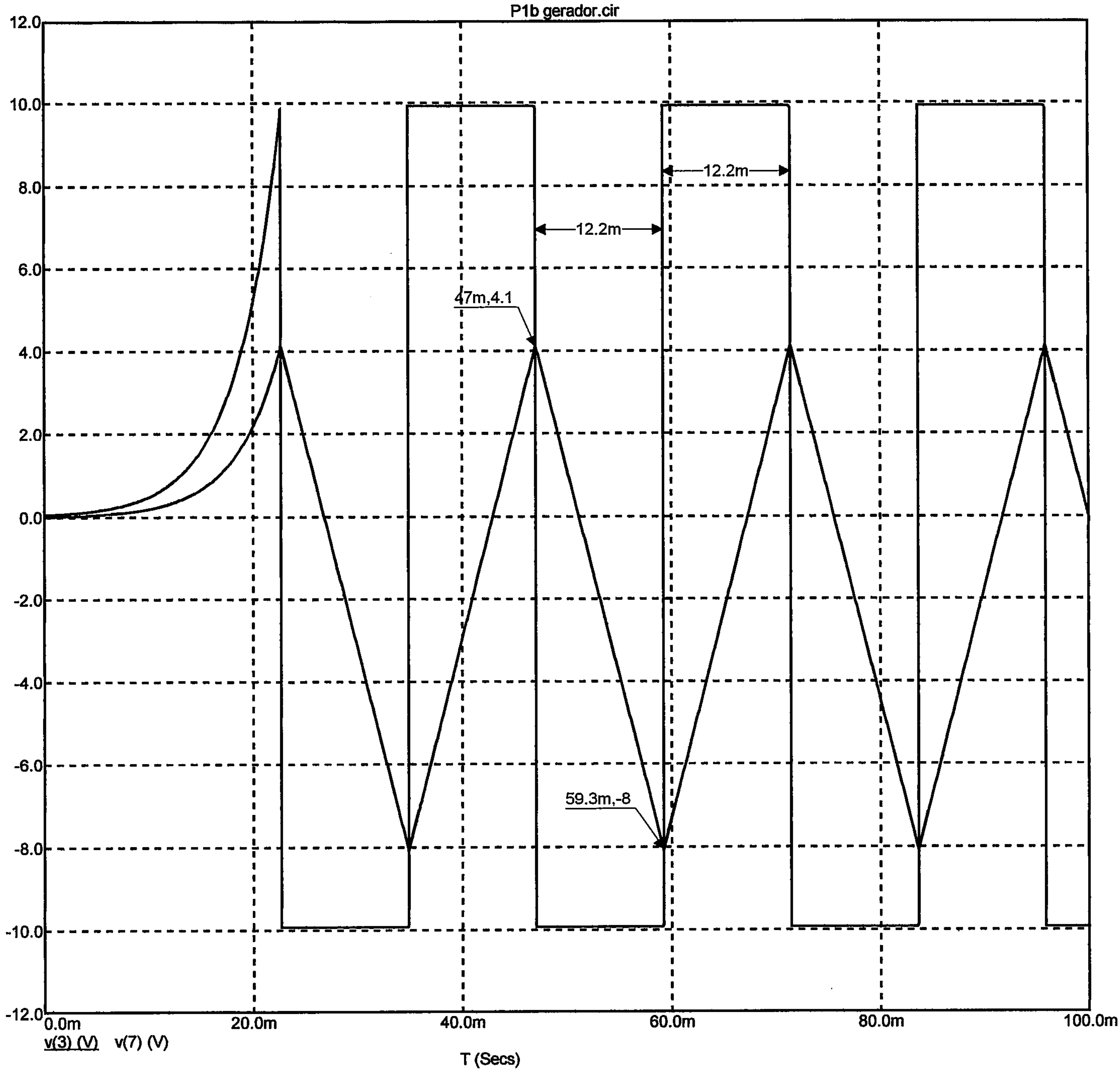
como a alimentação é simétrica e os limites de integração são os mesmos, $T1 = T_2$

Gráfico:





10
10
R5
9.91k
10k
R4
1uF IC=0
C1
R6
10k
R3
18k
R2
100k
D1
R1
82k



P1b gerador.cir
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
12.2m
12.2m
47m,4.1
59.3m,-8
0.0m
20.0m
40.0m
60.0m
80.0m
100.0m
v(3) (V) v(7) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2013/2

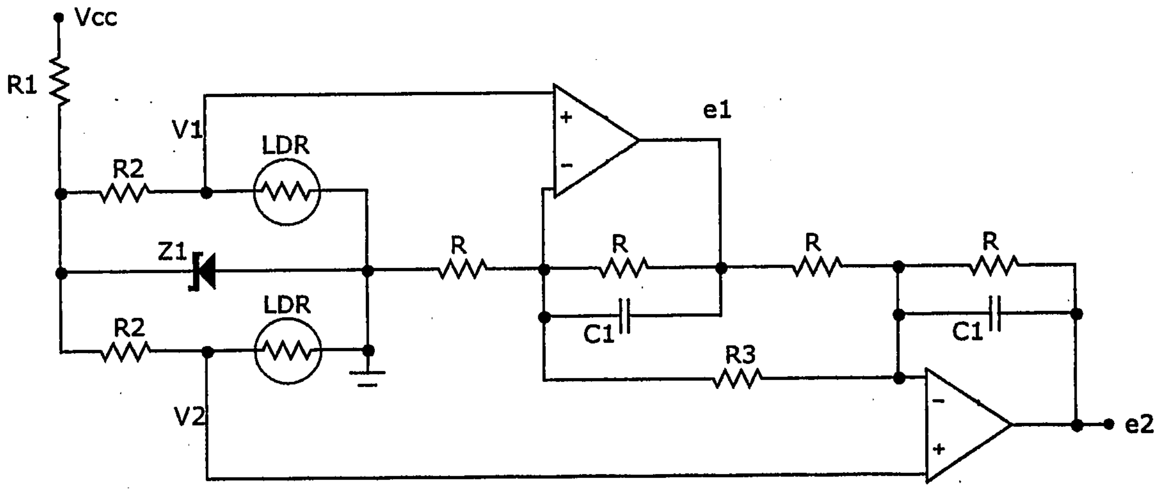
Prova 1 15/10/2013

Nome: GABARITO **Turma:** ______

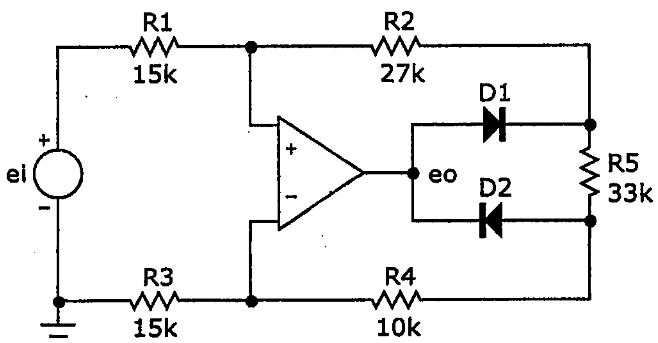
Sempre equacione o circuito em formato literal e depois aplique os valores numéricos.

1. circuito a seguir é usado em estudios fotográficos para comparar o iluminamento (iluminância) entre dois pontos do cenário, indicando o resultado em um voltmetro. Examine a topologia, entenda o funcionamento e equacione, em formato literal primeiro, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso será avaliado sempre. Dimensione e justifique o valor dos componentes (quais?) usando sua experiência de modo que a escala do aparelho seja de 1000 Lux na entrada para 10 Volts na saída. Esclareça a função dos capacitores.

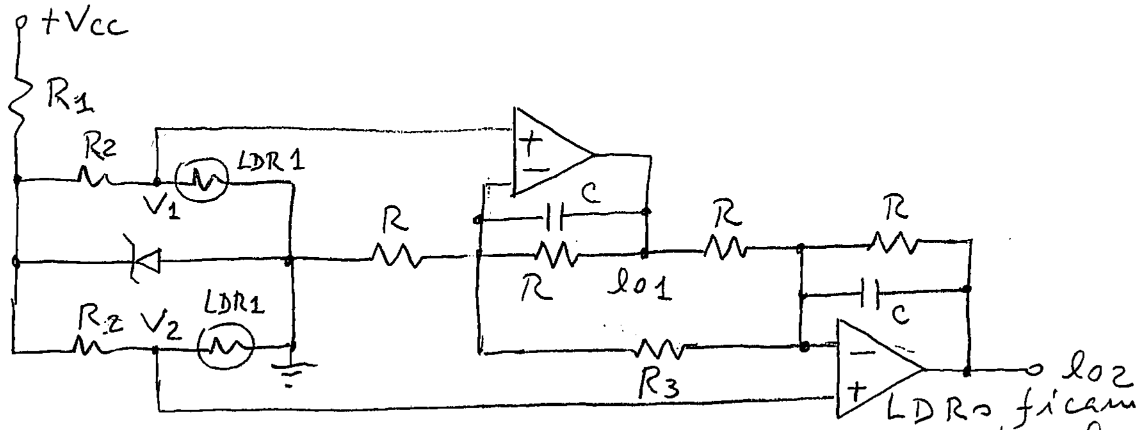
O circuito ao redor dos LDR (light dependent resistor) foi dimensionado de modo que V_1 e V_2 apresentam uma sensibilidade de 1 Volt para 300 Lux.



2. Estude o comportamento do circuito a seguir e equacione com o objetivo de desenhar a sua curva de transferência $e_o \times e_i$ com todos os pontos de interesse identificados no gráfico. Documente todos os passos da solução com textos, equações e diagramas. Componentes ideais com alimentação simétrica de 15 Volts.



Versão 2013-2



LDRs ficam na ponta de cabos longos; capacitores formam filtros passa-baixa que eliminam os ruídos captados pelos fios dos sensores.

Equacionando dá:

$$lo_2 = 2(V_2 - V_1)\left(1+\frac{R}{R_3}\right)$$

Ajuste de escala:

Com uma diferença de 1000 Lux entre os sensores e sensibilidade de 1 Volt para 300 Lux,

$$V_1 - V_2 = 1000\,\text{Lux} \cdot \frac{1\,\text{Volt}}{300\,\text{Lux}}$$

$$V_1 - V_2 = \frac{10}{3}$$

Com este valor de 1000 Lux, lo_2 deve indicar 10 Volts então:

$$10 = 2\left(\frac{10}{3}\right)\left(1+\frac{R}{R_3}\right)$$

$$\frac{R}{R_3} = 0,5 \quad //$$

Escolhendo $R = 33k$ (baixo consumo) então $R_3 = 66k$

Iluminância ou Iluminamento → $\text{Lux} = \frac{1\,\text{Lúmen}}{m^2}$

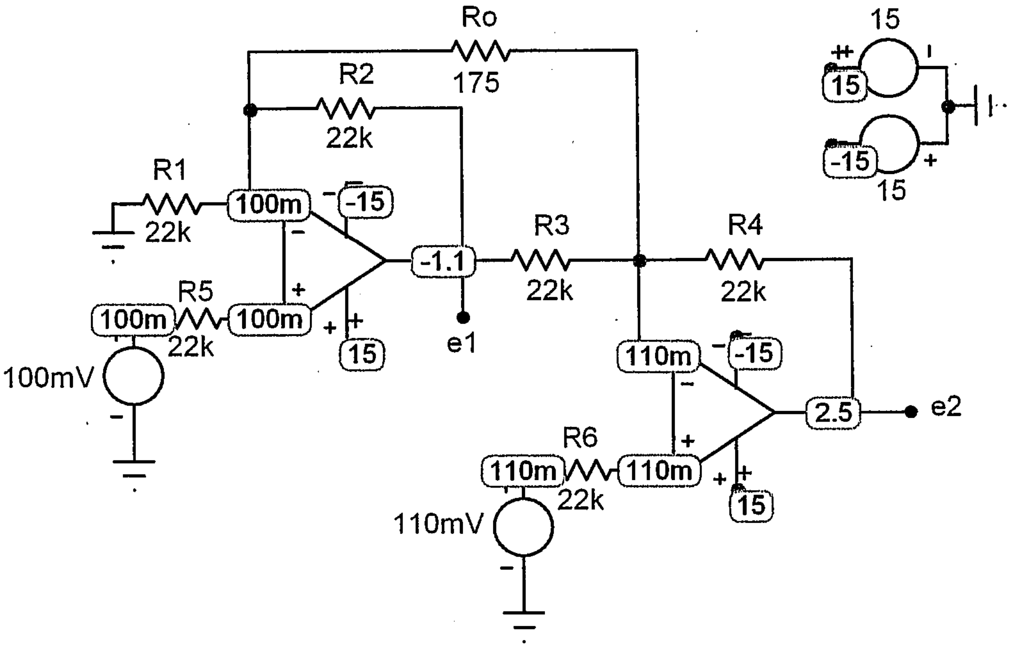
1 Vela = 12 Lúmens

Dia nublado — 2k lux

Dia claro, sol — 100k lux

Eficiência luminosa: Incandescente 10...15 $\frac{\text{Lúmens}}{W}$

Halógena 15...25 $\frac{\text{Lúmens}}{W}$



2 mV — 1 °C

10 mV — T

T = 5 °C

Escala 0,5 V/°C → 2 °C/Volt

Então e_{o2} = 2,5 Volts//

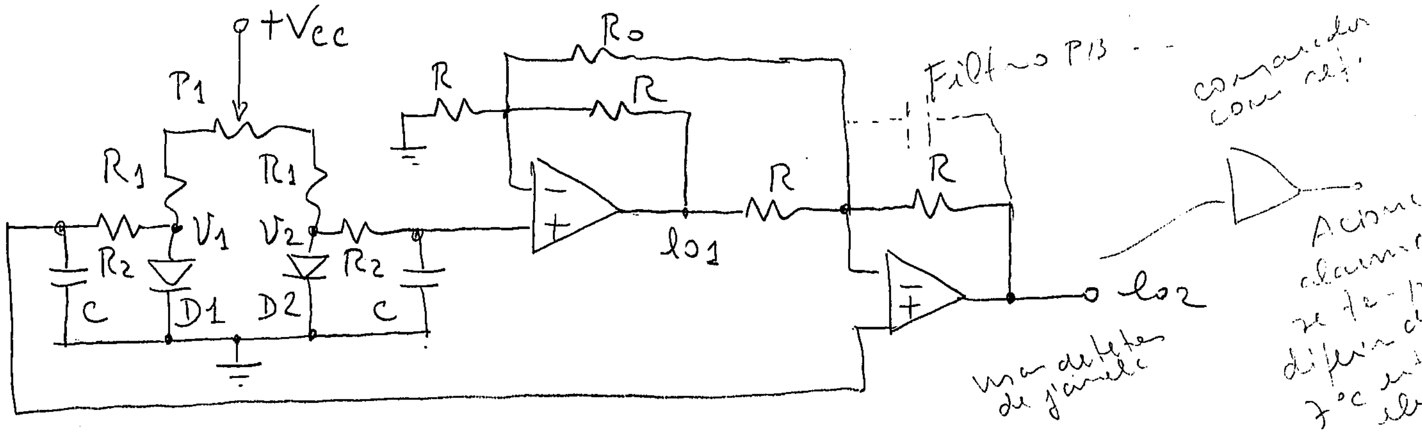
Para P1 2007 - 2 — com alarme

O termometro descrito a seguir mede a diferença de temperatura entre dois pontos (galpão e ambiente...) (ambientes), indicando em um voltmetro e aciona um alarme caso a diferença ultrapassar 7°C.

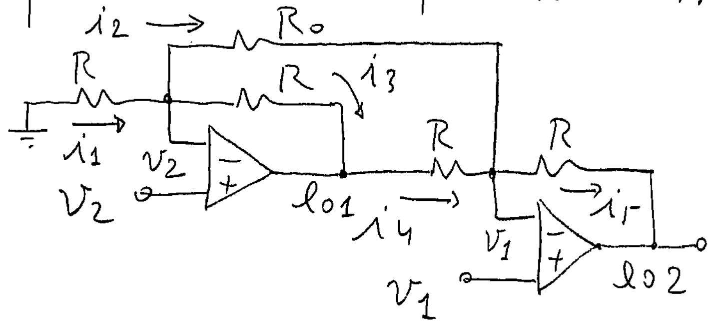
a) Em primeiro lugar, Examine o circuito e descreva em detalhe o seu funcionamento.

b) Divida o circuito em blocos e equacione, concentrando seus esforços nos operacionais. Descreva cada etapa do trabalho com textos e equações.

c) Calcule o valor dos componentes necessários para estabelecer uma escala de 0,5 V/°C no voltmetro. Componentes ideais. Alimentação regulada. Coeficiente de temperatura de uma junção de silício = − 2 mV/°C. Use R = 22K quando possível.



Equacionando por corrente:



$$\begin{cases} -i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ -i_4 - i_2 + i_5 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\dfrac{0 - V_2}{R} + \dfrac{V_2 - V_1}{Ro} + \dfrac{V_2 - lo_1}{R} = 0 \\ -\dfrac{lo_1 - V_1}{R} - \dfrac{V_2 - V_1}{Ro} + \dfrac{V_1 - lo_2}{R} = 0 \end{cases}$$

Objetivo: $lo_2 = f(V_1, V_2, ..)$

Variável interna: $lo_1 \rightarrow$ eliminar

$$\begin{cases} \dfrac{V_2}{R} + \dfrac{V_2 - V_1}{Ro} + \dfrac{V_2}{R} = \dfrac{lo_1}{R} \\ \dfrac{V_1 - lo_1}{R} - \dfrac{V_2 - V_1}{Ro} + \dfrac{V_1}{R} = \dfrac{lo_2}{R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_2 + \dfrac{R}{Ro}(V_2 - V_1) + V_2 = lo_1 \quad (1) \\ V_1 - lo_1 - \dfrac{R}{Ro}(V_2 - V_1) + V_1 = lo_2 \quad (2) \end{cases}$$

Levando (1) em (2):

$$v_1 - v_2 - \frac{R}{R_o}(v_2 - v_1) - v_2 - \frac{R}{R_o}(v_2 - v_1) + v_1 = e_{o2}$$

$$e_{o2} = 2(v_1 - v_2) - 2\frac{R}{R_o}(v_2 - v_1)$$

$$e_{o2} = 2(v_1 - v_2) + 2\frac{R}{R_o}(v_1 - v_2)$$

$$e_{o2} = 2(v_1 - v_2)\left(1 + \frac{R}{R_o}\right) //$$

Valor dos componentes:

Escolhemos:

$R_1 = R_2 = R = 22K$ //

C = supressor de ruídos = 100 μF //

Escala do voltímetro:

Solução a

Se $T_1 - T_2 = 1°C$ então $V_1 - V_2 = -2\,mV$ e $V_{eo2} = -0{,}5$ Volts

$$-0{,}5 = 2(-2\,mV)\left(1 + \frac{22k}{R_o}\right)$$

$$-0{,}5 = -4 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}\frac{22 \cdot 10^3}{R_o}$$

$$-0{,}496 = \frac{-88}{R_o} \rightarrow R_o = 177{,}4\,\Omega //$$

Solução b

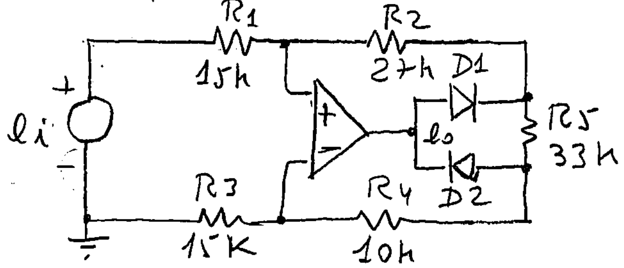
Se $T_2 - T_1 = 1°C$ então $V_1 - V_2 = 2\,mV$ e $V_{eo2} = 0{,}5\,V$

$$0{,}5 = 2(2\,mV)\left(1 + \frac{22k}{R_o}\right)$$

$$0{,}5 = 4 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}\frac{22 \cdot 10^3}{R_o}$$

$$0{,}496 = \frac{88}{R_o} \rightarrow R_o = 177{,}4\,\Omega //$$

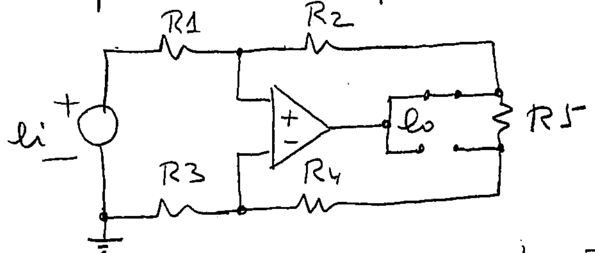
Equacione e desenhe $e_o \times e_i$. Documente... comp. ideais, $V_{cc} = \pm 15V$



P1 2013-2

Circuito é não-inversor.

Hipótese: e_o positivo → D1 ON:



Fator de realimentação, zerando e_i:

$$\beta_+ = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_o \frac{15}{15+27} = 0{,}357\, e_o$$

$$\beta_- = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4+R_5} = e_o \frac{15}{15+10+33}$$

$$\beta_- = 0{,}259 \cdot e_o$$

$\beta_+ > \beta_-$ → comparador com histerese.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4+R_5}$$

$$e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} = e_o \left(\frac{R_3}{R_3+R_4+R_5} - \frac{R_1}{R_1+R_2} \right)$$

$$e_i = \frac{R_1+R_2}{R_2} \left(\frac{R_3}{R_3+R_4+R_5} - \frac{R_1}{R_1+R_2} \right) \cdot e_o$$

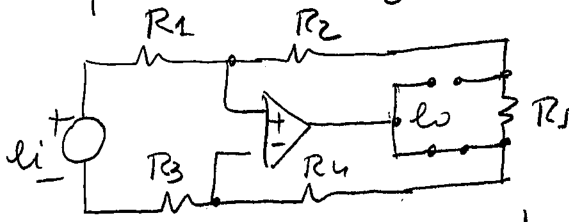
$$e_i = \frac{15+27}{27} \left(\frac{15}{15+10+33} - \frac{15}{15+27} \right) e_o$$

$$e_i = -0{,}1533 \cdot e_o$$

como $e_o = \pm V_{cc}$ (comparador):

$$e_i = -0{,}1533(\pm 15) \rightarrow e_i = \mp 2{,}3$$

Hipótese: e_o negativo → D2 ON:



Fator de realimentação:

$$\beta_+ = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_5} = \frac{e_o \cdot 15}{15+27+33} = 0{,}2 \cdot e_o$$

$$\beta_- = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4} = \frac{e_o \cdot 15}{15+10} = 0{,}6 \cdot e_o$$

$\beta_- > \beta_+$ → amplificador

Como $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_i \frac{R_2+R_5}{R_1+R_2+R_5} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_5}$$

$$e_- = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$e_o \left(\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_1}{R_1+R_2+R_5} \right) = e_i \frac{R_2+R_5}{R_1+R_2+R_5}$$

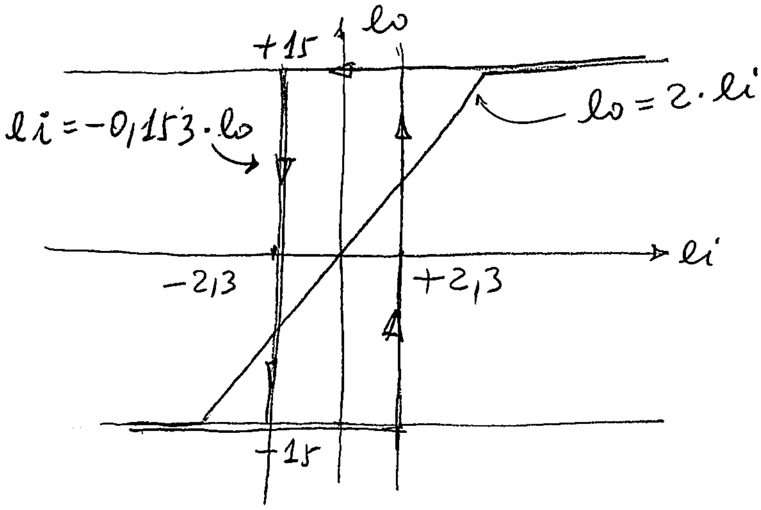
$$e_o = e_i \cdot \frac{\frac{R_2+R_5}{R_1+R_2+R_5}}{\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_1}{R_1+R_2+R_5}}$$

$$e_o = e_i \frac{\frac{27+33}{15+27+33}}{\frac{15}{15+10} - \frac{15}{15+27+33}}$$

$$e_o = 2 \cdot e_i$$

Gráfico $e_o \times e_i$:

Esboce os dois circuitos, comparador e amplificador. Estude como acontece a transição de um para o outro.

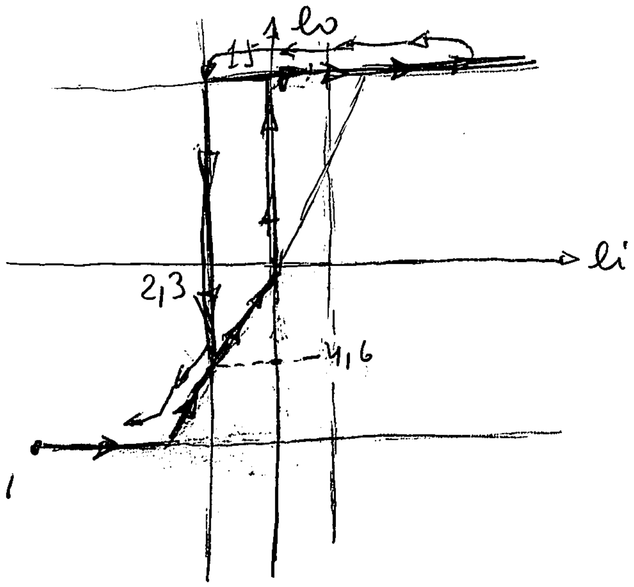


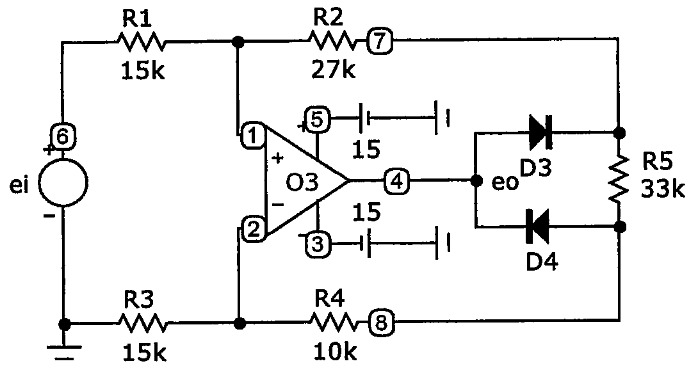
Hipótese: e_i muito positivo, circuito é um comparador não inversor, D1 ON e $e_o = +V_{cc}$. Reduzindo e_i, e_o continua $+V_{cc}$ até que ao alcançar $e_i = -2{,}3$ o comparador vira pois D1 abre e D2 fecha, e o circuito fica linear com $e_o = 2 \cdot e_i$. Aumentando agora e_i, quando $e_i = 0 \rightarrow e_o = 0$, D2 abre e D1 fecha e o circuito volta a ser um comparador.

Análise mais simples: começando quando o circuito é linear: Para $e_i << 0$, $e_o = 2 \cdot e_i$ linear e D2 = ON. Aumentando e_i, quando $e_i = 0$ D2 abre. Como D1 estava aberto, não existe realimentação e o ganho é infinito. Com $e_i = 2 \cdot e_o$ levemente positivo, D1 ON e o circuito fica um comparador e $e_o = +V_{cc}$. Assim e_+ e e_- ficam positivos. Reduzindo e_i, quando $e_i = -2{,}3$ é que o D2 volta a conduzir e o circuito fica linear.

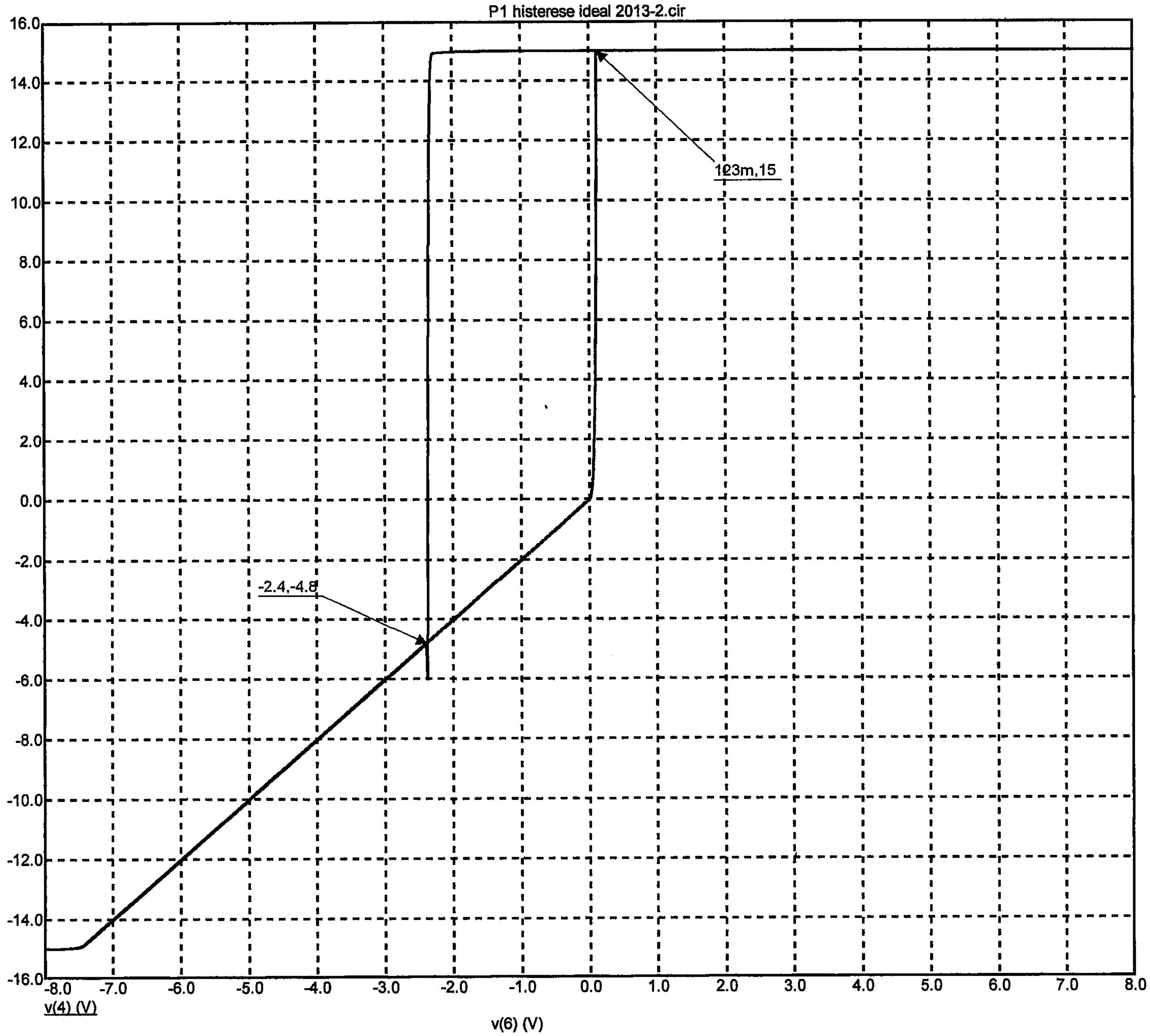
Com $e_i = -2{,}3$, $e_o = 2 \cdot (-2{,}3) \rightarrow e_o = -4{,}6$ //

Gráfico com os valores:

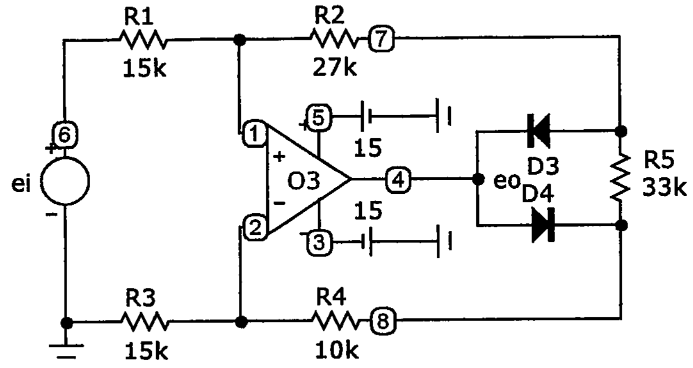




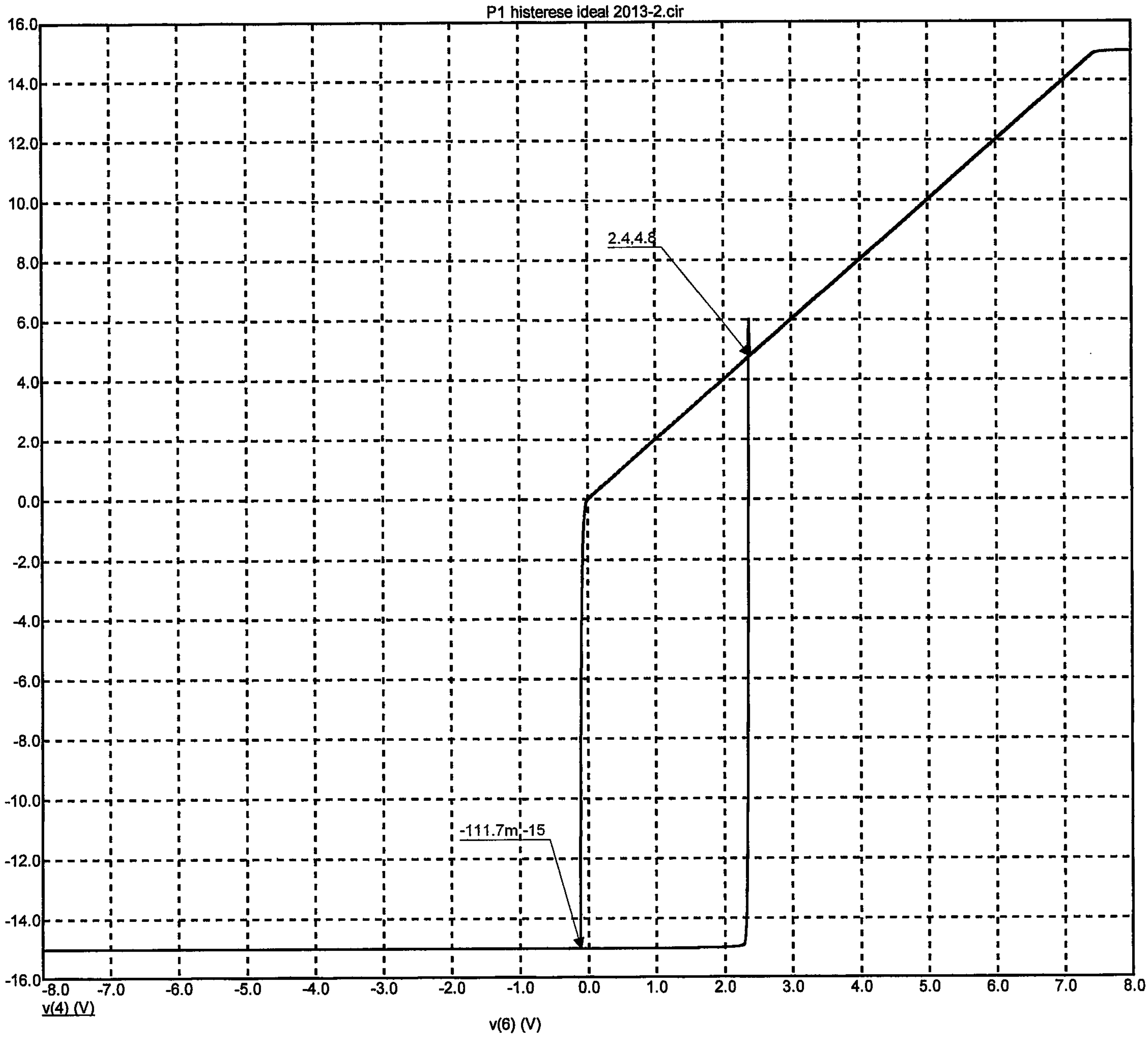
DC 0 AC 1 0 Pulse -9 9 100n 1m 1m 400n 2m



Invertendo os diodos



DC 0 AC 1 0 Pulse -9 9 100n 1m 1m 400n 2m

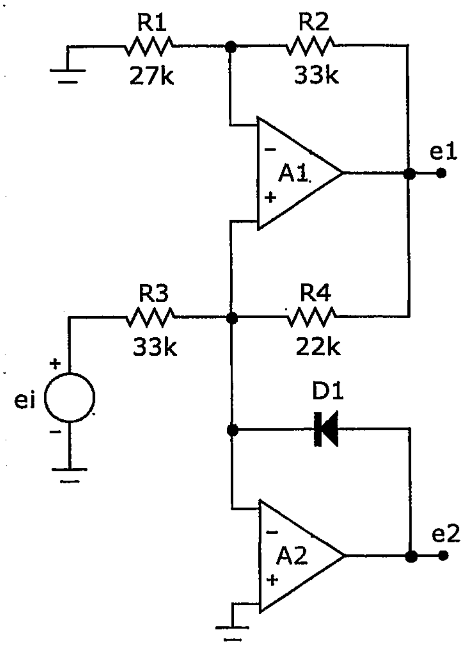


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2014/1

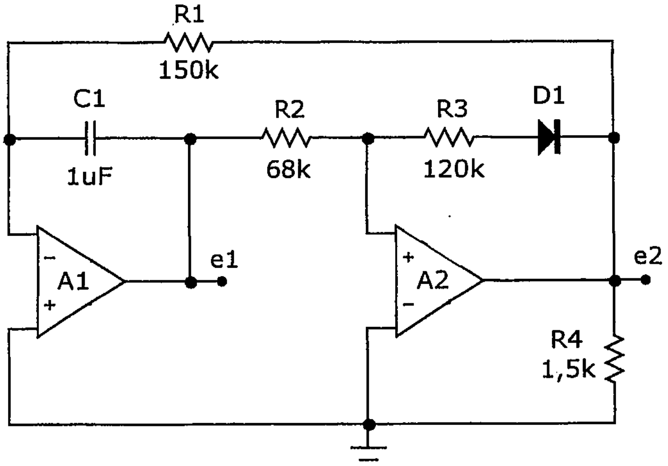
Prova 1 20/5/2014

Nome: GABARITO Turma: ______

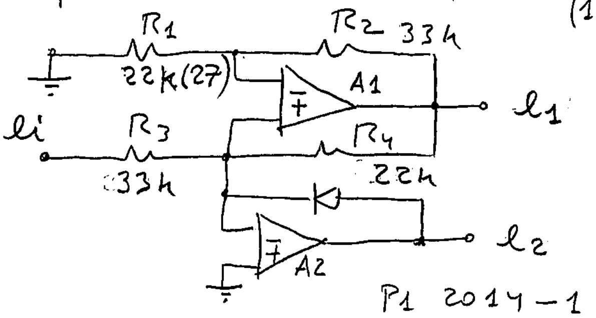
1. Equacione o circuito a seguir em formato literal primeiro e depois coloque os valores de circuito para determinar a curva de e_1 x e_i. Documente cada etapa de trabalho com textos, equações e desenhos pois isso vai ser avaliado sempre.
Componentes ideais e alimentação simétrica de 16 Volts.



2. Examine a topologia a seguir, entenda o funcionamento, equacione os blocos em formato literal inicialmente com o objetivo de desenhar os gráficos temporais de e_1 e e_2 com todos os valores de amplitude e tempo calculados, documentando todos os passos com textos, equações e desenhos. Para isso é necessário rever o funcionamento e determinar um instante onde as entradas e saídas são conhecidas e avançar o tempo a partir deste ponto.
Alimentação simétrica de 15 Volts e componentes ideais.

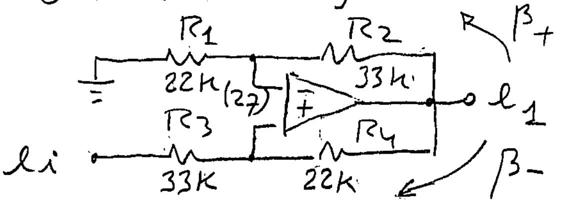


Equacione o circuito em formato literal e depois coloque os valores para determinar a curva $e_1 \times e_i$. Documente. componentes ideais, $V_{cc} \pm 9V$ (16)



P1 2014-1

Realimentações positiva e negativa; diodo é não-linear.
Hipótese: e_2 negativo de modo que D=OFF. ∴ Para isso, $e_i > 0$ pois A2 é inversor.
O circuito fica:



$\beta_+ > \beta_- \Rightarrow$ comparador com histerese.

$$e_+ = e_1 \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = e_1 \cdot \frac{R_3}{R_3+R_4} + e_i \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

Igualando e isolando ei:

$$e_i = \frac{R_3+R_4}{R_4} \cdot e_1 \left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_3}{R_3+R_4} \right)$$

Aplicando os valores:

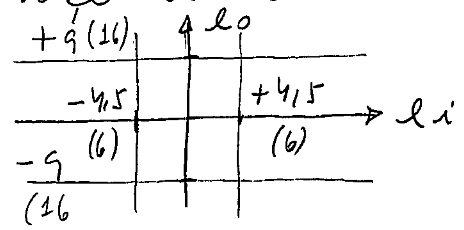
$$e_i = \frac{33+22}{22} \cdot e_1 \left(\frac{22}{22+33} - \frac{33}{33+22} \right)$$

$$e_i = -\frac{e_1}{2} \;//\; (-0{,}375 \cdot e_1)$$

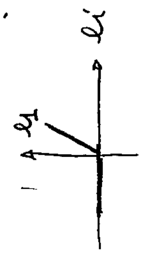
comparador: $e_1 = \pm V_{cc}$ (± 16)

$e_i = \mp 4{,}5$ Volts // (∓ 6)

Esboço da curva:



Hipótese: e_2 positivo de modo que D = ON. Para isso, $e_i < 0$. e existe massa virtual em A2.



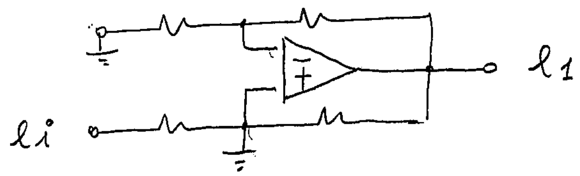
Equacionando A2:

$e_+ = 0$ Ideal; D = fio

$e_- = e_2$ Igualando:

$0 = e_2 = e_+$ de A1.

circuito fica:



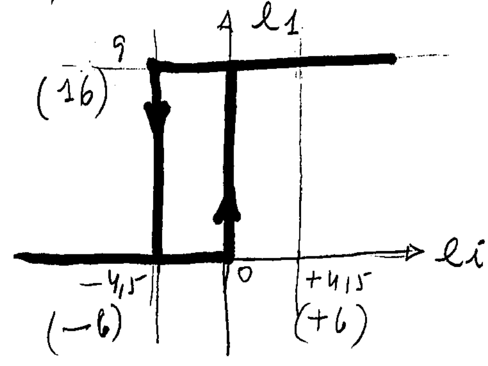
$$e_+ = e_1 \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

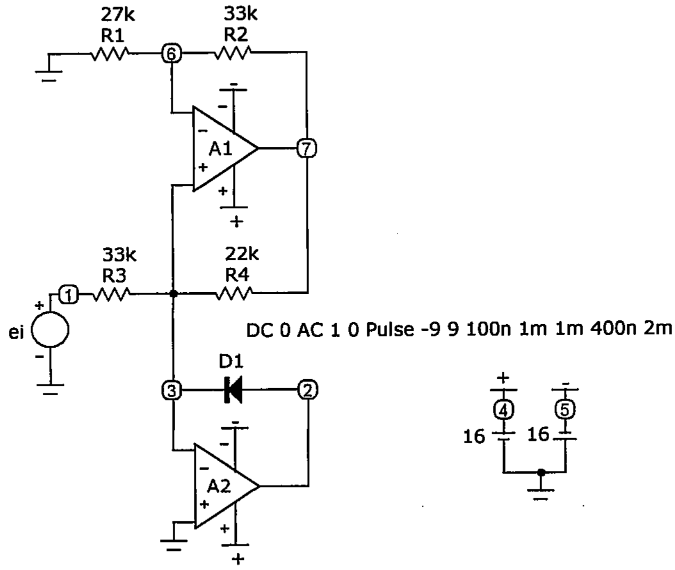
$e_- = 0$ Igualando:

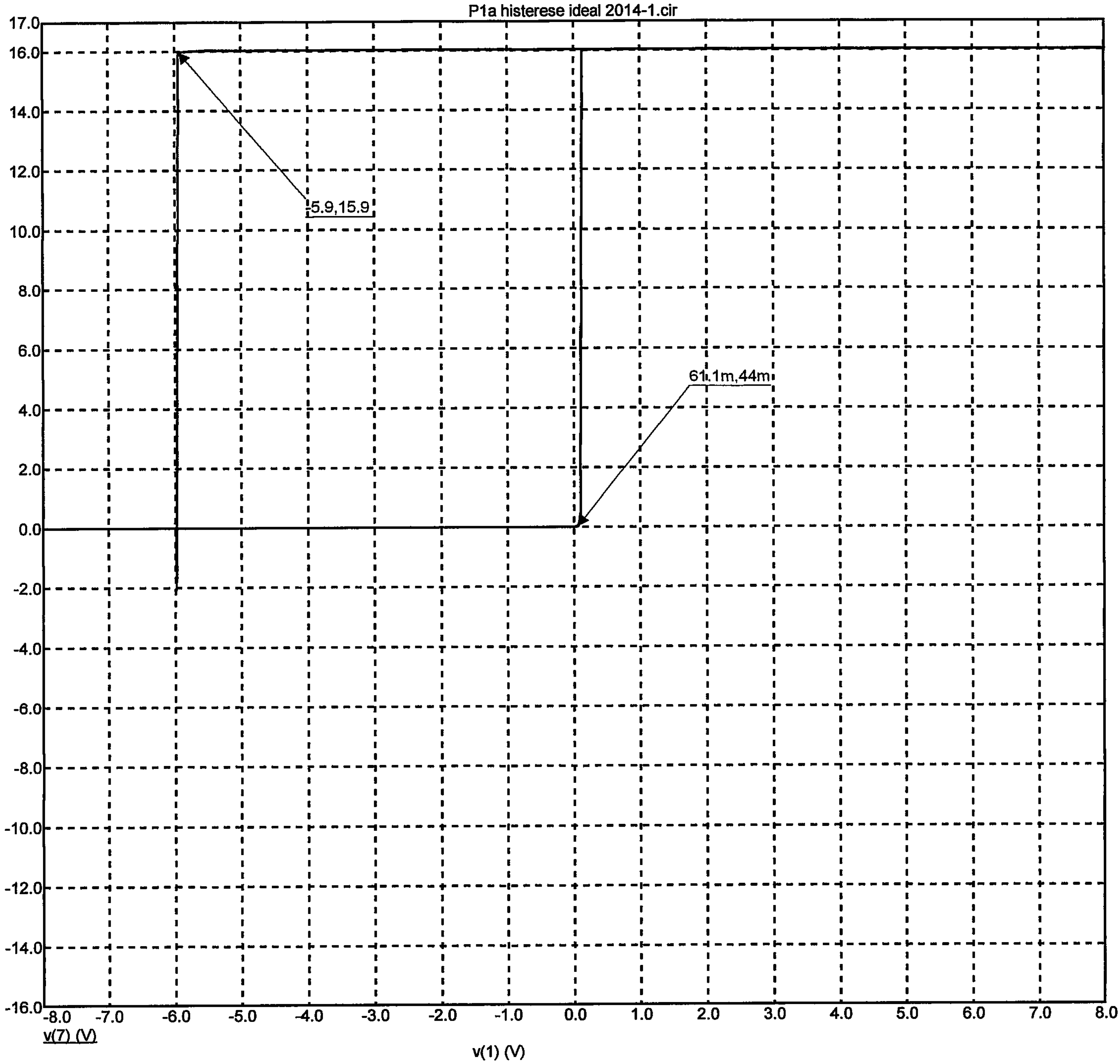
$e_1 = 0$ //

se $\beta_- > \beta_+$ fica amplificador com $e_1 = 2 \cdot e_i$

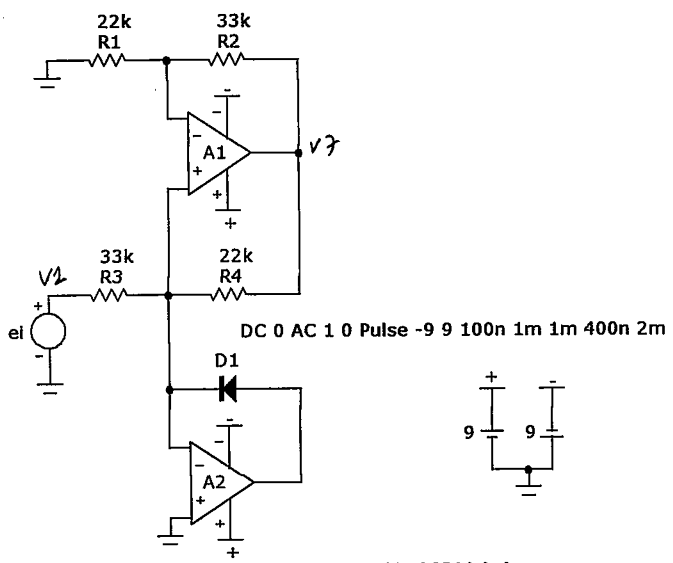
Funcionamento:
com $e_i < 0$, $e_1 = 0$.
Aumentando ei, ao alcançar $e_i = 0$, o diodo abre e A1 fica comparador não-inversor com histerese e e_1 pula para +9 levando e_+ de A1 a um valor positivo. ei precisa baixar até −4,5 para o comparador virar novamente:

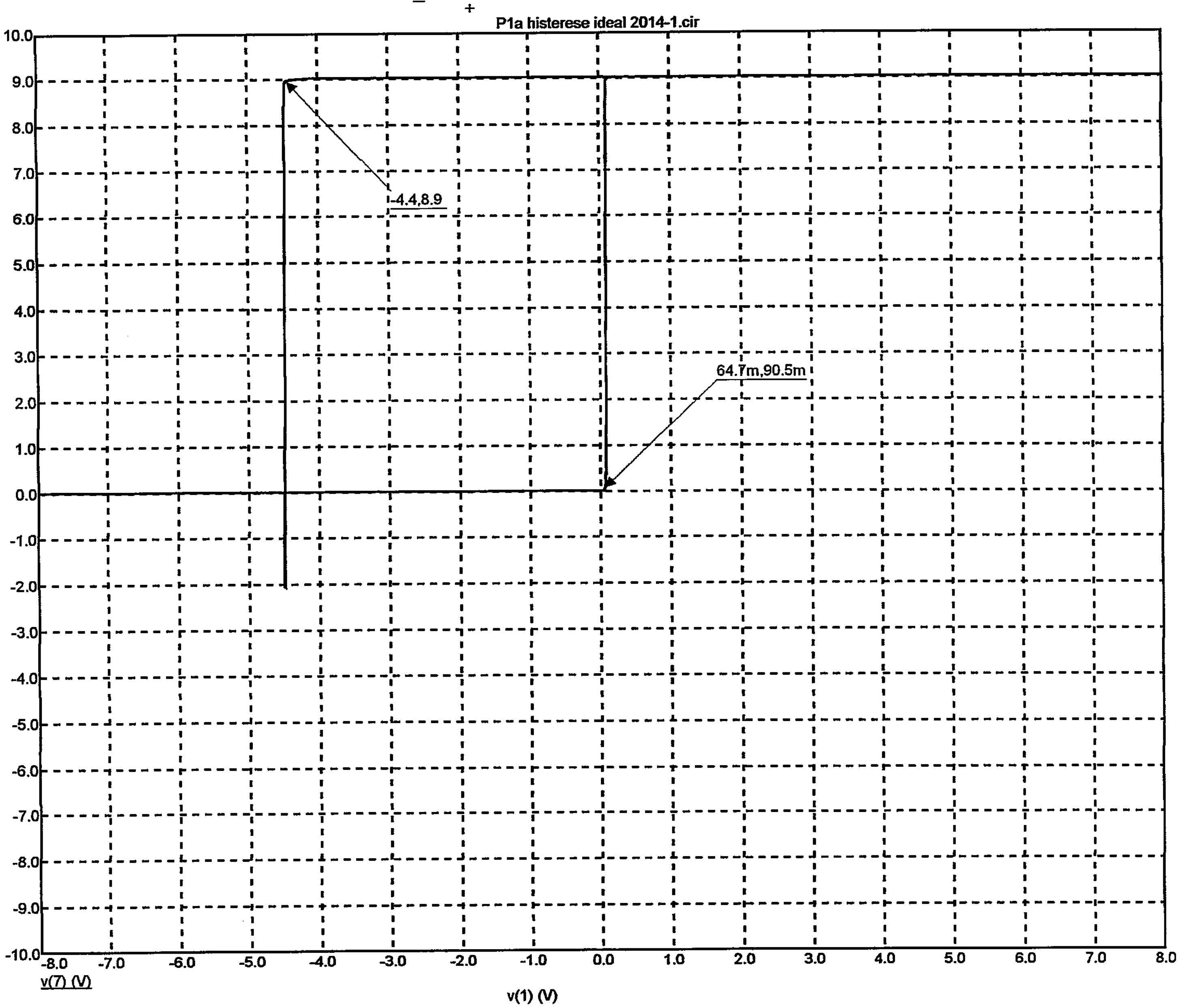



27k
R1
33k
R2
A1
33k
R3
22k
R4
ei
DC 0 AC 1 0 Pulse -9 9 100n 1m 1m 400n 2m
D1
A2
16
16

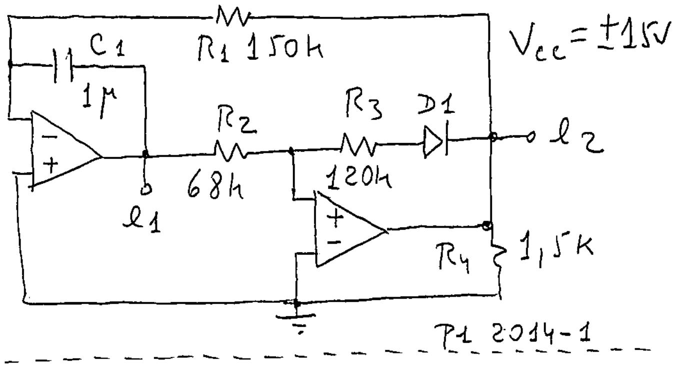

P1a histerese ideal 2014-1.cir
-5.9,15.9
61.1m,44m
v(7) (V)
v(1) (V)

Outra versão





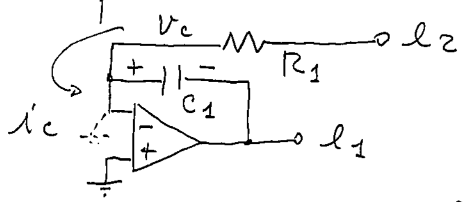
Examine a topologia do circuito, entenda o seu funcionamento, equacione em formato literal primeiro e depois coloque os valores para obter os gráficos de e_1 e e_2 ao longo do tempo.



P1 2014-1

Integrador e comparador não inversor com realimentação positiva controlada por diodo. Parece um oscilador.

Equacionando e_1:



Massa virtual: $e_1 = -v_c$

$$i_c = C \cdot \frac{dv_c}{dt}$$

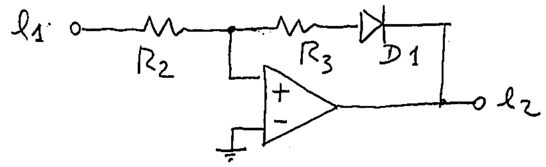
$$i_c = \frac{e_2 - 0}{R_1}$$ Juntando:

$$\frac{e_2}{R_1} = -C_1 \frac{d(e_1)}{dt}$$

$$\frac{-e_2}{R_1 C_1} = \frac{d(e_1)}{dt}$$ Integrando e isolando e_1:

$$e_1(t) = -\frac{1}{R_1 \cdot C_1}\int e_2(t) \cdot dt + e_1(0) \quad (1)$$

Equacionando e_2:



Hipótese: D = ON

Então $e_2 < e_1$

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$e_- = 0$

$$e_+ = e_1 \frac{R_3}{R_2+R_3} + e_2 \frac{R_2}{R_2+R_3}$$

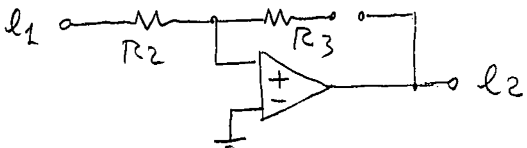
Igualando e isolando a entrada:

$$e_1 = -e_2 \frac{R_2}{R_3} \quad (2)$$

Neste caso, $e_2 = \pm Vcc$:

$$e_1 = -(\pm 15)\frac{68k}{120k} \rightarrow e_1 = \mp 8{,}5$$

Hipótese: D_1=OFF então $e_2 > e_1$.



comparador não inversor simples ou amplificador com ganho ∞.

Ponto de virada:

$e_+ = e_1$ $\quad e_- = 0$ então vira em $e_1 = 0$. Portanto:

$e_1 > 0 \rightarrow e_2 = +Vcc$, D=off

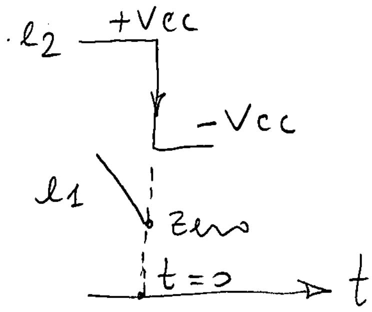
$e_1 < 0 \rightarrow e_2 = -Vcc$, D=ON

Para juntar (1) com (2) preciso determinar um ponto de operação conhecido. Seja $t=0$ o instante onde o comparador vira:

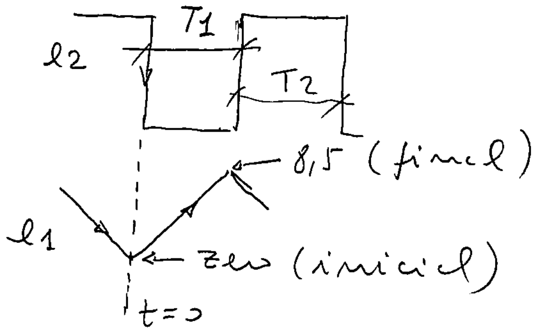
$e_2 = +Vcc \rightarrow -Vcc$ então

$e_1 > 0 \rightarrow e_1 = 0$

Com $+Vcc$ na entrada e_1 diminui.



Com −Vcc na entrada do integrador, e_1 aumenta até o ponto de virada positivo:



E o ciclo se repete.

Juntando (1) com (2)

$$+\underbrace{\frac{e_2 \cdot R_2}{R_3}}_{\text{final}} = \frac{-1}{R_1 \cdot C_1}\int(-V_{cc})\,dt + \underbrace{0}_{\text{inicial}}$$

$$\frac{\overset{+V_{cc}}{e_2} \cdot R_2 \cdot R_1 \cdot C_1}{R_3} = V_{cc} \cdot T_1$$

$$T_1 = \frac{R_1 \cdot C_1 \cdot \cancel{V_{cc}} \cdot R_2}{R_3\, \cancel{V_{cc}}}$$

$$T_1 = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1}{R_3} \quad //$$

$$T_1 = \frac{150k \cdot 68k \cdot 1\mu}{120k}$$

$$T_1 = 0{,}085\,s \rightarrow T_1 = 85\,ms \quad //$$

Cálculo de T_2:

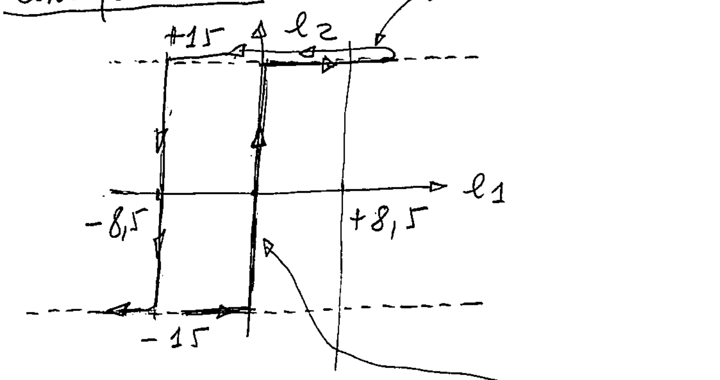
Quando e_1 alcança 8,5 V, e_2 vira para −Vcc e e_1 diminui até zero:

$$+0 = \frac{-1}{R_1 \cdot C_1}\int(+V_{cc})\cdot dt + \frac{\overset{+V_{cc}}{e_2} \cdot R_2}{R_3}$$

$$T_2 = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1}{R_3} \quad //$$

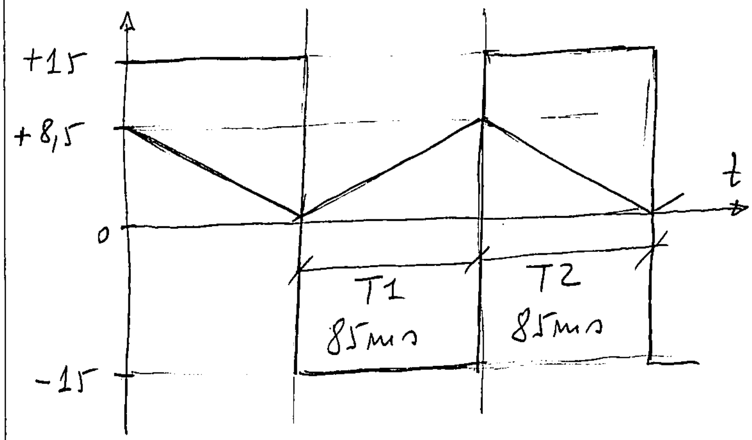
$$T_2 = T_1 = 85\,ms \quad //$$

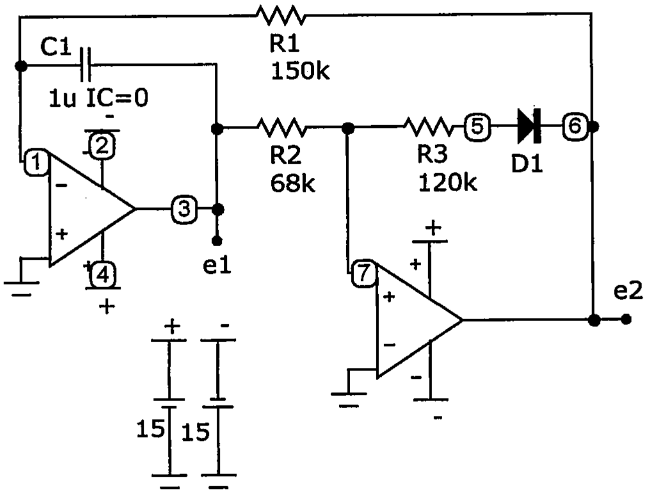
comparador:

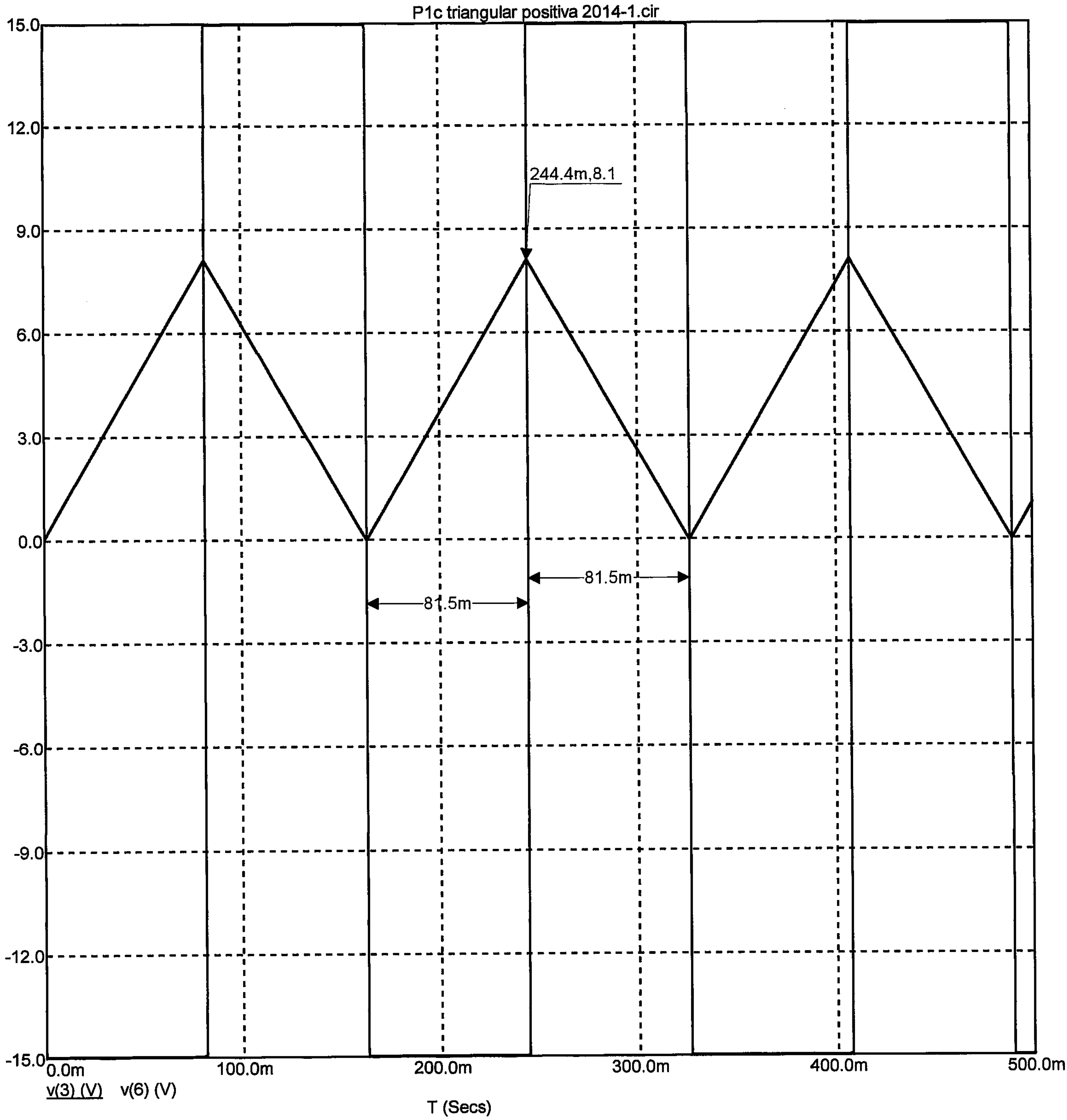


$e_1 < 0$ e aumentando

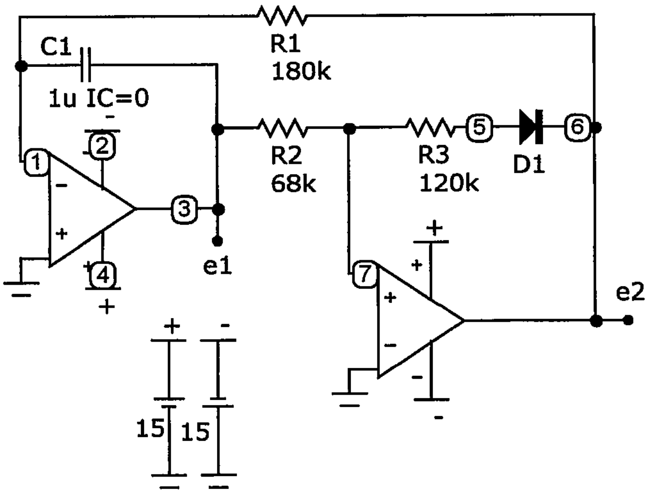
Gráficos:

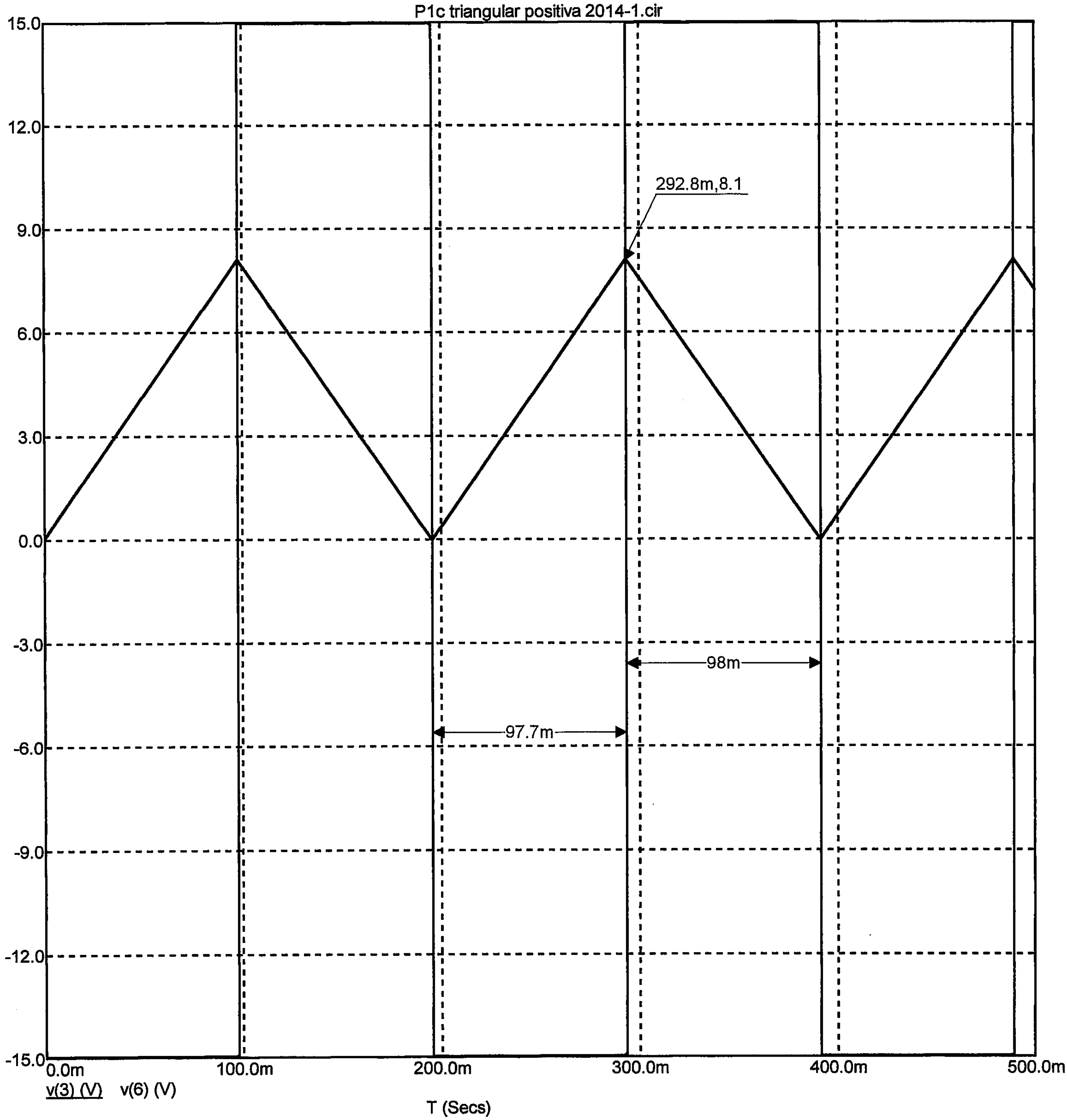



C1
1u IC=0
R1
150k
R2
68k
R3
120k
D1
e1
e2
15
15
1
2
3
4
5
6
7

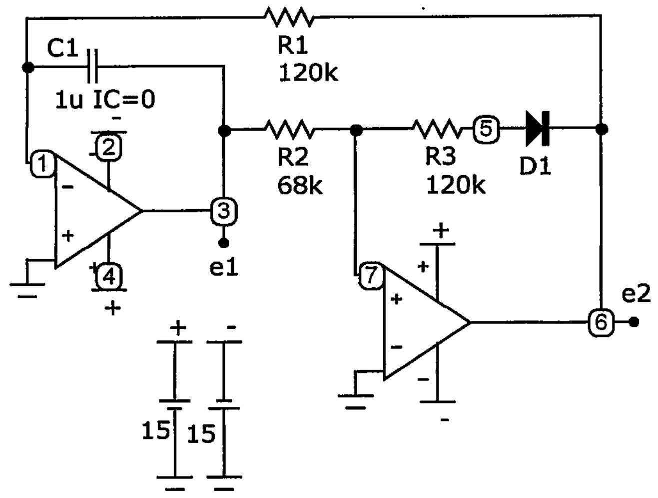

P1c triangular positiva 2014-1.cir
15.0
12.0
9.0
6.0
3.0
0.0
-3.0
-6.0
-9.0
-12.0
-15.0
244.4m,8.1
81.5m
81.5m
0.0m
100.0m
200.0m
300.0m
400.0m
500.0m
v(3) (V)
v(6) (V)
T (Secs)

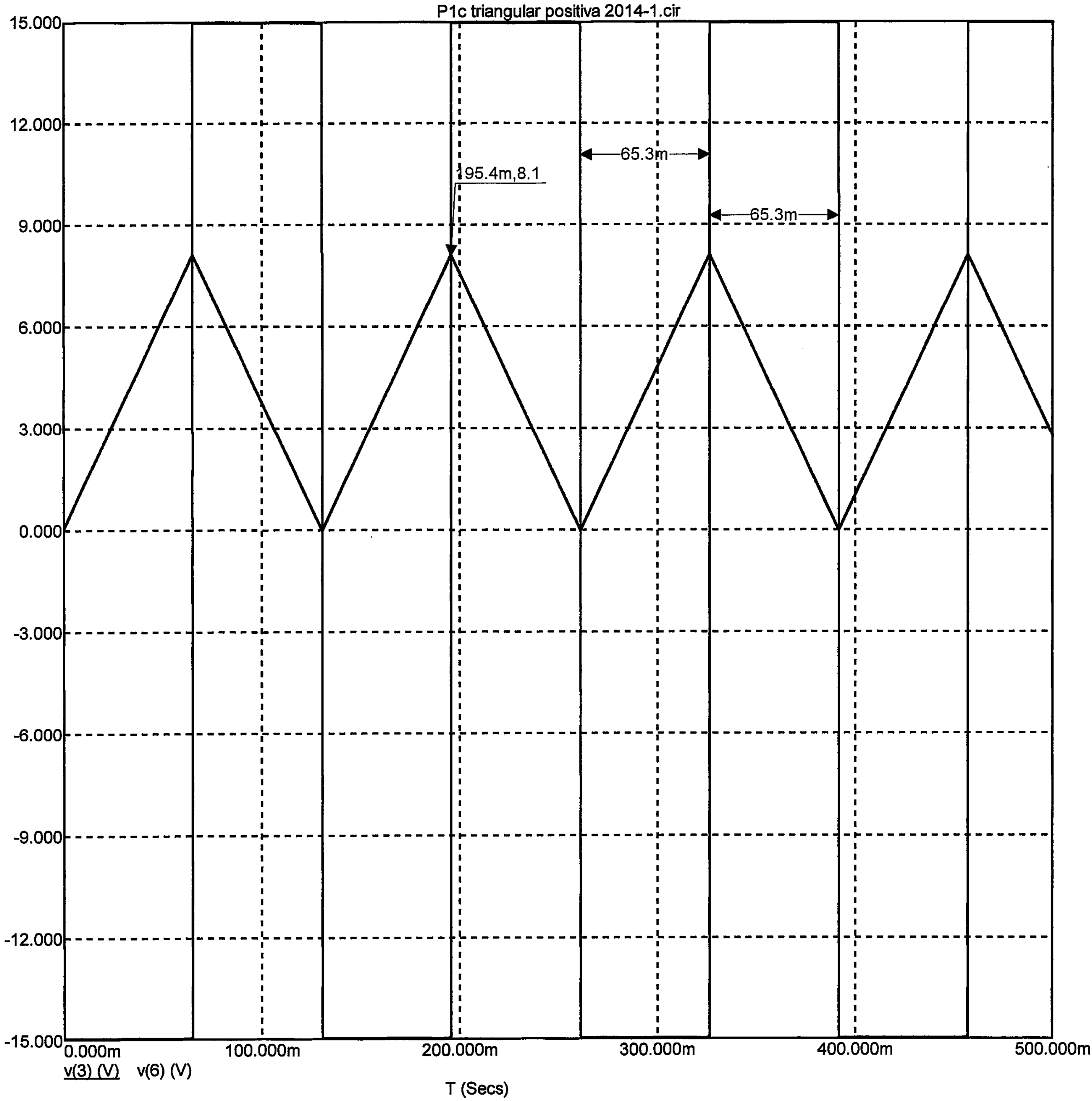
Outra versão





outra versão



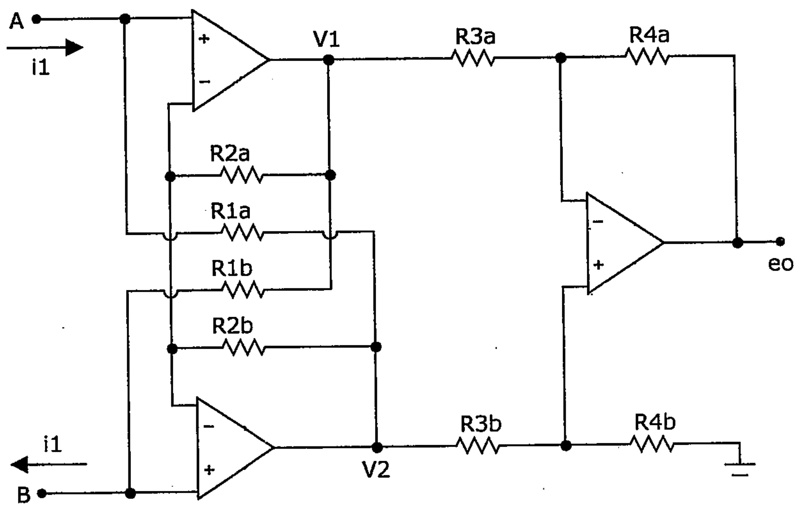


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2014/2

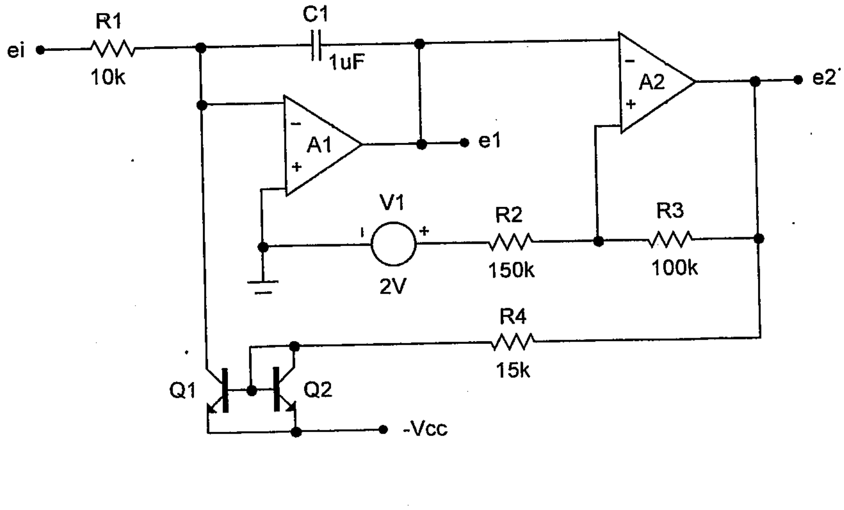
Prova 1 14/10/2014

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. circuito a seguir faz parte de um medidor de corrente diferencial, cujas ponteiras A e B podem ser instaladas em qualquer ponto do circuito sob teste.
A corrente entra em uma ponteira e sai pelo outra.
Examine a topologia, os blocos funcionais, as características que ela apresenta, o circuito equivalente entre as ponteiras e escreva alguma coisa sobre isso.
Procure agora planejar os passos para equacionar o circuito e obter a expressão de e_0 em função da corrente de entrada.
Por último, inicie o equacionamento formal de cada bloco funcional, documentando cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
Após equacionar em formato literal cada etapa, simplifique a notação: $R_{1a} = R_{1b} = R_1$ etc.

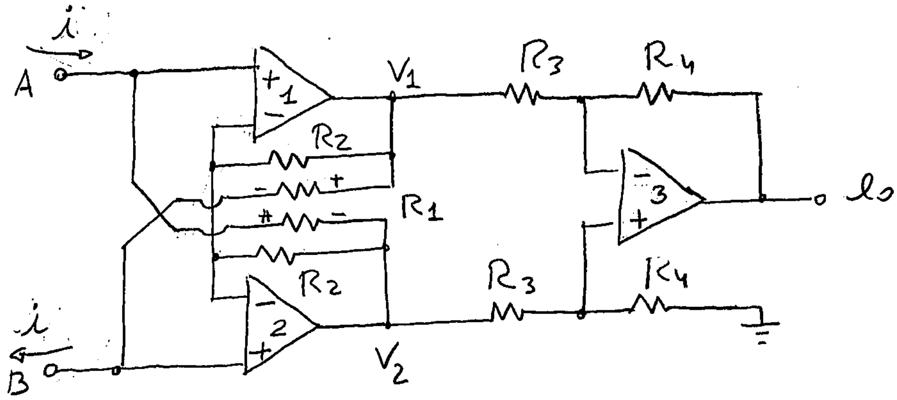


2. Examine o circuito a seguir, identifique os blocos funcionais, entenda o funcionamento de maneira geral, procurando obter o máximo de informações.
Separe em blocos, equacione cada bloco em formato literal e aplique os valores de circuito logo a seguir. Junte novamente os blocos (equações) e calcule os valores de tensão e tempo que permitam desenhar com precisão os gráficos temporais de e_1 e e_2, partindo de algum instante onde o ponto de operação do circuito foi determinado.
Descreva cada passo com textos equações e diagramas pois será avaliado.
Alimentação simétrica de 12 Volts, entrada 10 Volts, componentes ideais.



Conversor corrente-tensão diferencial

set/2013



Examinando a topologia:

Opamp 3 → Amplificador subtrator

Opam 1 e 2 → Lembra um Amplificador de Instrumentação mas a entrada é corrente.

Se o circuito é linear, $e_+ = e_-$ e $V_A = V_B$ como é esperado em um medidor de corrente.

Equacionamento:

$$V_1 = V_B + i \cdot R_1$$
$$V_2 = V_A - i \cdot R_1$$

Vale então:

$$V_1 - V_2 = V_B + i \cdot R_1 - (V_A - i \cdot R_1)$$

Como $V_A = V_B$:

$$V_1 - V_2 = 2 \cdot i \cdot R_1 \quad // \quad (1)$$

Subtrator: superposição:

$$e_- = V_1 \frac{R_4}{R_3+R_4} + e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$e_+ = V_2 \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o \frac{R_3}{\cancel{R_3+R_4}} = V_2 \frac{R_4}{\cancel{R_3+R_4}} - V_1 \frac{R_4}{\cancel{R_3+R_4}}$$

$$e_o = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_4}{R_3} \quad //$$

Aplicando (1):

$$e_o = -2 \cdot i \cdot \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3} \quad //$$

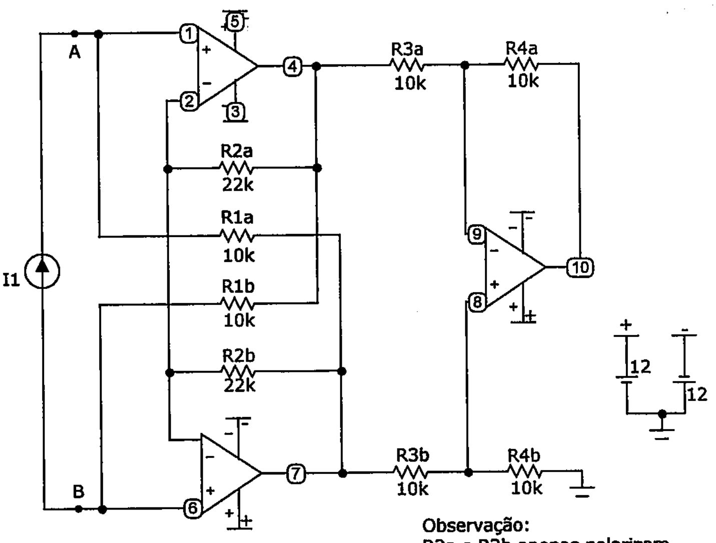
Utilidade:

- Mede corrente sem causar queda de tensão
- Flutuante
- Ponteira de corrente diferencial (flutuante) para osciloscópio.

Observação:

Resistores R2 fazem as realimentações mas não influem no ganho pois não aparecem na equação, pois estão ligados entre duas fontes de tensão

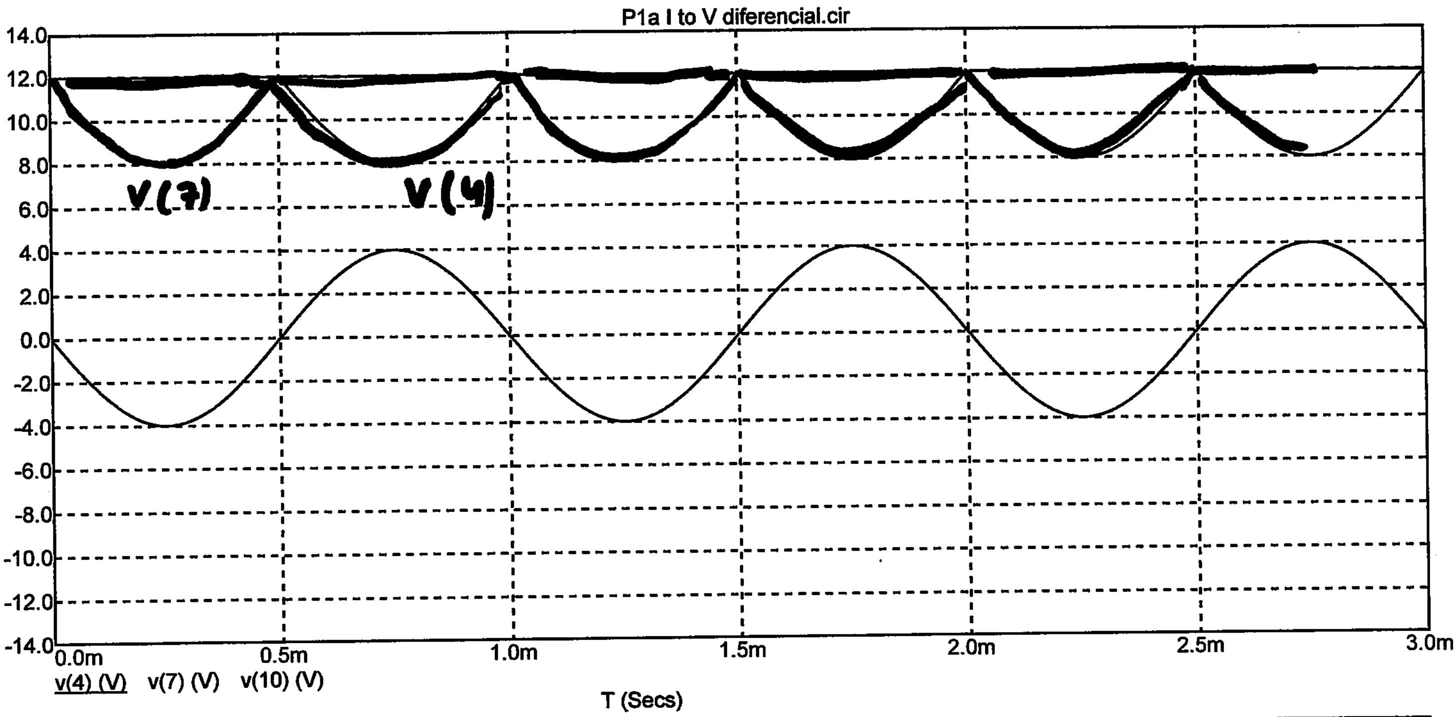
A corrente nela é $I_{R2} = \frac{V_1 - V_2}{2 \cdot R_2}$ e pode ser minimizada.

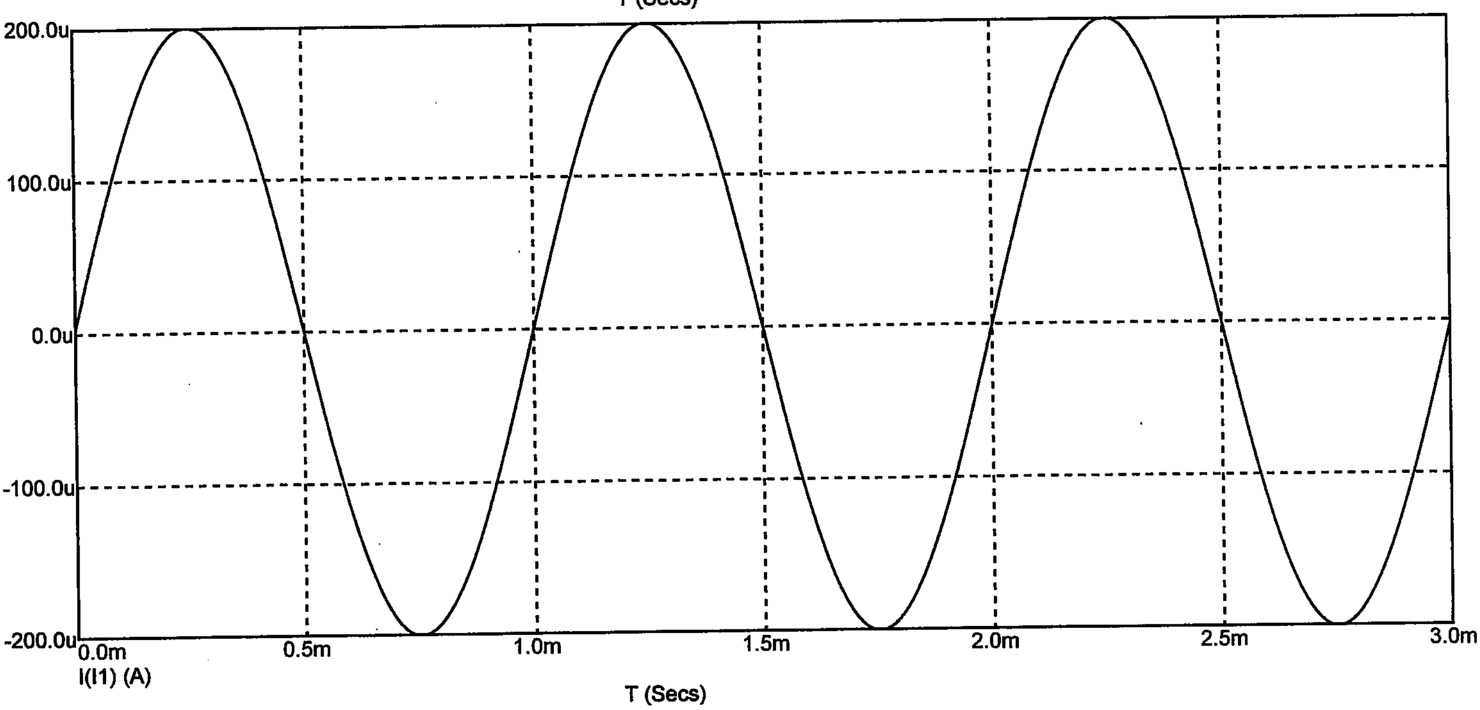


DC 0 AC 0.2mA 0 Sin 0 0.2mA 1000 0 0 0

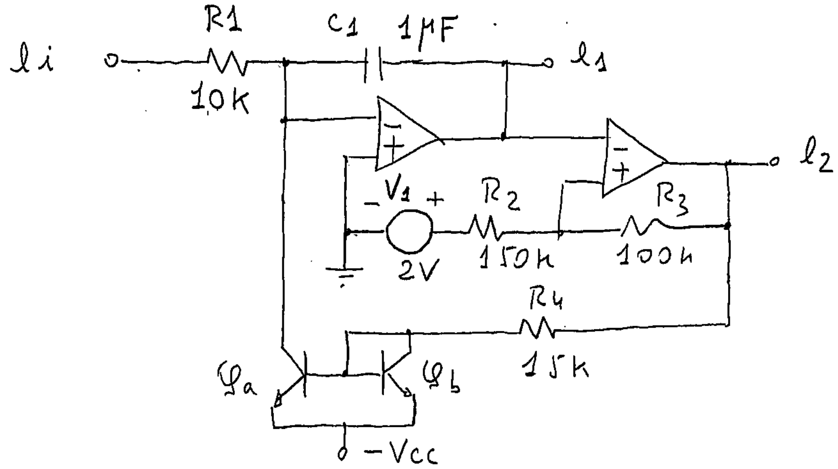
Observação:
R2a e R2b apenas polarizam as entradas. Podem assumir qualquer valor.

eo = -2 I1 R1 R4 / R3



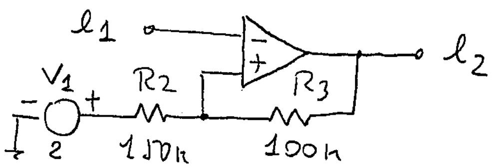


Divida o circuito em blocos funcionais, entenda e descreva o funcionamento global do circuito. Equacione e calcule os valores de cada bloco com o objetivo de desenhar os gráficos de e_1 e e_2 ao longo do tempo, com todos os valores numéricos calculados. Descreva cada etapa da solução. Componentes ideais. $e_i = 10$ Volts. Alimentação ± 12 Volts



P1 2005/2

Comparador inversor com histerese e referência:



Ponto de virada: $e+ = e-$

$$e+ = V_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} + e_2 \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$e_- = e_1$$

Igualando:

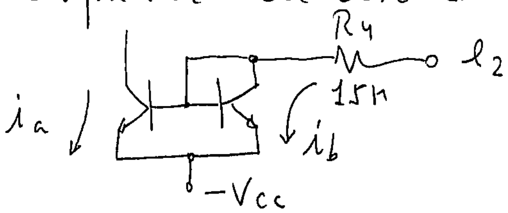
$$e_1 = \frac{V_1 \cdot R_3 + e_2 \cdot R_2}{R_2 + R_3}$$

com $e_2 = \pm Vcc$ vem:

$$e_1 = \frac{2 \cdot 100k \pm 12 \cdot 150k}{150k + 100k}$$

$$e_1 = \begin{cases} 8\,V \\ -6{,}4\,V \end{cases}$$

Espelho de corrente:



Transistor saturado; Base ligada ao Coletor.

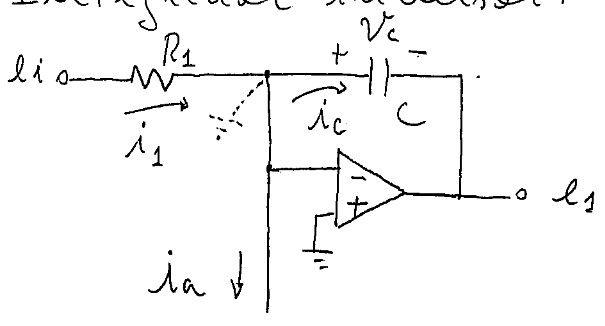
Supondo $e_2 = +Vcc$ então

$$i_b = i_a = \frac{e_2 - (-Vcc)}{R_4} = \frac{12 - (-12)}{15k} = 1{,}6\ mA$$

Supondo $e_2 = -Vcc$ então

$i_b = i_a =$ zero.

Integrador inversor:



$$e_1 = -v_c$$

$$i_C = C\,\frac{dv_c}{dt}$$

$$V_c = \int \frac{i_c}{C}\cdot dt$$

KVL: $-i_1 + i_a + i_c = 0$

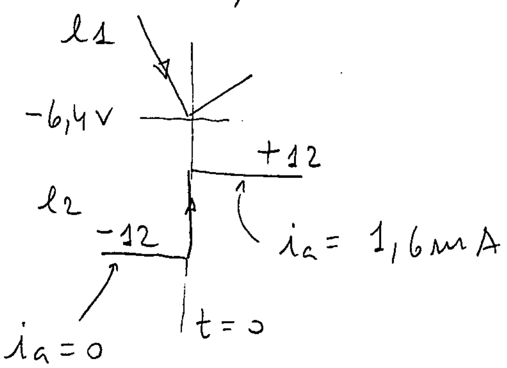
$$v_c = \frac{1}{C}\int (i_1 - i_a)\,dt$$

$$e_1 = -\frac{1}{C}\int\left(\frac{e_i}{R_1} - i_a\right)dt$$

devido à massa virtual

Funcionamento, supondo que $e_2 = -V_{cc}$ logo $i_b = i_a = 0$: Aplicando $e_i = 10V$, a saída e_1 diminui linearmente até o limite de $-6{,}4$ do comparador. e_2 vai para $+V_{cc}$ e a corrente i_a descarrega o capacitor $\Rightarrow$ e_1 aumenta até alcançar 8V, quando o comparador vira para $-V_{cc}$. É um oscilador.

Condição inicial:



$$e_1 = -\frac{1}{10^{-6}}\int\left(\frac{10}{10k} - 1{,}6\right)dt$$

$$e_1 = 600\int dt$$

$$e_1 = 600\cdot T_1 + e_1(t=0)$$

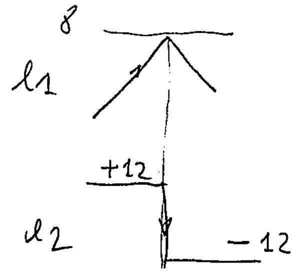
final — inicial

Partindo de $e_1 = -6{,}4$ para alcançar 8 Volts:

$$8 = 600\cdot T_1 + (-6{,}4)$$

$$T_1 = 24\ \text{ms}\ //$$

Fica então:



Agora o espelho de corrente está inoperante: $i_a = 0$

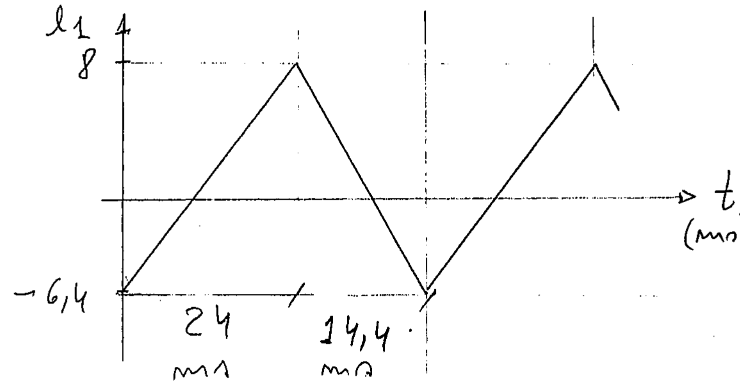
$$e_1 = -\frac{1}{10^{-6}}\int \frac{10}{10k}\,dt$$

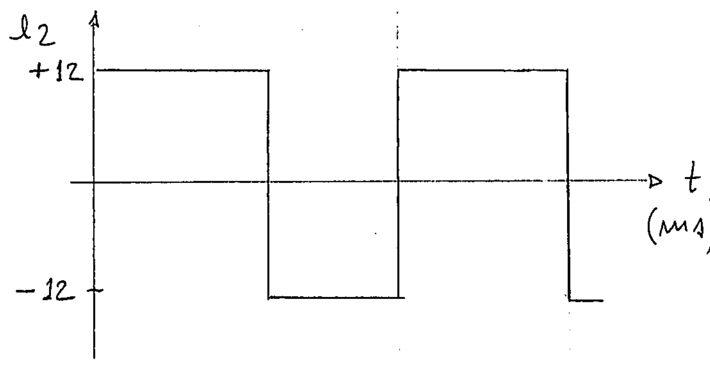
$$e_1 = -1000\cdot T_2 + e_1(t=0)$$

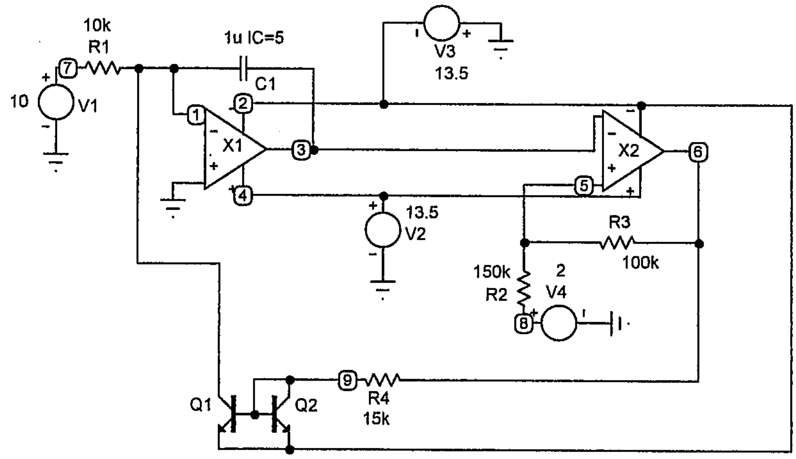
$$-6{,}4 = -1000\cdot T_2 + 8$$

final — inicial

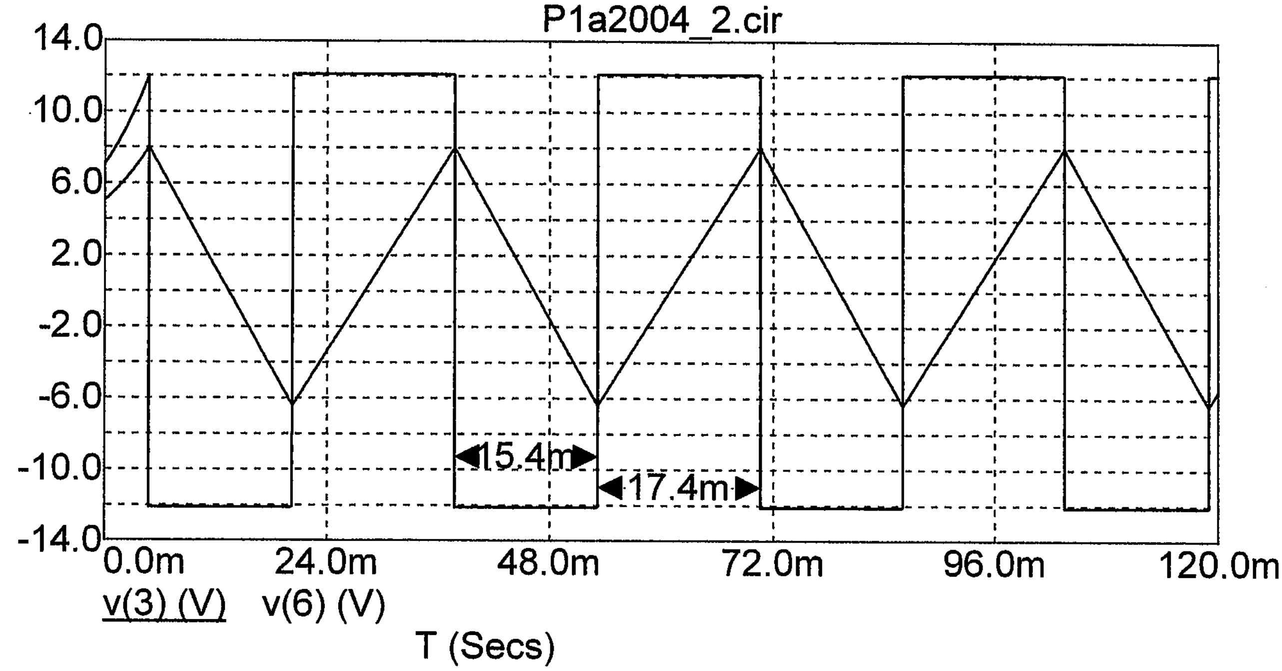
$$T_2 = 14{,}4\ \text{ms}\ //$$

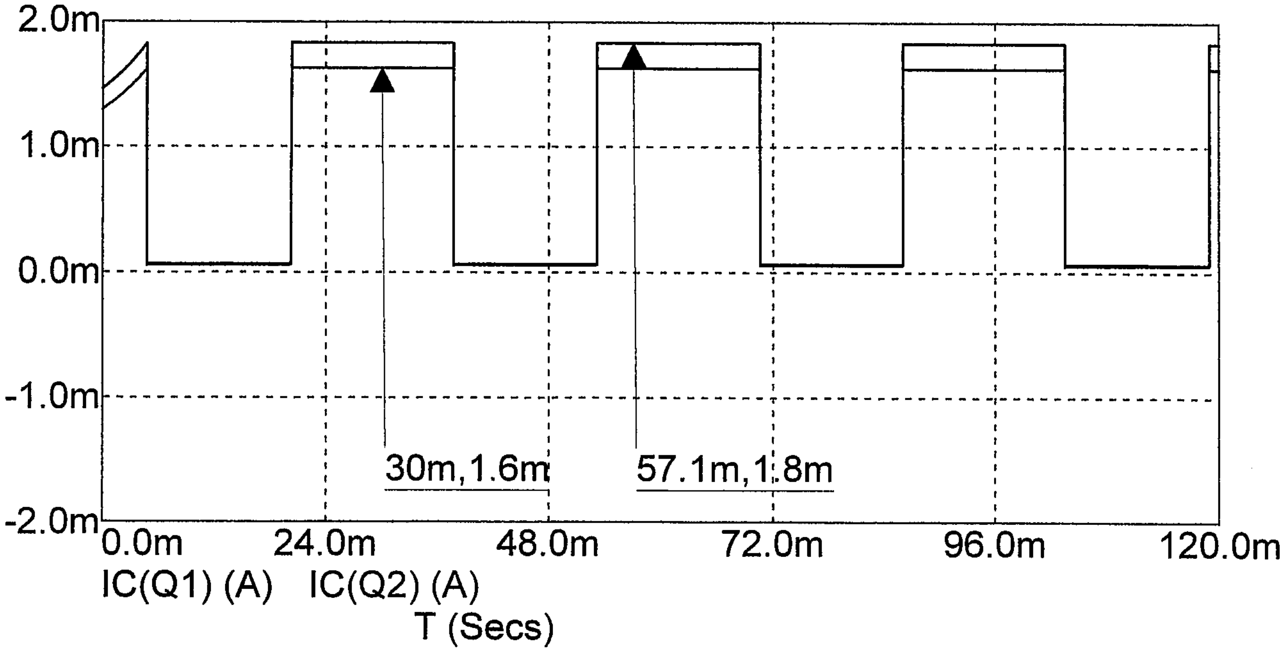






Micro-Cap 8 Evaluation Version
P1a2004_2.cir



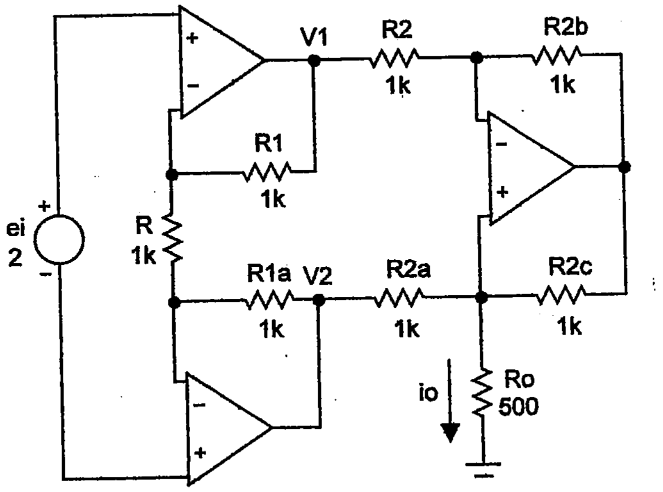


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2015/1

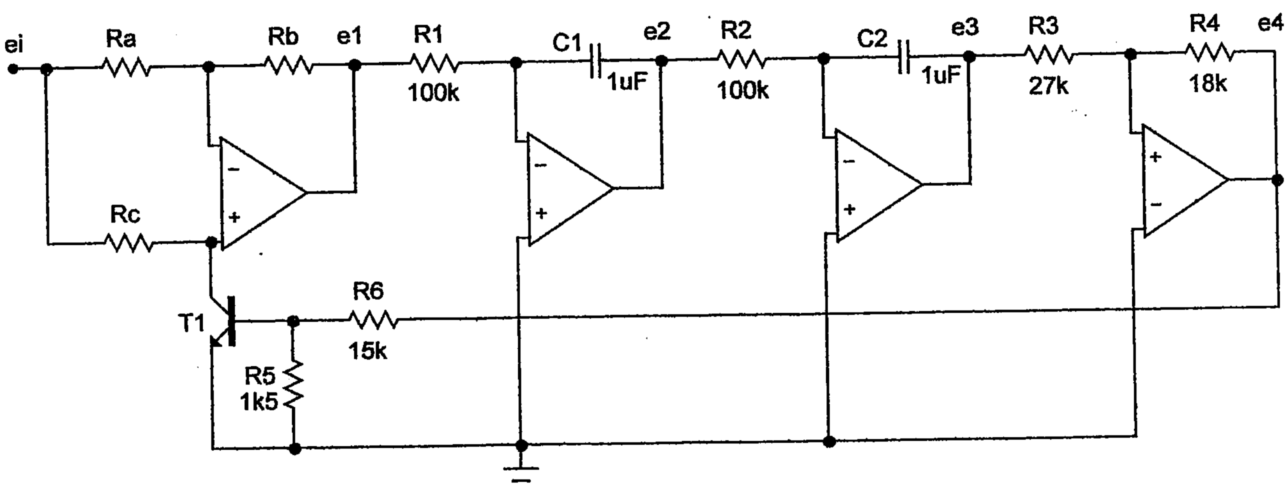
Prova 1 19/5/2015

Nome: GABARITO **Turma:** ______

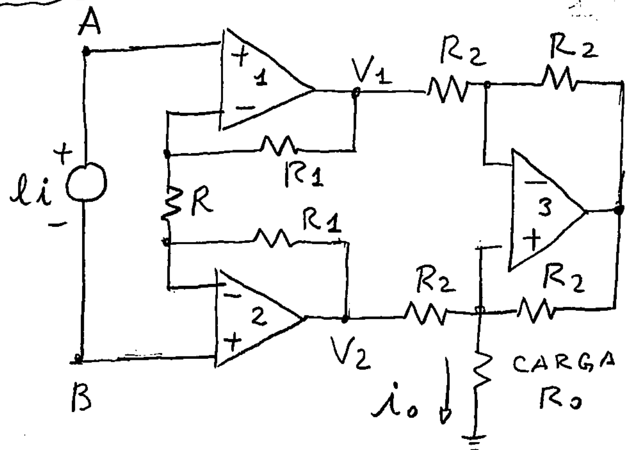
1. Examine o circuito a seguir, observe todos os detalhes e classifique a sua função. Usando a hierarquia, organização e método, equacione em formato literal, documentando cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Aplique os valores de circuito e apresente as conclusões finais sobre sua função. Use componentes ideais.



2. O circuito a seguir faz parte de um aparelho usado em pesquisas biológicas. A partir de um sinal variável mas sempre positivo em e_i, o aparelho produz na saída e_3 uma certa forma de onda oscilante.
   a) Examine o circuito e descreva em detalhes o seu funcionamento (será avaliado).
   b) Separe em blocos funcionais e equacione cada um em formato literal, descrevendo cada um com textos, equações e diagramas.
   c) Junte as equações com o objetivo de desenhar os gráficos de e_1, e_3 e e_4 com todos os valores de interesse calculados. Componentes ideais, alimentação simétrica de 15 Volts, $e_i = 3mV$ no momento, $R_a = R_b = R_c = 1M\Omega$.



Equacione o conversor tensão-corrente diferencial.



P1-2015/1

Separando em blocos e equacionando o amplif. diferencial com $e_+ = e_-$:

$$e_i = V_A - V_B$$

Superposição em (1):

$$e_-(1) = V_1 \frac{R+R_1}{R_1+R+R_1} + V_2 \frac{R_1}{R_1+R+R_1}$$

$$e_-(1) = \frac{V_1(R+R_1)+V_2 \cdot R_1}{R+2\cdot R_1}$$

Superposição em (2):

$$e_-(2) = V_1 \frac{R_1}{R_1+R+R_1} + V_2 \frac{R+R_1}{R_1+R+R_1}$$

$$e_-(2) = \frac{V_1 \cdot R_1 + V_2(R+R_1)}{R+2\cdot R_1}$$

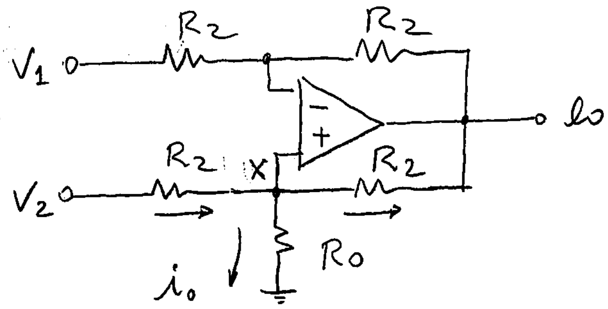
Como $e_+ = e_-$ em (1) e (2):

$$e_i = V_A - V_B = e_-(1) - e_-(2)$$

$$e_i = \frac{V_1(R+R_1)+V_2 R_1}{R+2\cdot R_1} - \frac{V_1 \cdot R_1 + V_2(R+R_1)}{R+2\cdot R_1}$$

$$e_i \cdot (R+2\cdot R_1) = V_1(R+\cancel{R_1}-\cancel{R_1}) + V_2(\cancel{R_1}-R-\cancel{R_1})$$

$$e_i \cdot (R+2\cdot R_1) = R(V_1-V_2) \quad // \quad (1)$$



KCL nó X:

$$-\frac{V_2-V_x}{R_2} + i_0 + \frac{V_x - e_0}{R_2} = 0$$

Interessa i_0:

$$i_0 = \frac{V_2 - V_x - V_x + e_0}{R_2}$$

$$i_0 = \frac{V_2 - 2\cdot V_x + e_0}{R_2} \quad (2)$$

V_x é variável interna → eliminar

Superposição em e_-:

$$e_- = V_1 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_0 \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

Como $e_- = e_+ = V_x$:

$$V_x = \frac{V_1 + e_0}{2} \quad (4)$$

Levando em (2):

$$i_0 = \frac{V_2 - 2\left(\frac{V_1+e_0}{2}\right) + e_0}{R_2}$$

$$i_0 = \frac{V_2 - V_1}{R_2} \rightarrow V_2 - V_1 = i_0 \cdot R_2$$

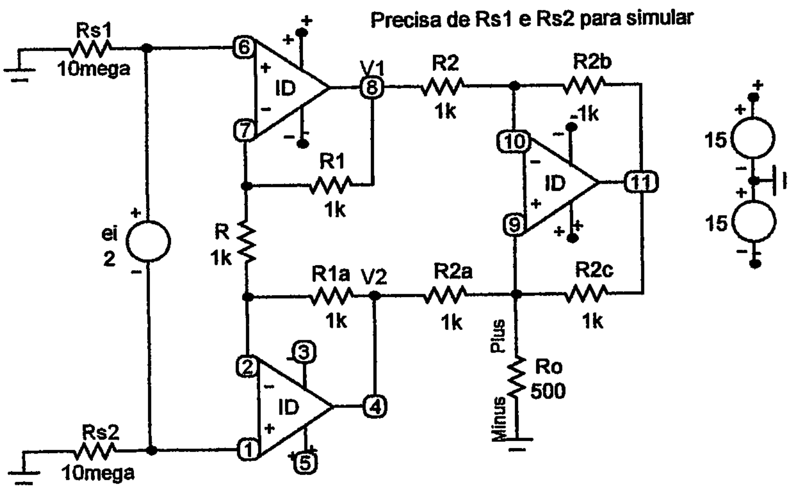
Levando em (1)

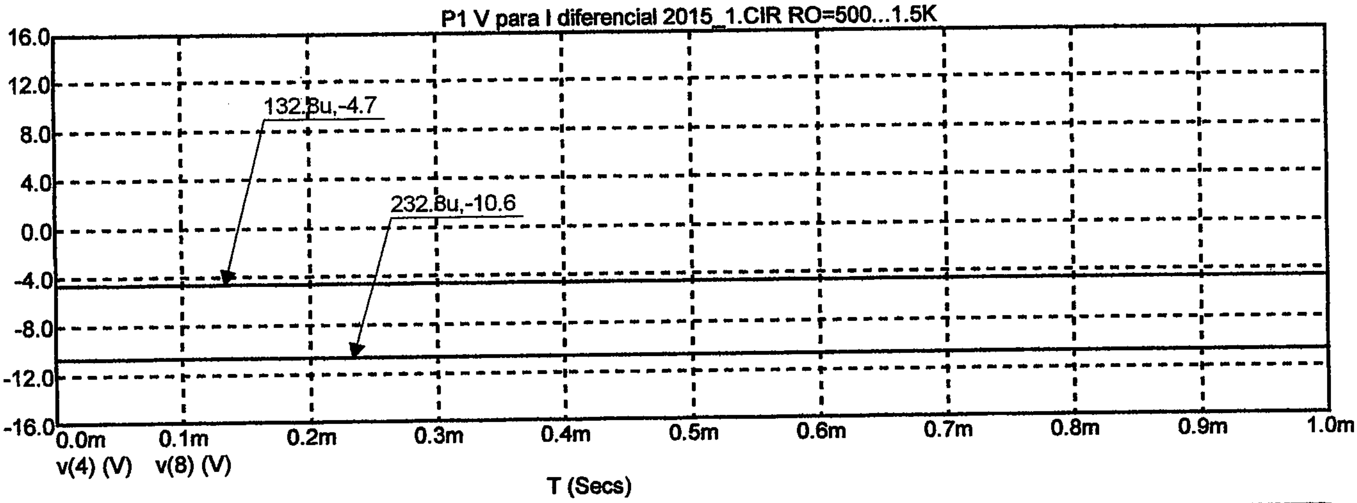
$$e_i(R+2R_1) = R(-i_0 R_2)$$

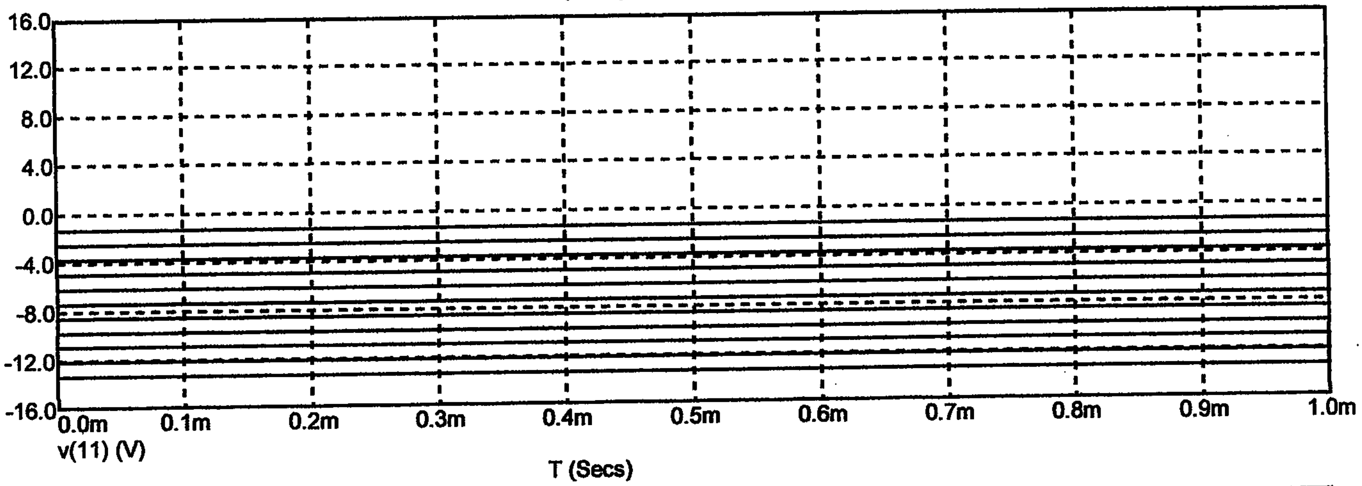
Isolando i_0:

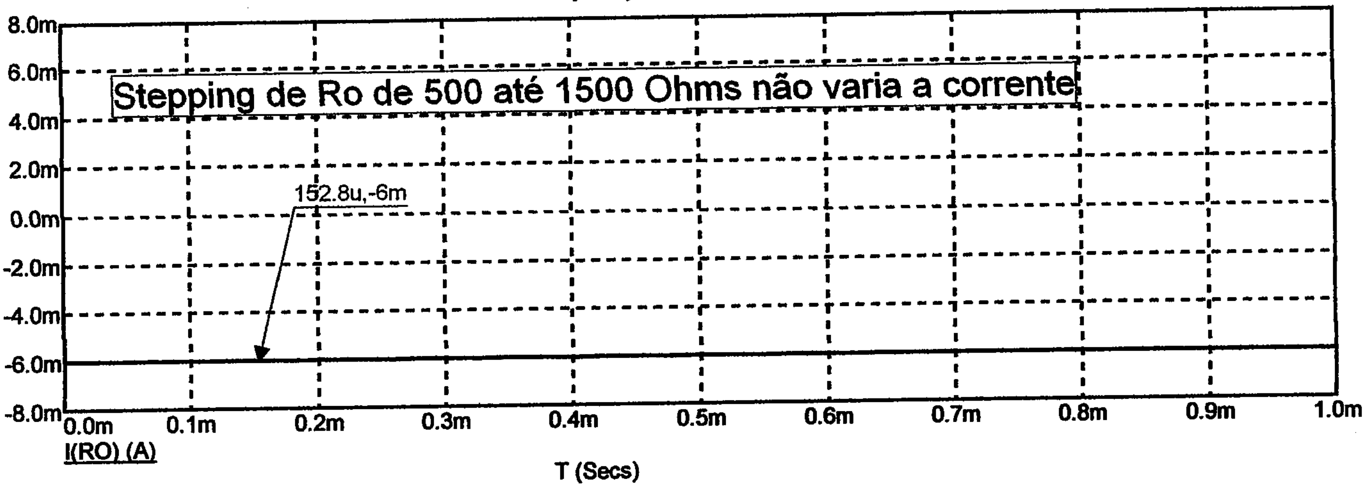
$$\frac{e_i(R+2\cdot R_1)}{R\cdot R_2} = -i_0$$

$$i_0 = -\frac{e_i}{R_2}\left(1+\frac{2\cdot R_1}{R}\right) \quad //$$

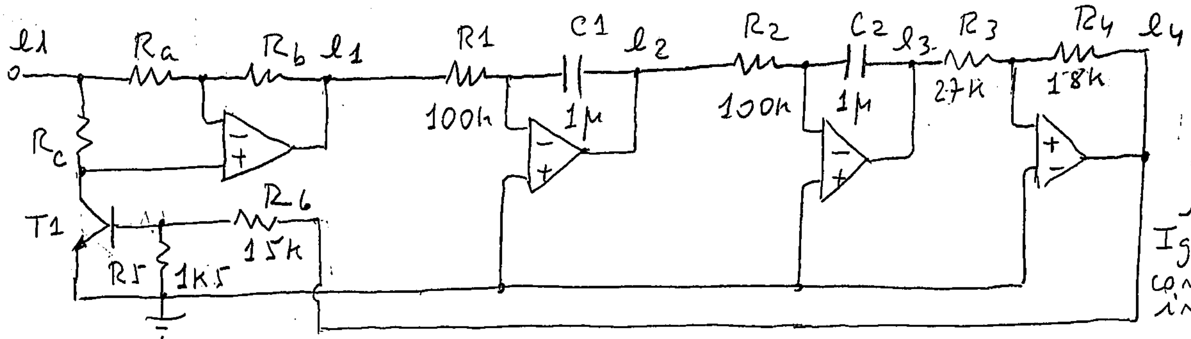

Precisa de Rs1 e Rs2 para simular
Rs1
10mega
Rs2
10mega
ei
2
ID
V1
V2
R
1k
R1
1k
R1a
1k
R2
1k
R2a
1k
R2b
-1k
R2c
1k
Ro
500
Plus
Minus
15
15
I


P1 V para I diferencial 2015_1.CIR RO=500...1.5K
132.8u,-4.7
232.8u,-10.6
v(4) (V)   v(8) (V)
T (Secs)


v(11) (V)
T (Secs)


Stepping de Ro de 500 até 1500 Ohms não varia a corrente
152.8u,-6m
I(RO) (A)
T (Secs)

O circuito a seguir faz parte de um aparelho usado em pesquisas biológicas. A partir de um sinal variável mas sempre positivo em e_i, o aparelho produz na saída e_3 uma certa forma de onda oscilante. a) Examine o circuito e descreva em detalhes o seu funcionamento. b) Separe em blocos, equacione em formato literal e junte as equações com o objetivo de desenhar a resposta temporal de e_2, e_3 e e_4 com todos os valores de interesse calculados. Alimentação simétrica de 15V, componentes ideais, $e_i = 3mV$ $R_a = R_b = R_c = 1M\Omega$.



$\int a \cdot dt = t$

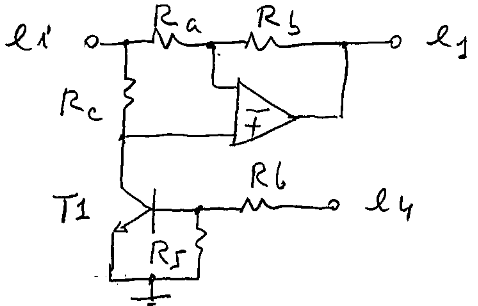
$\int t \cdot dt = \frac{t^2}{2}$

Ignorar as condições iniciais

P1 2011-1

---

a) Entrada e_i passa por um bloco linear inversor aparentemente e por dois integradores inversores.
O comparador com saída e_4 faz o transistor saturar ou cortar. Supondo transistor saturado, e_1 é o sinal e_i invertido. Este sinal negativo passa pelos dois integradores inversores e aparece negativo e decrescente com o tempo em e_3. Isso faz o comparador virar e $e_4 = -Vcc$ fazendo o transistor cortar...
Separando e equacionando os blocos:



Hipótese: $e_4 = +Vcc$ logo T1 está saturado.

$e_+ = 0$

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_b}{R_a + R_b} + \frac{e_1 \cdot R_a}{R_a + R_b}$$

Igualando e isolando a saída:

$$e_1 = -e_i \frac{R_b}{R_a} \;//$$

com valores:

$$e_1 = -e_i = -3mV \;//$$

Hipótese; $e_4 = -Vcc$ logo T1 está cortado.

$$e_+ = e_i$$

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_b}{R_a + R_b} + \frac{e_1 \cdot R_a}{R_a + R_b}$$

Igualando e isolando a saída:

$$\frac{e_1 \cdot R_a}{R_a + R_b} = e_i - \frac{e_i \, R_b}{R_a + R_b}$$

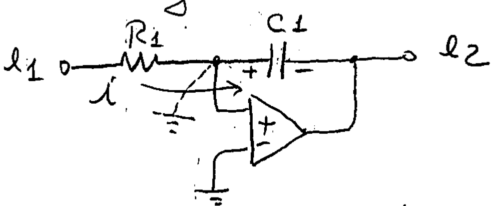
$$e_1 = \frac{R_a + R_b}{R_a}\left(1 - \frac{R_b}{R_a + R_b}\right) \cdot e_i \;//$$

Com valores:

$$e_1 = \frac{1+1}{1}\left(1 - \frac{1}{1+1}\right) \cdot e_i$$

$$e_1 = e_i = 3\,mV \;//$$

Integrador e_1:



$$i = \frac{e_1 - 0}{R_1} = C_1 \frac{dV_c}{dt} = -C_1 \cdot \frac{d}{dt} e_2$$

Isolando a saída e Integrando os dois lados:

$$\frac{d}{dt} e_2 = -\frac{e_1}{R_1 C_1}$$

$$e_2 = \frac{-1}{R_1 C_1} \int e_1 \, dt$$

considerando o valor inicial no capacitor:

$$e_2 = \frac{-1}{R_1 \cdot C_1} \int e_1 \cdot dt + e_2(0) \;//$$

com valores:

$$e_2 = \frac{-1}{100k \cdot 1\mu} \int 3\,mV \cdot dt + e_2(0)$$

$$e_2 = -30\,mV \cdot t + e_2(0) \;//$$

Bloco e_3 é igual:

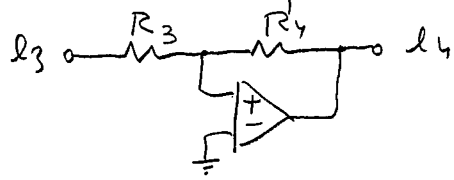
$$e_3 = \frac{-1}{R_2 \cdot C_2} \int e_2 \cdot dt + e_3(0) \;//$$

com valores:

$$e_3 = \frac{-1}{100k \cdot 1\mu} \int \left(-30\,mV \cdot t + e_2(0)\right) dt + e_3(0)$$

$$e_3 = 10 \cdot 30\,mV \cdot \frac{t^2}{2} + 10\, e_2(0) + e_3(0) \;// \quad (1)$$

Bloco comparador: $e_3 = 150\, t^2 + \ldots$



Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = e_3 \frac{R_4}{R_3 + R_4} + e_4 \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Igualando e isolando a entrada:

$$e_3 = -e_4 \cdot \frac{R_3}{R_4} \;//$$

com valores e $e_4 = \pm Vcc$:

$$e_3 = -(\pm Vcc) \cdot \frac{27k}{27k + 18k}$$

$$e_3 = \mp 9 \text{ Volts} \;//$$

Juntando as equações: Conforme análise em a), o circuito é um oscilador pois e_1 inverte e_i sob comando de e_4. Como e_i é um valor fixo de 3 mV, e_2 varia linearmente com o tempo (triangular) e e_3 são parábolas com limites em $\pm$ 9 Volts.

Tempo para e_3 passar de -9 Volts para 9 Volts:

Como e_3 tem mais ganho e varia mais rápido, podemos ignorar o valor inicial de C_1.

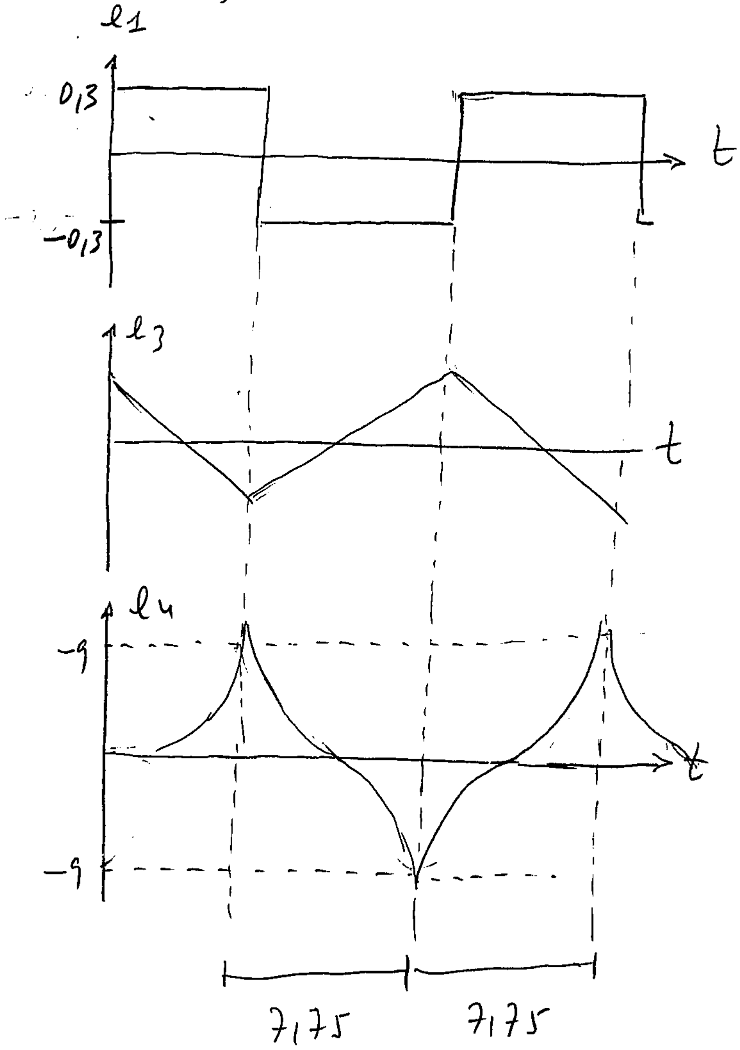
Usando (1):

$$9 = 300mV \cdot \frac{t^2}{2} + (-9)$$

$$t^2 = \frac{18}{150mV} = 120 \rightarrow t = 10,95 \text{ segundos} //$$

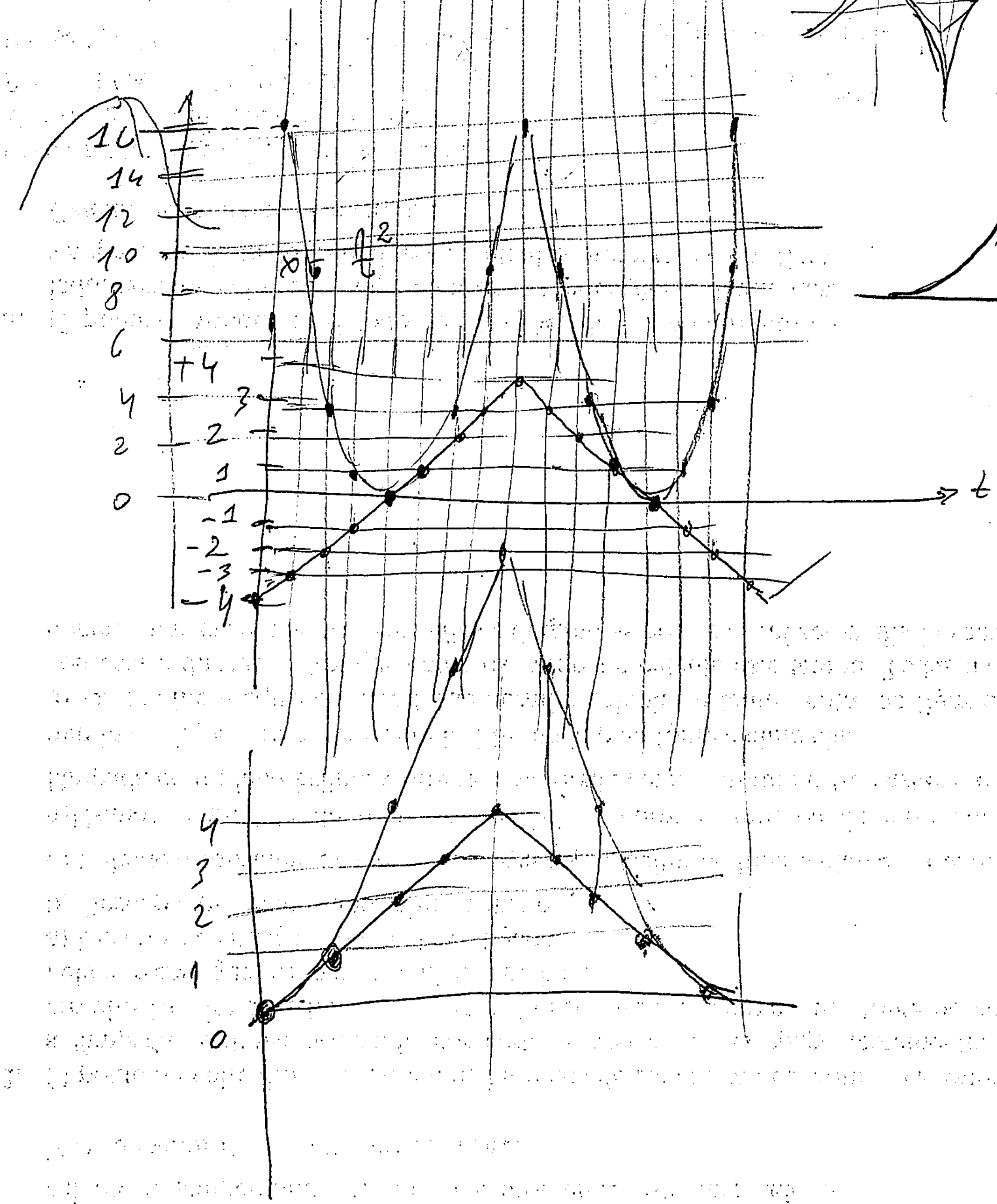
Por simetria, o tempo de descida é o mesmo.

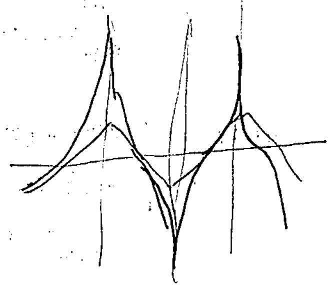
Gráficos:

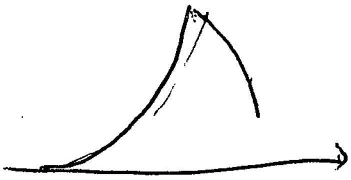


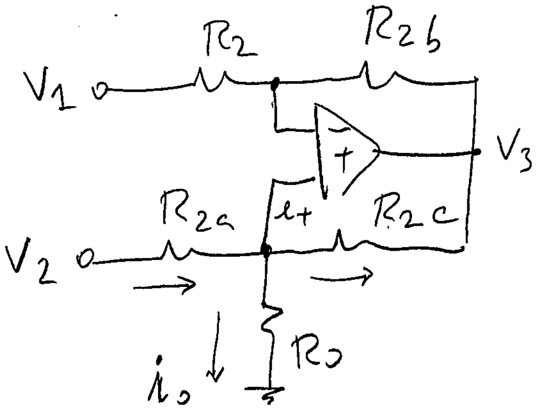
e_1' $\pm 3mV$ $-3mV$ $\quad e_1 = \mp 3mV \qquad e_4 = \pm V_{cc}$

$$e_2 = \frac{-1}{100k \cdot 1\mu} = -30mV \cdot t$$









— Aluno demonstra conhecimento
— Falta de atenção e foco
— Hierarquia:
entradas, saídas, objetivos
realimentações
familiaridades
simetrias, repetições
funcionamento
caminho para a solução
$l_+ = l_-$ sempre.
— Equacionar os blocos fora de ordem (qual a entrada?)
— Equacionar cada bloco até o fim

KCL em l_+:

$$-\frac{V_2 - l_+}{R_{2a}} + i_o + \frac{l_+ - V_3}{R_{2c}} = 0$$

Isolando a saída:

$$i_o = \frac{V_2 - l_+}{R_{2a}} - \frac{l_+ - V_3}{R_{2c}}$$

Linear: $l_+ = l_- = V_1 \frac{R_{2b}}{R_2 + R_{2b}} + V_3 \frac{R_2}{R_2 + R_{2b}} = \frac{V_1 \cdot R_{2b} + V_3 R_2}{R_2 + R_{2b}}$

Como os resistores são iguais:

$$l_+ = \frac{V_1 + V_3}{2}$$

$$i_o = \frac{V_2 + V_3 - 2 \cdot l_+}{R_2} = \frac{V_2 + V_3 - 2\frac{V_1 + V_3}{2}}{R_2}$$

$$i_o = \frac{V_2 - V_1}{R_2}$$

- V_1 e V_2 são variáveis internas. Usando o bloco 1:

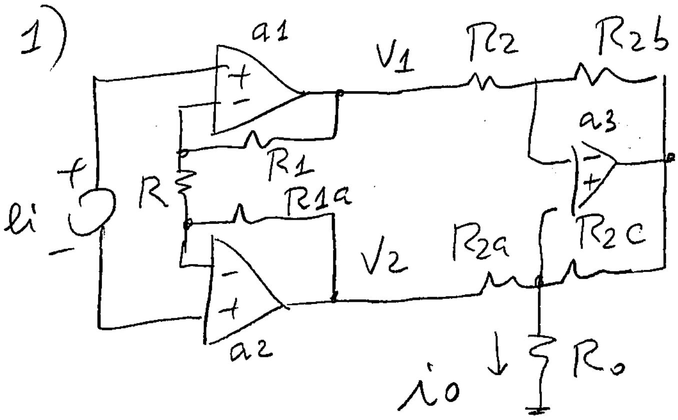
$$i_o = \frac{-l_i \,(R + 2R_1)}{R \cdot R_2}$$

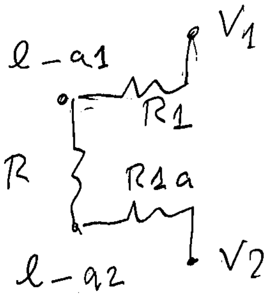
$$i_o = -\frac{l_i}{R_2}\left(1 + \frac{2 \cdot R_1}{R}\right) //$$

$$i_o = -\frac{2}{1}\left(1 + \frac{2 \cdot 1}{1}\right) \rightarrow i_o = -6\,mA //$$

ENG 478 P1 2015-1

1)





a1

$$e_- = V_1 \frac{R+R_{1a}}{R_1+R+R_{1a}} + V_2 \frac{R_1}{R_1+R+R_{1a}} = \frac{V_1(R_{1a}+R) + V_2 \cdot R_1}{R_1+R+R_{1a}}$$

a2

$$e_- = \frac{V_1 \cdot R_{1a} + V_2 (R_1+R)}{R_1+R+R_{1a}}$$

Como $e_- = e_+$ e $e_i = e_{1-} - e_{2-}$ vem:

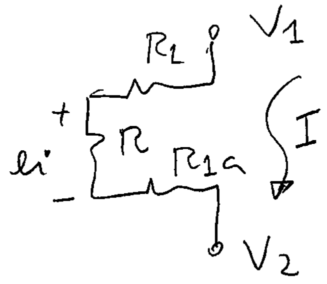
$$e_i = \frac{V_1(R_1+R) + V_2 \cdot R_1 - V_1 \cdot R_{1a} - V_2(R_1+R)}{R_1+R+R_{1a}}$$

como $R_1 = R_{1a}$ e isolando a saída:

$$e_i(R+2\cdot R_1) = V_1(R_1+R-R_1) + V_2(R_1-R_1-R) = R(V_1-V_2)$$

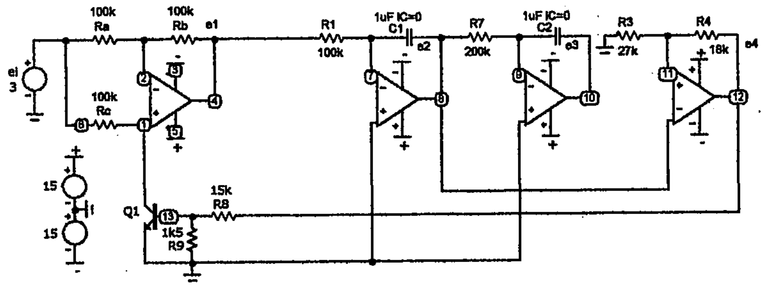
$$V_1 - V_2 = \frac{e_i(R+2R_1)}{R} \quad //$$

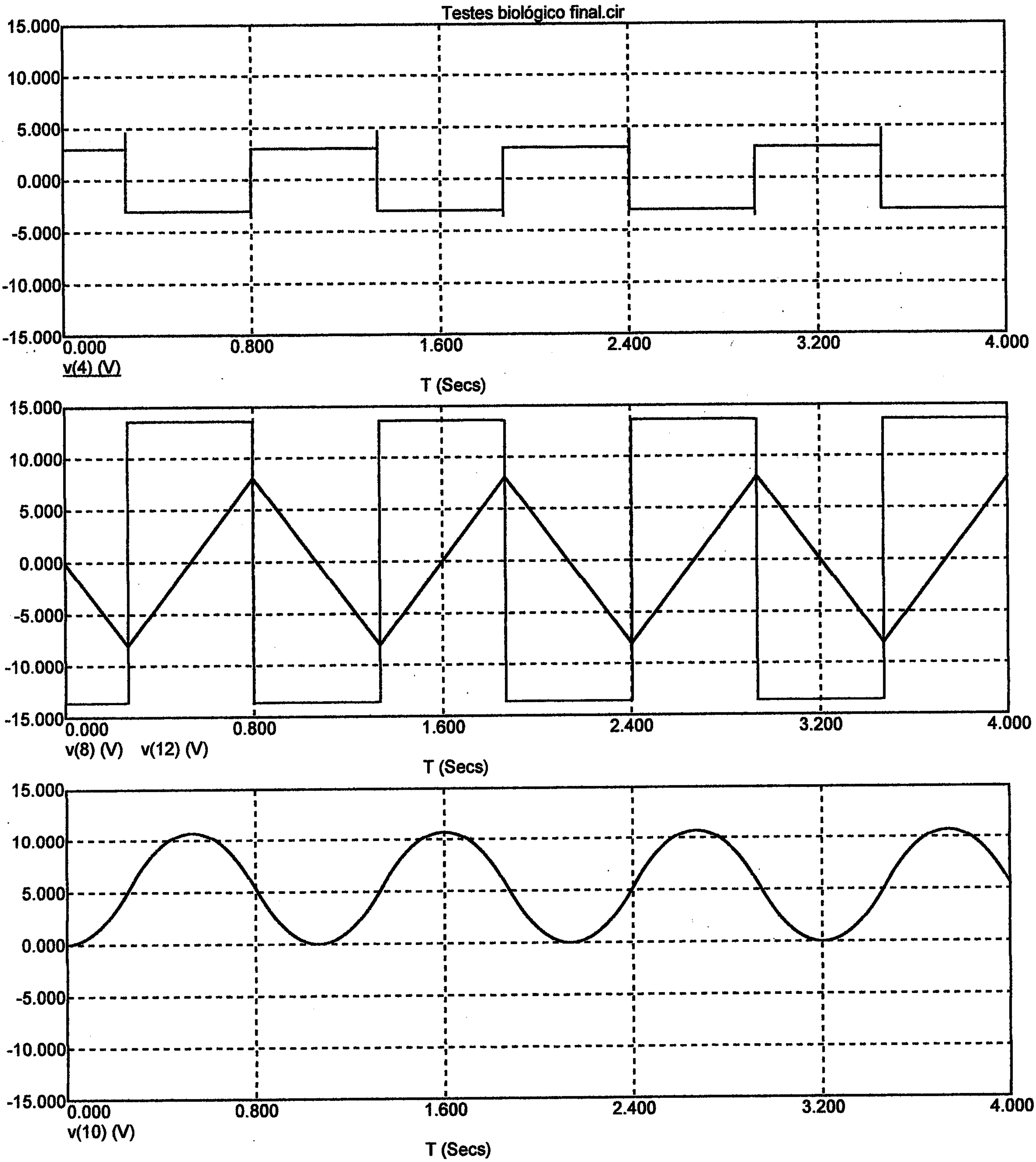
Solução mais simples; como $e_+ = e_-$, a tensão no resistor R é o e_i:



$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_1+R+R_{1a}} = \frac{e_i}{R}$$

Então $V_1 - V_2 = \frac{e_i}{R}(R+2\cdot R_1)$ //


100k
Ra
100k
Rb
e1
100k
Rc
R1
100k
1uF IC=0
C1
e2
R7
200k
1uF IC=0
C2
e3
R3
27k
R4
18k
e4
Q1
15k
R8
1k5
R9
15
15


Testes biológico final.cir
15.000
10.000
5.000
0.000
-5.000
-10.000
-15.000
0.000
0.800
1.600
2.400
3.200
4.000
v(4) (V)
T (Secs)
v(8) (V) v(12) (V)
T (Secs)
v(10) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada

Prova 2 2001/2 22/4/2002

Nome: GABARITO **Turma:** _____

1. (5,0 pontos) A medida do fluxo (velocidade de deslocamento) da água em encanamentos é feita a partir do aumento da pressão interna, que é proporcional ao quadrado da velocidade.

   Projete um circuito capaz de linearizar a resposta de um sensor de pressão de modo que um voltmetro com escala de 0 a 6 Volts indique diretamente a velocidade da água no encanamento, de maneira linear.

   O sensor utilizado apresenta uma saída de tensão entre 2,5 e 12,5 Volts, sob baixa impedância, onde 2,5V corresponde ao fluxo zero no encanamento.

   Execute as tarefas a seguir, documentando passo-a-passo:

   a) Descreva o princípio de funcionamento da sua idéia
   b) Acerte a faixa de tensões do sensor para se adequar ao seu circuito
   c) Dimensione o valor de cada componente para obter a resposta na escala solicitada
   d) Faça uma análise crítica do seu trabalho.

   Arredonde os valores: 3 dígitos significativos.

2. (5 pontos) O circuito da página seguinte foi encontrado em um amplificador de áudio.

   Examine cuidadosamente o esquema, procurando entender o circuito como um todo e cada um dos blocos funcionais (identifique no desenho como a, b, c ...). Descreva esta etapa.

   Equacione a tensão de saída de cada bloco em função da sua entrada, com o objetivo de esboçar, gráficamente a curva de ganho x frequência de e_3, e_4 e e_5, a partir do esboço da saída de cada bloco. Descreva cada etapa desta tarefa.

   Complete o trabalho analizando novamente o circuito e escrevendo suas observações e conclusões.

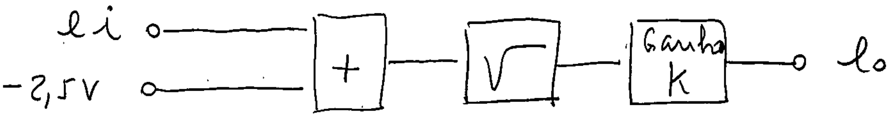
   Eventuais estruturas de primeira ordem não precisam ser equacionadas mas devem ser descritas.

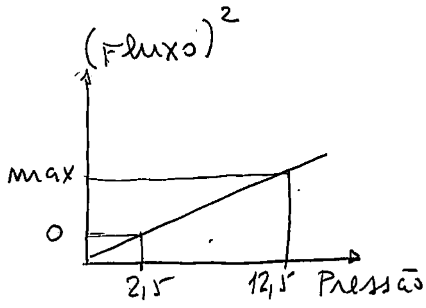
   Procure trabalhar de maneira organizada, identificando cada bloco (a, b, c ...) e nomeando-o convenientemente ao longo da solução da questão.

a)

Objetivo: linearizar um sensor que apresenta uma saída $e_i = (\text{fluxo})^2$ e um DC inicial de 2,5 Volts. A saída linear em tensão deve estar entre os limites $e_o = 0 \ldots 6$ Volts.

Diagrama em blocos:





Princípio de funcionamento:

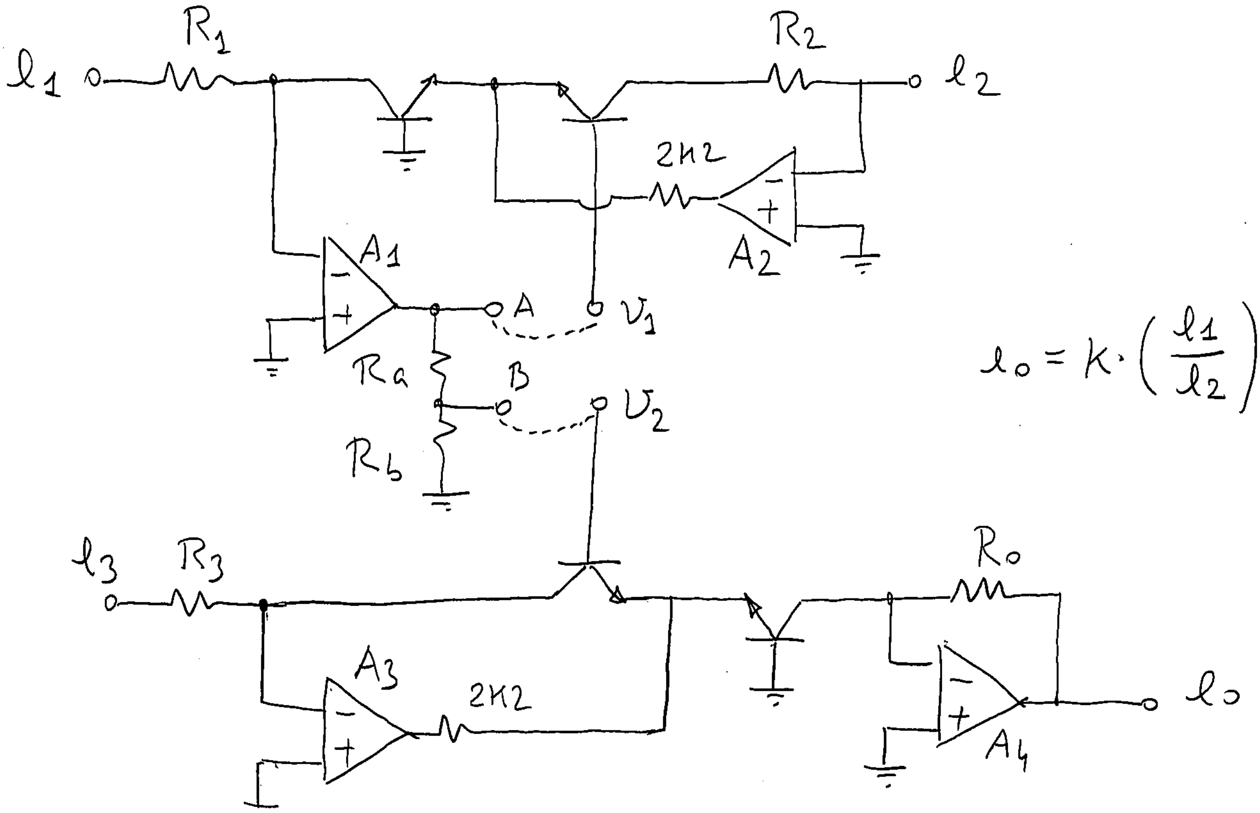
Como o sinal de entrada é sempre positivo, é possível usar um Bloco Multi-Função configurado para executar a operação de $K \cdot \sqrt{e_i}$.

O bloco multi-função se baseia em operações com logaritmos e anti-logaritmos:

$$\text{antilog}(m \cdot \log V) = V^m \quad \text{ou então:}$$

$$\text{antiln}(m \cdot \ln V) = V^m$$

Bloco multi-função:



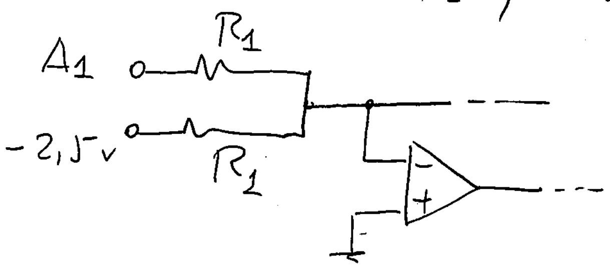
$$e_o = K \cdot \left(\frac{e_1}{e_2}\right)^x \cdot e_3$$

Para o caso de $x < 1$ vale as conexões:

$V_1 = A \quad V_2 = B \quad V_2 = \frac{V_1}{a} \quad a = \frac{R_a + R_b}{R_b}$

Então: $I_0 = \frac{R_0}{R_3} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{1/a} \cdot \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^{1/a} \cdot I_3$

— b) Para adaptar o sensor ao bloco multi-função é preciso somar $V_{ref} = -2{,}5$ Volts. Devido a massa virtual de A_1, basta duplicar o circuito de entrada:



— c) Examinando a equação acima, podemos definir e calcular os valores dos componentes:

Fazendo $R_1 = R_2$ e $a = 2 \Rightarrow R_a = R_b$ e $I_2 = I_3 = 1$

a equação fica: $I_0 = \frac{R_0}{R_3} \cdot \sqrt{I_1}$

Acerto de escala: $\sqrt{10} = 3{,}1626$

$K \cdot \sqrt{10} = 6$ Volts $\Rightarrow K = 1{,}897 \cong 1{,}9$

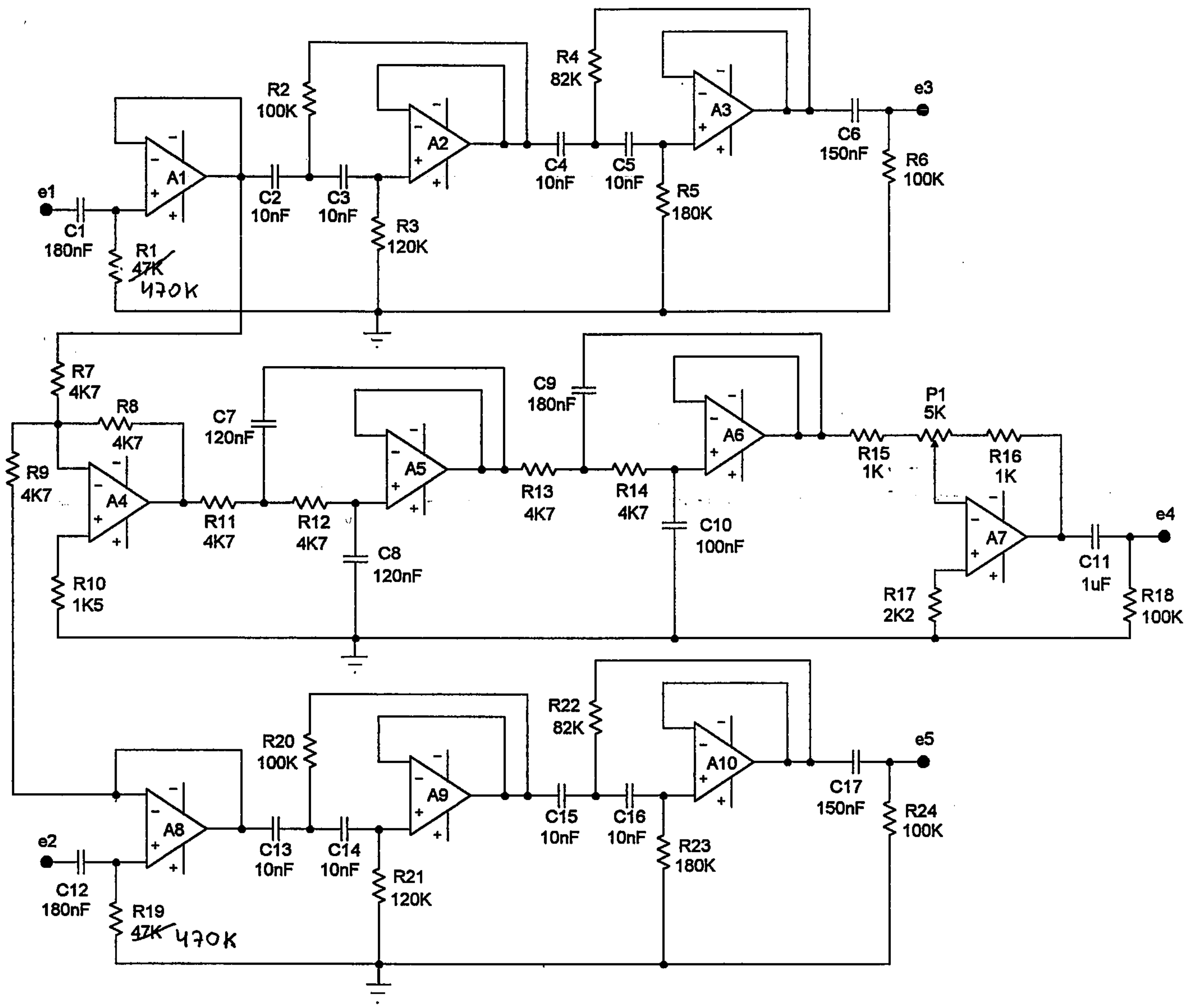
Portanto: $\frac{R_0}{R_3} = 1{,}9$

Escolhendo $R_0 = 1{,}2\,k\Omega$ então $R_3 = 2{,}27\,k$

A equação fica: $I_0 = 1{,}9 \cdot \sqrt{I_1}$ //

— d) Analizando o trabalho:

1. O circuito é estável pois a ação da temperatura é compensada no caminho $ln \rightarrow antiln$.
2. Um trimpot no circuito de $V_{ref} = -2{,}5$ é necessário para a calibragem perfeita, corrigindo as tolerâncias e aproximações no valor dos resistores.



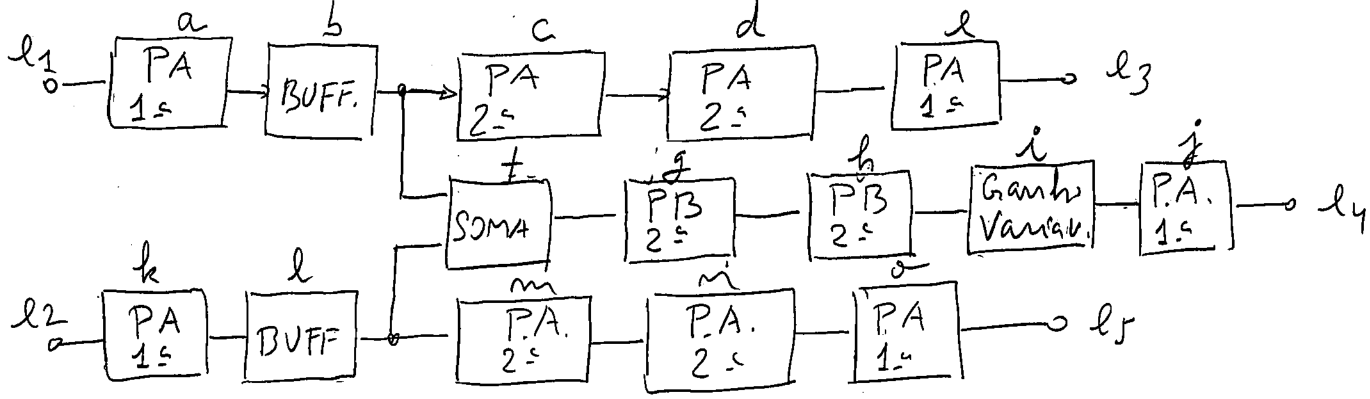
$$T_{pb}(s) = \frac{\dfrac{K}{R_1C_2R_3C_4}}{s^2 + \left[\dfrac{1}{R_1C_2} + \dfrac{1}{R_3C_2} + \dfrac{1-K}{R_3C_4}\right]s + \dfrac{1}{R_1C_2R_3C_4}} = \frac{G_o\omega_o^{\,2}}{s^2 + \dfrac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^{\,2}}$$

$$T_{pa}(s) = \frac{Ks^2}{s^2 + \left[\dfrac{1}{R_4C_3} + \dfrac{1}{R_4C_1} + \dfrac{1-K}{R_2C_1}\right]s + \dfrac{1}{R_2C_1R_4C_3}} = \frac{G_os^2}{s^2 + \dfrac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^{\,2}}$$

$$T_{pf}(s) = \frac{\dfrac{K}{R_3C_4}s}{s^2 + \left[\dfrac{1}{R_3C_4} + \dfrac{1}{R_3C_1} + \dfrac{1-k}{R_2C_1}\right]s + \dfrac{1}{R_2C_1R_3C_4}} = \frac{G_o\dfrac{\omega_o}{Q}s}{s^2 + \dfrac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^{\,2}}$$

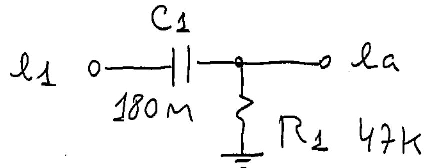
O circuito é formado por vários conjuntos de filtros associados em cascata, compondo filtros de ordem superior. Os conjuntos superior e inferior são iguais. O conjunto central é diferente.

Diagrama em blocos:



Examinando e calculando cada bloco:

<u>Bloco a:</u>



Filtro passa-altas de 1ª ordem. Bloqueia o DC na entrada

Divisor de tensão. Frequência de corte é o ponto de $-3dB$ ou $\frac{1}{\sqrt{2}}$:

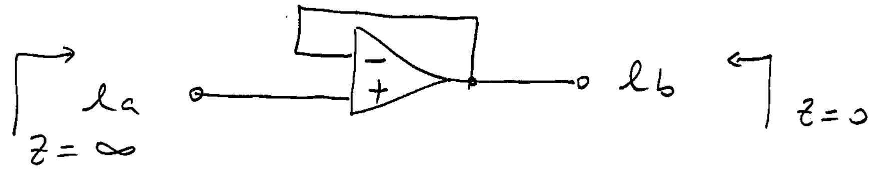
$$e_a = e_1 \cdot \frac{R_1}{X_{C1} + R_1} = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \qquad \text{como} \quad X_C = \frac{1}{jwC} = \frac{1}{j2\pi fC}$$

Em módulo:

$$\frac{1}{2\pi f_a C} + R_1 = \sqrt{2} \cdot R_1$$

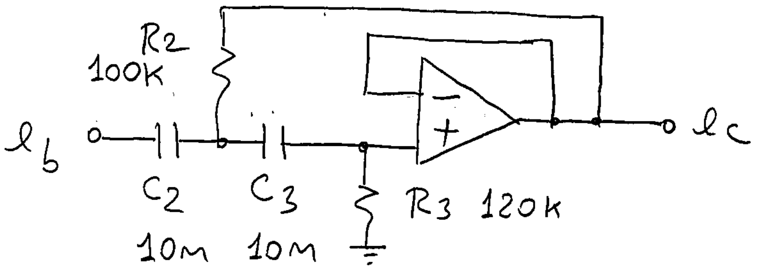
$$f_a = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R_1 (\sqrt{2} - 1)} \Rightarrow f_a = 4{,}5\,Hz$$

Bloco b: Buffer seguidor de tensão.



Ganho unitário

Bloco c: Filtro PA tipo VCVS de 2ª ordem, com ganho unitário.



Na equação geral, interessa o termo em W_0^2:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_3} = \frac{1}{100 \cdot 10^3 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^{-9}}$$

Calculando: $W_0 = 913 \; rad/s \rightarrow f_c = 145 \; Hz$ //

Bloco d: Mesmo tipo de filtro:

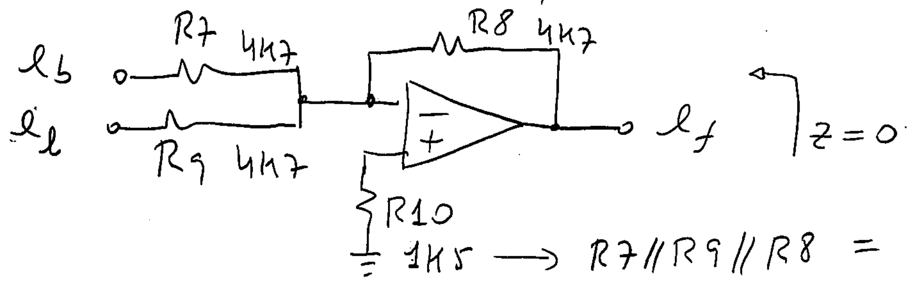
$$W_0^2 = \frac{1}{R_4 \cdot R_5 \cdot C_4 \cdot C_5} = \frac{1}{82 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^{-9}}$$

Calculando: $W_0 = 823 \; \frac{rad}{s} \rightarrow f_d = 131 \; Hz$ //

Bloco e: Passa-altas de 1ª ordem
Bloqueia o DC na saída.

$$f_e = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_6 \cdot C_6 \cdot (\sqrt{2} - 1)} \Rightarrow f_e = 26 \; Hz \; //$$

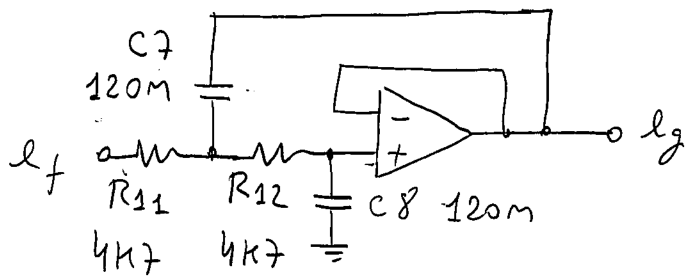
Bloco f: Amplificador somador com ganho unitário, inversor.



$e_f = -(e_b + e_e)$

$\rightarrow R7 // R9 // R8 = 1{,}57K$ compensação de corrente offset.

Bloco g: Filtro PB tipo VCVS 2ª ordem, com ganho unitário.



Na equação geral, interessa o termo em W_0^2:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_{11} \cdot R_{12} \cdot C_7 \cdot C_8} = \frac{1}{4{,}7 \cdot 10^3 \cdot 4{,}7 \cdot 10^3 \cdot 120 \cdot 10^{-9} \cdot 120 \cdot 10^{-9}}$$

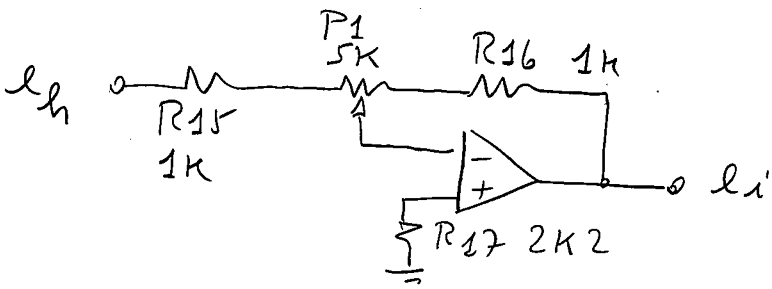
calculando: $W_0 = 1773$ rad/s $\Rightarrow f_g = 282$ Hz //

Bloco h: Mesmo tipo de filtro;

$$W_0^2 = \frac{1}{R_{13} \cdot R_{14} \cdot C_9 \cdot C_{10}} = \frac{1}{4{,}7 \cdot 10^3 \cdot 4{,}7 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$

$W_0 = 1586 \frac{rad}{s} \rightarrow f_h = 252$ Hz //

Bloco i: Amplificador inversor de ganho variável;

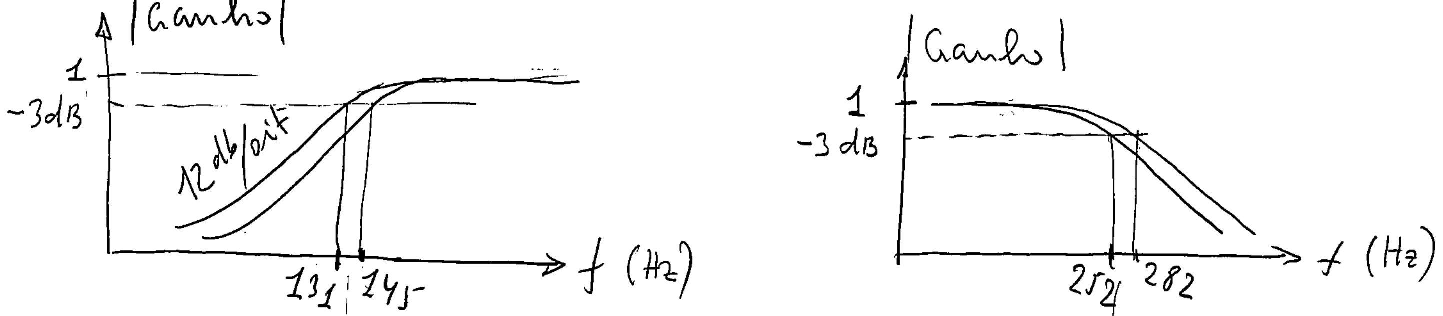


Limites do ganho:

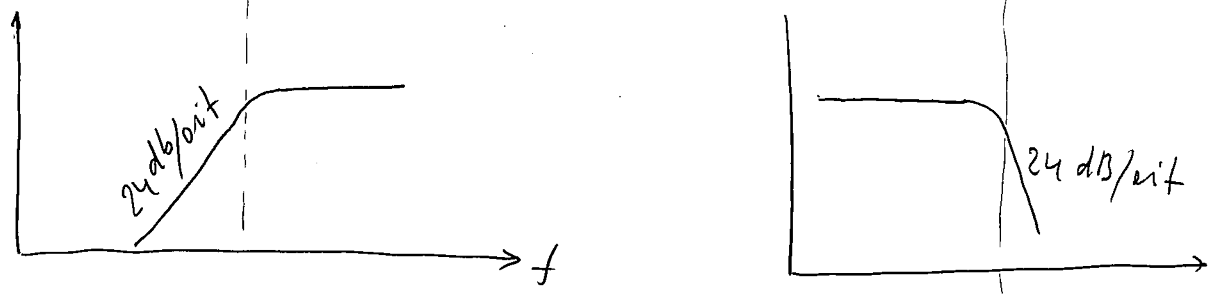
$$e_{4\,máx} = -e_h \frac{P_1+R_{16}}{R_{15}} = -e_h \frac{5+1}{1} = -6\,e_h \quad //$$

$$e_{4\,mín} = -e_h \frac{R_{16}}{P_1+R_{15}} = -e_h \frac{1}{5+1} = -\frac{e_h}{6} \quad //$$

Bloco j: Filtro P/A de 1ª ordem. Bloqueia o DC na saída. $f_j = 3,84$ Hz



Somando:



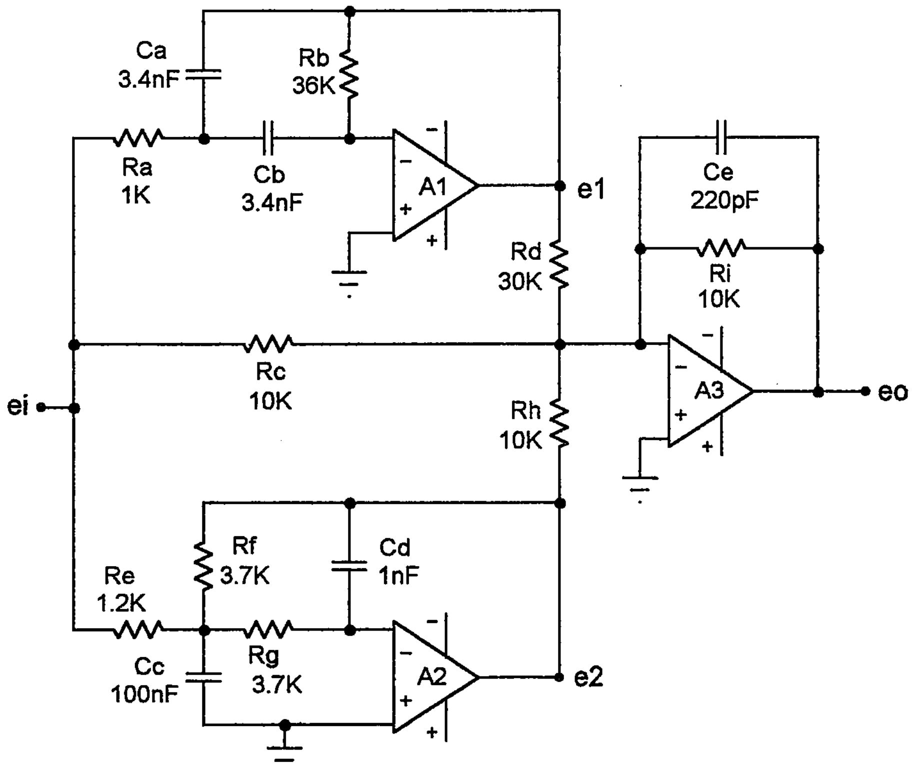
Análise final: O circuito recebe os canais esquerdo e direito de som, elimina os graves e leva para as saídas esquerda e direita.
O circuito junta as entradas, elimina os agudos e leva para uma saída única de graves.
Cada conjunto de 2 filtros em cascata forma um filtro de 2ª + 2ª = 4ª ordem → 24 db/oitava.
Bloco de ganho permite ajustar o volume do canal de graves.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2002/1

Prova 2 23/9/2002

Nome: GABARITO **Turma:** _____

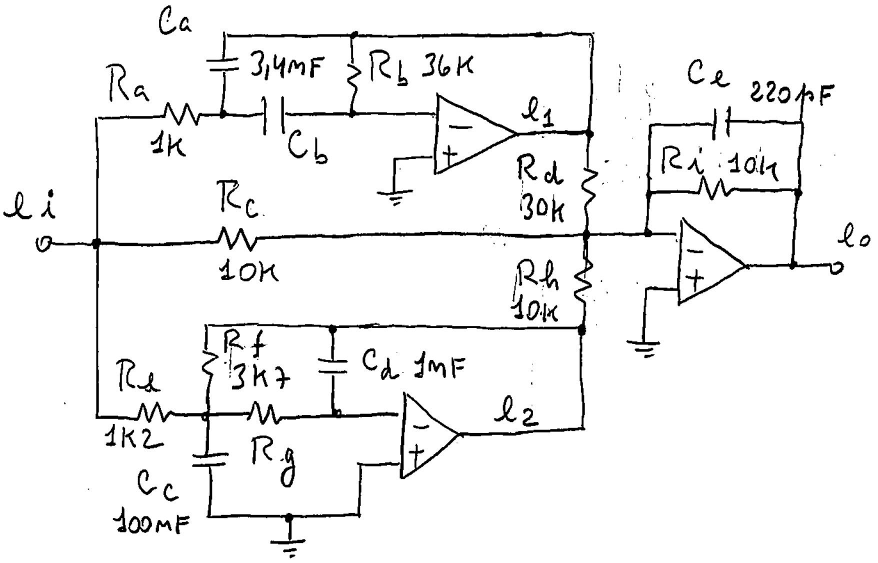
1. (5 pontos) Esboce a curva de resposta em frequência das saídas e_1 e e_2 e depois desenhe, com precisão, a curva da saída e_0. Apoie os seus cálculos nas informações fornecidas em anexo. Documente cada fase de cálculo com uma frase orientadora. Coloque valores numéricos nos gráficos e desenhe os flancos de subida e descida com a inclinação correta. Arredonde os valores calculados.



2. (5 pontos) Projete um voltmetro analógico para testar a tensão de saída de acendedores de gás. A tensão é DC pulsada mas um circuito condicionador tipo diodo-capacitor na entrada do voltmetro armazena a tensão de pico que deve ser medida. Descreva e justifique cada passo do projeto, cujas características estão descritas a seguir:
   Faixa única de 20Volts a 20kVolts
   Dreno de corrente máximo: 100μA.

Dados adicionais:
   Alimentação com pilhas de 12Volts (supor tensão constante)
   Galvanômetro: 0 – 5mA a plena escala. R=1500Ω
   Ajuste de calibração
   Estável com a temperatura.

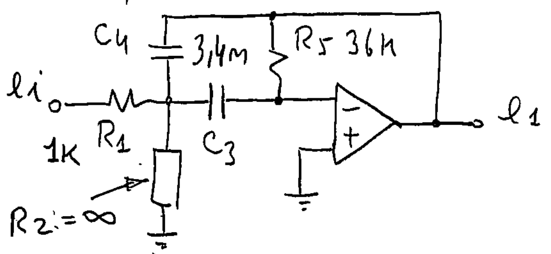
Esboce a curva de resposta em frequência das saídas e_1 e e_2 e desenhe, com precisão, a curva de saída e_o. Apoie os seus cálculos nas informações fornecidas. Documente cada passo do cálculo com uma frase orientadora. Desenhe os flancos de subida e descida com a inclinação correta. Arredonde os valores obtidos.



P2 2002/1

Filtro Passa-Faixa GIRM:

Comparando com o padrão:



$$\frac{e_1}{e_i} = \frac{\dfrac{-S}{R_1 \cdot C_4}}{S^2 + \dfrac{S}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \dfrac{1}{R_1 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot \dfrac{W_0}{\varphi} \cdot S}{S^2 + \dfrac{W_0}{\varphi} S + W_0^2}$$

comparando as equações:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_5 \cdot C_3\, C_4} = \frac{1}{10^3 \cdot 36 \cdot 10^3 \cdot (3{,}4 \cdot 10^{-9})^2} \rightarrow W_0 = 49019 \ \frac{rad}{s}$$

$$\text{Logo, } f_0 = \frac{W_0}{2\pi} \longrightarrow f_0 = 7{,}8\ kHz \ //$$

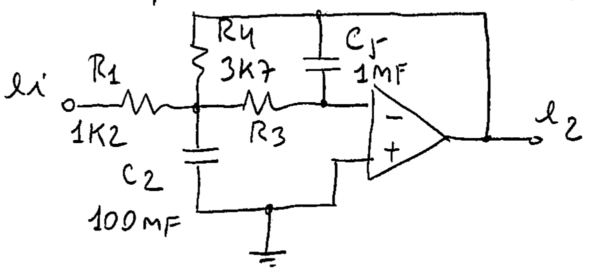
$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right) = \frac{1}{36\cdot 10^3}\cdot 2\left(\frac{1}{3{,}4\cdot 10^{-9}}\right) = 16340$$

Portanto, $\varphi = 3$ //

$$H_0\cdot\frac{W_0}{\varphi} = \frac{-1}{R_1\cdot C_4} = \frac{-1}{10^3\cdot 3{,}4\cdot 10^{-9}} \longrightarrow H_0 = -18 //$$

Filtro Passa-Baixa GIRM:

Comparando com o padrão:



$$\frac{e_2}{e_i} = \frac{\dfrac{-1}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_5}}{S^2+\dfrac{S}{C_2}\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)+\dfrac{1}{R_3\cdot R_4\cdot C_2\cdot C_5}} = \frac{H_0\cdot W_0^2}{S^2+\dfrac{W_0}{\varphi}S+W_0^2}$$

Comparando as equações:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_3 R_4 C_2 C_5} = \frac{1}{(3{,}7\cdot 10^3)^2\cdot 100\cdot 10^{-9}\cdot 1\cdot 10^{-9}} \rightarrow W_0 = 27027\ \tfrac{rad}{s}$$

então $f_0 = \frac{W_0}{2\pi} \longrightarrow f_0 = 4{,}3\ kHz$ //

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{C_2}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}\right) = \frac{1}{100\cdot 10^{-9}}\left(\frac{1}{1{,}2\cdot 10^3}+\frac{1}{3{,}7\cdot 10^3}+\frac{1}{3{,}7\cdot 10^3}\right) = 13739$$

então, $\varphi = 1{,}97$ //

$$H_0\cdot W_0^2 = \frac{-1}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_5} = \frac{-1}{1{,}2\cdot 10^3\cdot 3{,}7\cdot 10^3\cdot 100\cdot 10^{-9}\cdot 10^{-9}} = -225\cdot 10^8$$

então, $H_0 = 3{,}08$ //

Somador inversor:

$$\frac{e_o}{e_1} = -\frac{R_i}{R_d} = -\frac{10k}{30k} = -\frac{1}{3}$$

$$\frac{e_o}{e_2} = -\frac{R_i}{R_b} = -\frac{10k}{10k} = -1$$

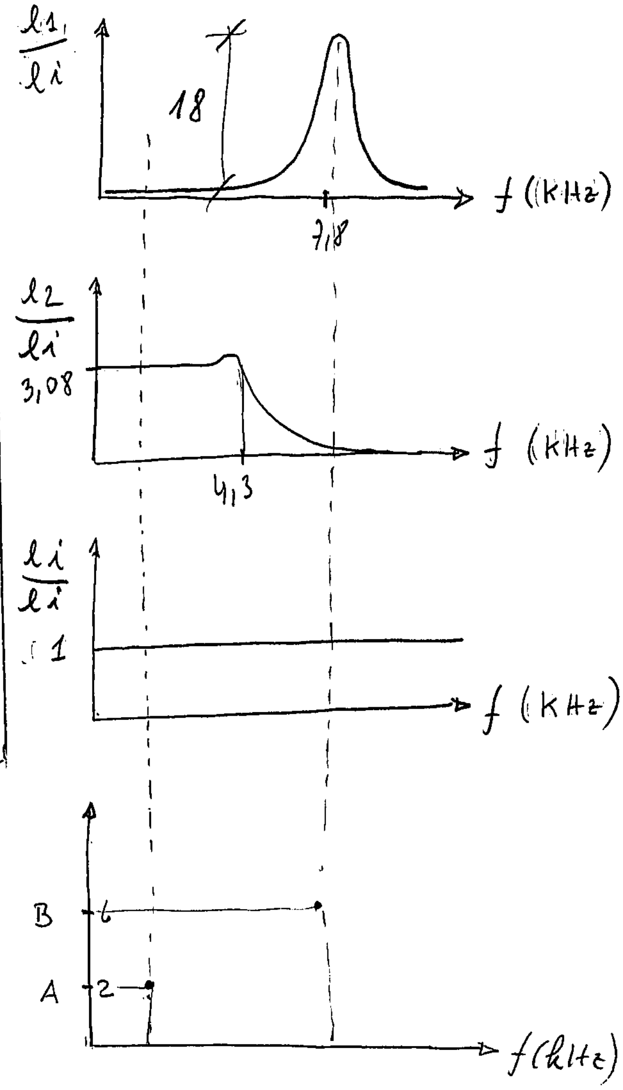
$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_i}{R_c} = -\frac{10k}{10k} = -1$$

Filtro de saída:
Passa-baixa, 1ª ordem.

$$\omega_{eo} = \frac{1}{R_i C_e} = \frac{1}{10 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-12}}$$

então $f_{eo} = 72,4\ kHz$ //

Esboços das saídas:

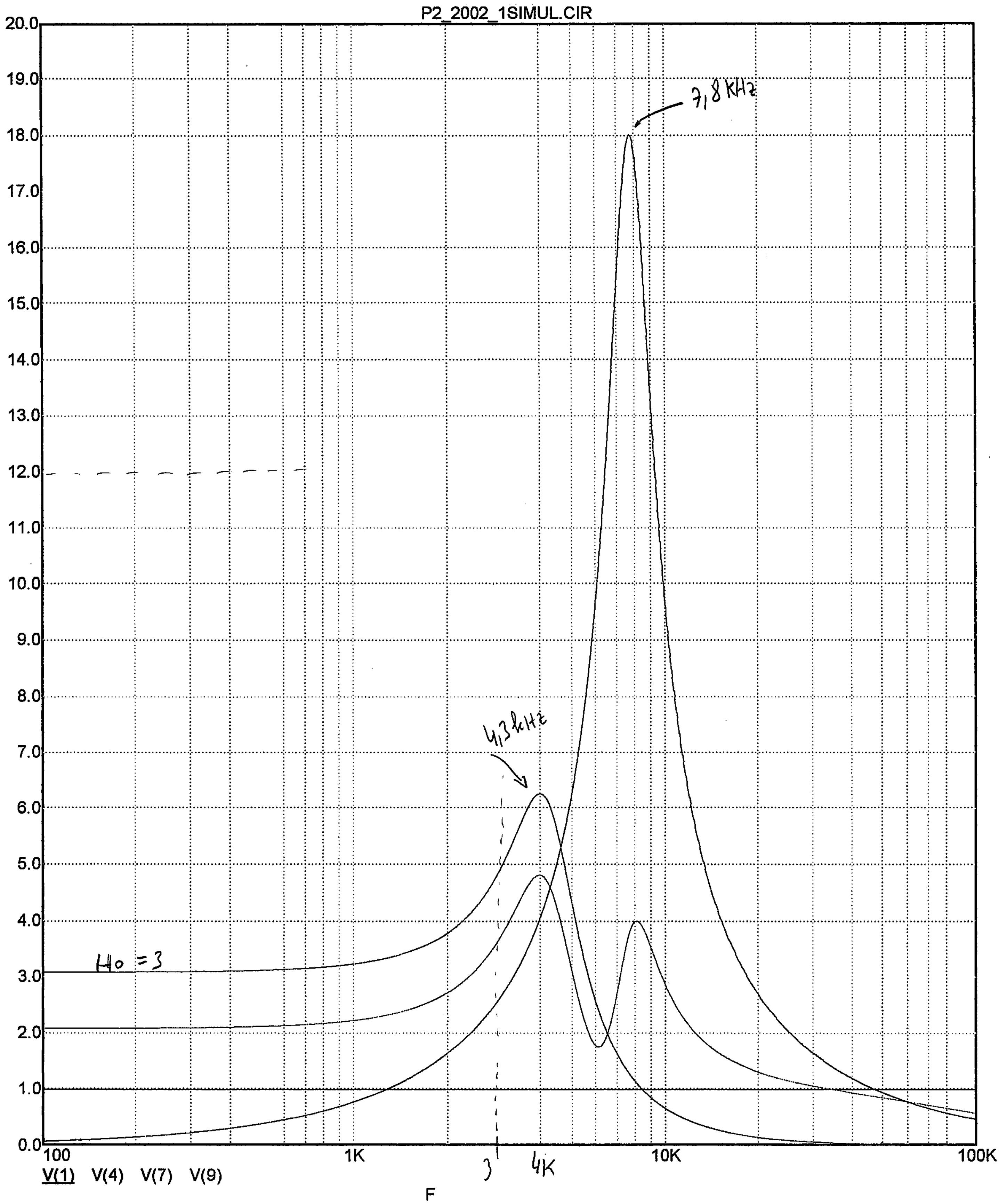


Ponto A:

$$-\frac{1}{3}(-0) - 1(-3,08) - 1 \cdot (+1) = 2$$

Ponto B:

$$-\frac{1}{3}(-18) - 1(-1) - 1(+1) = 6$$



P2_2002_1SIMUL.CIR
20.0
19.0
18.0
17.0
16.0
15.0
14.0
13.0
12.0
11.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
100
1K
10K
100K
V(1) V(4) V(7) V(9)
F
7,8 KHz
4,3 kHz
Ho = 3
3
4K

Projete um voltímetro analógico para testar a tensão de saída de acendedores de fogão. A tensão é DC pulsada mas um circuito diodo capacitor na entrada do voltímetro armazena a tensão de pico que deve ser medida. Descreva e justifique cada passo do projeto.

Características:

Faixa única de 20V a 20 kVolts

Dreno máximo da tensão de entrada: 100 μA

Dados adicionais:

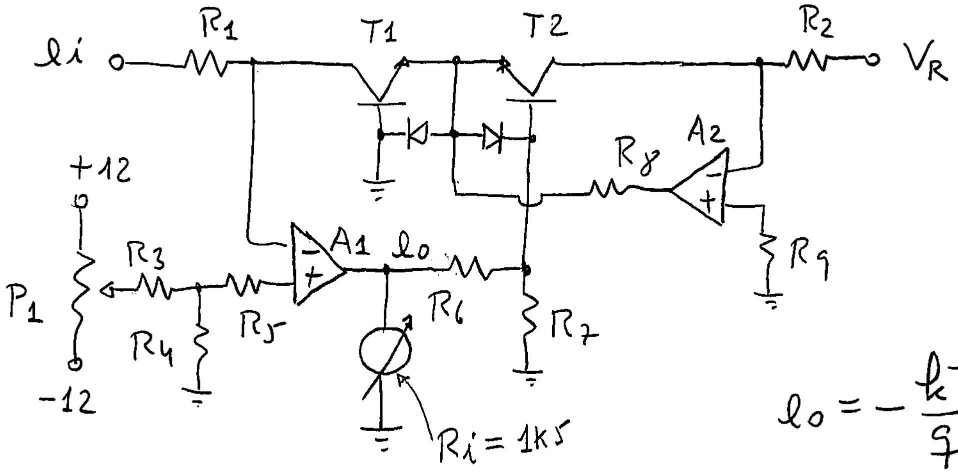
Alimentação com pilhas de 12 Volts

Galvanômetro: 0 – 5 mA (plena escala) $R_i = 1500\,\Omega$

O aparelho deve dispor de ajuste para calibração e ser estável com a temperatura

P2 2002/1

Para comprimir esta ampla faixa de tensões, será usado um amplificador logarítmico para acionar o galvanômetro.



Amplificador logarítmico convencional.

$$e_o = -\frac{kT}{q}\cdot\frac{R_6+R_7}{R_7}\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{e_i}{V_R}\right)$$

Como já é conhecido:

$$\frac{kT}{q} = 26\,mV \ @\ 25°C$$

A_1 e T_1 — Amplif. log

A_2 e T_2 — Compensação I_{CBO}

P_1 — Ajuste do zero

R_6, R_7 — Constante de escala

V_R — Tensão de referência, usualmente Vcc

Equacionamento:

O galvanômetro drena 5mA máximo e possui resistência interna de 1500Ω logo pode ser ligado diretamente à saída do operacional.

As tensões de alimentação limitam a saída a valores próximos e $e_o \leq \pm(V - 2\text{ Volts}) = \pm 10$ Volts.

A deflexão plena do galvanômetro acontece para

$e_o = 5mA \cdot 1{,}5\,K\Omega \rightarrow e_o = 7{,}5$ Volts // OK.

Os valores máximos de tensão e corrente de entrada definem a resistência de entrada:

$$R_1 = \frac{e_{imax}}{i_{imax}} = \frac{20 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^{-6}} \rightarrow R_1 = 200 \cdot 10^6 \ //$$

Costuma-se usar para R7 um PTC de 1KΩ com 0,3%/°C e fazer $V_R = +Vcc$.

Substituindo estes valores na equação do amplif. log.:

$$7{,}5 = -26 \cdot 10^{-3}\, \frac{R_6 + 10^3}{10^3}\, \ln\left(\frac{R_2}{200 \cdot 10^6} \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{12}\right)$$

Existem duas incógnitas: R_6 e R_3.

Conforme especificado, a tensão mínima de entrada é 20 Volts. Para este valor, e_o deve ser zero. Então devemos ter $\ln(x) = 0$ ou seja:

$$\frac{R_2}{200 \cdot 10^6} \cdot \frac{20}{12} = 1 \rightarrow R_2 = 120 \cdot 10^6$$

Confirmando: $\ln\left(\frac{120 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^6} \cdot \frac{20}{12}\right) = 0$

Vale também! $\ln\left(\frac{120 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^6} \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{12}\right) = 6{,}908$

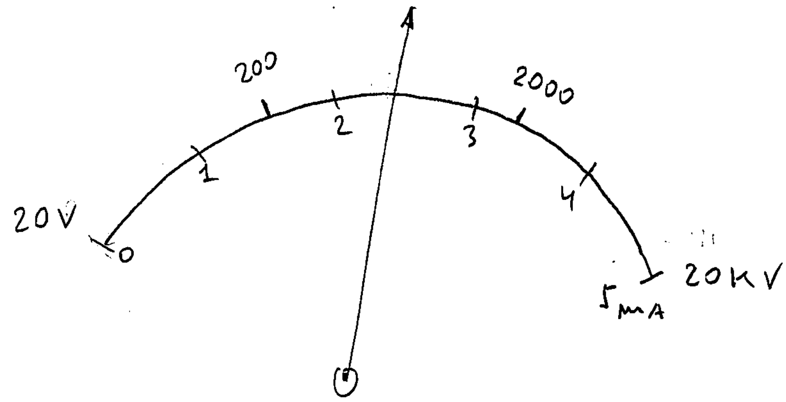
Então, $7{,}5 = 26 \cdot 10^{-3}\, \frac{R_6 + 10^3}{10^3} \cdot 6{,}908 \rightarrow R_6 = 40{,}76\,K$ //

Tabela para calibração da escala do galvanômetro:

Da equação obtemos:

$$e_0 = -1{,}0858 \cdot \ln(0{,}05 \cdot e_i)$$

e_i	e_0	i_{GALV} (mA) $= e_0/R_i$
20	0	0
200	2,5	1,667
2K	5,0	3,334
20K	7,5	5 mA

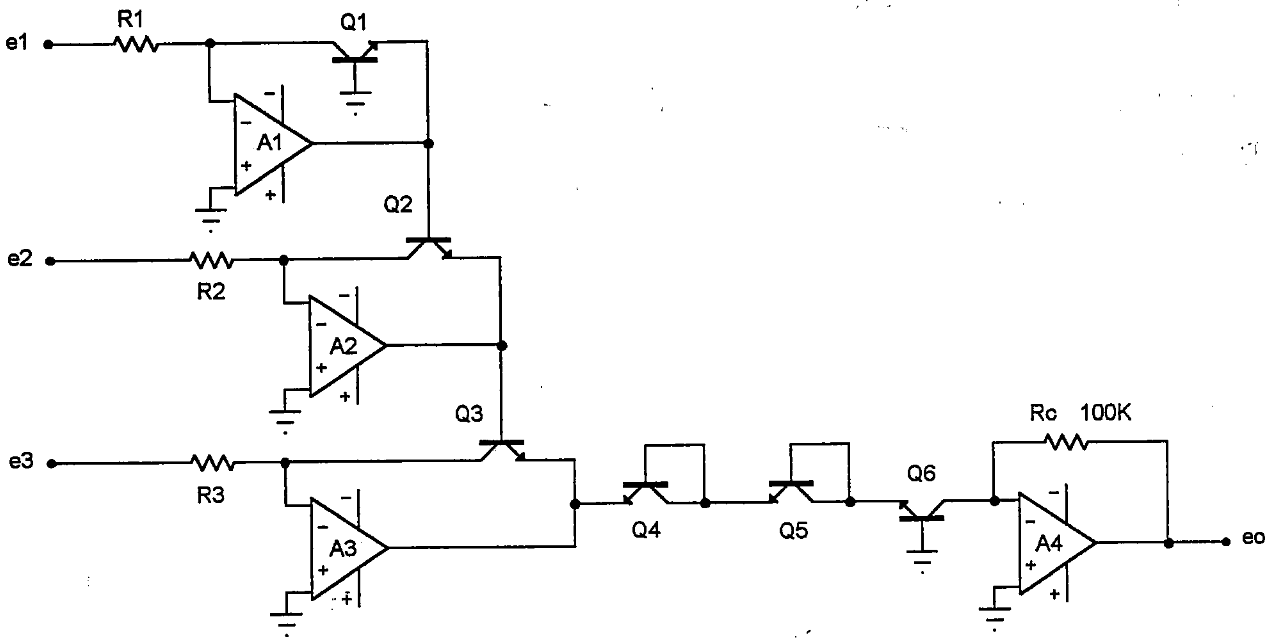


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2002/2

Prova 2 10/3/2003

Nome: GABARITO **Turma:** ______

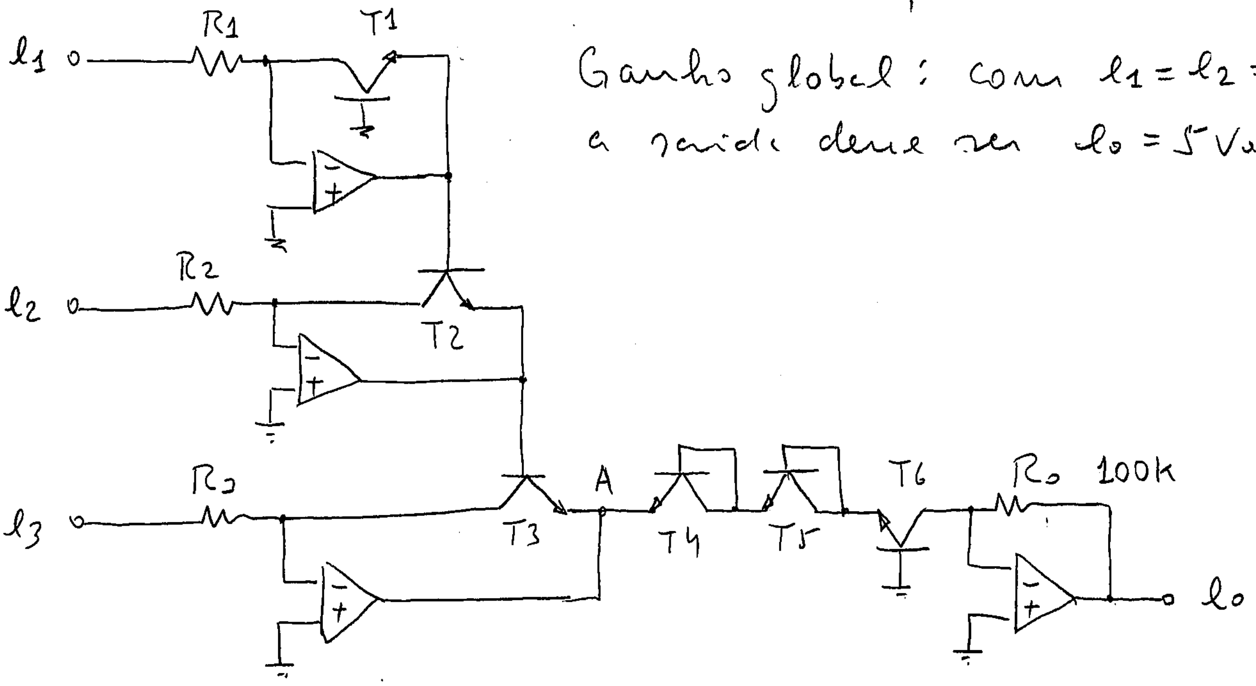
1. (4 pontos) Examine o esquema a seguir, identifique e descreva os blocos funcionais. Equacione o circuito com o objetivo de obter e_0 em função das entradas. Comente os resultados.
Determine o valor dos componentes para obter um ganho de 1, 2 e 4 vezes respectivamente para as entradas e_1, e_2 e e_3.
Os transistores estão na mesma temperatura, são casados e de alto ganho, de modo que vale a aproximação $i_e = i_b + i_c$. Operacionais ideais, alimentação ± 15V.
Ganho global: Com $e_1 = e_2 = e_3 = 1V$, a saída deve ser $e_0 = 5V$.



2. (6 pontos) Implemente um filtro Passa-Faixa de alta seletividade, com controle eletrônico da frequência central ω_0 por capacitores chaveados, descrevendo cada passo do trabalho.
Para alcançar este objetivo, execute as etapas a seguir:
   a) Estude as equações dos 3 tipos de filtro PF e determine os parâmetros ω_0 , Q e H_0 de cada um, adotando um formato simples com componentes iguais quando possível (instruções junto com as equações)
   b) Examine os resultados e escolha o filtro mais adequado para o caso: Q elevado, ganho independente da frequência e o mínimo de elementos que definem a frequência. Prove pelas equações deduzidas
   c) Implemente o circuito: Desenhe o esquema, calcule/escolha todos os componentes e determine os limites de frequência do sinal de controle para o filtro atuar na faixa de 10Hz a 5000Hz com fator de qualidade 8 constante, ganho INDEPENDENTE DO Q e capacitores chaveados ao mínimo.

Dados adicionais:Use 100nF no filtro e frequência de controle das chaves dez vezes maior que a frequência de operação no momento. Precisão de 3 dígitos significativos. Componentes ideais.

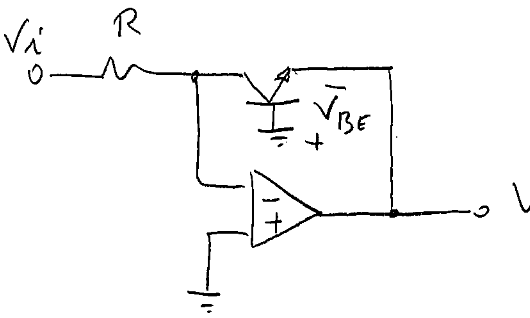
Examine o circuito abaixo, identifique os blocos funcionais e descreva-os.
Equacione o circuito com o objetivo de obter e_o em função das entradas.
Comente os resultados.
Determine o valor dos componentes para obter um ganho de 1, 2 e 4 vezes para as entradas e_1, e_2 e e_3, respectivamente.
Os transistores são casados, de mesma temperatura e de alto ganho, de modo que $i_E = i_B + i_C \cong i_C$. Operacionais ideais.
Alimentação ± 15 Volts



Ganho global: com $e_1 = e_2 = e_3 = 1$ Volt, a saída deve ser $e_o = 5$ Volts

---

Bloco do amplif. log:



$$V_o = -V_{BE} = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

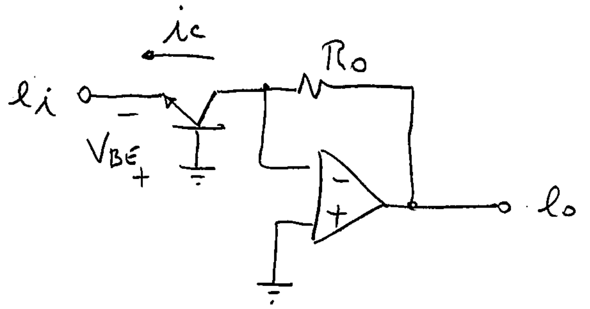
$$I_c = \frac{V_i}{R}$$

I_o = corr. de saturação reversa do transistor.

$$V_o = -0{,}026 \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right) \quad \text{ou:}$$

$$V_o = -0{,}06 \log\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

Bloco do amp. antilog:



considerando a massa virtual:

$e_o = i_c \cdot R$

$$e_i = -V_{BE} = -0{,}026 \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$\frac{-e_i}{0{,}026} = \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

logo: $I_c = I_o \, e^{\frac{-e_i}{0{,}026}}$

$e_o = R \cdot I_o \cdot e^{\frac{-e_i}{0{,}026}}$ ou:

$e_o = R I_o \cdot 10^{\frac{-e_i}{0{,}06}}$

Equacionando a tensão no nó A:

$V_A = -V_{BE1} - V_{BE2} - V_{BE3}$

Vale também:

$V_A = -V_{BE4} - V_{BE5} - V_{BE6}$

Transistores casados e mesma temperatura: Todos os I_o são iguais

Fazendo $K = 0{,}026$ e igualando os dois V_A:

$$K \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c3}}{I_o}\right) =$$

$$= K \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c5}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c6}}{I_o}\right)$$

Como $I_{c1} = \frac{e_1}{R_1}$ etc. e

$i_{c4} = i_{c5} = i_{c6} = \frac{e_o}{R_o}$

cancelando I_o membro-a-membro,

$$\ln\left(\frac{e_1}{R_1}\right) + \ln\left(\frac{e_2}{R_2}\right) + \ln\left(\frac{e_3}{R_3}\right) =$$

$$= 3 \cdot \ln\left(\frac{e_o}{R_o}\right) = \ln\left(\frac{e_o}{R_o}\right)^3$$

Aplicando os logaritmicos:

$$\frac{e_1}{R_1} \cdot \frac{e_2}{R_2} \cdot \frac{e_3}{R_3} = \left(\frac{e_o}{R_o}\right)^3$$

$$e_o = R_o \cdot \sqrt[3]{\frac{e_1}{R_1} \cdot \frac{e_2}{R_2} \cdot \frac{e_3}{R_3}} \quad //$$

Escalas:

e_1: ganho 1 $\longrightarrow R_1 = R$

e_2: ganho 2 $\longrightarrow R_2 = R/2$

e_3 ganho 4 $\longrightarrow R_3 = R/4$

$$e_o = R_o \sqrt[3]{\frac{e_1}{R} \cdot \frac{e_2}{R/2} \cdot \frac{e_3}{R/4}}$$

com $e_1 = e_2 = e_3 = 1$, $e_o = 5$ logo:

$$5 = 100k \sqrt[3]{\frac{8}{R^3}} = 100k \cdot \frac{2}{R}$$

logo: $R = 40k$

$R_1 = 40k$

$R_2 = 40/2 = 20k$

$R_3 = 40/4 = 10k$ //

Implemente um filtro passa-faixa de alta seletividade, com controle eletrônico de frequência central W_0 por capacitores chaveados.

Para alcançar este objetivo execute as etapas:

a) Estude as equações de 3 tipos de filtros PF para encontrar o mais adequado: Poucos componentes (iguais) que devem variar em função do W_0 desejado, Q (elevado) e ganho independentes da frequência. Neste estudo, siga o roteiro descrito em aula e faça resistores iguais e capacitores iguais sempre que possível. Determine precisamente as equações de W_0, Q e H_0 de cada filtro.

b) Estude os resultados e justifique a escolha do filtro PF mais adequado.

c) Implemente o circuito: Calcule/escolha os componentes e determine os limites de frequência do sinal de controle para o filtro atuar na faixa de 10 Hz a 5000 Hz com fator de qualidade 8 constante, ganho constante e dois capacitores chaveados apenas

Dados adicionais: Use capacitores de 100 nF no filtro e frequência de controle das chaves dez vezes maior que a freq. de operação no momento. Precisão de 3 dígitos significativos.

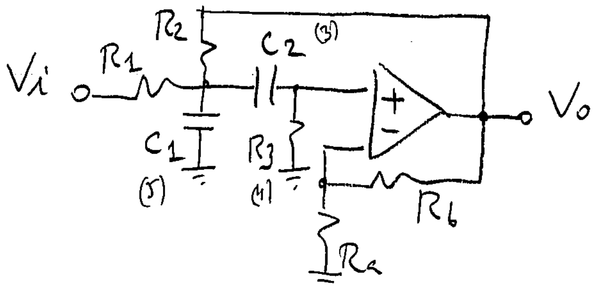
Importante: No PF variável de estado, siga o roteiro de aula:

$R_1 = R_2$

$R_3 = R_5 = R_6$

a) Estudo dos filtros:

Filtro PF VCVS (Salen-key)



$$K = \frac{R_a + R_b}{R_c}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{K}{R_1 C_1} \cdot s}{s^2 + \left[\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1-K}{R_2 C_1}\right] s + \frac{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}{C_1 C_2 R_3}} = \frac{H_0 \cdot \frac{W_0}{\varphi} \cdot s}{s^2 + \frac{W_0}{\varphi} s + W_0^2}$$

Fazendo resistores iguais e capacitores iguais:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{K \cdot s}{RC}}{s^2 + \left[\frac{1}{RC} + \frac{1}{RC} + \frac{1}{RC} + \frac{1-K}{RC}\right] s + \frac{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}}{C \cdot C \cdot R}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{K \cdot s}{RC}}{s^2 + \frac{4-K}{RC} s + \frac{2}{R^2 \cdot C^2}}$$

Igualando:

$$W_0^2 = \frac{2}{R^2 \cdot C^2} \rightarrow \boxed{W_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC}}$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{4-K}{RC} \rightarrow \varphi = \frac{\sqrt{2}}{RC} \cdot \frac{RC}{4-K} \rightarrow \boxed{\varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-K}}$$

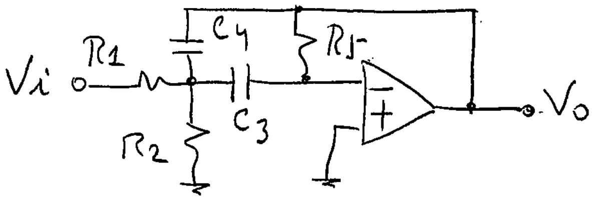
$$H_0 \cdot \frac{W_0}{\varphi} = \frac{K}{RC} \rightarrow H_0 = \frac{\varphi \cdot K}{W_0 RC} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{4-K} \cdot K}{\frac{\sqrt{2}}{RC} \cdot RC} \rightarrow \boxed{H_0 = \frac{K}{4-K}}$$

Conclusão:

W_0 é ajustado por 2 resistores ⇒ 2 cap. chaveados

φ é possível obter 8.

Filtro PF realimentação múltipla



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\dfrac{-s}{R_1 C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\cdot\left(\dfrac{1}{C_3}+\dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 C_3 C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)} = \frac{H_o \dfrac{\omega_o}{\varphi} s}{s^2 + \dfrac{\omega_o}{\varphi} s + \omega_o^2}$$

Fazendo R iguais e C iguais:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\dfrac{-s}{RC}}{s^2 + \dfrac{s}{R}\left(\dfrac{1}{C}+\dfrac{1}{C}\right) + \left(\dfrac{1}{RCC}\right)\left(\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{R}\right)}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\dfrac{-s}{RC}}{s^2 + s\cdot\dfrac{2}{RC} + \dfrac{2}{R^2C^2}}$$

igualando:

$$\omega_o^2 = \frac{2}{R^2C^2} \rightarrow \boxed{\omega_o = \frac{\sqrt{2}}{R\cdot C}}$$

$$\frac{\omega_o}{\varphi} = \frac{2}{RC} \rightarrow \varphi = \frac{\omega_o \cdot RC}{2} = \frac{\dfrac{\sqrt{2}}{RC}\cdot RC}{2} \rightarrow \boxed{\varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}}$$

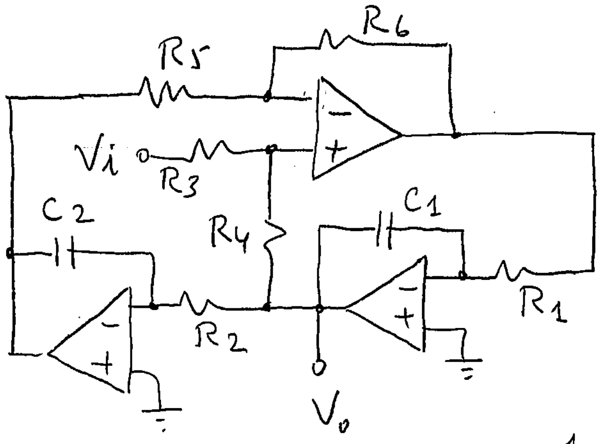
$$H_o \frac{\omega_o}{\varphi} = -\frac{1}{RC} \rightarrow H_o = \frac{-\varphi}{\omega_o RC} = \frac{-\varphi}{\dfrac{\sqrt{2}}{RC}\cdot RC} \rightarrow \boxed{H_o = -1/2}$$

Conclusões:

Não serve pois o $\varphi < 8$

Ajuste por 2 [illegible]

Filtro PF Variável de estado



$$\frac{V_{PF}}{V_i} = \frac{-s\,\frac{1}{R_1 C_1}\cdot\frac{1+\frac{R_6}{R_5}}{1+R_3/R_4}}{s^2 + s\,\frac{1}{R_1 C_1}\cdot\frac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \frac{R_6}{R_5}\cdot\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{H_0\,\frac{\omega_0}{\varphi}\,s}{s^2 + \frac{\omega_0}{\varphi}s + \omega_0^2}$$

Procedimento recomendado:

$C_1 = C_2 = C$

$R_1 = R_2 = R$

$R_3 = R_5 = R_6 = R_a$

$R_4 = R_4$

$$\frac{V_s}{V_i} = \frac{-s\,\frac{1}{RC}\cdot\frac{1+\frac{R_a}{R_a}}{1+R_a/R_4}}{s^2 + s\,\frac{1}{RC}\,\frac{1+R_a/R_a}{1+\frac{R_4}{R_a}} + \frac{R_a}{R_a}\,\frac{1}{R^2\cdot C^2}} = \frac{-s\,\frac{1}{RC}\,\frac{2}{1+R_a/R_4}}{s^2 + s\,\frac{1}{RC}\cdot\frac{2}{1+\frac{R_4}{R_a}} + \frac{1}{R^2C^2}}$$

Igualando:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R^2C^2} \longrightarrow \boxed{\omega_0 = \frac{1}{RC}}$$

$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{2}{RC}\cdot\frac{1}{1+R_4/R_a} \longrightarrow \boxed{\varphi = \frac{R_a+R_4}{2R_a}}$$

$$H_0\frac{\omega_0}{\varphi} = -\frac{1}{RC}\,\frac{2}{1+R_a/R_4} \longrightarrow \boxed{H_0 = -\frac{R_4}{R_a}}$$

conclusão: Este é o mais adequado pois a freq. é ajustada por dois resistores apenas, φ e ganho são constantes com a freq.

c) Implementação:

Escolhido o PF variável de estado,

$R = R_1 = R_2$ serão os resistores ajustáveis tipo capacitor chaveado

R_a = qualquer valor = $10k$ //

$$\varphi = 8 = \frac{R_a + R_4}{2 \cdot R_a} \quad \text{então}$$

$$R_4 = 16\,R_a - R_a = 150k \;//$$

Faixa de variação de R:

$$f_{min} = 10Hz = 2 \cdot \pi \cdot 10 = 62,8 \text{ rad/s}$$

$$f_{max} = 5.000Hz = 2 \cdot \pi \cdot 5000 = 31,4\,K \text{ rad/s}$$

Usando $C = 100nF$ recomendado:

$$\omega_{min} = \frac{1}{R_{max} \cdot C}$$

$$R_{max} = \frac{1}{\omega_{min} \cdot C} = \frac{1}{62,8 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$

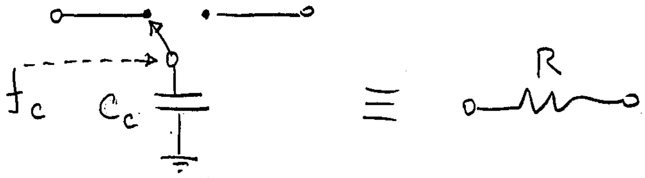
$$R_{max} = 159K$$

$$\omega_{max} = \frac{1}{R_{min} \cdot C}$$

$$R_{min} = \frac{1}{15.708 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$

$$R_{min} = 318\ \Omega$$

Capacitor chaveado:



$$R = \frac{1}{C_c \cdot f_c}$$

A freq. de chaveamento deve ser 10x maior que a máx. freq. do circuito:

$$f_c = 10 \cdot f_{max} = 50\,kHz$$

Então:

$$R_{min} = \frac{1}{C_c \cdot 50 \cdot 10^3} = 318\ \Omega$$

logo $C_c = 63\ nF$ //

confirmando para f_{min}:

$$R_{max} = \frac{1}{63 \cdot 10^{-9} \cdot f_c} = 159 \cdot 10^3$$

$$f_c = 100\ Hz = 10 \cdot f_{min}$$

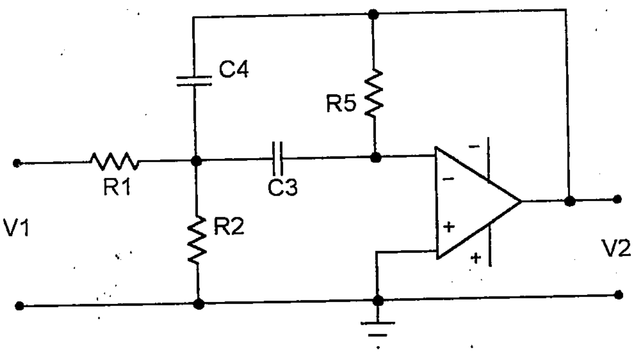
OK.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2003/1

Prova 2 **19/8/2003**

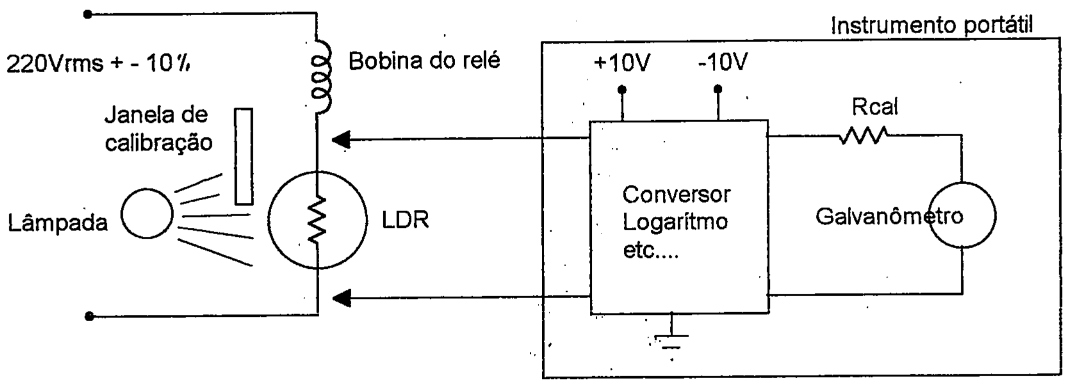
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (5 pontos) Experimente o seguinte procedimento na função de transferência do filtro passa-faixa de realimentação múltipla:
C3 = C4 = C R1 = R R5 = AR R2 = BR
Obtenha as equações do ganho, frequência central e fator de qualidade.
Aplique as equações no projeto de um filtro com 6dB, 6kHz e 2, respectivamente.
Impedância mínima de entrada: 9kΩ. Arredondamentos em 3 dígitos significativos.
Documente cada passo do seu trabalho.
Completada esta etapa, equacione e calcule a máxima frequência central supondo uma tolerância nos valores que você calculou de ± 5% para os resistores e ± 10% para os capacitores.

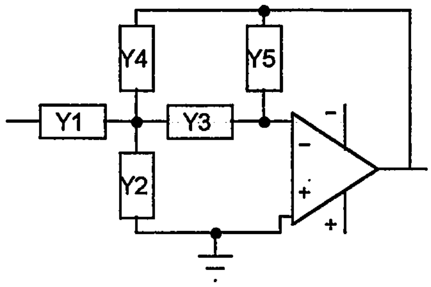


$$\frac{V2(S)}{V1(S)} = \frac{\dfrac{-S}{R1 \cdot C4}}{S^2 + \dfrac{S}{R5}\left(\dfrac{1}{C3} + \dfrac{1}{C4}\right) + \left(\dfrac{1}{C3 \cdot C4 \cdot R5}\right)\left(\dfrac{1}{R1} + \dfrac{1}{R2}\right)}$$

2. (5 pontos) O esboço abaixo mostra um aparelho para calibrar dispositivos de acendimento automático de luz ao anoitecer. Complete este projeto, especificando, equacionando e calculando os valores dos blocos que faltam, descrevendo cada etapa da solução.
Alimentação regulada de ±10V, proveniente de pilhas. Operacionais ideais, transistores casados e na mesma temperatura. Resistor PTC de 1k e 0,3% / °C. Galvanômetro de 5mA a plena deflexão e 1,5k de resistência interna.
Dados adicionais: Deve ser estável com a temperatura. Máxima corrente que pode ser drenada da entrada: 0,2mA. Dimensione os componentes para obter a maior tensão possível para acionar o galvanômetro, que será então calibrado por Rcal. Use valores comerciais para os resistores.



REALIMENTAÇÃO MÚLTIPLA 2ª ORDEM



$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{-1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_5}}{s^2 + \dfrac{s}{C_2}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_4}\right) + \dfrac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_2 \cdot C_5}} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^{\ 2}}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^{\ 2}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{\dfrac{-s^2 \cdot C_1}{C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{C_1}{C_3 \cdot C_4} + \dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^{\ 2}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{-s}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)} = \frac{H_0 \cdot \dfrac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^{\ 2}}$$

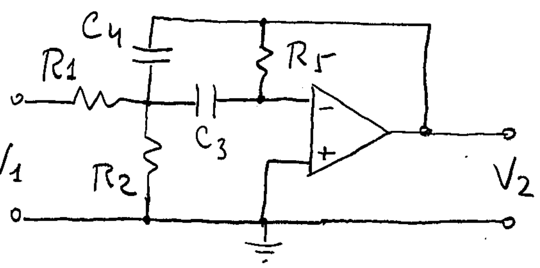
A partir da função de transferência do filtro passa-faixa de realimentação múltipla, experimente o seguinte procedimento:

$C_3 = C_4 = C$; $R1 = R$; $R_5 = A \cdot R$; $R_2 : B \cdot R$

Obtenha as equações do ganho, frequência central e fator de qualidade deste filtro.

Aplique as equações no projeto de um filtro com 6 kHz de freq. central, 6 dB de ganho e 2 de fator de qualidade, com 9 kΩ de imped. mínima na entrada.

Arredonde para 3 dígitos significativos.



$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{\dfrac{-s}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 \cdot C_3 C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)}$$

Nestas condições, qual a máxima freq. central supondo uma tolerância de ±5% nos resistores e ±10% nos capacitores?

Comparando com a forma padrão dos filtros PF 2ª ordem:

$$\frac{V_2(S)}{V_1(S)} = \frac{H_0 \cdot \frac{W_0}{\varphi} \cdot S}{S^2 + \frac{W_0}{\varphi} S + W_0^2}$$

Aplicando o procedimento:

$$W_0^2 = \frac{1}{A \cdot R \cdot C \cdot C}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{BR}\right)$$

$$W_0 = \sqrt{\frac{1}{A \cdot R \cdot C^2}\ \frac{B+1}{B \cdot R}}$$

$$W_0 = \frac{1}{RC}\sqrt{\frac{B+1}{A \cdot B}} \quad //$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{A \cdot R}\left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C}\right)$$

$$\varphi = \frac{W_0}{\frac{2}{ARC}}$$

$$\varphi = \frac{1}{\cancel{RC}}\ \frac{A \cdot \cancel{RC}}{2}\sqrt{\frac{B+1}{AB}}$$

$$\varphi = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{A}{B}(B+1)} \quad //$$

$$H_0 \frac{W_0}{\varphi} = \frac{-1}{R \cdot C}$$

$$H_0 = \frac{-1}{\cancel{RC}} \cdot \frac{A \cdot \cancel{RC}}{2}$$

$$H_0 = -\frac{A}{2} \quad //$$

Projeto:

Ganho $= 6\,dB = 20 \log(H_0)$

$H_0 = 1{,}995 \rightarrow H_0 = 2$ (inversor)

$-2 = -\frac{A}{2} \quad \rightarrow \quad A = 4 \; //$

Para obter a imp. de entrada solicitada, $R_1 = R = 10k$ //
Então:

$R_5 = A \cdot R = 4 \cdot 10k \rightarrow R_5 = 40k$ //

$$\varphi = 2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4}{B}(B+1)}$$

$$2 = \sqrt{\frac{B+1}{B}}$$

$$4 = \frac{B+1}{B} \rightarrow B = \frac{1}{3} \quad //$$

$$R_2 = B \cdot R = \frac{1}{3} \cdot 10k \rightarrow R_2 = 3{,}33k \quad //$$

$$W_0 = 2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 10^3 = \frac{1}{RC}\sqrt{\frac{B+1}{A \cdot B}}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 10^4}\sqrt{\frac{1/3 + 1}{4 \cdot 1/3}}$$

$$C = 2{,}65 \cdot 10^{-9} \quad //$$

Efeito das tolerâncias em W_0:

$$W_0 = \frac{1}{R_1 \cdot C}\sqrt{\frac{\frac{R_2}{R_1} + 1}{\frac{R_5}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_1}}}$$

$$W_0 = \frac{1}{R_1 \cdot C}\sqrt{\frac{R_1 + R_2}{\cancel{R_1}} \cdot \frac{R_1^{\cancel{2}}}{R_2 \cdot R_5}}$$

$$W_0 = \frac{1}{C}\sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_5}}$$

$$W_0 = \frac{1}{C}\sqrt{\frac{1}{R_2 \cdot R_5} + \frac{1}{R_1 \cdot R_5}} \quad //$$

Máximo W_0, no pior caso: R_1, R_2, R_5 e C com seus menores valores:

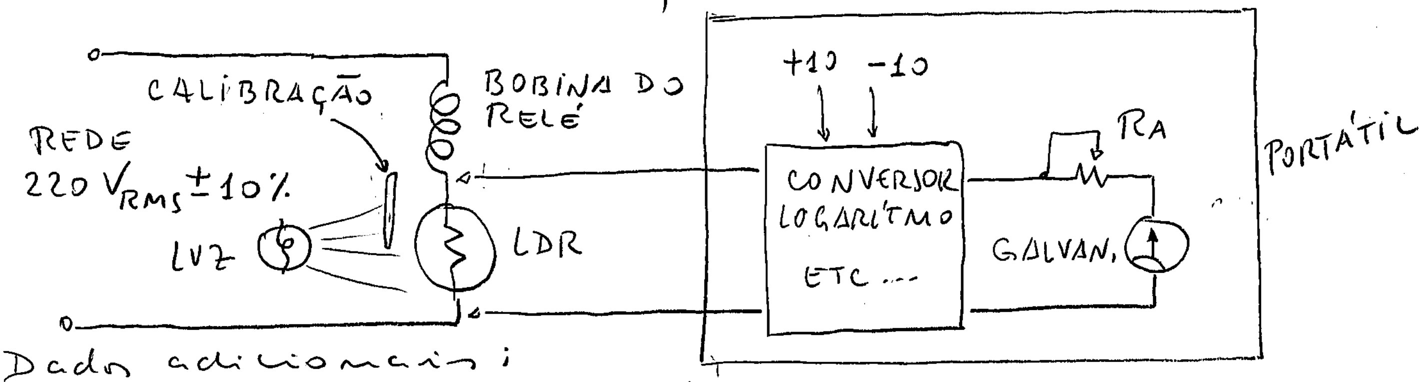
$R_1 = 10k \rightarrow 9{,}5k$
$R_2 = 3{,}33k \rightarrow 3{,}1635k$
$R_5 = 40k \rightarrow 38k$
$C = 2{,}65\,nF \rightarrow 2{,}385\,nF$

Substituindo:

$$W_{0\,máx} = \frac{1}{2{,}385 \cdot 10^{-9}}\sqrt{\frac{10^{-6}}{3{,}1635 \cdot 38} + \frac{10^{-6}}{9{,}5 \cdot 38}}$$

$$f_{0\,máx} = 7{,}027\ kHz \quad //$$

Para calibrar o dispositivo de acendimento automático de luz ao anoitecer, foi esboçado o circuito abaixo. Complete este projeto especificando os blocos que faltam e calculando os valores.
Alimentação ±10V regulada proveniente de pilhas.
Operacionais ideais. Transistores casados. PTC = 1k.
Galvanômetro: 5mA a plena escala. Resist. interna 1,5K.



Dados adicionais:
Deve ser estável com a temperatura
Máxima corrente drenada pelo instrumento: 0,2mA.
Dimensione os componentes para obter a maior tensão possível para acionar o galvanômetro que será então calibrado por RA. Use valores comerciais.

Examinando o esboço:
— Entrada é alternada: precisa retificar antes.
Como as tensões são elevadas, um retificador passivo de onda completa é suficiente.
— Estável: usar o conversor log compensado.

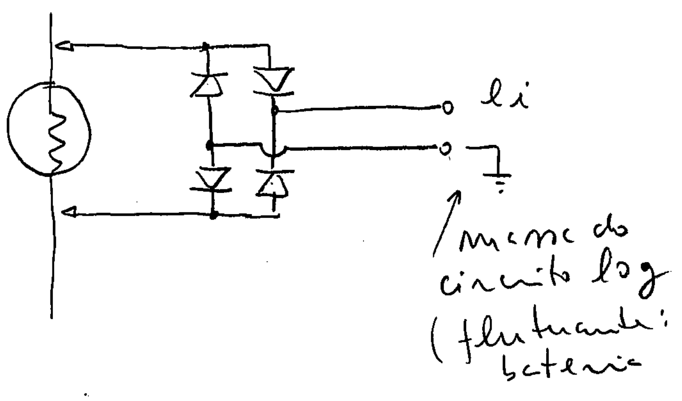
Máxima tensão de entrada:

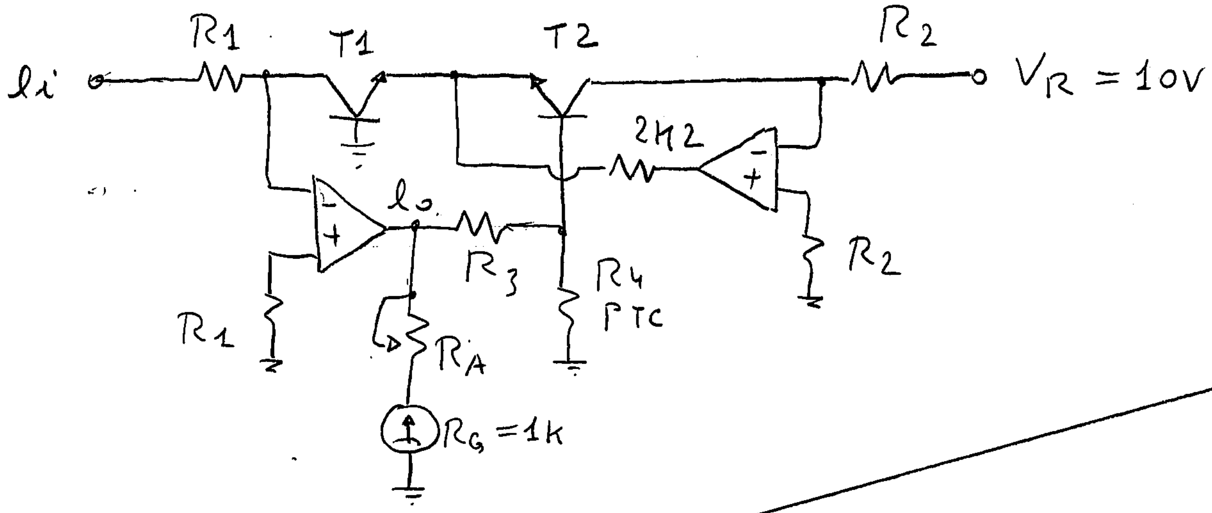
$e_i = 220 \cdot \sqrt{2} + 10\% = 342\,V$ //

Com este valor, a saída do conversor log é a maior possível: 10 Volts pois os operacionais são ideais.

Tensão de referência do circuito de compensação do conversor log: 10V pois é regulada.

Fica então:





Cálculo dos componentes:

$$R_1 = \frac{342\,V}{0,2\,mA} = 1,71 \cdot 10^6$$

$R_1 = 1,8\ M\Omega$ //

$$l_o = \frac{-k \cdot T}{q} \frac{R_3+R_4}{R_4} \ln\left(\frac{R_2}{R_1} \frac{l_i}{V_R}\right)$$

$$\frac{k \cdot T}{q} = 26\,mV \ @\ 27°C$$

Escolhendo: $R_2 = 1M$

Na condição de máxima entrada: $l_i = 342$ e $l_o = -10$:

$$-10 = -26 \cdot 10^{-3} \frac{R_3+R_4}{R_4} \ln\left(\frac{1M}{1,8M} \frac{342}{10}\right)$$

$$\frac{10}{26 \cdot 10^{-3}} = \frac{R_3+10^3}{10^3} \cdot \ln(19)$$

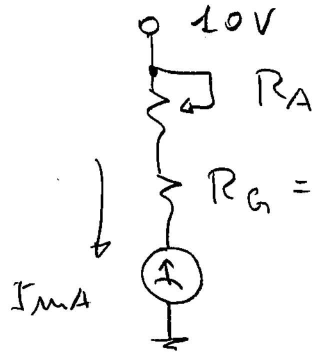
Então: $R_3 = 129,6 \cdot 10^3$

Valor comercial: $R_3 = 120K$ //

O erro de escala será corrigido por R_A.

Trimpot RA:

Com l_i = máximo, $l_o = 10\,V$ e no galvanômetro deve passar 5mA:



$$5mA = \frac{10\,V}{R_A + R_G}$$

$\rightarrow R_A = 0,5K$

Para ter o cursor no meio,

$R_A = 1K$ // Trimpot

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2003/1

Prova 2 - 19/8/2003

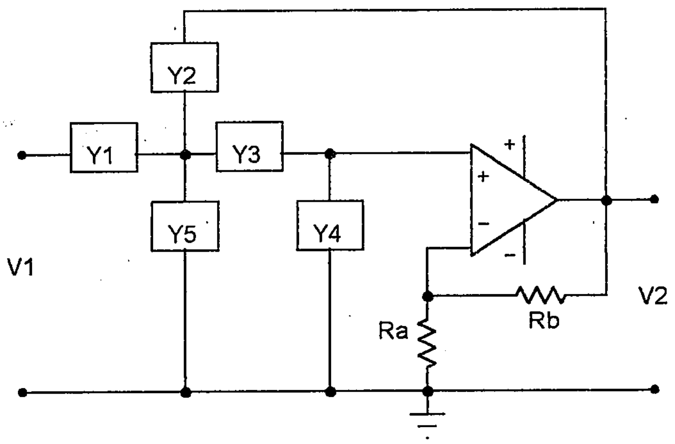
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (5 pontos) Implemente um filtro rejeita-faixa a partir de filtros VCVS (Salen-Key) do tipo resistores iguais e capacitores iguais.
Dados: Faixa de rejeição de 100Hz a 300Hz, ganho de 1,5 vezes e fator de qualidade 2.
Capacitores disponíveis são de 15nF.
Use circuitos auxiliares que forem necessários. Componentes ideais, arredondamento em 3 dígitos significativos. Descreva cada passo da solução.

<u>PB:</u> R1 = R3 = R
C2 = C4 = C
$\omega_0 = 1/RC$
$1/Q = 3-K$
$H_o = K$

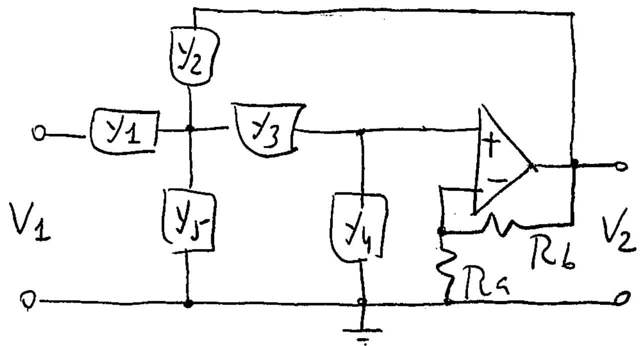
<u>PA:</u> R2 = R4 = R
C1 = C3 = C
$\omega_0 = 1/RC$
$1/Q = 3-K$
$H_o = K$

<u>PF:</u> R1 = R2 = R4 = R
C3 = C5 = C
$\omega_0 = \sqrt{2}/RC$
$Q = \sqrt{2}/(4-K)$
$H_o = K/(4-K)$



2. (5 pontos) Projete um circuito que resolva com precisão e estabilidade a equação:
$e_o = (e_1/1,5)(10)^{e_2}$ com e_o, e_1 e e_2 positivos.
Escolha o conversor adequado e <u>equacione</u> convenientemente o circuito, documentando cada passo do seu trabalho.
Componentes ideais variados estão disponíveis. Use valores comerciais para os resistores.
Dicas: $e^x = 10^{\log(e)\cdot x}$ $v_{be} = kT/q \ln(Ic/Io)$

Implementar um filtro rejeita-faixa usando filtros VCVS (Sallen-Key) do tipo resistores iguais e capacitores iguais.
Dados: Faixa de rejeição 100Hz e 300Hz, Ganho de 1,5 vezes e fator de qualidade 2.
Capacitores disponíveis são de 15nF.
Use circuitos auxiliares que forem necessários.
Componentes ideais. Arredondamento: 3 dígitos significativos. Descreva cada passo da solução.



PB:

$R_1 = R_3 = R$

$C_2 = C_4 = C = 15nF$

$W_0 = \frac{1}{RC} \quad \frac{1}{\varphi} = 3 - K \quad H_0 = K$

PA:

$R_2 = R_4 = R$

$C_1 = C_3 = C = 15nF$

$W_0 = \frac{1}{RC} \quad \frac{1}{\varphi} = 3 - K \quad H_0 = K$

Princípio de funcionamento: Soma o PB em 100Hz com o PA em 300Hz e ajustar o ganho para 1,5.

PB em 100Hz:

$$2 \cdot \pi \cdot 100 = \frac{1}{R \cdot 15 \cdot 10^{-9}}$$

$R = 106103 \rightarrow R_1 = R_3 = 106k$ //

Para $\varphi = 2$:

$\frac{1}{2} = 3 - K \rightarrow K = H_0 = 2,5$ vezes //

PA em 300Hz:

$$2 \cdot \pi \cdot 300 = \frac{1}{R \cdot 15 \cdot 10^{-9}}$$

$R = 35368 \rightarrow R_2 = R_4 = 35,4k$ //

Ganho é o mesmo.

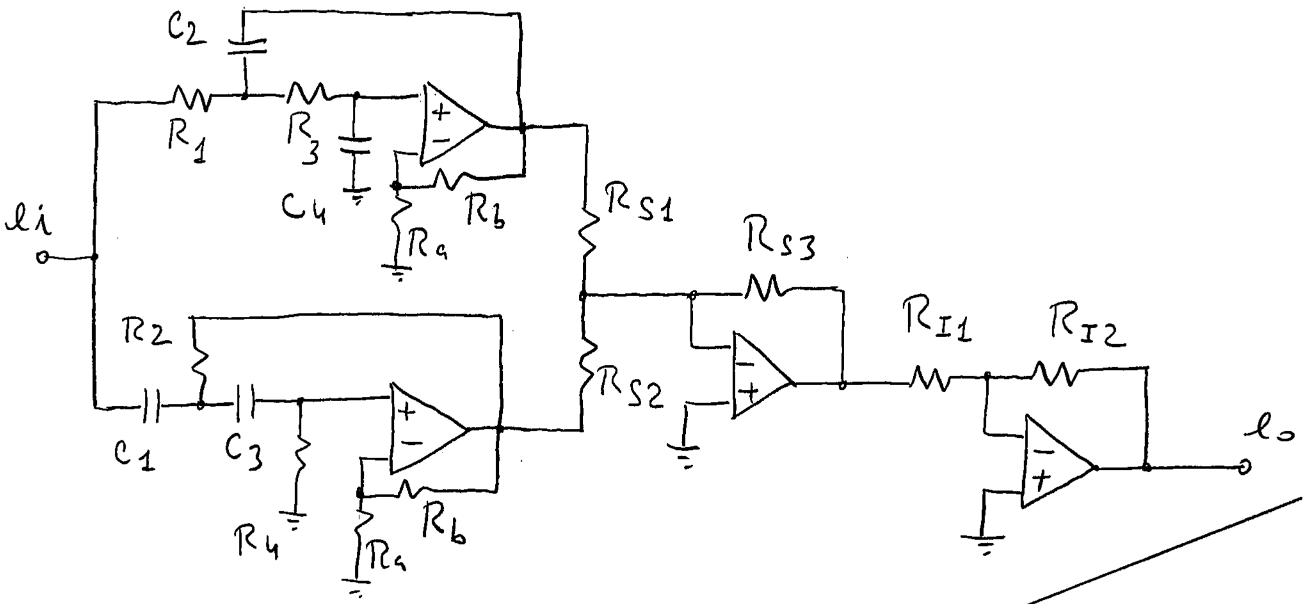
Compondo o filtro rejeita-faixa:

Como o ganho desejado é de 1,5, o somador deve corrigir o ganho de cada filtro:

$$\frac{V_i}{V_0} = 1,5 = G_{SOMA} \cdot \overset{2,5}{G_{Filtro}}$$

$$G_{SOMA} = \frac{1,5}{2,5} = 0,6 \text{ vezes}$$

Por outro lado, o somador é inversor e a saída deve ser invertida novamente.
Circuito final:



Para reduzir o consumo,
$R_{S1} = R_{S2} = 47k$

Então $G_{soma} = 0,6 = \frac{R_{S3}}{R_{S1}}$ (inversor)

$R_{S3} = 0,6 \cdot 47k = 28,2k$

Para reduzir o número de componentes diferentes e obter ganhos unitários inversor:

$R_{I1} = R_{I2} = 47k$ //

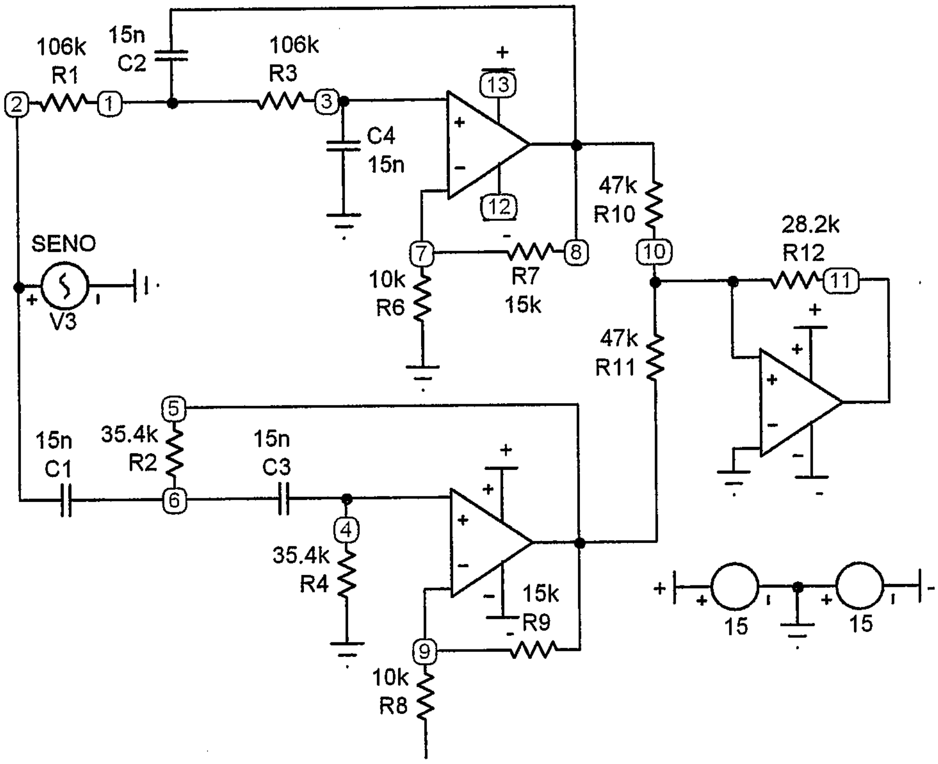
Ganho dos filtros:

$K = 2,5 = 1 + \frac{R_b}{R_a}$

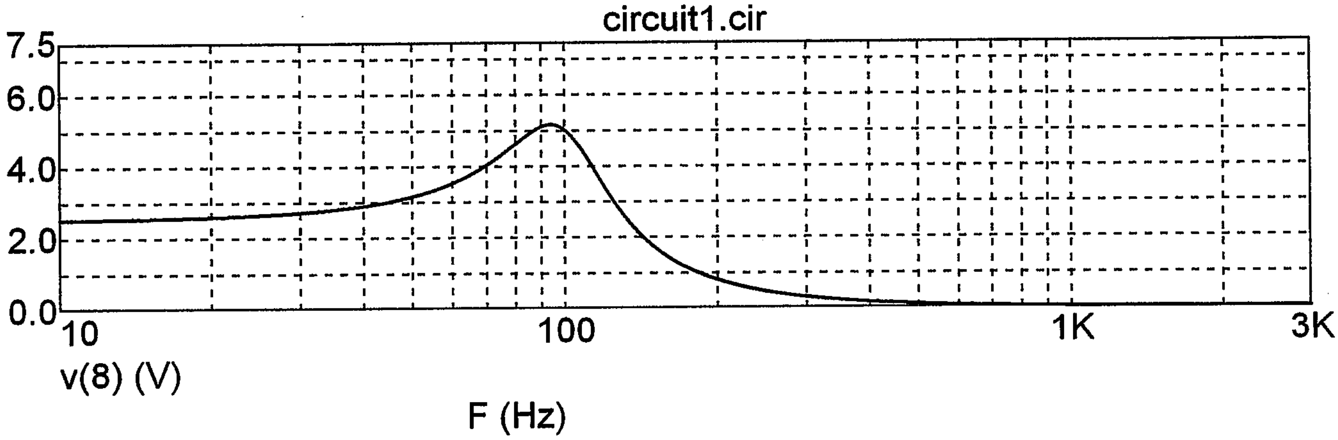
Escolhendo $R_a = 10k$ //

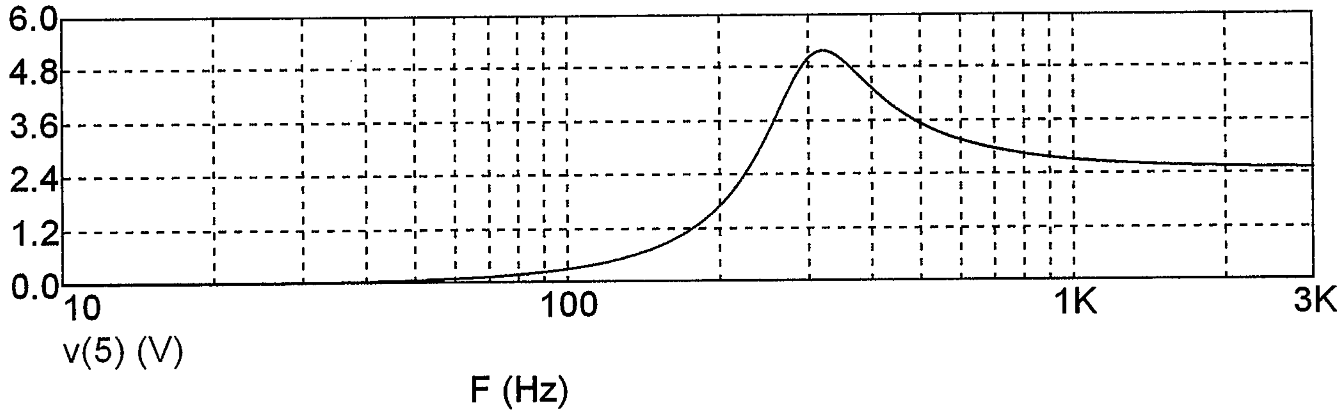
$R_b = 15k$ //

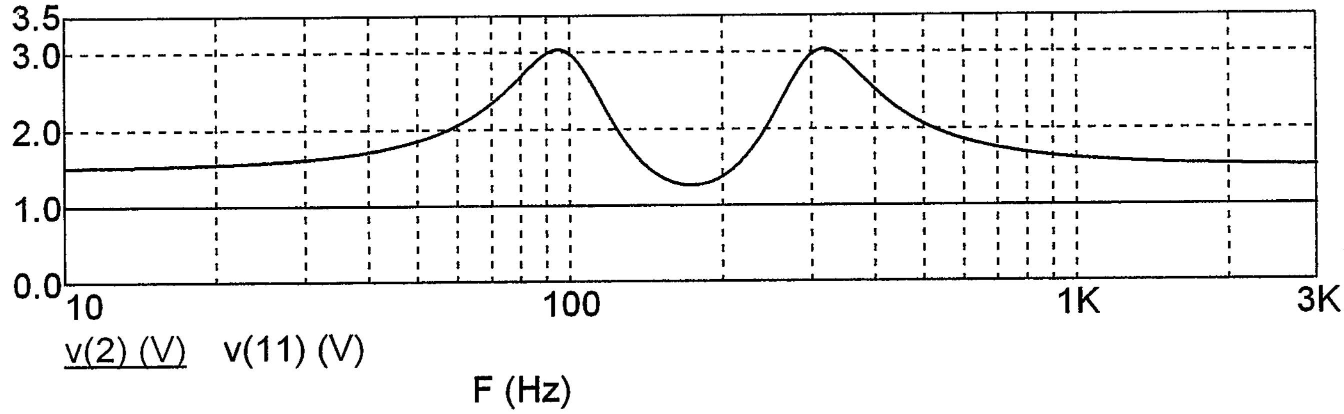
Aperfeiçoamentos:
— Jogar com os valores dos resistores procurando valores comerciais.
— Usar filtros GIRM que são inversores e dispensam o inversor na saída.



Micro-Cap 8 Evaluation Version
circuit1.cir







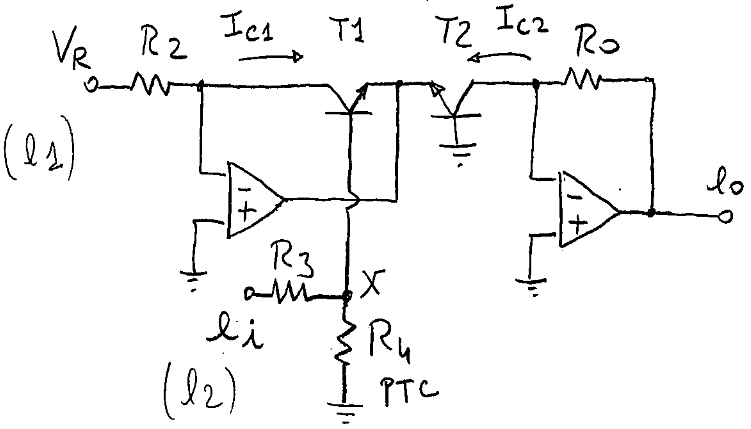
(a)

Implemente um circuito que execute com precisão e estabilidade a equação $e_o = \frac{e_1}{1,5}(10)^{e_2}$, onde e_1, e_2 e e_o são positivos.
Componentes ideais variados estão disponíveis.
Use valores comerciais para os resistores.
Documente cada passo do seu trabalho.

P2 2003/1

Princípio de funcionamento:
Precisa de conversor antilog com compensação de temp. e compensação de corrente de saturação reversa.
Como este tipo precisa de tensão de referência, esta pode ser a outra entrada.
A polaridade das entradas pode ser ajustada por um inversor de tensão.

Circuito e equacionamento:



No ponto X:

$$V_X = V_{BE1} - V_{BE2} = -(V_{BE2} - V_{BE1})$$

Como:

$$V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$V_X = -\frac{k \cdot T}{q}\left[\ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) - \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right)\right]$$

$$V_X = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{\frac{e_o}{R_o \cdot I_o}}{\frac{V_R}{R_2} \cdot I_o}\right)$$

$$V_X = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{e_o}{V_R} \frac{R_2}{R_o}\right)$$

como $V_X = e_i \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ vem

$$e_i = -\frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{e_o}{V_R} \cdot \frac{R_2}{R_o}\right)$$

Isolando o termo ln e exponenciando membro-a-membro:

$$e^{\left(-\frac{e_i \cdot R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{q}{k \cdot T}\right)} = \frac{e_o}{V_R} \cdot \frac{R_2}{R_o}$$

Isolando e_o:

$$e_o = \frac{V_R \cdot R_o}{R_2} e^{\left(-\frac{e_i \cdot R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{q}{k \cdot T}\right)}$$

convertendo e^x para 10^x

$$e = 10^{\log(e)}$$

$$e^x = \left(10^{\log(e)}\right)^x = 10^{\log(e) \cdot x}$$

Então:

$$e_0 = \frac{V_R \cdot R_0}{R_2}\, 10^{\left(\frac{-e_i \cdot R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{q}{k\cdot T}\cdot \log(e)\right)}$$

Adaptando para o caso:

$$\frac{V_R \cdot R_0}{R_2} = \frac{e_1}{1,5} \rightarrow \begin{cases} V_R = e_1 \\ R_2 = 1,5 \cdot R_0 \end{cases}$$

Escolhendo $R_0 = 100K$ //

então $R_2 = 150K$ //

$$-\frac{e_i \cdot R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{q}{k\cdot T}\cdot \log(e) = e_2$$

Logo: $e_i = -e_2$

$$\frac{R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{1}{26mV}\cdot 0,4343 = 1$$

$R_3 = 15,704 \cdot R_4$

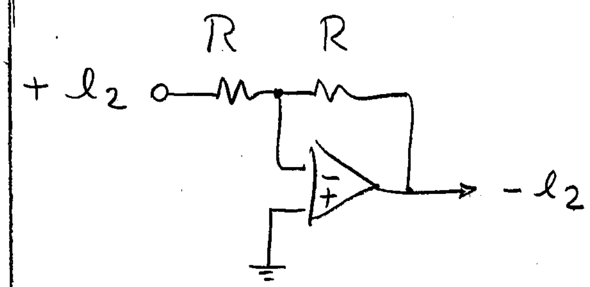
Fazendo $R_4 = 1K$ PTC 0,3% //

$R_3 = 15,704\,K$ //

Ajuste das polaridades:

e_1 positivo → saída e_{01} é negativa e T2 opera corretamente, levando e_0 a um valor positivo. OK.

Para executar a operação, e_2 deve ser negativa → inverter a polaridade:



Usando valores comerciais:

R = 100K //

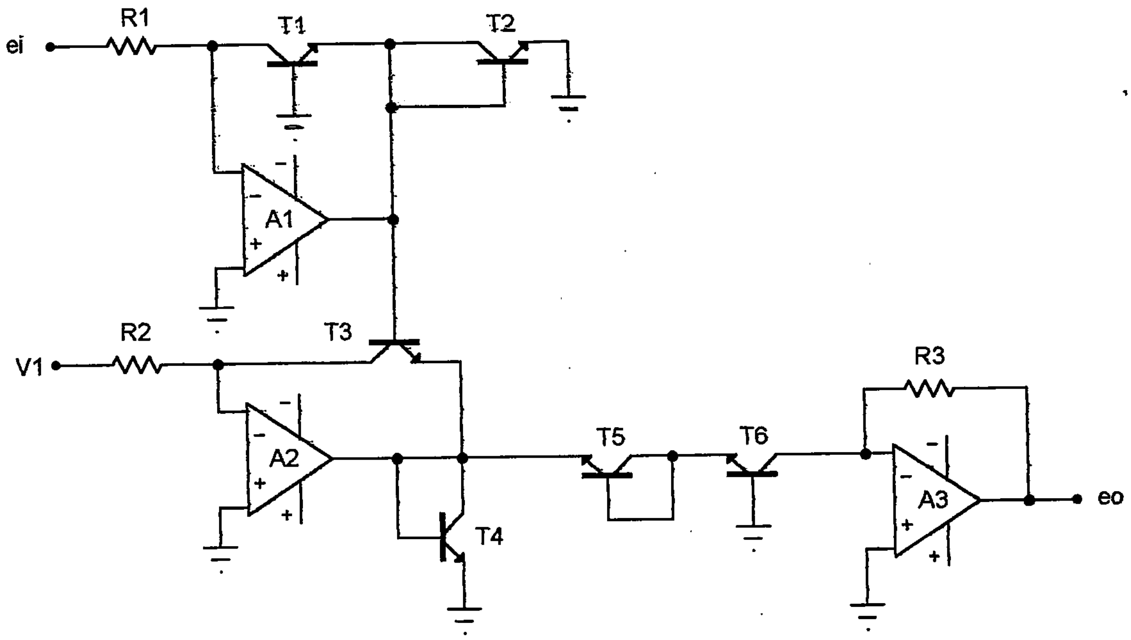
Nota: Para T1 operar, a saída e_{01} deve ser mais negativa que a tensão no ponto X que é alimentado por e_2.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2003/2

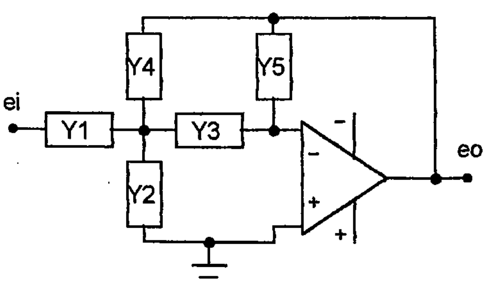
Prova 2 27/1/2004

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. No circuito abaixo, e_o deve variar o máximo possível quando e_i variar entre 100V e 80kV. Divida o circuito em blocos, entenda e equacione cada um com o objetivo de obter a função de transferência de e_i para e_o. Calcule então o valor dos componentes de modo a obter a expressão mais simples possível. Para evitar auto-aquecimento, limite a corrente nos transistores em 1mA. Componentes ideais. $V_{CC} = \pm 18V$. $V_1 = +V_{CC}$.
Documente cada passo do seu trabalho.

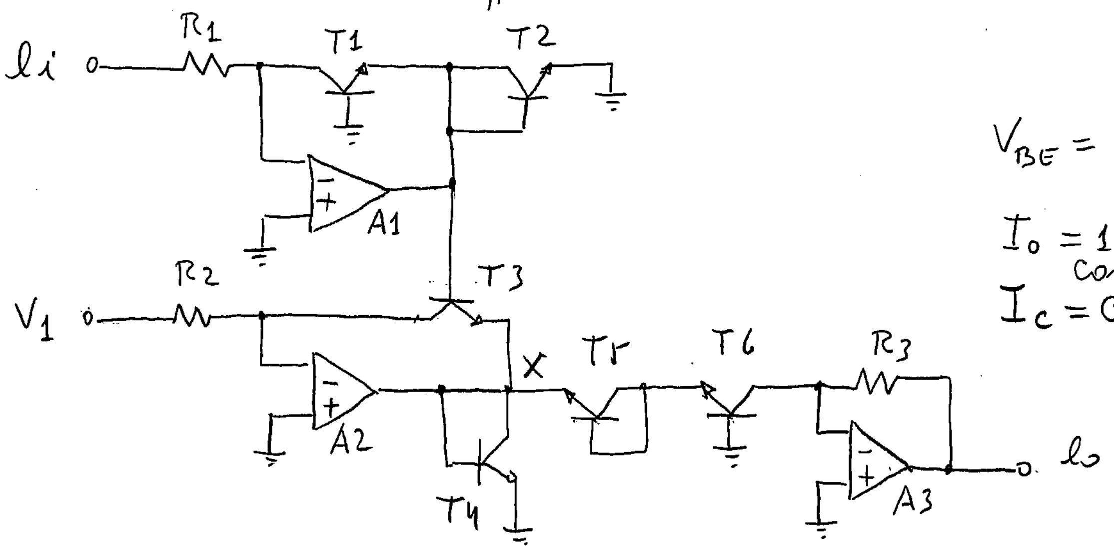


2. Calcule os elementos de um filtro passa-faixas de segunda ordem tipo realimentação múltipla, com controle de frequência por um sinal de clock.
Faixa de atuação de 7Hz a 25Hz, fator de qualidade 10, impedância de entrada de 100kΩ, pelo menos. Use dois elementos de controle, comandados por um clock com frequência mínima de 1kHz. Descreva todos os passos da solução. Arredondamento em 3 dígitos significativos.
Após calcular o filtro, desenhe o esquema completo. Existe linearidade entre a frequência do filtro e a do clock? Prove com uma equação.



$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{-s}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)} = \frac{H_0 \cdot \dfrac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

No circuito abaixo, lo deve variar o máximo possível quando li variar entre 100V e 80kV. Divida o circuito em blocos, entenda e equacione cada um com o objetivo de obter a função de transferência de li para lo. Calcule o valor dos componentes de modo a obter a equação mais simples possível. Para evitar auto aquecimento, limite em 1mA a corrente nos transistores. Componentes ideais. $V_1 = V_{CC} = 18V$.
Documente cada passo do seu trabalho.



$$V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$I_o = 10^{-13}$ A @ 27°C
corr. de sat. reversa
I_c = Corr. de coletor

P2_2003/2

Bloco A1, T1: conversor log

$lo_1 = -V_{BE1}$

Bloco A2, T3: conversor log

$lo_2 = -V_{BE1} - V_{BE2}$

$$lo_2 = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{li}{R_1 \cdot I_o}\right) - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{V_1}{R_2 \cdot I_o}\right)$$

Bloco A3, T5, T6: conv. antilog

$li_3 = -V_{BE5} - V_{BE6}$

$$li_3 = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{lo}{R_3 \cdot I_o}\right) - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{lo}{R_3 \cdot I_o}\right)$$

Blocos T2 e T4:

Transistores ligados como diodos para proteção das junções de T1, T3, T5 e T6 caso as saídas de A1 ou A2 fiquem positivas.

KVL no ponto X:

$lo_2 = li_3$

Substituindo os valores:

$$-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{ei}{R_1\cdot I_o}\right)-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{V_1}{R_2\cdot I_o}\right)=\frac{-k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{eo}{R_3\cdot I_o}\right)-\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{eo}{R_3\cdot I_o}\right)$$

Transistores iguais e na mesma temperatura:

$$\ln\left(\frac{ei}{R_1\cdot I_o}\right)+\ln\left(\frac{V_1}{R_2\cdot I_o}\right)=\ln\left[\left(\frac{eo}{R_3\cdot I_o}\right)^2\right]$$

$$\frac{ei\cdot V_1}{R_1\cdot R_2}=\frac{eo^2}{R_3^2}$$

$$eo = R_3\cdot\sqrt{\frac{ei\cdot V_1}{R_1\cdot R_2}}\ //$$

Corrente máxima de entrada é 1 mA. Massa virtual:

$$R_1=\frac{ei_{max}}{1mA}=\frac{80\cdot 10^3}{10^{-3}}$$

$$R_1 = 80\,M\Omega\ //$$

Simplificando a equação:

Máxima variação na saída, logo $eo_{máx} = 18V$

$$18=\sqrt{R_3^2\,\frac{80\cdot10^3\cdot 18}{80\cdot10^6\cdot R_2}}$$

Fazendo $R_2=R_3$ e elevando ao quadrado:

$$18^{\cancel{2}}=R_3^{\cancel{2}}\,\frac{\cancel{80}\cdot10^3\cdot\cancel{18}}{\cancel{80}\cdot10^6\,\cancel{R_3}}$$

$$18=R_3\,\frac{10^3}{10^6}$$

$$R_2=R_3=18K\ //$$

Substituindo na equação original:

$$eo=18\cdot10^3\cdot\sqrt{\frac{ei\cdot\cancel{18}}{80\cdot10^6\cdot\cancel{18}\cdot10^3}}$$

$$eo=18\cdot10^3\cdot\frac{1}{\sqrt{80\cdot10^9}}\cdot\sqrt{ei}$$

$$eo=0{,}06364\cdot\sqrt{ei}\ //$$

Com 100 V na entrada:

$$eo=0{,}06364\,\sqrt{100}=0{,}6364V\ //$$

Calcule os elementos de um filtro passa-faixa de 2ª ordem tipo realimentação múltipla com controle da frequência central por um sinal de clock.

Dados: Arredondamento em 3 dígitos significativos.

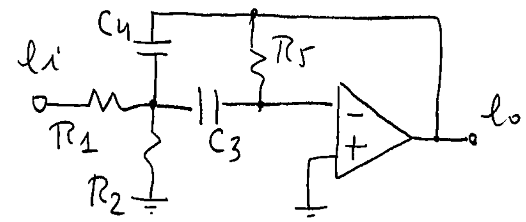
Faixa de atuação de 7 a 25 Hz, fator de qualidade 10, impedância de entrada de 100kΩ pelo menos, dois elementos de controle, comandados por um clock com frequência mínima de 1 kHz.

Após completar o filtro, desenhe o esquema completo e responda:

a) Qual o ganho obtido e a sua variação com a freq.?

b) Existe linearidade entre a freq. central e o clock?

P2 2003/2



$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-\frac{s}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \frac{s}{R_5}\left(\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right) + \left(\frac{1}{R_5 C_3 C_4}\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}$$

Forma padrão PF 2ª ordem:

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{H_o \cdot \frac{W_o}{\varphi} \cdot s}{s^2 + \frac{W_o}{\varphi} s + W_o^2}$$

Aplicando as especificações:

$R_1 = 100k$ para que a imped. de entrada seja pelo menos este valor.

W_o é controlado por C_3, C_4, R_1, R_2 e R_5

Fazendo C_1 e C_4 fixos, sobra R_1, R_2 e R_5. Para usar apenas dois elementos de controle, fazemos $R_2 = \infty$ pois ele não participa do φ ou do H_o.

Comparando as equações acima obtemos:

$$W_o^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right)$$

$$\frac{H_o \cdot W_o}{\varphi} = -\frac{1}{R_1 \cdot C_4}$$

Fazendo $R_1 = R_5 = R$ e $C_3 = C_4 = C$:

$$W_o = \frac{1}{RC}$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{2}{R \cdot C}$$

$$\frac{H_o \cdot W_o}{\varphi} = \frac{-1}{RC}$$ Isolando H_o:

$$H_o = \frac{\varphi}{W_o}\left(\frac{-1}{RC}\right) \rightarrow H_o = -\varphi$$

Para $\varphi = 10$:

$$\frac{W_o}{10} = \frac{2}{RC} \rightarrow W_o = \frac{20}{RC}$$

$7\,Hz \rightarrow W_{min} = 2\cdot\pi\cdot 7 = 44$ rad/s

$25\,Hz \rightarrow W_{máx} = 2\cdot\pi\cdot 25 = 157$ rad/s

Usando capacitores chaveados em lugar de R_1 e R_3 para controlar a freq. central do filtro, pelas equações:

$R_{1\,min} \rightarrow W_{máx}$. Então:

$$W_{máx} = 157 = \frac{20}{100k\cdot C}$$

$C = C_3 = C_4 = 1{,}27\,\mu F$ //

com $R_{1\,min} = 100k$

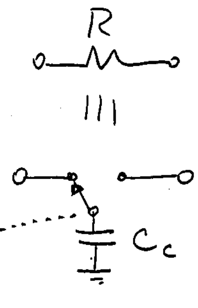
Na frequência mais baixa:

$$W_{min} = 44 = \frac{20}{R_{1\,máx}\cdot 1{,}27\,\mu F}$$

Então $R_{1\,máx} = 357k$ //

Dimensionando os capac. chaveados:

$$R = \frac{1}{C_c\cdot f_c}$$



Como $f_{c\,min} \rightarrow R_{máx}$ vem:

$$R_{1\,máx} = 357k = \frac{1}{C_c\cdot 1000\,Hz}$$

Então $C_c = 2{,}8\,mF$ //

a) Cálculo do ganho:

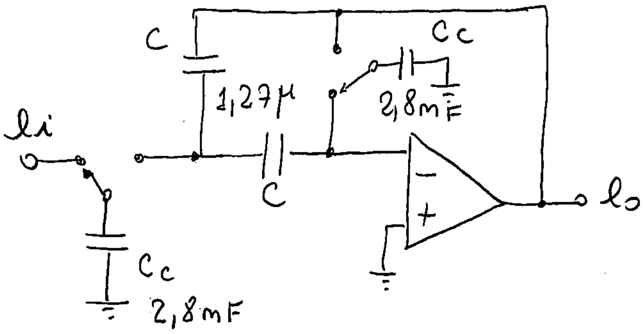
$H_0 = -\varphi \rightarrow H_0 = -10$ vezes //

Não varia com a frequência.

b) $$W_0 = \frac{1}{RC} = \frac{1}{\frac{1}{C_c\cdot f_c}\cdot C}$$

$$W_0 = \frac{C_c\cdot f_c}{C}$$

Então f_c controla linearmente a freq. central do filtro.



$$f_{c\,máx} = \frac{1}{C_c\cdot R_{1\,min}} = \frac{1}{2{,}8\cdot 10^{-9}\cdot 100\cdot 10^{3}}$$

$f_{c\,máx} = 3{,}57\,kHz$ //

QUESTÃO 2 P2 2003/2

Existem vários possibilidades para este filtro.
Avaliação da questão:

- cálculo do filtro (vários resultados) 1/2 TOTAL
- conversão p/ cap. chaveados 1/2 TOTAL

PRIMEIRA SOLUÇÃO:

Examinando as equações nota-se que é possível fazer $R_2 = \infty$.

Comparando com a forma padrão:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 R_5 C_3 C_4}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}\right)$$

$$\frac{H_0 \omega_0}{Q} = \frac{-1}{R_1 C_4}$$

Fazendo $C_3 = C_4 = C$:

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_1 \cdot R_5}}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{2}{R_5 \cdot C}$$

$$\frac{H_0 \omega_0}{Q} = \frac{-1}{R_1 \cdot C}$$

Substituindo $Q = 10$:

$$\omega_0 = \frac{20}{R_5 \cdot C}$$

Comparando:

$$\frac{1}{\cancel{C}\sqrt{R_1 R_5}} = \frac{20}{R_5 \cdot \cancel{C}}$$

$$\frac{1}{R_1 \cdot R_5} = \left(\frac{20}{R_5}\right)^2 \rightarrow R_5 = 400 \cdot R_1$$

$7\,Hz \rightarrow \omega_7 = 2\cdot\pi\cdot 7 = 44$ rad/s

$25\,Hz \rightarrow \omega_{25} = 2\cdot\pi\cdot 25 = 157$ rad/s

Pela equação, com ω_{25} temos o R_1 mínimo $= 100k$:

$$157 = \frac{1}{C\sqrt{10^5 \cdot 400 \cdot 10^5}}$$

$$C = 3{,}18\,nF$$

Para ω_7, na mesma equação:

$$44 = \frac{1}{3{,}18 \cdot 10^{-9}\sqrt{R_1 \cdot 400 R_1}}$$

$$R_1 = 357k$$

Transformando em capacitores chaveados:

$$R = \frac{1}{C_c \cdot f_{CK}}$$

Com $f_{CK\,min} = 1\,KHz$ devemos ter R_{max}, ou seja: $\begin{cases} R_1 = 357k \\ R_5 = 400 \cdot R_1 \end{cases}$

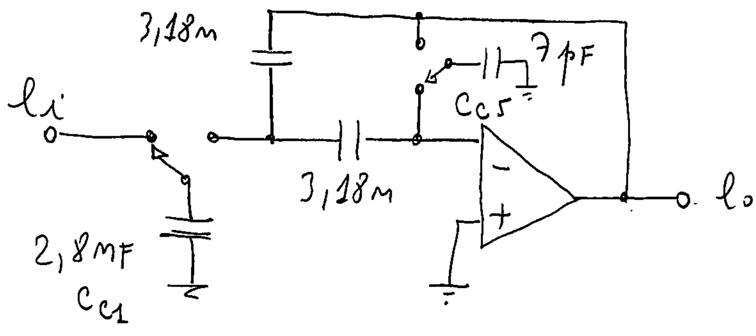
$$357 \cdot 10^4 = \frac{1}{C_{C1} \cdot 10^3}$$

$C_{C1} = 2{,}8\,nF$ //

Como a relação é linear, para $R_5 = 400 \cdot R_1$ obtemos:

$$C_{C5} = \frac{C_{C1}}{400} = 7 \cdot pF \;//$$

Circuito final:



SEGUNDA SOLUÇÃO:

Escolhendo $C = C_3 = C_4 = 1\mu F$ que é um valor elevado mas não do tipo polarizado.

Faz-se também $R_2 = \infty$.

$$W_0^2 = \frac{1}{10^5 \cdot R_5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}$$

Para 25 Hz, $W_{25} = 157$ rad/s:

$R_5 = 406\ \Omega$ //

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{2}{R_5 \cdot C}$$

para $25 Hz \rightarrow W_{25} = 157$ rad/s:

$$R_5 = \frac{2 : 10}{157 \cdot 10^{-6}} = 127k$$ //

TERCEIRA SOLUÇÃO:

Seguindo um roteiro da bibliografia:

Fazendo $C_3 = C_4 = C$

$R_1 = R = 100k$

$R_5 = A \cdot R$

Então:

$$W_0 = \frac{1}{RC}\sqrt{\frac{1}{A}}$$

$$H_0 = \frac{-A}{2}$$

$$\varphi = \frac{1}{2}\sqrt{A}$$

Então:

$A = 400$

$$W_0 = \frac{1}{20 \cdot 10^5 \cdot C}$$

Em 25 Hz:

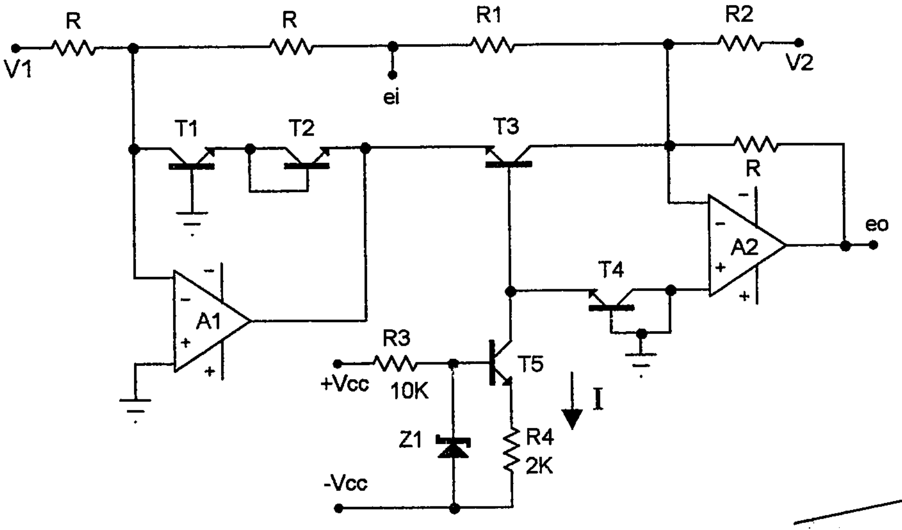
$$C = \frac{1}{157 \cdot 20 \cdot 10^5} = 3{,}18\ mF$$ //

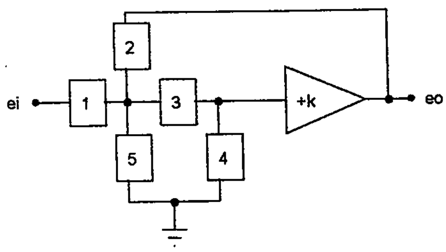
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2004/1**

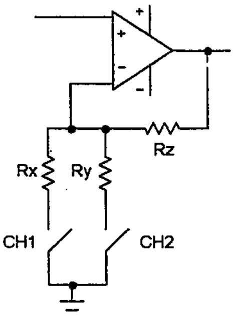
Prova 2 **13/7/2004**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito, identifique os blocos componentes, procurando entender o funcionamento do circuito e obter a sua função de transferência. Equacione a saída e_o em função de todas as entradas e da corrente I, detalhando todos os cálculos e comentando os resultados.
Calcule a corrente I e determine o valor dos resistores para implementar a função $e_o = e_i^2 / 10$.
Use $V_1 = 10$ $V_2 = 12$ $V_z = 4{,}7$ $V_{be} = 0{,}7$ Componentes ideais. Corrente de base ≅ zero.
Dica: Calcule $I_c = I_e$ em cada transistor em função das entradas.
$V_{be} = K\,T / q\,[\ln(I_c / I_o)]$ I_c = Corr. de coletor I_o = Corr. de saturação reversa = 10^{-13} @25°







2. Estude o filtro passa-faixas VCVS com controle eletrônico e a sua equação geral. Determine a equação da frequência central, fator de qualidade, ganho na frequência central e ganho do operacional ao usar resistores iguais e capacitores iguais na estrutura do filtro. Calcule os componentes para obter f_o = 12kHz. Complete a tabela com o auxílio das equações deduzidas, detalhando todos os cálculos e comentando os resultados.
É possível substituir as chaves analógicas usadas neste circuito por transistores NPN ? Justifique a resposta. R_z = 30k. Componentes ideais. Arredondamento em 3 dígitos significativos. C = 470pF.

Modo	K	H_o	ω_o	Q	CH1	CH2	
a		1			on	off	R_x =
b					off	on	
c					off	off	R_y =
d	4				on	on	

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\dfrac{K}{R1\cdot C5}S}{S^2 + \left(\dfrac{1}{R1\cdot C5} + \dfrac{1}{R4\cdot C5} + \dfrac{1}{R2\cdot C3} + \dfrac{1-K}{R2\cdot C5}\right)S + \dfrac{\dfrac{1}{R1} + \dfrac{1}{R2}}{R4\cdot C3\cdot C5\cdot}} = \frac{\dfrac{H_o\omega_o}{Q}S}{S^2 + \dfrac{\omega_o}{Q}S + \omega_o^2}$$

Examine o circuito, identifique os blocos componentes, procurando entender o funcionamento e obter a sua função de transferência. Equacione a saída lo em função de todas as entradas e da corrente I.

Calcule a corrente I e determine o valor dos resistores para implementar a função $lo = \frac{li^2}{10}$.

$V_1 = 10$ $V_2 = 12$ $V_Z = 4{,}7$ $V_{BE}(T5) = 0{,}7$

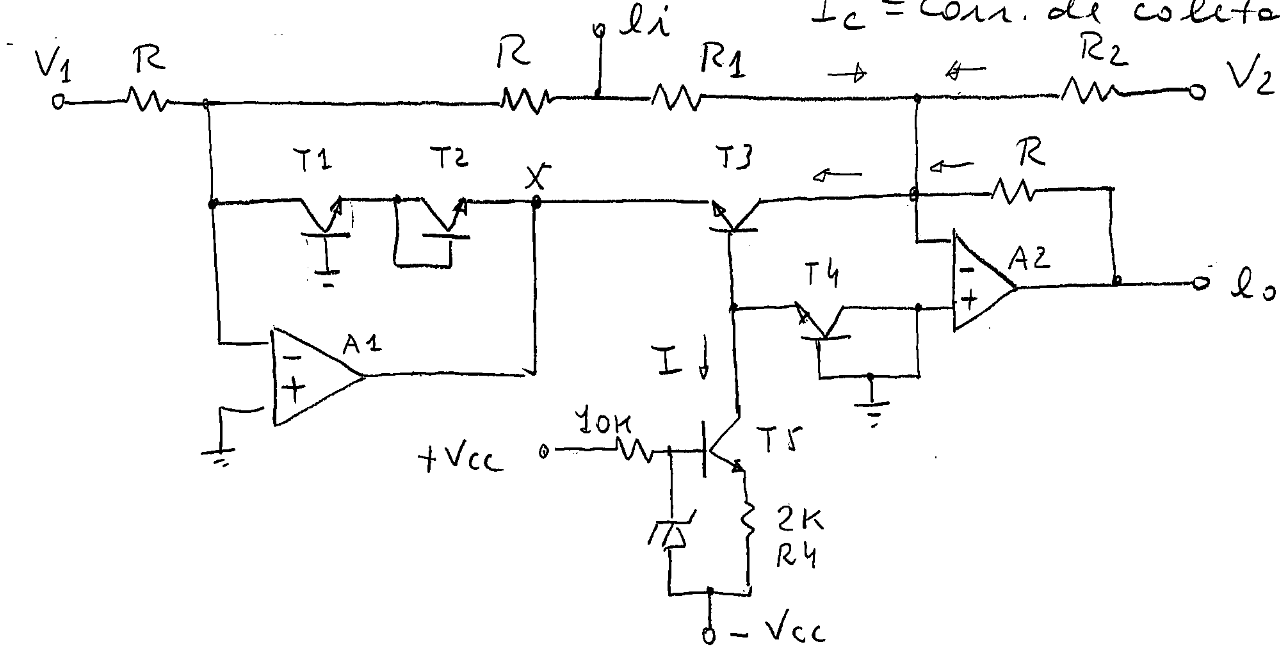
componentes ideais. Corrente de base ≅ zero

Dica: Calcule $I_c = I_E$ em cada transistor em função das entradas.

$$V_{BE} = \frac{K \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

I_o = corr. de sat. reversa 10^{-13} @ 27°C

I_c = corr. de coletor



Blocos: conversor log com somador. conversor exp. com somador. Fonte de corrente I.

Equacionando as correntes: (note a massa virtual)

Bloco A1: $I_{c1} = I_{c2} = \frac{V_1}{R} + \frac{li}{R} = \frac{V_1 + li}{R}$

Bloco A2: $I_{c3} = \frac{li}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{lo}{R}$

Fonte de corrente:

KVL: $-V_Z + V_{BE5} + I \cdot R_4 = 0$

$$I = \frac{4{,}7 - 0{,}7}{2k} \rightarrow I = 2mA$$

Equacionando o circuito:

KVL no ponto X:

$$-V_{BE1} - V_{BE2} = -V_{BE3} - V_{BE4} \quad \times(-1)$$

$$\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_0}\right) + \frac{k T}{q} \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_0}\right) =$$

$$= \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{c3}}{I_0}\right) + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_0}\right)$$

Como: $I_{c4} = I_{e4} = I = 2mA$.

$I_{c1} = I_{c2}$

$$\ln I_{c1} + \ln I_{c1} = \lg I_{c3} + \lg I$$

$$I_{c1}^2 = I_{c3} \cdot I \quad //$$

Substituindo:

$$\frac{V_1^2 + 2 \cdot V_1 \cdot li + li^2}{R^2} =$$

$$\left(\frac{li}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{lo}{R}\right) \cdot I$$

Isolando lo:

dividi R^2 em todos

$$lo = \frac{li^2}{R \cdot I} + li\left(\frac{2 \cdot V_1}{R \cdot I} - \frac{R}{R_1}\right) + \left(\frac{V_1^2}{R \cdot I} - \frac{R \cdot V_2}{R_2}\right) //$$

Para implementar $lo = \frac{li^2}{10}$ é preciso fazer:

$$\frac{li^2}{R \cdot I} = \frac{li^2}{10} \Rightarrow R \cdot I = 10 \rightarrow R = \frac{10}{2mA} \rightarrow R = 5k //$$

$$\left(\frac{2 V_1}{R \cdot I} - \frac{R}{R_1}\right) = 0$$

$$R_1 = \frac{R^2 \cdot I}{2 \cdot V_1} = \frac{(5k)^2 \cdot 2mA}{2 \cdot 10}$$

$$R_1 = 2{,}5k //$$

$$\left(\frac{V_1^2}{R \cdot I} - \frac{R \cdot V_2}{R_2}\right) = 0$$

$$R_2 = \frac{R^2 \cdot I \cdot V_2}{V_1^2}$$

$$R_2 = \frac{(5k)^2 \cdot 2mA \cdot 12}{10^2}$$

$$R_2 = 6k //$$

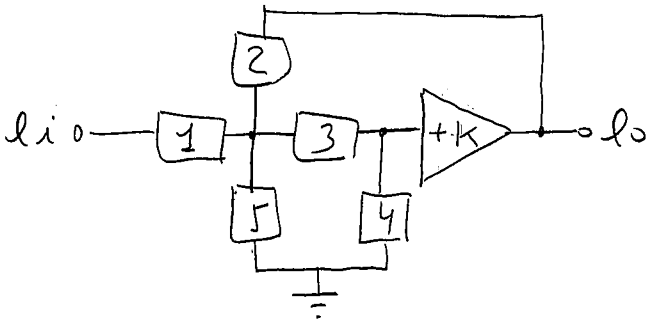
$$\left(\frac{V_1 + li}{R}\right)^2 = \left(\frac{li}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{lo}{R}\right) I$$

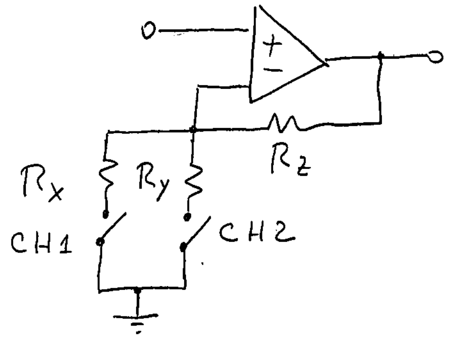
$$\frac{1}{IR^2}\left(V_1^2 + 2 li V_1 + li^2\right) - \frac{li}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} = \frac{lo}{R}$$

$$\frac{V_1^2}{IR} + \frac{2 li V_1}{IR} + \frac{li^2}{IR} - \frac{li \cdot R}{R_1} - \frac{V_2 \cdot R}{R_2} = lo$$

$$lo = \frac{li^2}{IR} + li\left(\frac{2V_1}{IR} - \frac{R}{R_1}\right) + \left(\frac{V_1^2}{IR} - \frac{V_2 R}{R_2}\right)$$

Estude o filtro passa-faixas VCVS (Salen-Key) com controle eletrônico e a sua equação. Determine a equação da freq. central, fator de qualidade, ganho na frequência central e ganho do operacional ao usar resistores iguais e capacitores iguais na estrutura do filtro. Calcule os componentes para obter $f_o = 12\,kHz$. Com o auxílio das equações deduzidas, complete a tabela, comentando os resultados. É possível substituir as chaves analógicas por transistores NPN? Desenhe o circuito e justifique a resposta. $R_z = 30\,k$. Componentes ideais. $C = 470\,pF$ Arredondamento em 3 dígitos significativos.





$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\dfrac{K \cdot s}{R_1 \cdot C_5}}{s^2 + \left[\dfrac{1}{R_1 C_5} + \dfrac{1}{R_4 C_5} + \dfrac{1}{R_2 C_3} + \dfrac{1-K}{R_2 C_5}\right] s + \dfrac{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}{R_4 \cdot C_3 \cdot C_5}} = \frac{H_o \dfrac{W_o}{\varphi} s}{s^2 + \dfrac{W_o}{\varphi} s + W_o^2}$$

MODO	K	H_o	W_o	φ	CH1	CH2	
a	2	1	$75{,}4\,k\,\frac{rad}{s}$	0,707	ON	OFF	$R_x = ?$ 30k
b	3	3	〃	$\sqrt{2}$	OFF	ON	$R_y = ?$ 15k
c	1	1/3	〃	$\sqrt{2}/3$	OFF	OFF	
d	4	∞	〃	∞	ON	ON	

Fazendo $C = C_3 = C_5$ e
$R = R_1 = R_2 = R_4$ vem:

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\frac{K \cdot s}{R \cdot C}}{s^2 + \left[\frac{1}{RC} + \frac{1}{RC} + \frac{1}{RC} + \frac{1-K}{RC}\right]s + \frac{1/R + 1/R}{R\,CC}} = \frac{\frac{K \cdot s}{RC}}{s^2 + \frac{1}{RC}(1+1+1+1-K)s + \frac{2}{R^2 \cdot C^2}}$$

Comparando com a forma padrão:

$$W_o^2 = \frac{2}{R^2 \cdot C^2} \rightarrow W_o = \frac{\sqrt{2}}{RC} //$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{4-K}{RC} \rightarrow \varphi = \frac{\sqrt{2}}{RC} \cdot \frac{R \cdot C}{4-K}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-K} //$$

$$H_o \frac{W_o}{\varphi} = \frac{K}{RC} \rightarrow H_o = \frac{K \cdot \varphi}{W_o \cdot RC}$$

$$H_o = \frac{K \cdot \frac{\sqrt{2}}{4-K}}{\frac{\sqrt{2}}{RC} \cdot RC} \rightarrow H_o = \frac{K}{4-K} //$$

Amplif. não-inversor:

$$K = 1 + \frac{R_z}{R}$$

R = combinação de R_x e R_y

Para obter $f_o = 12\,kHz$:

$$W_o = 2 \cdot \pi \cdot f_o = \frac{\sqrt{2}}{RC} \qquad W_o = 75{,}4\,k\,\frac{rad}{s}$$

$$R = \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot C} = \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-12}}$$

$$R = 39927 \rightarrow R = 40\,k\Omega //$$

Modo a:

$$H_o = 1 = \frac{K}{4-K} \rightarrow K = 2 //$$

Neste caso, $K = 1 + \frac{R_z}{R_x}$

$$2 = 1 + \frac{30 \cdot 10^3}{R_x} \rightarrow R_x = 30\,k\Omega //$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-K} = \frac{\sqrt{2}}{4-2} \rightarrow \varphi = 0{,}707 //$$

Modo d:

$$K = 4 = 1 + \frac{R_z}{R_x // R_y}$$

$$3 = \frac{30 \cdot 10^3}{R_x // R_y} \rightarrow \frac{30k \cdot R_y}{30k + R_y} = \frac{30k}{3}$$

$$R_y = 15\,k\Omega //$$

$$\left.\begin{array}{l} H_o = \frac{K}{4-K} = \frac{4}{4-4} = \infty \;? \\ \varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-K} = \frac{\sqrt{2}}{4-4} = \infty \;? \end{array}\right\} \text{Instável. Vai oscilar!}$$

Modo b: Apenas R_y:

$$K = 1 + \frac{R_z}{R_y} = 1 + \frac{30k}{15k} \rightarrow K = 3 //$$

$$H_o = \frac{K}{4-K} = \frac{3}{4-3} \rightarrow H_o = 3 //$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-K} = \frac{\sqrt{2}}{4-3} \rightarrow \varphi = \sqrt{2} //$$

Modo c: $K = 1 + \frac{R_z}{\infty} \rightarrow K = 1 //$

$$H_o = \frac{1}{4-1} = 1/3 // \qquad \varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-1} = \sqrt{2}/3 //$$

Transistor não serve pois o sinal nos extremos da chave é alternado e o transistor conduz apenas do coletor para o emissor.

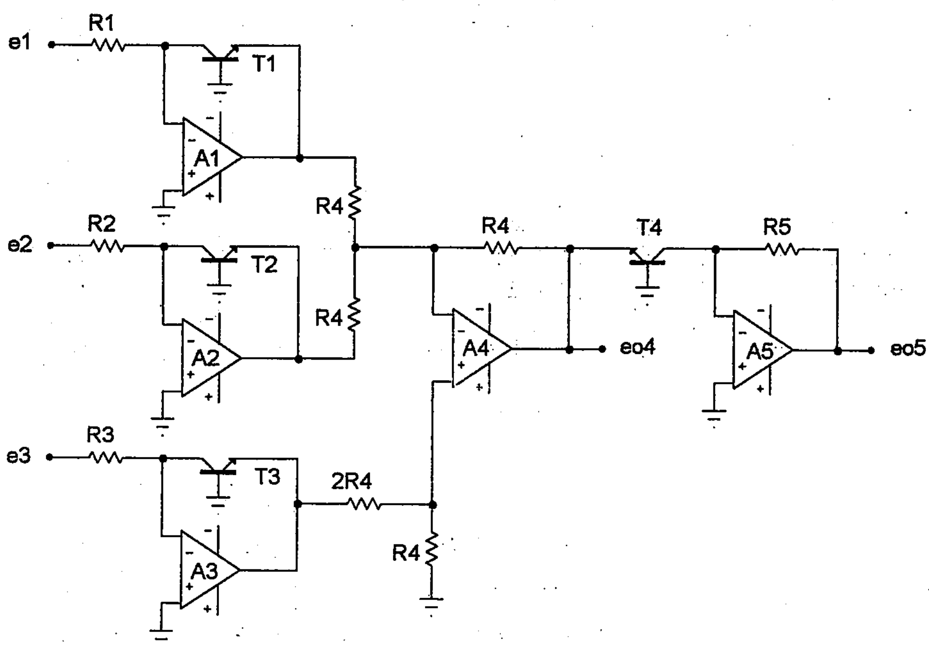
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2004/2**

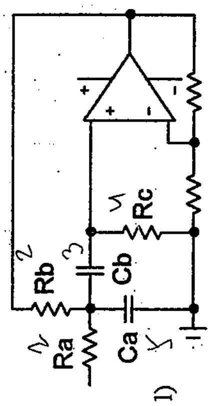
Prova 2 **4/1/2005**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito a seguir, identifique os blocos componentes, procurando entender o funcionamento e obter a sua função de transferência.

Equacione a saída e_{o5} em função das entradas. Examine o resultado obtido e avalie a sua utilidade prática considerando a sensibilidade em relação a temperatura. Identifique algum termo inconveniente na equação, proponha e implemente uma solução corretiva, avaliando novamente os resultados. A nova equação pode ser um pouco diferente da original mas deve realizar os mesmos tipos de operações (por exemplo, se a equação original realizava + ÷ e √, a nova deve também conter estas operações). Descreva amplamente cada etapa da solução.





$$T(e_1) = 2RC\ln\left(\frac{2\cdot R_2}{R_3}+1\right)$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\frac{K}{Ra\cdot Ca}S}{S^2+\left(\frac{1}{Ra\cdot Ca}+\frac{1}{Rc\cdot Ca}+\frac{1}{Rc\cdot Cb}+\frac{1-K}{Rb\cdot Ca}\right)S+\frac{\frac{1}{Ra}+\frac{1}{Rb}}{Rc\cdot Ca\cdot Cb}}$$

2. O circuito a seguir deve gerar uma tensão senoidal em e_3 com frequência três vezes maior do que em e_1. O potenciômetro quádruplo P1 é o ajuste da frequência. Estude o circuito, divida em blocos funcionais, classifique, entenda e descreva o princípio de funcionamento. Documente cada passo com textos e equações.

a) Equacione o bloco A1 e dimensione os componentes para que a mínima frequência em e_3 seja de 240Hz, aproximadamente. Use valores comerciais quando possível.

b) Apenas equacione o bloco A2.

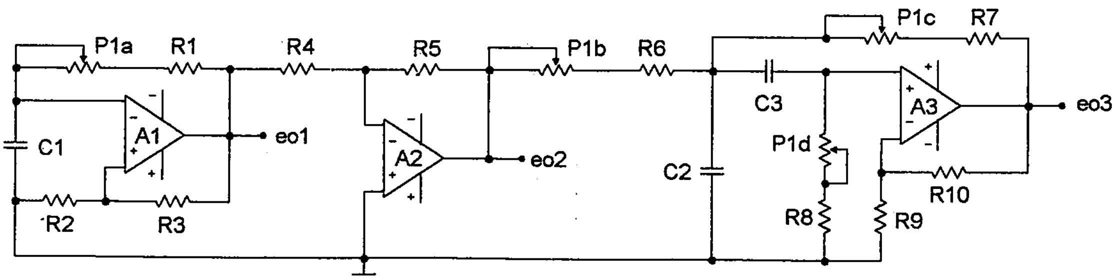
c) Equacione o bloco A3 de modo a atender ao que foi solicitado. Use resistores iguais e capacitores iguais.

d) Calcule o máximo ganho em A3 e dimensione o bloco A2 para evitar saturação na saída e_3.

P1 = 100K R1 = R6 = R7 = R8 = 22K R2 = R3 R10 = 33K Q = 5,6

Componentes ideais, alimentação ± 10V.

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\frac{Ho\cdot\omega_o}{Q}S}{S^2+\frac{\omega_o}{Q}S+\omega_o^2}$$



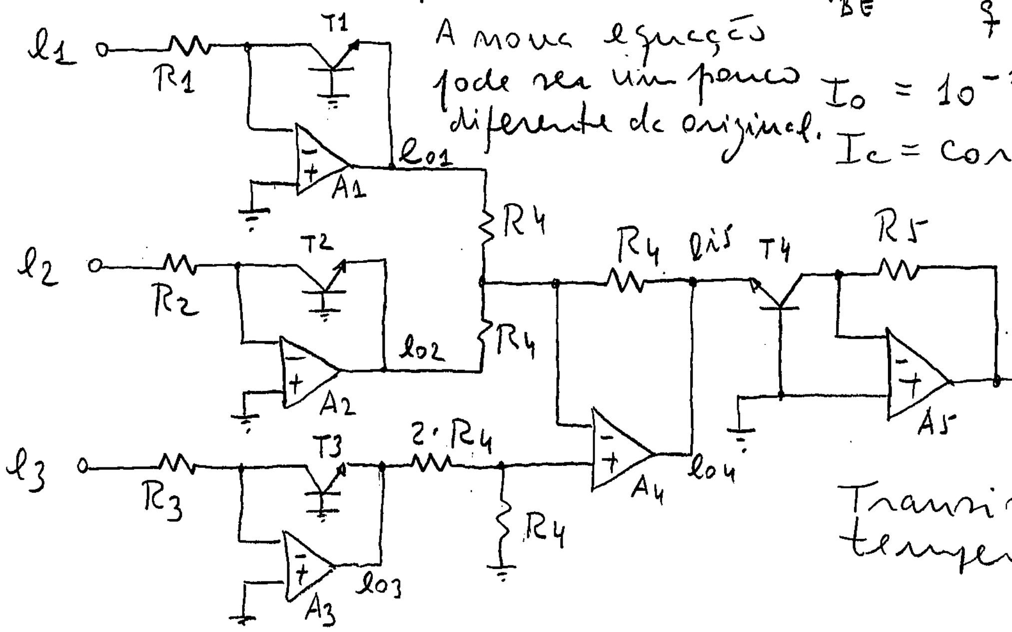
Examine o circuito, identifique os blocos componentes, procurando entender o funcionamento e obter sua função de transferência.
Equacione a saída e_o em função das entradas.
Examine o resultado obtido e avalie a sua utilidade prática ou não. Identifique algum termo inconveniente, proponha e implemente uma solução corretiva, avaliando novamente a sua utilidade prática.

$$V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_o}\right)$$

A nova equação pode ser um pouco diferente do original.

$I_o = 10^{-13} A$ @ 27°C

I_C = corr. de coletor



Transistores na mesma temperatura.

Blocos A1, A2, A3:
conversor log:

$$e_{o1}, e_{o2}, e_{o3} = -V_{BE} = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_o}\right)$$

onde $I_C = \frac{e_1}{R_1}, \frac{e_2}{R_2}, \frac{e_3}{R_3}$

Bloco A4: somador e subtrator:

$$e_- = \frac{e_{o1}\, R_4/\!/R_4}{R_4 + R_4/\!/R_4} + \frac{e_{o2}\, R_4/\!/R_4}{R_4 + R_4/\!/R_4} + \frac{e_{o4}\, R_4/\!/R_4}{R_4 + R_4/\!/R_4}$$

$$e_- = \frac{e_{o1}}{3} + \frac{e_{o2}}{3} + \frac{e_{o4}}{3}$$

$$e_+ = \frac{e_{o3} \cdot R_4}{2 \cdot R_4 + R_4} \rightarrow e_+ = \frac{e_{o3}}{3}$$

Igualando e isolando e_{o4}:

$$e_{o4} = -e_{o1} - e_{o2} + e_{o3}$$

Bloco A5: conversor antilog:

$$e_{i5} = -V_{BE} = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_o}\right)$$

onde $I_C = \frac{e_o}{R_5}$

KVL no emissor de T4:

$$e_{o4} = e_{i5}$$

Substituindo pelos valores:

$$\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\right)+\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot I_o}\right)-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_o}\right)=-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_o}{R_f\cdot I_o}\right)$$

Multiplicando por -1 membro a membro e simplificando:

$$-\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\right)-\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot I_o}\right)+\ln\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_o}\right)=\ln\left(\frac{e_o}{R_f\cdot I_o}\right)$$

$$e_o = R_f\cdot I_o\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_o}\cdot\frac{R_1\cdot I_o}{e_1}\cdot\frac{R_2\cdot I_o}{e_2}\right)$$

$$e_o = I_o^2\cdot\frac{R_f\cdot R_1\cdot R_2}{R_3}\cdot\frac{e_3}{e_1\cdot e_2}\ //$$

Inconveniente pois o termo I_o não foi cancelado.

Para cancelar I_o, deve haver o mesmo número em ambos os lados da equação:

a) colocando transistor em série com T4 → Ocorre grande mudança na função do circuito pois então
$e_o = K\sqrt{e_1, e_2 \cdots}$

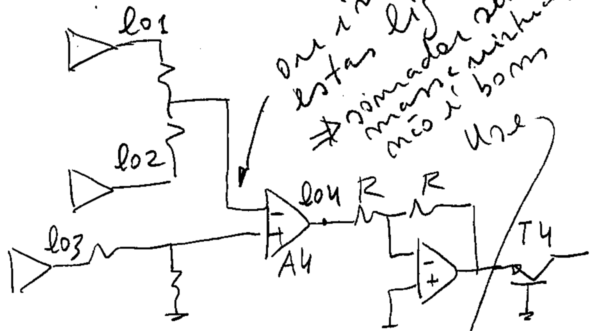
b) Invertendo a saída e_{o4}: Equivale a multiplicar por -1 o primeiro membro da equação acima:

$$+\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\right)+\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot I_o}\right)-\ln\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_o}\right)=\ln\left(\frac{e_o}{R_f\cdot I_o}\right)$$

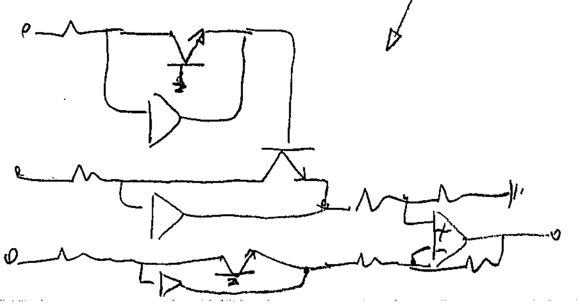
$$e_o = R_f\cdot I_o\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\cdot\frac{e_2}{R_2\cdot I_o}\cdot\frac{R_3\cdot I_o}{e_3}\right)$$

$$e_o = \frac{R_f\cdot R_3}{R_1\cdot R_2}\cdot\frac{e_1\cdot e_2}{e_3}\ //$$

ou inverter estas ligações!
≠ somador sem massa virtual não é bom
Usar



A operação continua sendo um produto / quociente e o termo em I_o foi cancelado.



O circuito a seguir deve gerar uma tensão senoidal em e_3 com frequência três vezes maior do que em e_1. O potenciômetro quádruplo P_1 é o ajuste da frequência. Estude o circuito, divida em blocos, classifique entenda e descreva o princípio de funcionamento. Documente cada passo com texto e equações.

a) Equacione o bloco A_1 e dimensione os componentes para que a mínima frequência em e_3 seja 240 Hz, aproximadamente. Use valores comerciais quando possível.

b) Apenas equacione o bloco A_2.

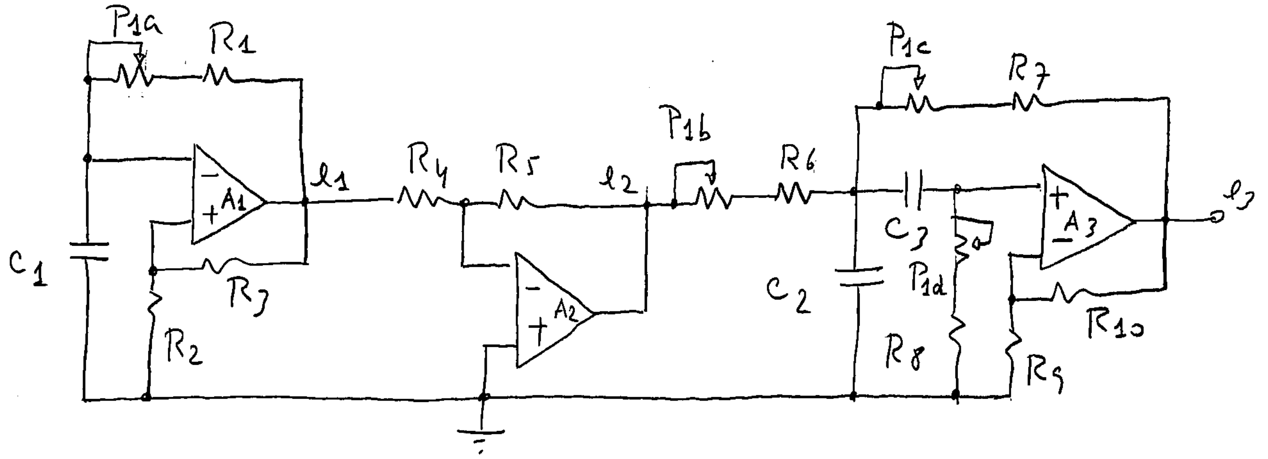
c) Equacione o bloco A_3 de modo a atender o que foi solicitado. Use resistores iguais e capacitores iguais.

d) Calcule o máximo ganho de A_3 e dimensione o bloco A_2 para evitar saturação de e_3.

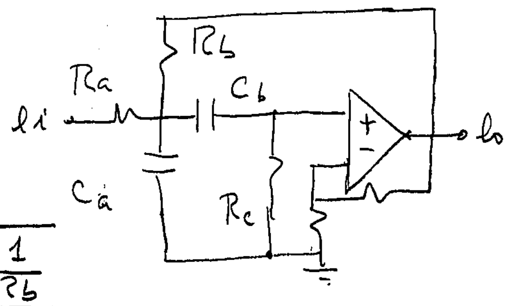
Componentes ideais, Alimentação ± 10 Volts

$P_1 = 100k$ $\quad R_2 = R_3 \quad$ Fator de qualidade $= 5{,}6$

$R_1 = R_6 = R_7 = R_8 = 22k \quad R_{10} = 33K$



$$T(e_1) = 2RC \ln\left(\frac{2 \cdot R_2}{R_3} + 1\right)$$



$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{S \cdot K / Ra \cdot Ca}{S^2 + \left[\frac{1}{Ra \cdot Ca} + \frac{1}{Rc\,Ca} + \frac{1}{Rc\,Cb} + \frac{1-K}{Rb\,C_1}\right]S + \frac{\frac{1}{Ra} + \frac{1}{Rb}}{Rc\,Ca\,Cb}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\frac{H_o\,W_o}{\varphi}\,S}{S^2 + \frac{W_o}{\varphi}\,S + W_o^2}$$

a) Gerador de ondas quadradas.

Para obter 240 Hz em e_3, precisa $\frac{240}{3}$ Hz em e_1

$$f_1 = \frac{240}{3} = \frac{1}{T}$$

$$f_1 = \frac{1}{2(P_1+R_1)\cdot C_1 \cdot \ln\left(\frac{2\cdot R_2}{R_3}+1\right)}$$

$$C_1 = \frac{1}{2(100+22)\cdot 10^3 \cdot 80 \ln\left(\frac{2\cdot R_2}{R_2}+1\right)}$$

$$C_1 = 4{,}66\cdot 10^{-8} \rightarrow C_1 = 47\,nF$$

b) Amplificador inversor:

$$\frac{e_2}{e_1} = -\frac{R_5}{R_4}$$

c) Filtro passa-faixa VCVS Sallen-Key.

Comparando os termos com a equação padrão e fazendo resistores iguais e capacitores iguais:

$$W_0^2 = \frac{\frac{1}{P_{1b}+R_6} + \frac{1}{P_{1c}+R_7}}{(P_{1d}+R_8)\cdot C_1\cdot C_2}$$

$$W_0^2 = \frac{2}{R\cdot R\cdot C\cdot C} \rightarrow W_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC}$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{(P_{1b}+R_6)C_2} + \frac{1}{(P_{1d}+R_8)\cdot C_2} + \frac{1}{(P_{1d}+R_8)C_3} + \frac{1-K}{(P_{1c}+R_7)\cdot C_2}$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{3}{RC} + \frac{1-K}{RC} = \frac{4-K}{RC}$$

$$\varphi = \frac{W_0\cdot RC}{4-K} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{RC}\cdot RC}{4-K} \rightarrow \varphi = \frac{\sqrt{2}}{4-K}$$

$$\frac{H_0\cdot W_0}{\varphi} = \frac{K}{R\cdot C} \rightarrow H_0 = \frac{K\cdot\varphi}{W_0\, RC}$$

$$H_0 = \frac{K\cdot\frac{\sqrt{2}}{4-K}}{\frac{\sqrt{2}}{RC}\cdot RC} \rightarrow H_0 = \frac{K}{4-K}$$

Amplif. não-inversor:

$$K = 1 + \frac{R_{10}}{R_9}$$

Precisa sintonizar o filtro PF na 3ª harmônica de e_1 pois não deu 80 Hz exato. Ou calcular $f(e_1)$

$R = P_1 + R_{série}$

$C = C_2 = C_3$

$$\begin{cases} f_3 = \frac{W_0}{2\pi} = \frac{\sqrt{2}}{2\cdot\pi\cdot R\cdot C} \\ f_1 = \frac{1}{2\cdot R\cdot C_1 \ln 3} \end{cases}$$

Fazendo $f_3 = 3\cdot f_1$

$$\frac{\sqrt{2}}{2\pi \cancel{R} C} = \frac{3}{2\cdot \cancel{R} C_1 \ln 3}$$

$$C = 7{,}75\cdot 10^{-9} = C_2 = C_3$$

Para $\varphi = 5{,}6$:

$$5{,}6 = \frac{\sqrt{2}}{4-K} \rightarrow K = 3{,}7474$$

Então $3{,}7474 = 1 + \frac{33k}{R_9} \rightarrow R_9 = 12k$

$$H_0 = \frac{K}{4-K} = \frac{3{,}7474}{4-3{,}7474} \rightarrow H_0 = 14{,}8$$

Para não saturar: $\frac{e_3}{e_2} = H_0 = \frac{10}{e_2}$

$e_2 = 0{,}676$, como $-\frac{e_2}{e_1} = -\frac{R_5}{R_4}$

$$\frac{-0{,}676}{10} = -\frac{R_5}{R_4}$$

Fazendo $R_4 = 22k \rightarrow R_5 = 1k5$

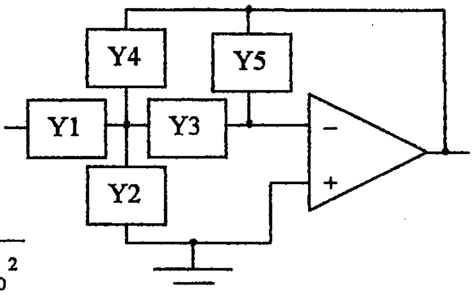
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2005/1

Prova 2 12/7/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ______

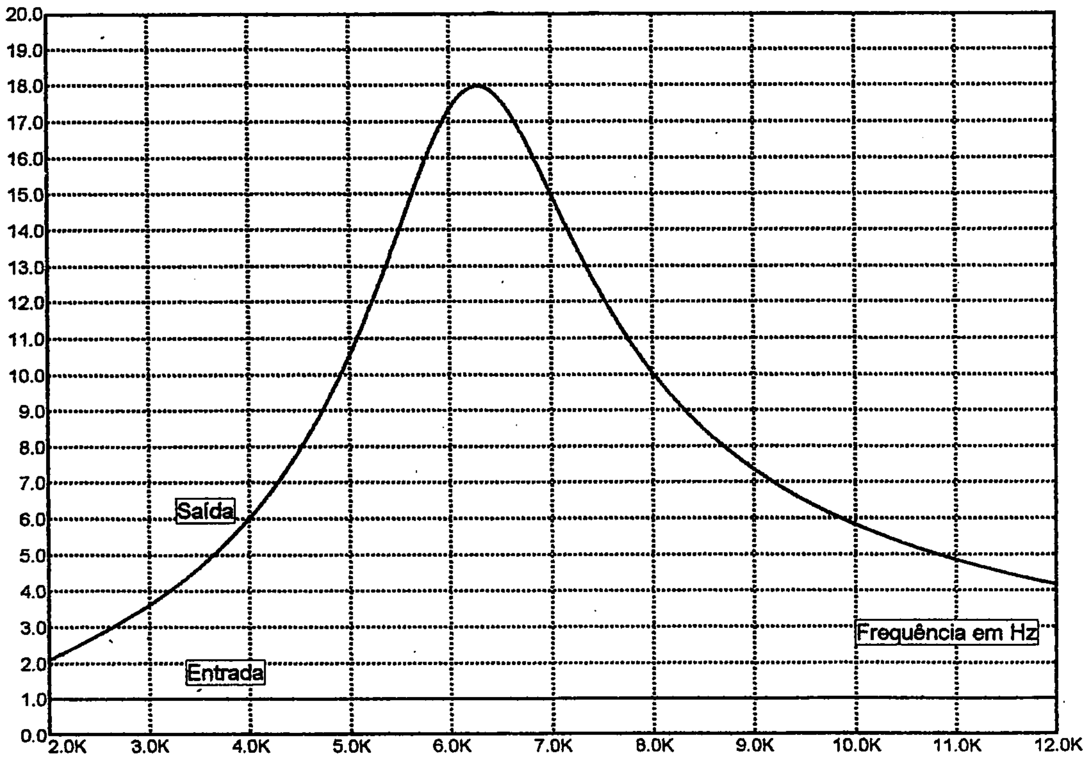
1. A partir da curva de resposta e das equações listadas a seguir, a) Implemente o filtro, usando capacitores de 1nF e componentes ideais. Arredondamento em 3 dígitos significativos.
Importante: Cada etapa do trabalho deve ser amplamente descrita e equacionada.
b) Estude agora a ação de R_1 sobre os parâmetros do filtro (ω_o, Q e H_o), equacionando estes parâmetros para o presente caso. Comente os resultados.

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{-1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_5}}{s^2 + \dfrac{s}{C_2}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_4}\right) + \dfrac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_2 \cdot C_5}} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$



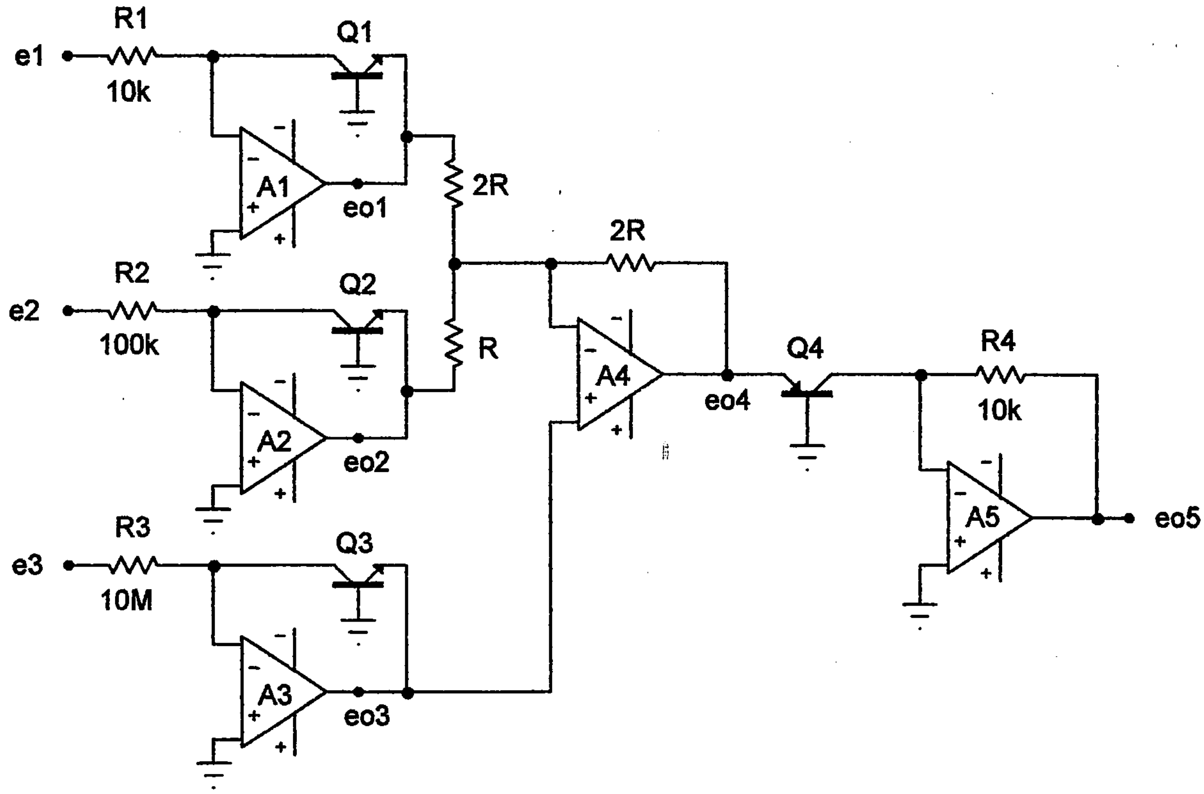
$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{\dfrac{-s^2 \cdot C_1}{C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{C_1}{C_3 \cdot C_4} + \dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{-s}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)} = \frac{H_0 \cdot \dfrac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

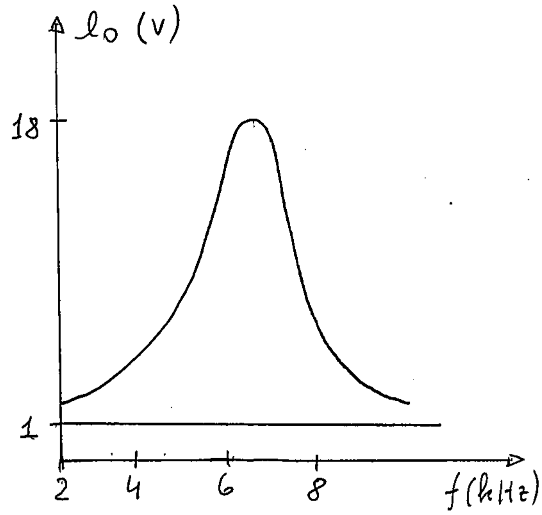


2. Examine cuidadosamente o circuito a seguir e então: a) Divida em blocos e descreva cada um, b) Equacione cada bloco de modo literal (sem substituir pelos valores dos componentes), descrevendo amplamente cada etapa, c) Junte os blocos com o objetivo de equacionar e_0 em função das entradas, novamente descrevendo cada etapa. Verifique se existe igualdade no número de junções BE em ambos os lados do ponto central. d) Examine o resultado e só então coloque os valores de circuito na equação. Operacionais ideais, Vcc= ±15V, transistores casados e na mesma temperatura. Observe as polaridades deles.

$V_{be} = (k \cdot T/q) \cdot \ln(I_c/I_0)$ $(k \cdot T/q)$ = Tensão de limiar I_0 = Corrente de saturação reversa

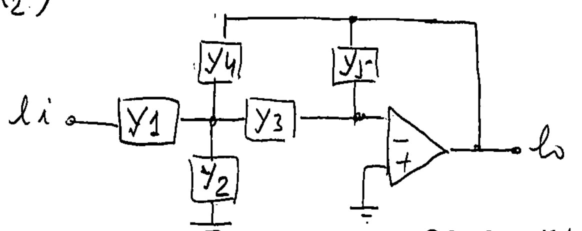


A partir da curva de resposta e das equações, implemente o filtro, calculando o valor de todos os componentes. Capacitores são 1nF. Componentes ideais. Arredondamento 3 dígitos significativos. Faça $Y_2 = 0$.



$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\dfrac{-S}{R_1 \cdot C_4}}{S^2 + \dfrac{S}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{H_0 \frac{W_0}{\varphi} S}{S^2 + \frac{W_0}{\varphi} S + W_0^2}$$



P2 2005/1

Examinando a questão: Filtro passa-faixa tipo realimentação múltipla, 2ª ordem.

Consultando o gráfico:

$e_i = 1$ Volt

$e_o = 18$ Volts máximo

$f_0 = 6{,}3$ kHz

Pontos de -3 dB:

$$18 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 12{,}7 \text{ Volts}$$

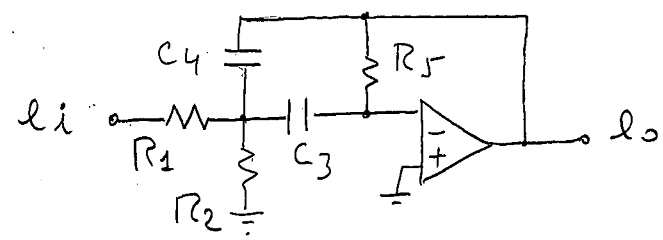
Lendo do gráfico:

$$\Delta W_0 = 7{,}4 \text{ kHz} - 5{,}3 \text{ kHz} = 2{,}1 \text{ kHz}$$

Então:

$$\varphi = \frac{W_0}{\Delta W_0} = \frac{6{,}3 \text{ kHz}}{2{,}1 \text{ kHz}} \rightarrow \varphi = 3$$

Topologia do filtro P.F.:



com $Y_2 = 0 \rightarrow R_2 = \infty$

Seja $C_3 = C_4 = C = 1\text{nF}$

Comparando a equação do P.F. com a forma padrão:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_5 C_3 C_4} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \underbrace{\frac{1}{R_2}}_{R_2 = \infty}\right)$$

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_5 \, C^2}$$

$$W_0 = \frac{1}{C \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_5}} \quad (1)$$

$$\frac{H_0 \cdot W_0}{\varphi} = \frac{-1}{R_1 \cdot C_4} = \frac{-1}{R_1 \cdot C} \quad (2)$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}\right) = \frac{2}{R_5 \cdot C} \quad (3)$$

Colocando na equação (2) os valores medidos do gráfico:

$$\frac{-18 \cdot 6{,}3 \cdot 10^3 \cdot 2\pi}{3} = \frac{-1}{R_1 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}$$

amplif. é inversor

Então, $R_1 = 4{,}21\,k$ //

Colocando na equação (1) os valores:

$$6{,}3 \cdot 10^3 \cdot 2\pi = \frac{1}{1 \cdot 10^{-9}\sqrt{4{,}21 \cdot 10^3 \cdot R_5}}$$

Então, $R_5 = 152\,K$ //

confirmando os cálculos com a equação 3:

$$\frac{6{,}3 \cdot 10^3 \cdot 2\pi}{3} = \frac{2}{152 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}$$

$$13.188 = 13.157 \quad \text{OK.} \ //$$

Estude agora a ação de R1 sobre os parâmetros do filtro (W_0, φ e H_0), equacionando estes parâmetros para o presente caso.

Usando a equação (1):

$$W_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_1 \cdot R_5}} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-9}\sqrt{R_1 \cdot 152 \cdot 10^3}}$$

$$W_0 = \frac{1}{0{,}39 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{R_1}}$$

$$W_0 = \frac{2{,}56 \cdot 10^6}{\sqrt{R_1}} \ //$$

Usando a equação (3):

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{2}{R_5 \cdot C} \rightarrow \varphi = \frac{W_0 \cdot R_5 \cdot C}{2}$$

$$\varphi = \frac{152 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{0{,}39 \cdot 10^{-6}\sqrt{R_1} \cdot 2}$$

$$\varphi = \frac{192}{\sqrt{R_1}} \ //$$

Usando a equação (2):

$$\frac{H_0 W_0}{\varphi} = \frac{-1}{R_1 \cdot C}$$

$$H_0 = -\frac{R_5 \cdot \cancel{C}}{2} \cdot \frac{1}{R_1 \cdot \cancel{C}}$$

$$H_0 = \frac{152 \cdot 10^3}{2 \cdot R_1}$$

$$H_0 = \frac{76 \cdot 10^3}{R_1} \ //$$

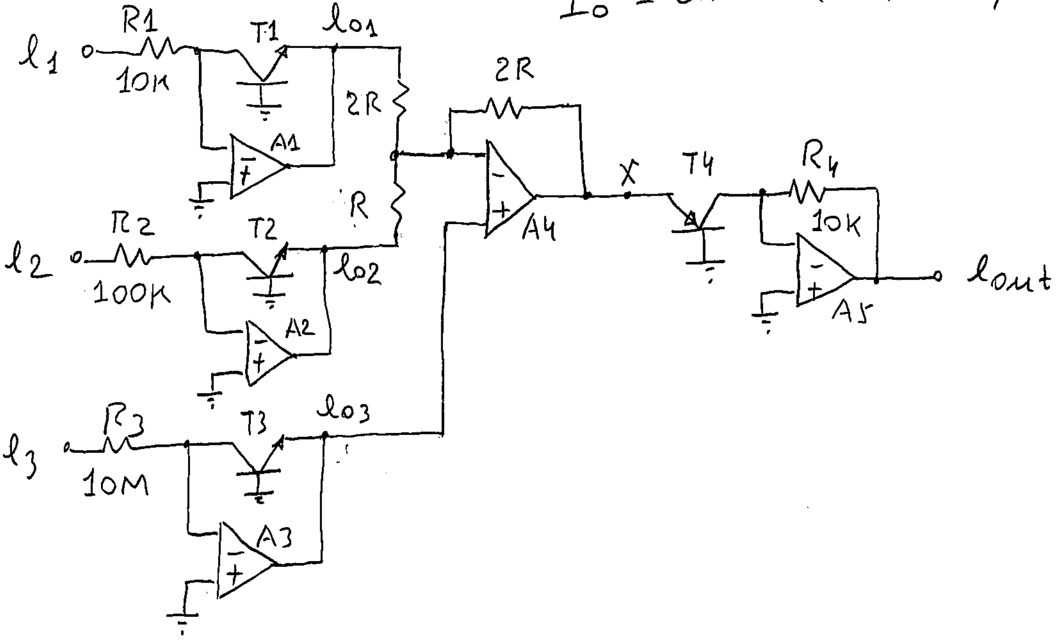
Conclusão: R_1 participa em todos os parâmetros do filtro.

Examine cuidadosamente o circuito. a) Divida em blocos e descreva cada um. b) Equacione cada bloco de modo literal (sem colocar o valor dos componentes), descrevendo amplamente cada etapa.
c) Junte os blocos com o objetivo de equacioná-lo em função das entradas. Novamente, descreva cada etapa. Verifique se existe igualdade entre o ms de V_{BE}s... d) Examine o resultado e só então coloque os valores do circuito na equação. Operacionais ideais. Transistores casados. $V_{cc} = \pm 15V$.

$$V_{be} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_0}\right)$$

$\frac{k \cdot T}{q}$ = Tensão de limiar

I_0 = Corr. de saturação reversa



P2 2005/1

Operador baseado na propriedade dos logaritmos.

A1, A2, A3 → conversores ln:

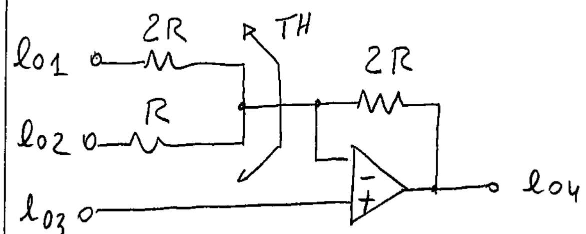
$$lo1 = -V_{BE1} = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c1}}{I_0}\right)$$

$$lo_1 = -K\ln\left(\frac{l1}{R_1 \cdot I_0}\right) \qquad K = \frac{k \cdot T}{q}$$

$$lo2 = -K\ln\left(\frac{l2}{R_2 \cdot I_0}\right)$$

$$lo_3 = -K\ln\left(\frac{l_3}{R_3 \cdot I_0}\right)$$

A4: Bloco de ganho, linear.



$$V_{TH} = \frac{lo_1 \cdot R}{R+2R} + \frac{lo2 \cdot 2R}{R+2R} = \frac{lo_1 + 2 \cdot lo2}{3}$$

$$R_{TH} = 2R // R = \frac{2R \cdot R}{2R+R} = \frac{2 \cdot R}{3}$$

$$l- = \frac{V_{TH} \cdot 2R}{R_{TH} + 2 \cdot R} + \frac{lo_4 \cdot R_{TH}}{R_{TH} + 2 \cdot R}$$

$$e_- = \frac{\frac{e_{o1}+2\cdot e_{o2}}{3}\cdot 2R}{\frac{2R}{3}+2R} + \frac{e_{o4}\cdot\frac{2R}{3}}{\frac{2R}{3}+2R}$$

Cancelando os 2R:

$$e_- = \frac{e_{o1}+2\cdot e_{o2}}{3\left(\frac{1}{3}+1\right)} + \frac{e_{o4}}{3\left(\frac{1}{3}+1\right)}$$

$$e_- = \frac{e_{o1}+2\cdot e_{o2}}{4} + \frac{e_{o4}}{4}$$

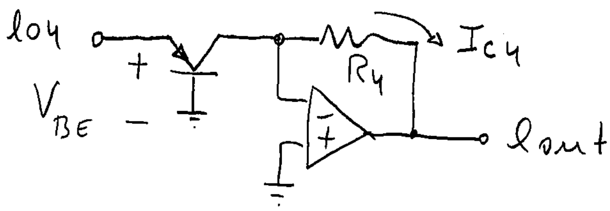
$e_+ = e_3$. Fazendo $e_- = e_+$:

$$\frac{e_{o4}}{4} = e_3 - \frac{e_{o1}+2\cdot e_{o2}}{4}$$

Portanto:

$$e_{o4} = 4\cdot e_{o3} - e_{o1} - 2\cdot e_{o2} \quad //$$

A5: Conversor antiln; usando transistor PNP:



Para funcionar, eo4 deve ser positivo. Então eout será negativo.

$$e_{out} = -R_4\cdot I_{c4}$$

$$V_{BE4} = e_{o4} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right)$$

$$e_{o4} = K\cdot\ln\left(\frac{-e_{out}}{R_4\cdot I_o}\right)$$

Contagem dos V_{BE}s no ponto x:

$$V_x = e_{o4} = -V_{BE4}$$

$$4e_{o3} - e_{o1} - 2\cdot e_{o2} = -V_{BE4}$$

$$-4V_{BE3} + V_{BE1} + 2V_{BE2} = -V_{BE4} \Rightarrow OK$$

Substituindo os V_{BE}s:

$$-4K\ln\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_o}\right) + K\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\right) + 2K\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot I_o}\right) = -K\ln\left(\frac{-e_{out}}{R_4\cdot I_o}\right)$$

Cancelando K e multip. (−1):

$$4\ln\left(\frac{e_3}{R_3 I_o}\right) - \ln\left(\frac{e_1}{R_1 I_o}\right) - 2\ln\left(\frac{e_2}{R_2 I_o}\right) = \ln\left(\frac{-e_{out}}{R_4\cdot I_o}\right)$$

$$\cancel{\ln}\left(\frac{\left(\frac{e_3}{R_3 \cancel{I_o}}\right)^4}{\frac{e_1}{R_1 I_o}\left(\frac{e_2}{R_2 \cancel{I_o}}\right)^2}\right) = \cancel{\ln}\left(\frac{-e_{out}}{R_4 I_o}\right)$$

$$e_{out} = -\frac{R_1\cdot R_2^2\cdot R_4}{R_3^4}\cdot\frac{e_3^4}{e_1\cdot e_2^2} \quad //$$

Colocando os valores:

$$e_{out} = \frac{-10k\,(100k)^2\cdot 10k}{(10M)^4}\cdot\frac{e_3^4}{e_1\cdot e_2^2}$$

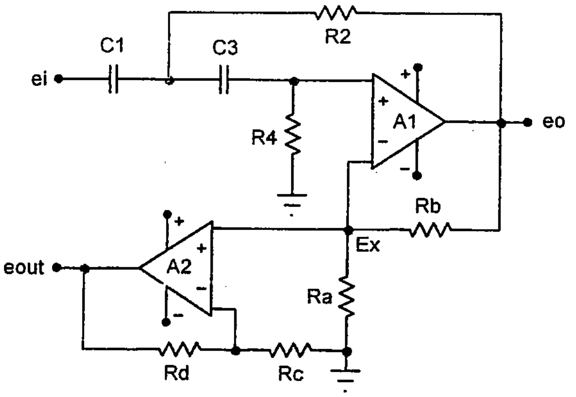
$$e_{out} = \frac{-10^{-6}\cdot e_3^4}{e_1\cdot e_2^2} \quad //$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2005/2

Prova 2 13/12/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ______

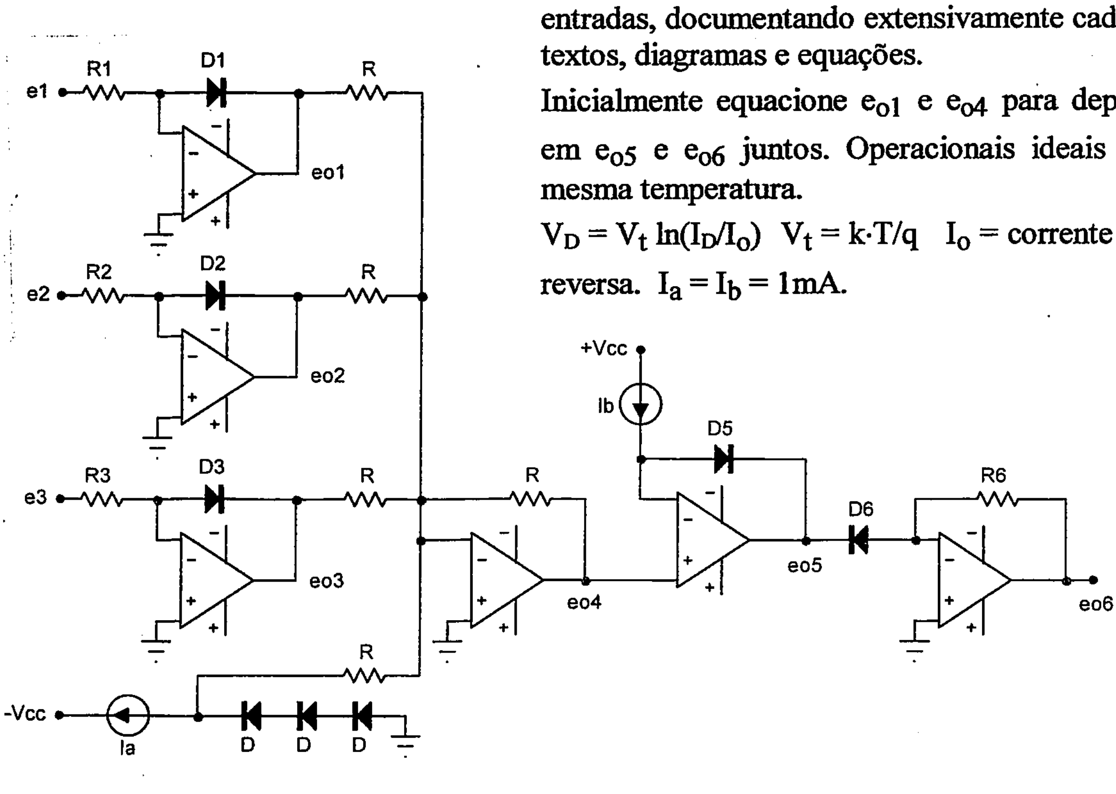
1. A estrutura a seguir é uma versão baseada no filtro tipo Salen-Key, onde a frequência ω_o, ganho na faixa de passagem H_o e o amortecimento α ($\alpha = 1/Q$) são independentes entre sí. Objetivo: provar matematicamente esta independência. Inicialmente, determine as equações dos 3 parâmetros do filtro básico A_1, com saída em e_o. Equacione então o bloco A_2. Manipule as equações e apresente os 3 parâmetros do circuito completo, com saída em e_{out}: ω_o, α e $H_o = e_{out} / e_i$. Aplique os resultados no projeto de um filtro ativado em 70Hz, com fator de qualidade 2 e ganho 2,5. Use $C_1 = C_3 = 330nF$ e $R_2 = R_4$.



$$\frac{e_o(s)}{e_i(s)} = \frac{Ks^2}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_4 \cdot C_1} + \frac{1}{R_4 \cdot C_3} + \frac{1-K}{R_2 \cdot C_1}\right] + \frac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_3}}$$

$$\frac{e_o(s)}{e_i(s)} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$$

2. Divida em blocos funcionais o circuito a seguir, com o objetivo de obter a equação da saída e_{o6} em função das entradas, documentando extensivamente cada passo, com textos, diagramas e equações.
Inicialmente equacione e_{o1} e e_{o4} para depois trabalhar em e_{o5} e e_{o6} juntos. Operacionais ideais e diodos na mesma temperatura.
$V_D = V_t \ln(I_D/I_o)$ $V_t = k \cdot T/q$ I_o = corrente de saturação reversa. $I_a = I_b = 1mA$.

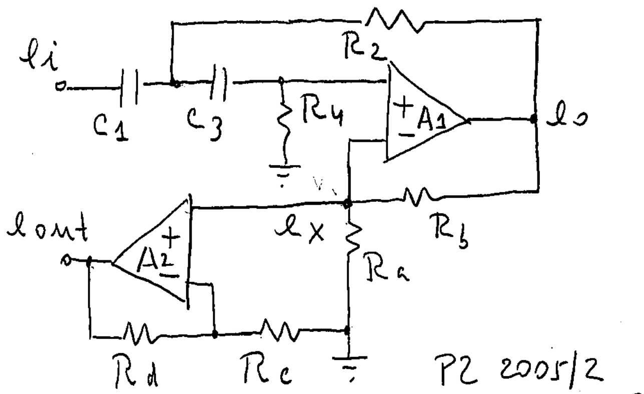


A estrutura abaixo é uma versão baseada no filtro passa-altas tipo Sallen-Key, onde a freq. W_o, ganho na faixa de passagem H_o e o amortecimento α ($\alpha = 1/\varphi$) não independentes entre si. Objetivo: provar matematicamente esta independência.

Inicialmente, determine as equações dos 3 parâmetros do filtro básico A1 (com saída em e_o). Então equacione o bloco A2. Manipule as equações e apresente os 3 parâmetros do circuito completo, com saída em e_{out}: W_o, α e $H_o = e_{out}/e_i$.

Aplique os resultados no projeto de um filtro PA a partir de 70 Hz, com fator de qualidade 2 e ganho 4,3. Use $C_1 = C_3 = 330$ nF e $R_2 = R_4$.

$$e_o/e_i = \frac{K \cdot s^2}{s^2 + [1/R_4C_1 + 1/R_4C_3 + (1-K)/R_2C_1]s + 1/R_2R_4C_1C_3} = \frac{H_o \cdot s^2}{s^2 + (W_o/\varphi)s + W_o^2}$$



Equacionando o filtro básico, com saída em e_o:

$$W_o = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_4 C_1 C_3}}$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = W_o \cdot \alpha = [\dots] \rightarrow \alpha = \frac{[\dots]}{W_o}$$

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{R_2R_4C_1C_3}} \left[\frac{1}{R_4C_1} + \frac{1}{R_4C_3} + \frac{1-K}{R_2C_1}\right]$$

$$\alpha = \left[\frac{R_2C_3}{R_4C_1}\right]^{1/2} + \left[\frac{R_2C_1}{R_4C_3}\right]^{1/2} - \left[\frac{K \cdot R_4C_3}{R_2C_1}\right]^{1/2}$$

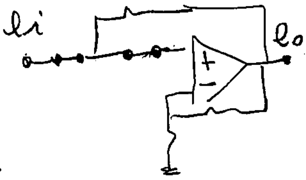
$$H_o = K \rightarrow \frac{e_o}{e_i} = 1 + \frac{R_b}{R_a}$$

Em altas freq. → C = curto circuito logo fica amplif. não-inversor.

As equações mostram que o amortecimento depende do ganho H_o.

Equacionando o bloco A2: Amplificador não-inversor.

$$\frac{e_{out}}{e_x} = 1 + \frac{R_d}{R_c}$$



Tensão no ponto x:

$$e_x = e_o \frac{R_a}{R_a + R_b}$$

como $e_o = e_i \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right)$,

$$e_x = e_i\left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right)\left(\frac{R_a}{R_a+R_b}\right)$$

$$e_x = e_i \;//$$

O ganho de e_i até e_x é unitário, independente do ganho $H_o = \frac{e_i}{e_o}$ do filtro, que influi no amortecimento.

Deste modo, o ganho total do circuito vale:

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{e_o}{e_i} \cdot \frac{e_x}{e_o} \cdot \frac{e_{out}}{e_x}$$

Portanto, o ganho total é dado apenas pelo bloco A2:

$$\boxed{\frac{e_{out}}{e_i} = 1 + \frac{R_d}{R_c}}$$

Os outros parâmetros W_o e α permanecem inalterados e independentes.

Projeto do filtro:

$f_o = 70\,Hz$

$W_o = 2 \cdot \pi \cdot f_o = 2 \cdot \pi \cdot 70$

$W_o = 440\ rad/s$

Fazendo $R_2 = R_4 = R$

$C_1 = C_3 = C = 330\,nF$

$$\boxed{W_0 = \frac{1}{RC}}$$

$$R = \frac{1}{440 \cdot 330 \cdot 10^{-9}} = 6887\,\Omega$$

$R_2 = R_4 = 6K8$ //

$$\alpha = \left(\frac{RC}{RC}\right)^{1/2} + \left(\frac{RC}{RC}\right)^{1/2} + \left(\frac{RC}{RC}\right)^{1/2} - K\left(\frac{RC}{RC}\right)^{1/2}$$

$\alpha = 3 - K$

$\alpha = 3 - \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right)$

$$\boxed{\alpha = 2 - \frac{R_b}{R_a}}$$

Então:

$$\alpha = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{2} = 2 - \frac{R_b}{R_a}$$

$$\frac{R_b}{R_a} = 1{,}5$$

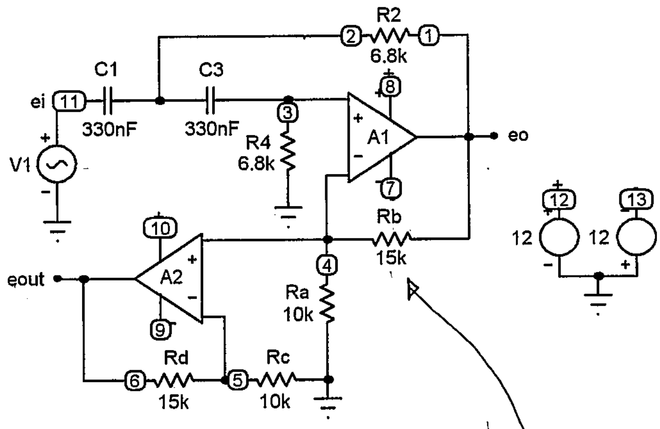
Fazendo $R_a = 10k \rightarrow R_b = 15k$ //

Ganho total:

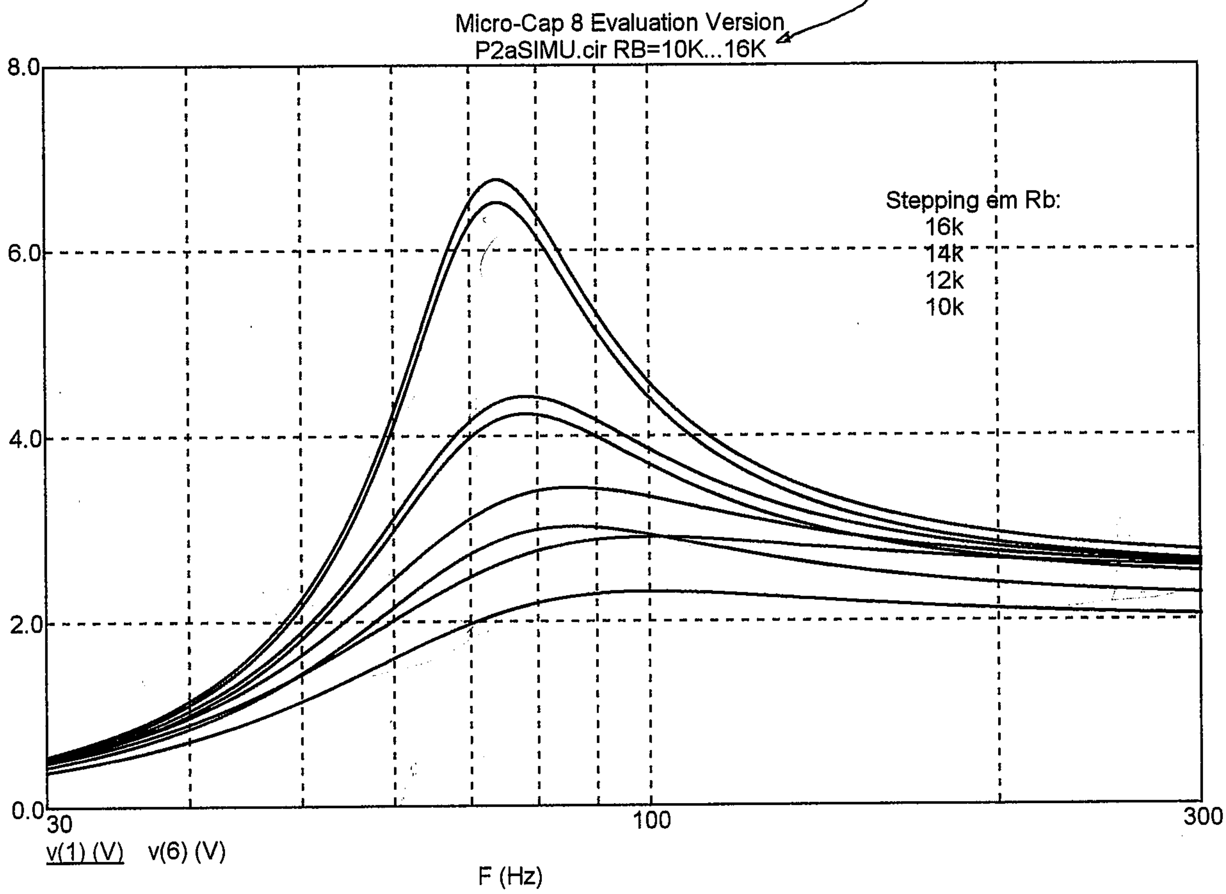
$$\frac{e_{out}}{e_i} = 4{,}3 = 1 + \frac{R_d}{R_c}$$

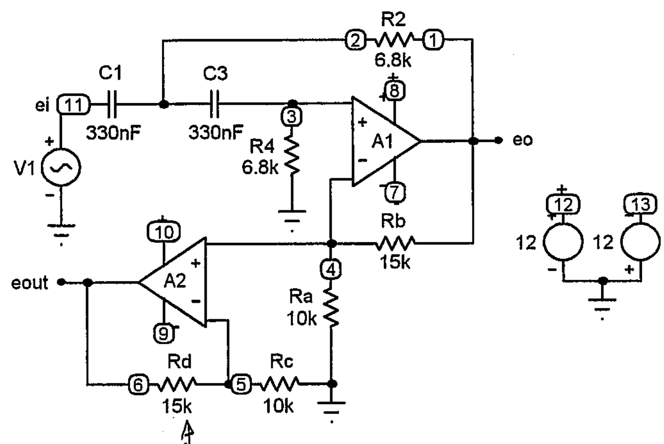
$$\frac{R_d}{R_c} = 3{,}3$$

Fazendo $R_c = 10k \rightarrow R_d = 33K$ //

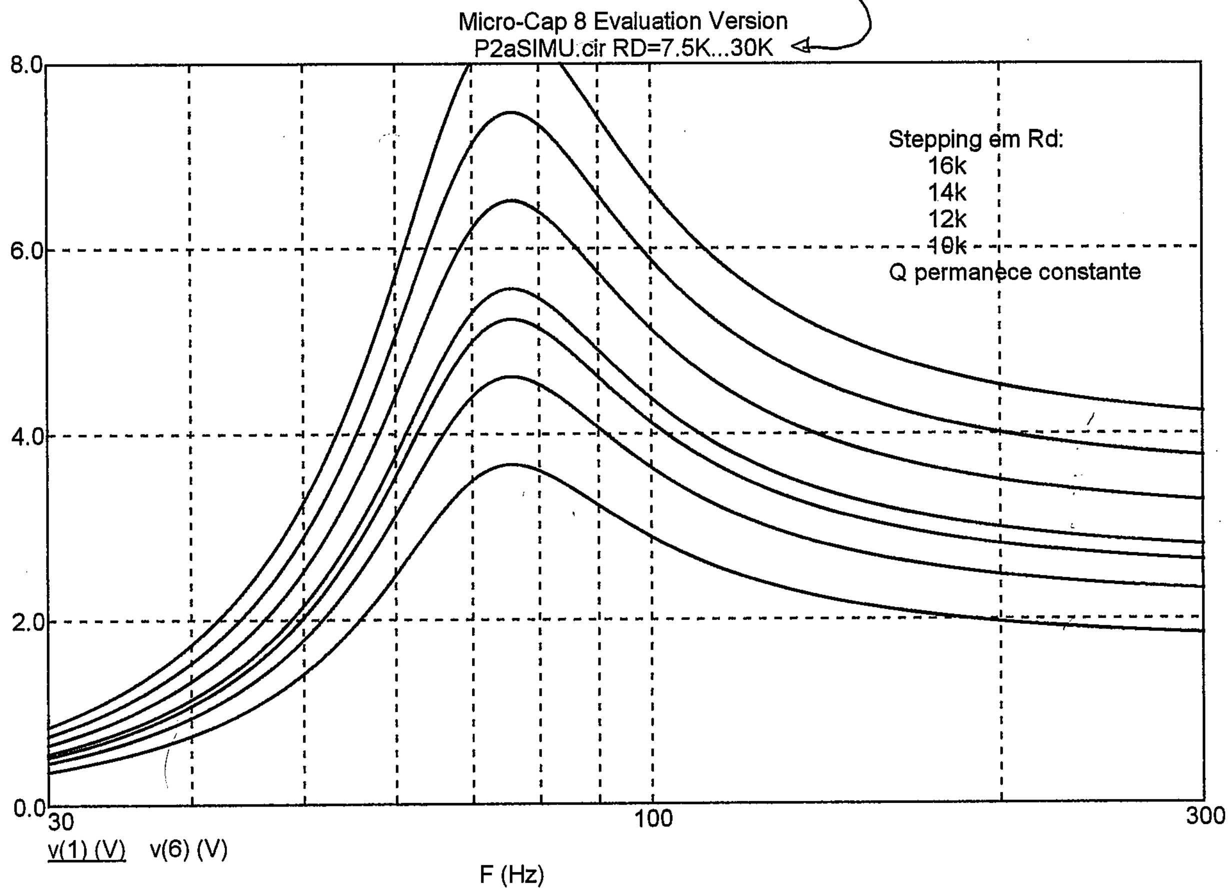

R2
6,8k
C1
C3
ei
330nF
330nF
R4
6,8k
V1
A1
eo
Rb
15k
A2
eout
Ra
10k
Rd
15k
Rc
10k
12
12

10K...16K


Micro-Cap 8 Evaluation Version
P2aSIMU.cir RB=10K...16K
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
30
100
300
Stepping em Rb:
16k
14k
12k
10k
v(1) (V) v(6) (V)
F (Hz)


R2
6.8k
C1
C3
ei
330nF
330nF
R4
6.8k
V1
A1
eo
Rb
15k
A2
eout
Ra
10k
Rd
15k
Rc
10k
12
12

5K... 30K


Micro-Cap 8 Evaluation Version
P2aSIMU.cir RD=7.5K...30K
Stepping em Rd:
16k
14k
12k
10k
Q permanece constante
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
30
100
300
v(1) (V) v(6) (V)
F (Hz)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2006/1

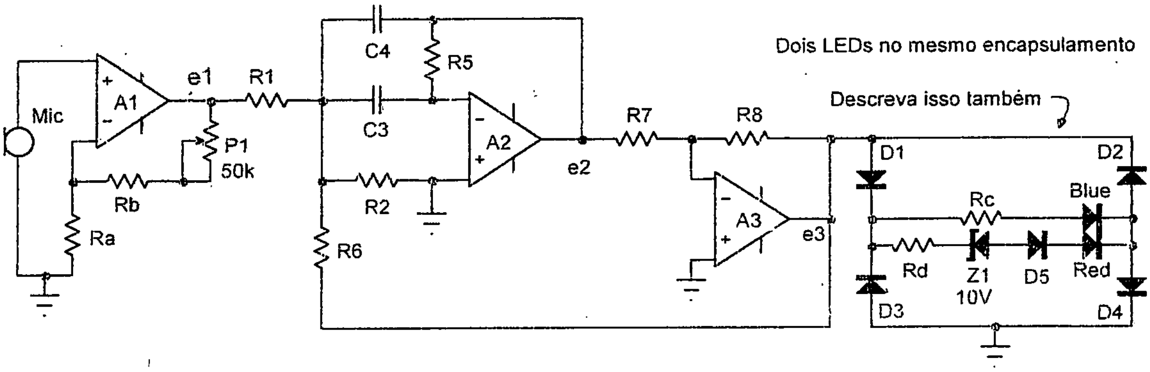
Prova 2 4/7/2006

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (5,5 pontos) A topologia a seguir, descreve um afinador para instrumentos musicais, capaz de detetar 440Hz, usado como base para a afinação. O instrumento deve ser bem preciso e puntual na deteção, ignorando frequências próximas que diferem de raíz 12 de 2, ou seja, 415,3Hz e 466,2Hz.
 Para isso, Q = 36 é suficiente. Para obter este elevado fator de qualidade, foi proposto um filtro com dois opamps, onde e_2 amplificado K vezes volta para a rede de entrada como realimentação positiva.
 a) Descreva completamente o funcionamento de cada bloco e do conjunto deles antes de iniciar a resolução (obrigatório). Calcule o valor de cada componente para alcançar os objetivos propostos, descrevendo cada etapa com textos equações e diagramas, seguindo os passos (Tobey página 293):
 b) Determine as equações literais de ω_o, $\alpha = 1/Q$ e H_o do filtro.
 c) Aplique o seguinte procedimento, arredondando para o valor comercial mais próximo:

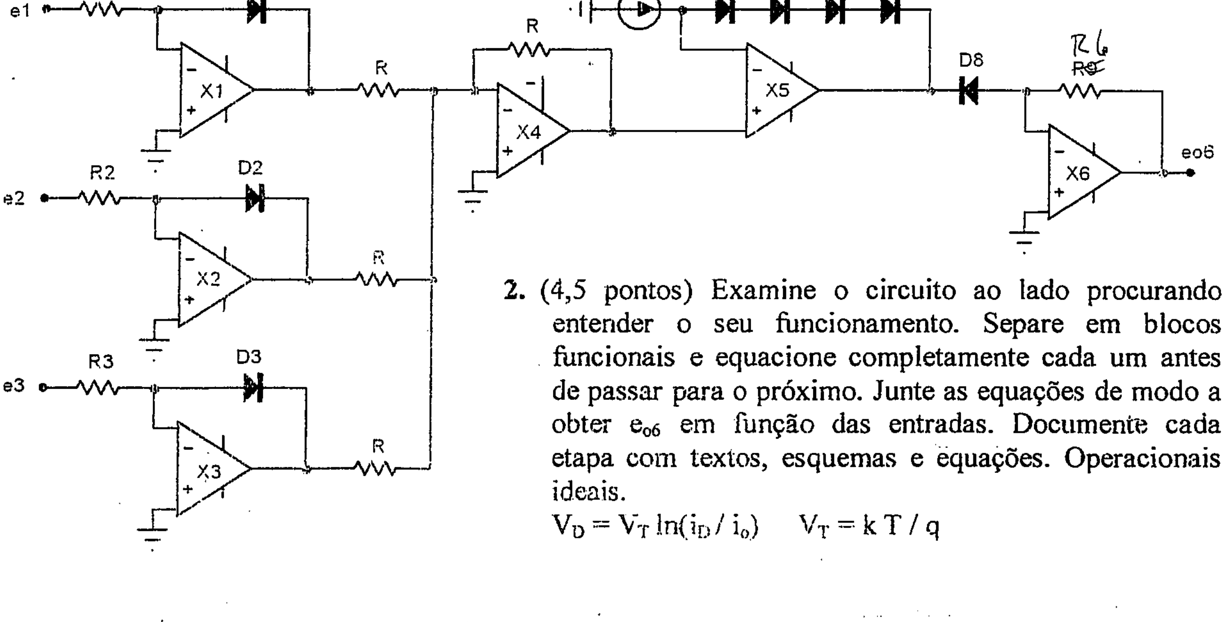
$$R = R1 = R5 = \frac{Q}{\omega_o C} \qquad R_6 = \frac{RKQ}{2Q-1} \qquad C = C3 = C4 = 330nF \qquad K = 3{,}3 \quad \text{(para uniformizar os resultados)}$$

 d) e) Calcule o valor dos componentes necessários para definir o ganho do microfone até e_3 entre 50 e 200 vezes. Equações e resultados que aparecem por mágica serão ignorados.



$$\frac{e_3}{e_1}(s) = \frac{\frac{H_o \omega_o}{Q}s}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2}$$

$$\frac{e_3}{e_1}(s) = \frac{\dfrac{sK}{R_1 C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5 C_4}\left(1 + \dfrac{C_4}{C_3} - \dfrac{KR_5}{R_6}\right) + \dfrac{1}{C_3 C_4 R_5}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_6}\right)}$$



2. (4,5 pontos) Examine o circuito ao lado procurando entender o seu funcionamento. Separe em blocos funcionais e equacione completamente cada um antes de passar para o próximo. Junte as equações de modo a obter e_{o6} em função das entradas. Documente cada etapa com textos, esquemas e equações. Operacionais ideais.
 $V_D = V_T \ln(i_D / i_o)$ $V_T = k\,T / q$

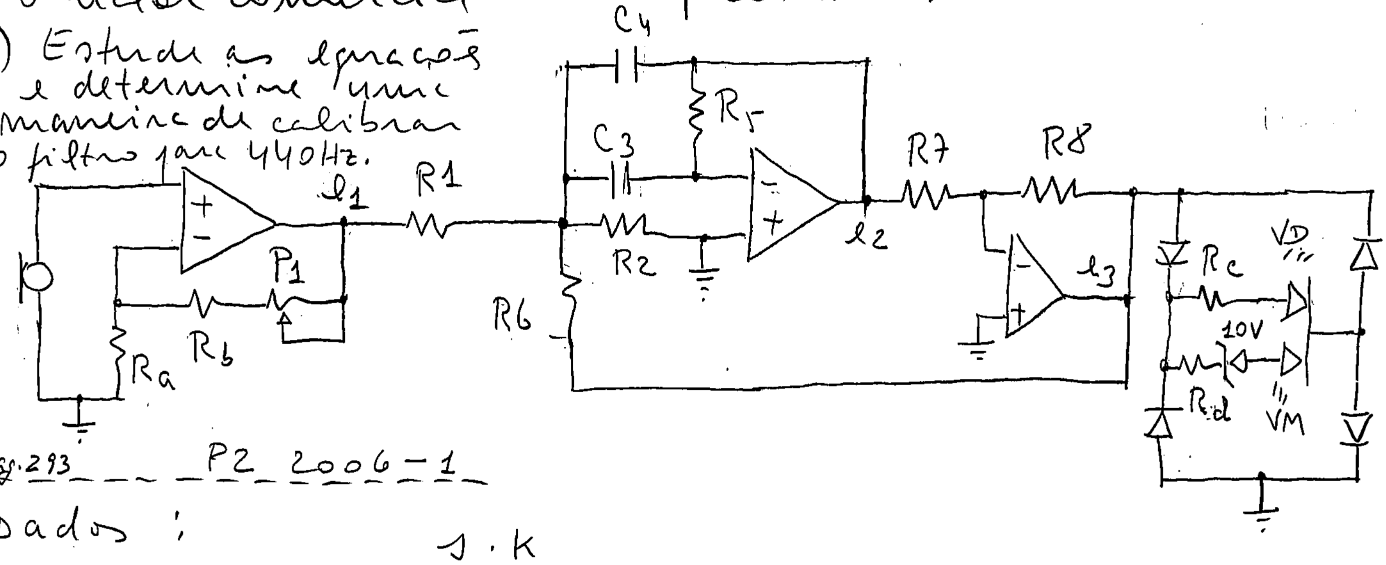
A topologia a seguir descreve um afinador para instrumentos musicais, capaz de detetar 440 Hz, usado como base para a afinação. O instrumento deve ser bem preciso e pontual na deteção, ignorando frequências próximas como 415,3 Hz e 466,2 Hz das notas musicais. Para isso, $\varphi = 33$ é suficiente. Para obter este elevado fator de qualidade, foi proposto um filtro com dois operacionais.

a) Examine e descreva o funcionamento desta topologia. Calcule os valores dos componentes para alcançar os objetivos propostos, descrevendo cada etapa com textos, diagramas e equações, seguindo os passos:

b) Determine as equações literais de W_o, $\alpha = \frac{1}{\varphi}$ e H_o do filtro.

c) Aplique o seguinte procedimento (Tobey pág. 293):
Faça $R = R_1 = R_5$, $C = C_3 = C_4 = 100\,nF$ e $K = 8$.
Calcule $R = \varphi / W_o C$, $R_6 = RK\varphi/(2\varphi - 1)$ e $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}\left(\varphi - 1 - \frac{2}{K} + \frac{1}{K \cdot \varphi}\right)$.
Arredonde p/ o valor comercial mais próximo.

d) Estude as equações e determine uma maneira de calibrar o filtro para 440 Hz.



Tobey pág. 293 — P2 2006-1

Dados:

$$\frac{e_3}{e_1}(s) = \frac{\dfrac{s \cdot K}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5 \cdot C_4}\left(1 + \dfrac{C_4}{C_3} - \dfrac{K \cdot R_5}{R_6}\right) + \dfrac{1}{C_3 C_4 R_5}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_6}\right)}$$

$$\frac{e_3}{e_1}(s) = \frac{\dfrac{H_o \cdot W_o}{\varphi} s}{s^2 + \dfrac{W_o}{\varphi} s + W_o^2}$$

$$K = \frac{R_8}{R_7}$$

a) Microfone, ganho ajustável, filtro PF, retificador onda completa... Led VD acende com sinal de 440 Hz. Led VM acende também se o sinal ultrapassar $V_Z + V_{LED} = 10+2 = 12V$, ou seja, se o circuito saturar.

b) Igualando os termos:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_5}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_6}\right)} \;//$$

$$\alpha = \frac{1}{\varphi} = \frac{\omega_0}{\varphi}\cdot\frac{1}{\omega_0}. \quad \text{Então:}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{R_5 \cdot C_4}\left(1+\frac{C_4}{C_3}-\frac{K \cdot R_5}{R_6}\right)}{\sqrt{\frac{1}{C_3 C_4 R_5}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_6}\right)}}$$

Simplificando:

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{C_3}{C_4}}\left(1+\frac{C_4}{C_3}-\frac{K R_5}{R_6}\right)}{\sqrt{R_5\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_6}\right)}} \;//$$

$$\frac{H_0 \cdot \omega_0}{\varphi} = \frac{K}{R_1 \cdot C_4} \rightarrow H_0 = \frac{K \cdot \varphi}{\omega_0 \cdot R_1 \cdot C_4}$$

$$H_0 = \frac{K}{R_1 \cdot \cancel{C_4}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_5 \cdot \cancel{C_4}}\left(1+\frac{C_4}{C_3}-\frac{K \cdot R_5}{R_6}\right)}$$

$$H_0 = \frac{R_8/R_7}{\frac{R_1}{R_5}\cdot\left(1+\frac{C_4}{C_3}-\frac{R_5 \cdot R_8}{R_6 \cdot R_7}\right)}$$

c) Aplicando o procedimento:

$$R = R_1 = R_5 = \frac{\varphi}{\omega_0 \cdot C}$$

$$R = \frac{33}{2\cdot\pi\cdot 440\cdot 0{,}1\cdot 10^{-6}} = 119{,}4\,k$$

$$R_1 = R_5 = 120k \;//$$

$$R_6 = \frac{R\cdot K\cdot\varphi}{2\varphi-1} = \frac{120\cdot 10^3\cdot 8\cdot 33}{2\cdot 33-1} = 487{,}14\,k$$

$$R_6 \cong 470k$$

Usando a equação do ω_0:

$$\omega_0^2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot R_5 - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_6} = \frac{1}{R_2}$$

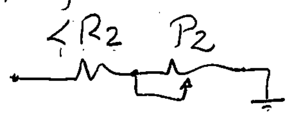
$$\frac{1}{R_2} = (2\pi\cdot 440)^2\cdot(0{,}1\cdot 10^{-6})^2\cdot 120\cdot 10^3 - \frac{1}{120\cdot 10^3} - \frac{1}{470\cdot 10^3}$$

$$R_2 = 109{,}2\,\Omega \;//$$

Escolhendo $R_8 = 120k$ //

então $R_7 = \frac{120}{8} = 15k$ //

d) Olhando as equações, ω_0 pode ser ajustado por R_1, R_2, R_5 e R_6, mas R_2, por ser menor é o que mais influi.

Então: $R_2 =$ 

e) $\longrightarrow$

l) Ganho de A1 = $\frac{\text{Ganho total}}{k}$

Ganho A1 $\begin{cases} \frac{60}{8} = 7{,}5 \\ \frac{20}{8} = 2{,}5 \end{cases}$

Amplif. não inversor!

$$\begin{cases} 7{,}5 = 1 + \frac{R_b + 50k}{R_a} \\ 2{,}5 = 1 + \frac{R_b}{R_a} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 6{,}5\,R_a = R_b + 50k \\ 1{,}5\,R_a = R_b \end{cases}$$

$$6{,}5\,R_a = 1{,}5 \cdot R_a + 50k$$

Então $R_a = 10k$ //

logo $R_b = 15k$ //

Versão P2 2006-1

Faça: $R = R_1 = R_5 = \dfrac{\varphi}{\omega_0 \cdot C}$

$C = C_3 = C_4 = 330\,nF$

$K = 3{,}3$ e $\varphi = 36$

calcule: $R_6 = \dfrac{RK\varphi}{2\varphi - 1}$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}\left(\varphi - 1 - \frac{2}{K} + \frac{1}{K\cdot\varphi}\right)$$

Ajuste global de ganho: de 50 a 200 vezes

Arredondamento p/ valor comercial mais próximo

$$R = R_1 = R_5 = \frac{36}{2\cdot\pi\cdot 440\cdot 330n}$$

$R_1 = R_5 = 39{,}5k \rightarrow 39K$//

$$R_6 = \frac{39\cdot 10^3 \cdot 3{,}3 \cdot 36}{2\cdot 36 - 1} = 67k \rightarrow 68K$$//

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{39\cdot 10^3}\left(36 - 1 - \frac{2}{3{,}3} + \frac{1}{3{,}3\cdot 36}\right)$$

$\dfrac{1}{R_2} = 8{,}82\cdot 10^{-4} \rightarrow R_2 = 1k2$//

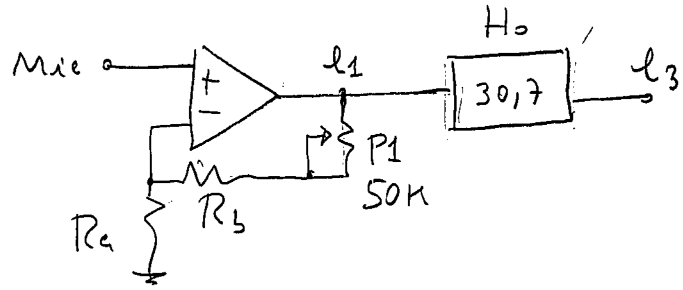
Ajuste do ganho global:

Ganho do filtro na faixa de passagem:

$$H_o = \frac{K}{\frac{R_1}{R_5}\left(1 + \frac{C_4}{C_3} - K\frac{R_5}{R_6}\right)}$$

$$H_o = \frac{3{,}3}{\frac{39}{39}\left(1 + \frac{330n}{330n} - 3{,}3\,\frac{39}{68}\right)}$$

$H_o = 30{,}7$//



$$\frac{e_3}{e_{mic}} = \frac{e_1}{e_{mic}}\cdot H_o = 3{,}34\cdot\frac{e_1}{e_{mic}} = 50 \text{ a } 200$$

$$\left.\frac{e_1}{e_{mic}}\right|_{min} = 1 + \frac{R_b}{R_a} = \frac{50}{3{,}34}$$

então: $R_b = 13{,}97 \cdot R_a$

$$\left.\frac{e_1}{e_{mic}}\right|_{máx} = 1 + \frac{R_b + P_1}{R_a} = \frac{200}{3{,}34} = 59{,}9$$

$$\frac{13{,}97\cdot R_a + 50K}{R_a} = 59{,}9$$

então $R_a = 1089 = 1k$//

e $R_b = 13{,}97\cdot 1k = 15k$//

Para $K = 3{,}3$:

$R_7 = 10k$//

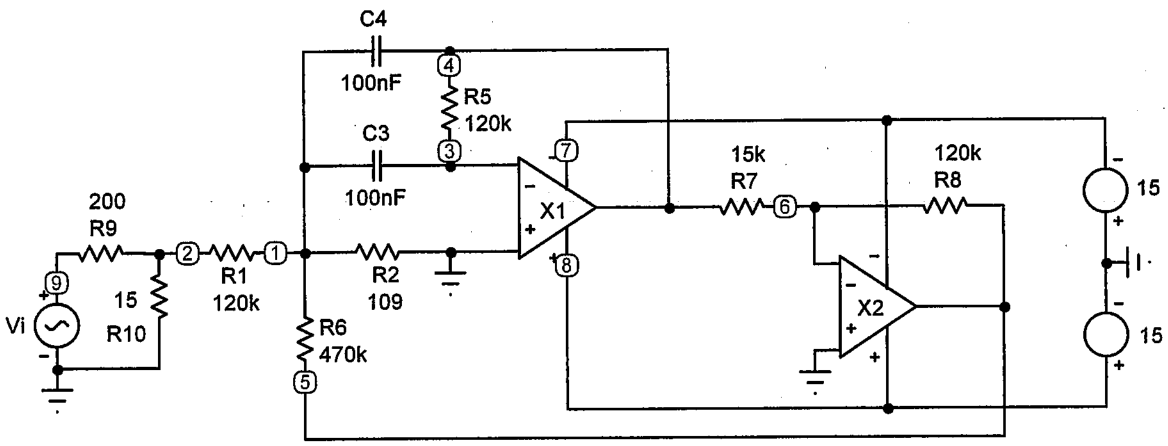
$R_8 = 33k$//

pelo método, $R_1 = \frac{\varphi}{\omega_0 C}$

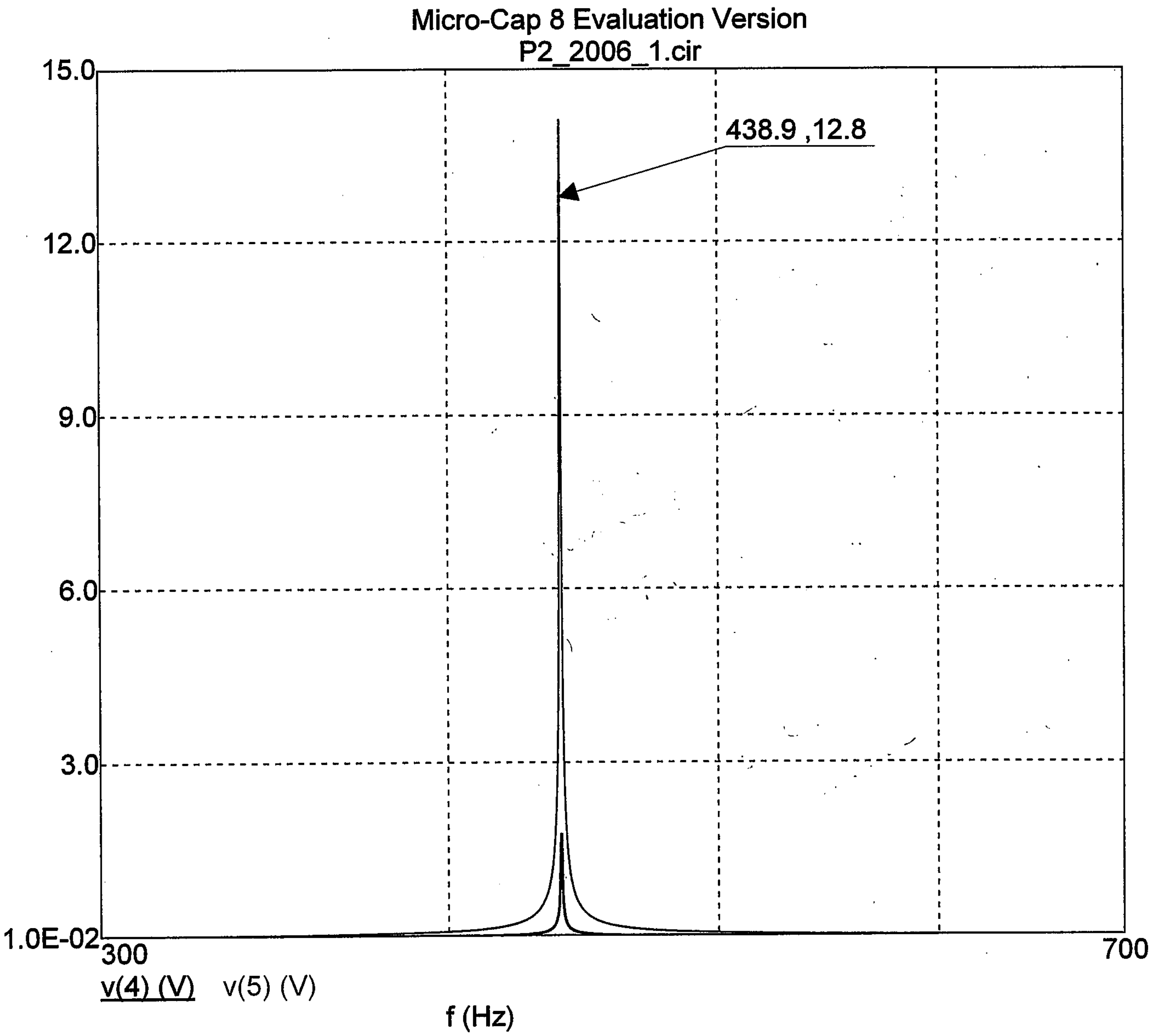
$$\frac{H_0 \omega_0}{\varphi} = \frac{k}{R_1 C_4} \rightarrow \frac{H_0 \omega_0 R_1 C_4}{k} = \varphi$$

$$\frac{H_0 \cancel{\omega_0} \frac{\cancel{\varphi}}{\cancel{\omega_0} \cancel{C}} \cdot \cancel{C_4}}{k} = \cancel{\varphi} \Rightarrow \boxed{H_0 = k}$$

$$H_0 = \frac{k}{\frac{\varphi}{\omega_0 \cdot C} \left(1 + 1 - k\right.}$$



C4
100nF
R5
120k
C3
100nF
200
R9
R1
120k
R2
109
15
R10
Vi
R6
470k
X1
15k
R7
120k
R8
X2
15
15

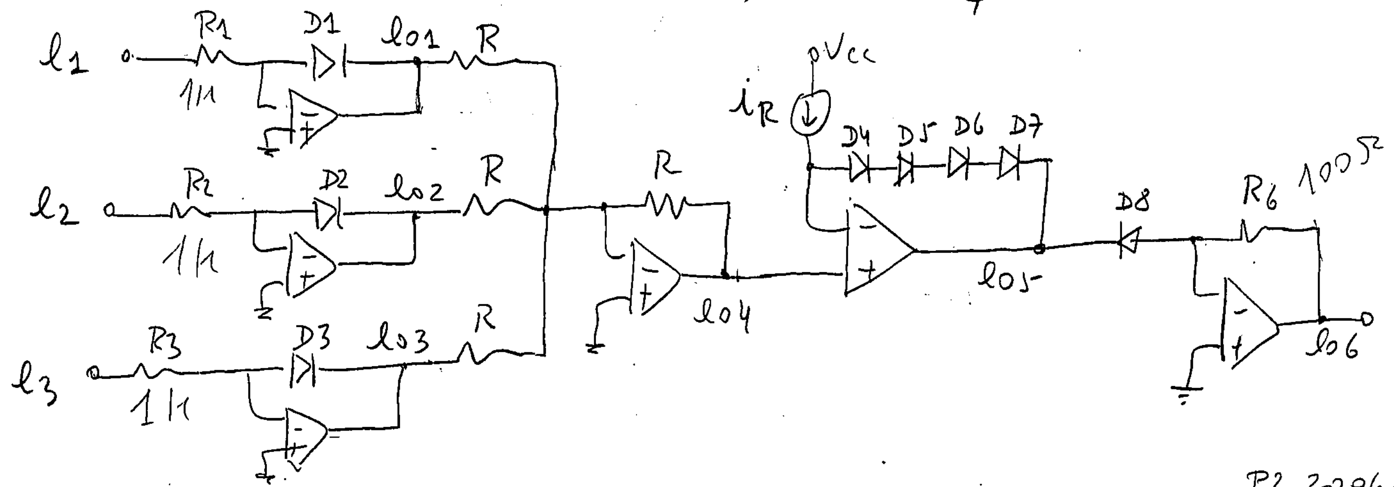


Micro-Cap 8 Evaluation Version
P2_2006_1.cir
15.0
12.0
9.0
6.0
3.0
1.0E-02
300
700
438.9 ,12.8
v(4) (V)
v(5) (V)
f (Hz)

Versão 2:

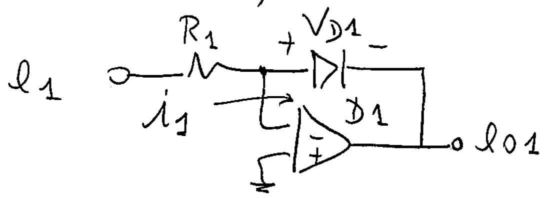
Divide em blocos funcionais o circuito a seguir, com o objetivo final de equacionar a saída lo6 em função das entradas, documentando extensivamente cada passo com texto, diagramas e equações. Inicialmente equacione lo1 e lo4 para depois trabalhar com lo5 e lo6 juntos. Operacionais ideais.

Diodos: $V_D = V_T \ln(i_D/i_o)$ $\quad V_T = \frac{k \cdot T}{q}$ $\quad I_o$ = corr. sat. reversa.



P2 2006/1

Bloco A1, A2 e A3:



$$lo_1 = -V_{D1} = -V_T \ln\left(\frac{i_1}{i_o}\right)$$

como $i_1 = \frac{l_1}{R_1}$ vem;

$$lo_1 = -V_T \ln\left(\frac{l_1}{R_1 \cdot i_o}\right) //$$

Bloco A4:

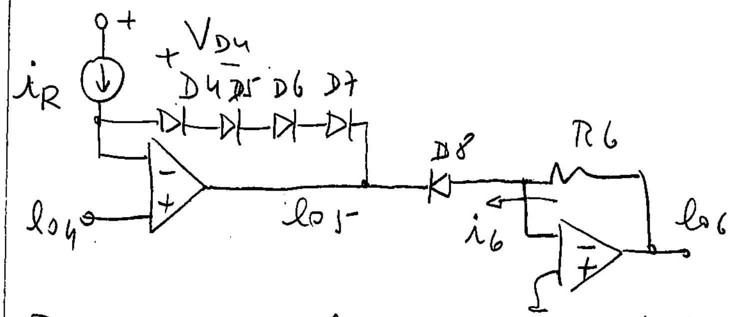
Somador inversor

$$lo_4 = -(lo_1 + lo_2 + lo_3)$$

$$lo_4 = V_T\left(\ln\frac{l_1}{R_1 i_o} + \ln\frac{l_2}{R_2 i_o} + \ln\frac{l_3}{R_3 i_o}\right)$$

$$lo_4 = V_T \ln\left(\frac{l_1 \cdot l_2 \cdot l_3}{R_1 R_2 R_3 i_o^3}\right) //$$

Bloco A5 e A6:



Parece um log e outro antilog.

$$lo_5 = lo_4 - 4 \cdot V_D = lo_4 - 4V_T \ln\left(\frac{i_R}{i_o}\right)$$

Vale também;

$$lo_5 = -V_{D8} = -V_T \ln\left(\frac{i_6}{i_o}\right)$$

Igualando os dois lo5

$$lo_4 = 4 \cdot V_T \ln\left(\frac{i_R}{i_o}\right) - V_T \ln\left(\frac{i_6}{i_o}\right)$$

mas $i_6 = \frac{lo_6}{R_6}$

substituindo os valores:

$$\cancel{V_T} \ln\left(\frac{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot i_0^3}\right) = \cancel{V_T} \ln\left(\frac{i_R}{i_0}\right)^4 - \cancel{V_T} \ln\left(\frac{I_{06}}{R_6 \cdot i_0}\right)$$

$$\cancel{\ln}\left(\frac{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \cancel{i_0^3}}\right) = \ln\left(\frac{\frac{i_R^4}{i_0^4}}{\frac{I_{06}}{R_6 \cdot i_0}}\right) = \cancel{\ln}\left(\frac{i_R^4 \cdot R_6}{\cancel{i_0^3} \cdot I_{06}}\right)$$

isolando I_{06}:

$$I_{06} = \frac{i_R^4 \cdot R_6 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} \quad //$$

Aplicando os valores:

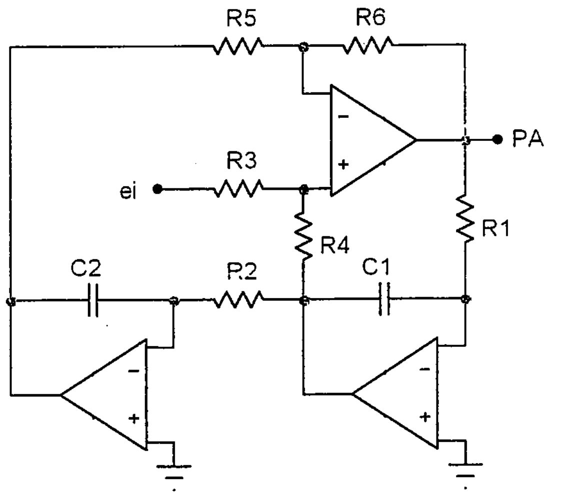
$$I_{06} = \frac{(10^{-4})^4 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} \rightarrow I_{06} = \frac{10^{11}}{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} \quad //$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2006/2**

Prova 2 **5/12/2006**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

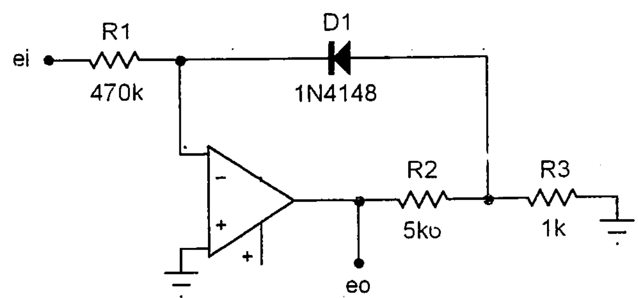
1. Projete um filtro passa-altas tipo variáveis de estado onde a freqüência de corte é controlada por uma tensão. Este sinal é aplicado a um LED que ilumina LDRs (light dependent resistor). Estude como e onde deve ser feita esta adaptação no filtro básico, descrevendo em detalhes a sua idéia. Desenhe a topologia do filtro completo e só então inicie o equacionamento literal, documentando cada passo com textos, figuras e equações. Use capacitores iguais e resistores iguais, exceto R_4. Por último, calcule os valores de circuito para obter um filtro com $Q = 1{,}8$ e ajuste entre 7Hz e 35Hz, usando LDRs, que variam entre 5kΩ até ∞. Calcule também o ganho do filtro. Componentes passivos de uso preferencial: C = 470nF e R = 15k. Componentes ideais, arredonde em 3 dígitos significativos e use valores comerciais.



$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{PA} = \frac{S^2 \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{S^2 + S\dfrac{1}{R_1C_1}\dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \dfrac{R_6}{R_5}\dfrac{1}{R_1R_2C_1C_2}}$$

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{PA} = \frac{S^2 H_O}{S^2 + S\omega_O/Q + \omega_O^2}$$

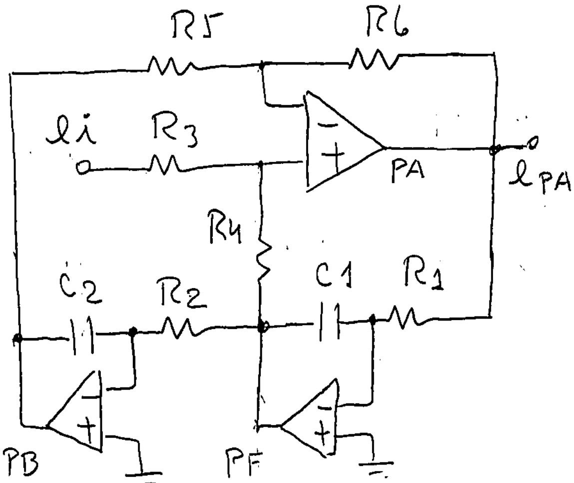
2. No circuito a seguir, a) Equacione o circuito literalmente e determine e_O em função de e_i, descrevendo extensivamente cada etapa com textos diagramas e equações. b) Calcule a variação de e_O quando a temperatura subir de 27° C para 135° C, com e_i = 150V. c) Modifique o circuito para aceitar tensões de qualquer polaridade com até 500V, mantendo a escala (e a equação) atual. Descreva a sua idéia, desenhe o circuito completo e só então calcule os componentes que faltam. Lembre-se que o circuito deve aceitar até 500V sem queimar. Operacionais ideais, diodos de silício acoplados termicamente, alimentação por baterias de 9V. Arredonde em 4 dígitos significativos.



Constante de Boltzman: $k = 1{,}38\ 10^{-23}$ J/°K
Carga do eletron: $q = 1{,}6\ 10^{-19}$ C
Corrente de sat. reversa: $I_O = 10^{-13}$ A @27°C
I_O dobra a cada +12°C no diodo
°K = 273 + °C

Projete um filtro passa-altas tipo variáveis de estado onde a freq. de corte é controlada por uma tensão. Este sinal é aplicado a um LED que ilumina LDRs (light dependent resistor). Estude onde e como deve ser feita esta adaptação, descrevendo em detalhes a sua idéia. Desenhe o filtro completo e inicie o equacionamento, documentando cada passo com textos e equações. Por último, calcule os valores do circuito para obter um filtro com $\varphi = 1{,}8$ e ajuste entre 7 Hz e 35 Hz, usando LDRs que variam entre 5kΩ até ∞ de maneira inversa com a iluminação do LED. Calcule também o ganho. Componentes disponíveis; C = 470mF R = 15K (preferencial) ou outro valor, quando necessário. Componentes ideais, arredonde em 3 dígitos significativos. Use valores comerciais.

Qual o ganho?



$$\frac{e_{PA}}{e_i} = \frac{s^2 \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_1C_1}\dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \dfrac{R_6}{R_5}\dfrac{1}{R_1R_2C_1C_2}}$$

$$= \frac{s^2 H_0}{s^2 + \frac{\omega_0}{\varphi}s + \omega_0^2}$$

Use capacitores iguais e resistores iguais, exceto R4.

P2 2006-2

Escolhemos:

$C = C_1 = C_2 = 470\,mF$

$R_1 = R_2 = R_v = LDR$

$R = R_3 = R_5 = R_6 = 15K$

Fica então:

$$\frac{e_{PA}}{e_i} = \frac{s^2 \dfrac{1+1}{1+R/R_4}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_v \cdot C}\dfrac{1+1}{1+R_4/R} + \dfrac{1}{R_v^2 \cdot C^2}}$$

Comparando os termos:

$$\frac{1}{R_v^2 \cdot C^2} = \omega_0^2 \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{R_v \cdot C} \;//$$

$$\frac{2}{1+R/R_4} = H_0 \rightarrow H_0 = \frac{2 \cdot R_4}{R+R_4}$$

$$\frac{1}{R_v \cdot C}\,\frac{2}{1+R_4/R} = \frac{\omega_0}{\varphi}$$ Então:

$$\frac{1}{\cancel{R_v \cdot C}} \cdot \frac{2}{\frac{R+R_4}{R}} = \frac{1}{\varphi \cdot \cancel{R_v \cdot C}}$$

$$\varphi = \frac{R + R_4}{2R} \quad //$$

Como R_v e C só influem na freq. de corte, podemos calcular os outros parâmetros do filtro:

Para $\varphi = 1,8$:

$$1,8 = \frac{R + R_4}{2 \cdot R} = \frac{15k + R_4}{2 \cdot 15k}$$

Então, $R_4 = 39k$ //

Ganho nestas condições:

$$H_0 = \frac{2 \cdot R_4}{R + R_4} = \frac{2 \cdot 39k}{15k + 39k}$$

$H_0 = 1,444$ //

Cálculo dos limites de R_v:

$f_{min} = 7Hz = 2\pi \cdot 7 \doteq 44 \frac{rad}{s}$

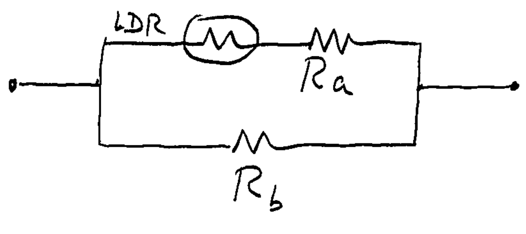
$f_{máx} = 35Hz = 2\pi \cdot 35 = 220 \frac{rad}{s}$

Como $R_v = \frac{1}{\omega_0 \cdot C}$:

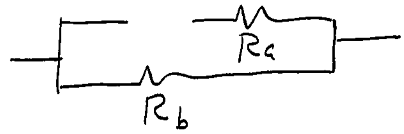
$$R_{V_{min}} = \frac{1}{220 \frac{rad}{s} \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 9671\,\Omega$$

$$R_{V_{máx}} = \frac{1}{44 \frac{rad}{s} \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 48.355\,\Omega$$

Implementação de R_v:

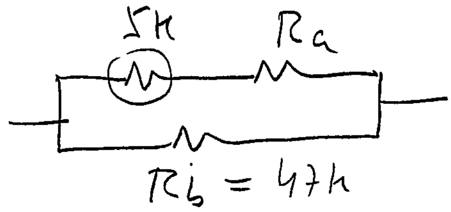


No escuro, $R_{LDR} = \infty$:



Então, $R_b = R_{V_{máx}} \cong 47k$ //

Com máxima iluminação, $R_{LDR} = 5k$:



Então:

$$(R_{LDR} + R_a) // R_b = R_{V_{min}}$$

$$\frac{(5k + R_a) \cdot 47k}{5k + R_a + 47k} = 9,671k$$

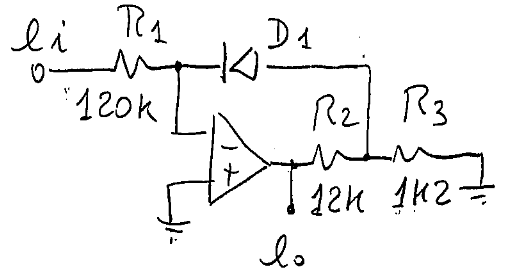
Logo $R_a = 7,177k$

$R_a = 6k8$ //

a) Equacione o circuito literalmente e determine e_o em função de e_i, descrevendo extensivamente cada etapa com textos, diagramas e equações.
b) Calcule a variação de e_o quando a temperatura passar de 27°C para 135°C, com $|e_i| = 150$ Volts.
c) Modifique o circuito para aceitar tensões de qualquer polaridade, com até 500 Volts, mantendo a escala atual. Descreva a sua idéia, desenhe o circuito completo e calcule os componentes que faltam. Lembre-se que o circuito deve aceitar 500V sem queimar.
Operacionais ideais, diodos de silício acoplados termicamente, alimentação ± 9 Volts. 4 dígitos significativos.

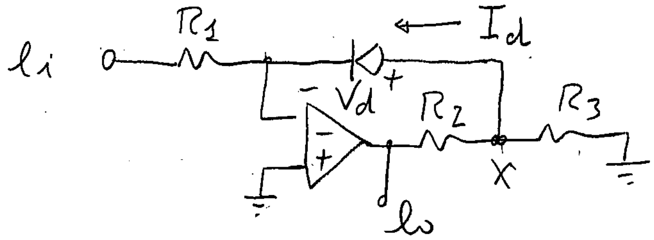
$$V_d = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_d}{I_o}\right)$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/ºK (cte. de Boltzmann)
$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C carga do elétron
$I_o = 10^{-13}$ A @ 27°C Corr. de sat. reversa
I_o dobra a cada +12°C no diodo.
ºK = 273 + °C



---

a) Ampl. inversor com divisor de tensão na realim.



$$V_x = e_o \frac{R_3}{R_2+R_3}$$

Como $V_x = V_d$ e $I_d = -\frac{e_i}{R_1}$

$$e_o = V_x \cdot \frac{R_2+R_3}{R_3}$$

$$e_o = \frac{R_2+R_3}{R_3} \cdot \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{-e_i}{R_1 \cdot I_o}\right)$$

//

Para o diodo conduzir é preciso que e_i seja negativo.

b) Colocando os valores para 27°C:

$T = 273 + 27 = 300$ °K

$$e_o(27) = \frac{12+1,2}{1,2} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln\left(\frac{-(-150)}{120 \cdot 10^3 \cdot 10^{-13}}\right)$$

$e_o(27) = 11 \cdot 0,0259 \cdot 23,25$

$e_o(27) = 6,639$ //

Como I_o dobra a cada +12°C,

$$\frac{135-27}{12} = 9.$$

Então:

$$I_o(135) = 2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot2\cdot10^{-13}$$

$$I_o(135) = 2^9\cdot10^{-13} = 512\cdot10^{-13}$$

E ainda: $T = 273 + 135 = 408\,°K$

$$e_o(135) = \frac{12+1,2}{1,2}\cdot\frac{1,38\cdot10^{-23}\cdot408}{1,6\cdot10^{-19}}\cdot \ln\left(\frac{-(-150)}{120\cdot10^{3}\cdot512\cdot10^{-13}}\right)$$

$$e_o(135) = 11\cdot0,0352\cdot17,01$$

$$e_o(135) = 6,586$$

Variação de e_o:

$$\Delta e_o = e_o(135) - e_o(27)$$

$$\Delta e_o = 6,586 - 6,639$$

$$\Delta e_o = -0,054 \text{ Volts} //$$

Outra solução: dividir 500V por N de modo que $\frac{e_i}{N} < 9$Volts e dar ganho de N no amplif. logarítmico.

d) para e_o não saturar, $e_{o\,max} = 9V$ então:

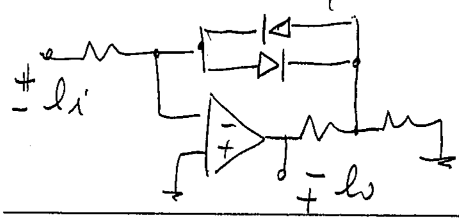
$$9 = 11\cdot0,0259\cdot\ln\left(\frac{e_i}{120\cdot10^{3}\cdot10^{-13}}\right)$$

$$31,59 = \ln(e_i) - \underbrace{\ln(120\cdot10^{-10})}_{-18,24}$$

$$\ln(e_i) = 49,83$$

$$e_i = 4,34\cdot e^{21} //$$

Outra solução:

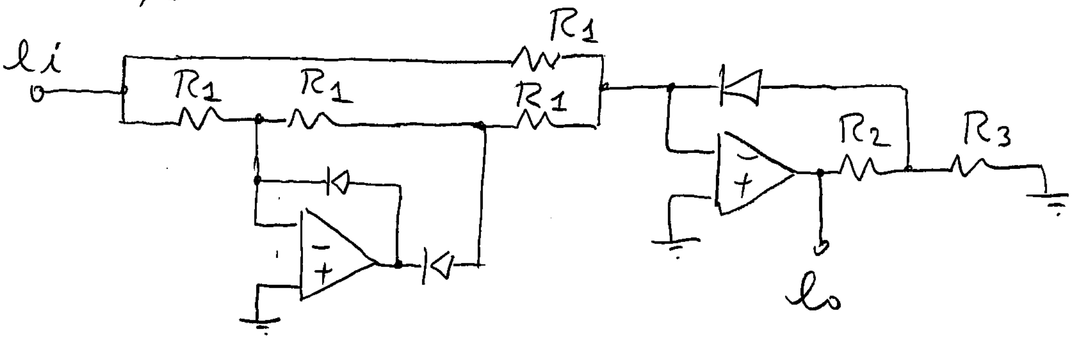


Entretanto e_o também muda de polaridade.

c) Para aceitar qualquer polaridade, precisa retific. de onda completa. Uma ponte de 4 diodos serviria mas perde-se a referência de massa.

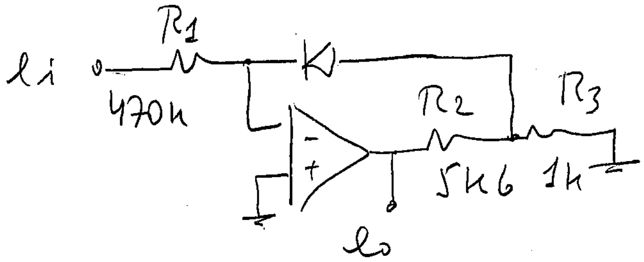
Para não queimar o operacional precisa de massa virtual na entrada, ou seja, um retif. de onda completa inversor.

Melhor ainda: como o amplif. log já tem massa virtual na entrada basta somar o sinal negativo com o positivo passado por um retif. de 1/2 onda inversor:



Resistores iguais para manter a mesma escala.

Versão P2 2006/2



$$e_o = \frac{R_2+R_3}{R_3} \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{-e_i}{R_1 \cdot I_o}\right)$$

Em 27°C:

$T = 300$ °K

$$e_o(27) = \frac{5,6+1}{1} \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \ln\left(\frac{-(-150)}{470 \cdot 10^{3} \cdot 10^{-13}}\right)$$

$$e_o(27) = 6,6 \cdot 0,02588 \cdot 21,884$$

$$e_o(27) = 3,738$$ //

Em 135°C:

$T = 408$ °K

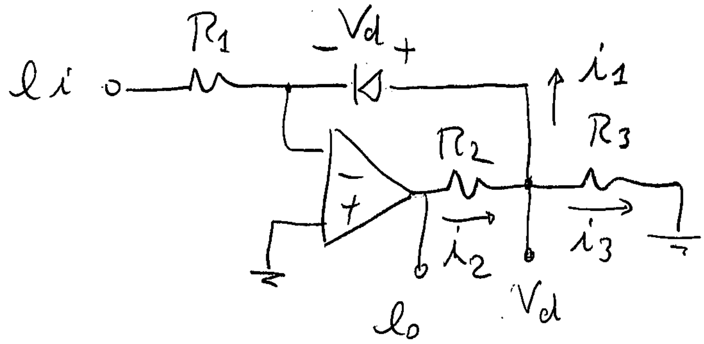
$$e_o(135) = \frac{5,6+1}{1} \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 408}{1,6 \cdot 10^{-19}} \ln\left(\frac{-(-150)}{470 \cdot 10^{3} \cdot 512 \cdot 10^{-13}}\right)$$

$$e_o(135) = 6,6 \cdot 0,03519 \cdot 15,65$$

$$e_o(135) = 3,634$$ //

$\Delta e_o = 0,104$ Volts //

Equacionamento rigoroso – Versão de prova:



KVL: $-i_2 + i_1 + i_3 = 0$

$$-\frac{e_o - V_d}{R_2} + \frac{0 - e_i}{R_1} + \frac{V_d}{R_3} = 0$$

$$\frac{V_d}{R_3} - \frac{e_i}{R_1} = \frac{e_o}{R_2} - \frac{V_d}{R_2}$$

$$V_d\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}\right) - \frac{e_i}{R_1} = \frac{e_o}{R_2}$$

$$e_o = R_2\left(V_d\,\frac{R_2 + R_3}{R_2 \cdot R_3} - \frac{e_i}{R_1}\right)$$

$$e_o = V_d\,\frac{R_2 + R_3}{R_3} - e_i\,\frac{R_2}{R_1}$$

$$e_o = -\frac{e_i R_2}{R_1} + \frac{R_2 + R_3}{R_3} \ln\left(\frac{-e_i}{R_1 \cdot I_0}\right)$$

Como $R_1 >> R_2$ pois a corrente no diodo deve ser pequena para não causar aquecimento, então este termo pode ser eliminado com pouco erro. Com os valores desta questão, o erro é grande.

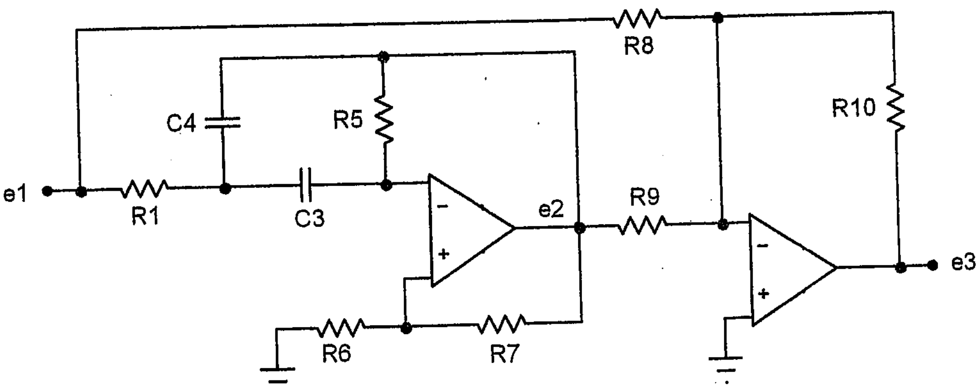
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2007/1**

Prova 2 **3/7/2007**

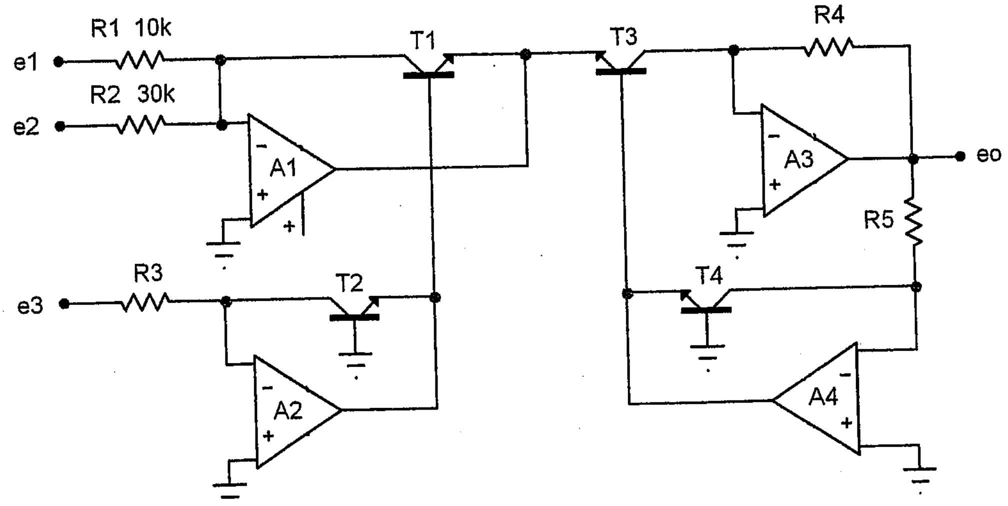
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Estude o circuito supressor da freqüência de sincronismo horizontal da TV e, a) Descreva qualitativamente o seu funcionamento. b) Separe em blocos e equacione cada um, sob forma literal, lembrando sempre de documentar cada passo com textos, equações e esquemas pois isso será avaliado. c) Calcule o valor de cada componente desconhecido para alcançar os objetivos desejados.
Use capacitores de 1nF e $R_5 = 64R_1$ na definição da freqüência de operação de 15750Hz. Ganho unitário e fator de qualidade 8. Componentes ideais.

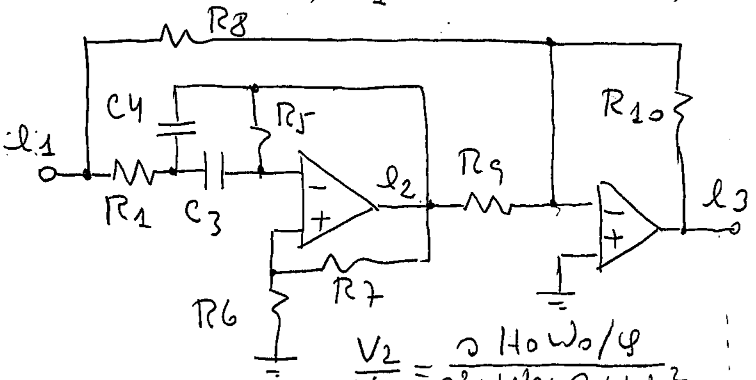
$$\frac{e_2(s)}{e_1(s)} = \frac{-s\dfrac{K+1}{R_1C_4}}{s^2 + s\left(\dfrac{1}{R_5C_4} + \dfrac{1}{R_5C_3} - \dfrac{K}{R_1C_4}\right) + \dfrac{1}{R_1R_5C_3C_4}} \qquad K = \frac{R_6}{R_7} \qquad \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{s\dfrac{H_o\omega_o}{Q}}{s^2 + \dfrac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2}$$



Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Separe em blocos funcionais e equacione de modo literal e completo cada um. Junte as equações com o objetivo de obter a saída em função das entradas. Por último, dimensione os componentes de modo que a saída tenha um coeficiente 2 afetando a função que opera as entradas. Como sempre, descreva em detalhes cada etapa do seu trabalho. ~~Componentes~~ Operacional, ideais e Transistores na mesma temperatura.



Estude o circuito supressor da frequência de sincronismo horizontal da TV e a) Descreva qualitativamente o seu funcionamento. b) Separe em blocos e equacione cada um, em formato literal, documentando cada passo com textos, esquemas e equações, pois isso será avaliado. c) Calcule o valor de cada componente desconhecido para poder alcançar os objetivos desejados. Use capacitores de 1 nF e $R_5 = 64 \cdot R_1$, na definição da freq. de operação de 15750 Hz.
Ganho e_3/e_1 unitário, $\varphi = 8$, comp. ideais.



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{s\, H_0 W_0/\varphi}{s^2 + W_0/\varphi\, s + W_0^2}$$

$$\frac{e_2(s)}{e_1(s)} = \frac{-s(K+1)/R_1C_4}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_5C_4} + \frac{1}{R_5C_3} - \frac{K}{R_1C_4}\right) + \frac{1}{R_1R_5C_3C_4}} \qquad K = \frac{R_6}{R_7}$$

Comparando a equação com a forma padrão:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}$$

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1R_5C_3C_4}} \quad //$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5C_4} + \frac{1}{R_5C_3} - \frac{K}{R_1C_4}$$

$$\varphi = \frac{\frac{1}{\sqrt{R_1R_5C_3C_4}}}{\frac{1}{R_5C_4} + \frac{1}{R_5C_3} - \frac{K}{R_1C_4}} \quad //$$

$$H_0 \cdot \frac{W_0}{\varphi} = -\frac{K+1}{R_1C_4}$$

$$H_0 = -\frac{K+1}{R_1C_4} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_5C_4} + \frac{1}{R_5C_3} - \frac{K}{R_1C_4}} \quad //$$

$$H_0 = -\frac{K+1}{R_1 \cdot C_4} \cdot \frac{\varphi}{W_0}$$

Fazendo $R_5 = 64 \cdot R_1$ e capacitores iguais fica:

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot 64 \cdot R_1 \cdot C \cdot C}} \rightarrow W_0 = \frac{1}{8 \cdot R_1 \cdot C}$$

$$\varphi = \frac{\frac{1}{8 \cdot \cancel{R_1} \cdot \cancel{C}}}{\frac{1}{64 \cdot \cancel{R_1}} + \frac{1}{64 \cdot \cancel{R_1 C}} - \frac{K}{\cancel{R_1 C}}} \Rightarrow \varphi = \frac{1}{0{,}25 - 8 \cdot K}$$

$$H_0 = -\frac{K+1}{\cancel{R_1 C}} \cdot \frac{\frac{1}{0{,}125 - 8 \cdot K}}{\frac{1}{8\cancel{R_1 C}}} = -\frac{K+1}{\frac{0{,}25 - 8K}{8}}$$

$$H_0 = -\frac{K+1}{0{,}03125 - K} \quad //$$

Aplicando os valores numéricos

$$W_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2 \cdot \pi \cdot 15750$$

$$W_0 = 99 \cdot 10^3 \text{ rad/s} \quad //$$

$$\varphi = 8 = \frac{1}{0{,}25 - 8k}$$

$$2 - 64k = 1$$

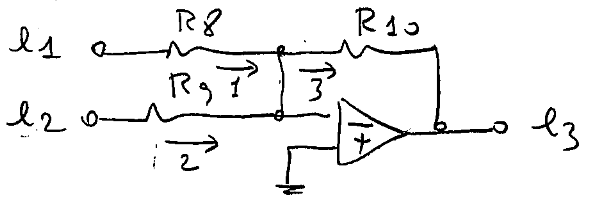
$$k = \frac{1}{64}$$

O ganho H_0 depende do fator K que depende do fator φ. Será aceito como sendo:

$$H_0 = -\frac{\frac{1}{64} + 1}{0{,}03125 - \frac{1}{64}}$$

$H_0 = -65$ // Ganho na faixa passagem

Bloco do somador inversor:



KCL em $e-$:

$$-i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

$$-\frac{e_1 - 0}{R_8} - \frac{e_2 - 0}{R_9} + \frac{0 - e_3}{R_{10}} = 0$$

$$e_3 = -\left(\frac{R_{10}}{R_8} e_1 + \frac{R_{10}}{R_9} e_2\right)$$

Como o filtro é inversor, o sinal e_2 é subtraído de e_1. Para manter ganho unitário de e_1 para e_3 precisa atenuar a saída e_2 de $H_0 = 65$ vezes. Então os pesos ficam:

$$\frac{e_3}{e_1} = 1 = \frac{R_{10}}{R_8} \rightarrow R_8 = R_{10}$$

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{1}{65} = \frac{R_{10}}{R_9} \rightarrow R_9 = 65 \cdot R_{10}$$

Atribuindo valores:

$K = \frac{1}{64} = \frac{R_6}{R_7}$ Seja $R_6 = 1k$ //

Então $R_7 = 64 \cdot R_6 = 64k$ //

Pesos do somador:

Seja $R_{10} = 1k$ //

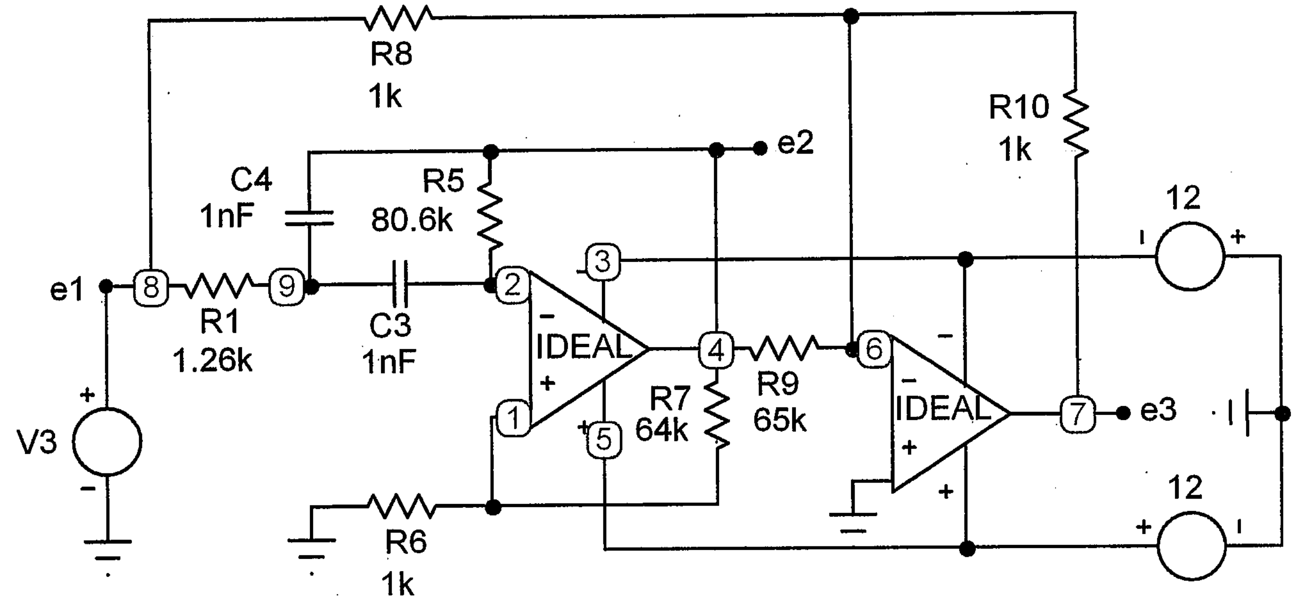
Então $R_8 = 1k$ //

e $R_9 = 65 \cdot 1k = 65K$

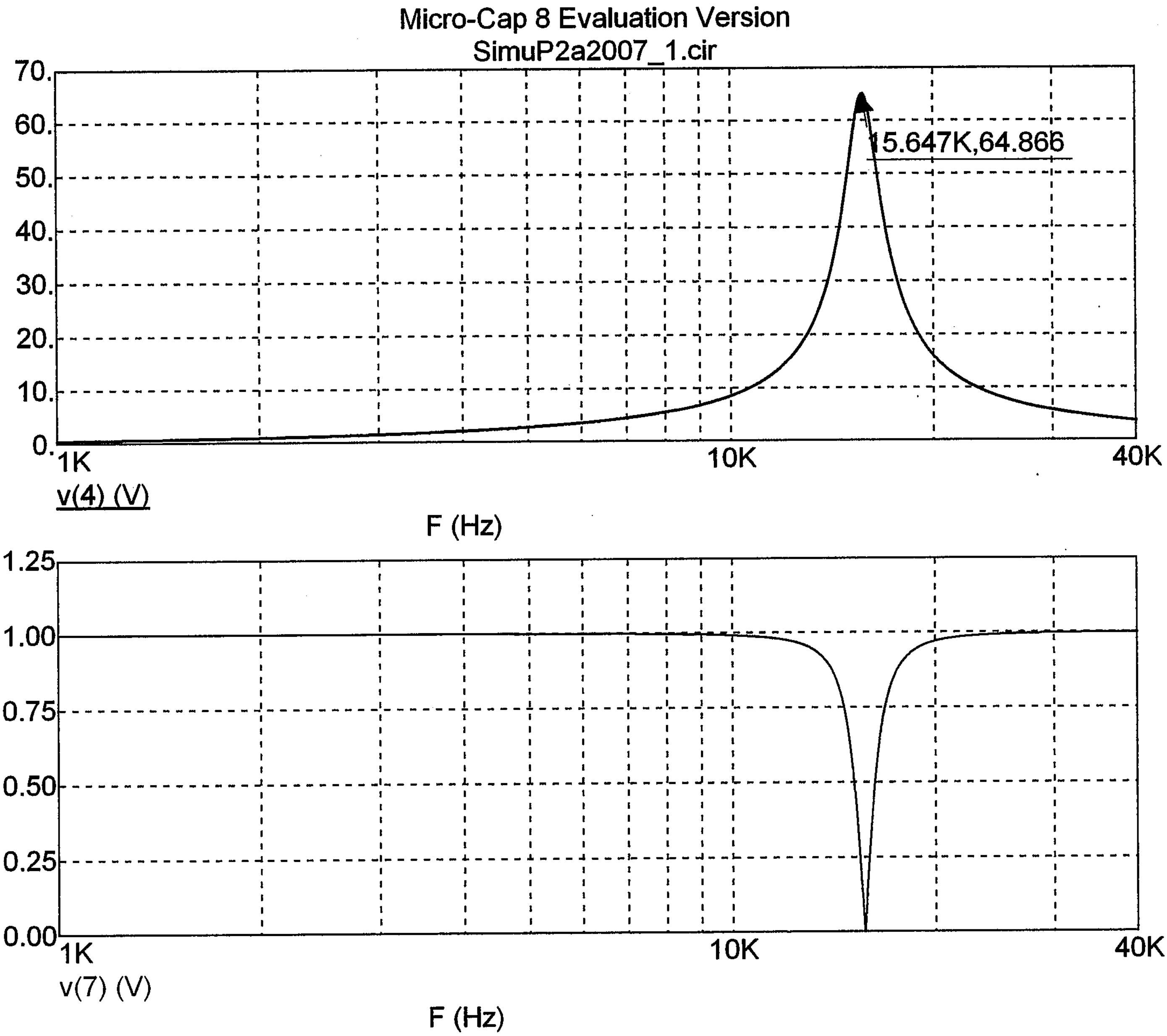
$$\omega_0 = 99 \cdot 10^3 = \frac{1}{8 \cdot R_1 \cdot 10^{-9}}$$

$R_1 = 1262\,\Omega \rightarrow 1{,}26K$ //

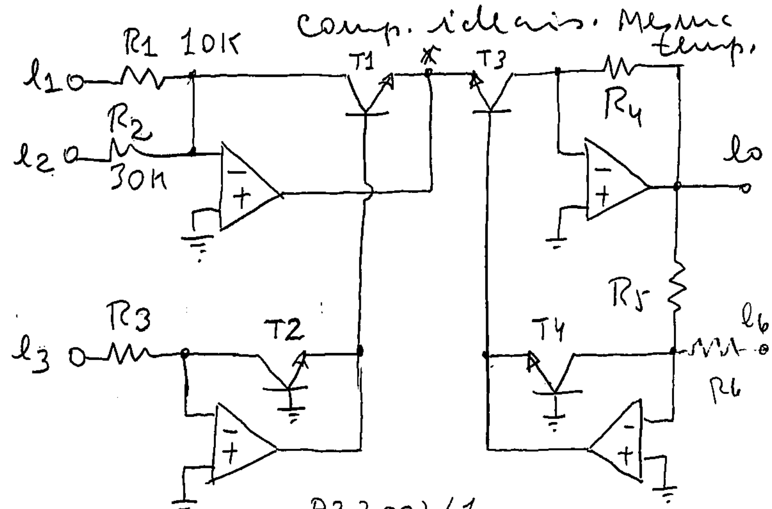
$R_5 = 64 \cdot R_1 = 80{,}6\,K$ //



DC 0 AC 1 0 Sin 0 200u 15000 0 0 0



Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Simplifique o que for possível, separe em blocos completamente e equacione cada um. Junte as equações de modo a obter l_o em função das entradas. Por último, dimensione os componentes de modo que a saída tenha um coeficiente 2 afetando a função que opera as entradas. Comp. ideais. Mesma temp.

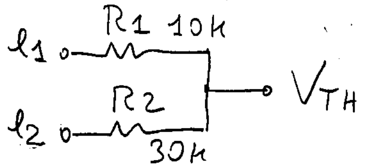


P2 2007/1

Conversor log com somador na entrada, conversor antilog.

Dois V_{BE}s para cada lado, logo é estável com I_o e com a temperatura.

Simplificando:



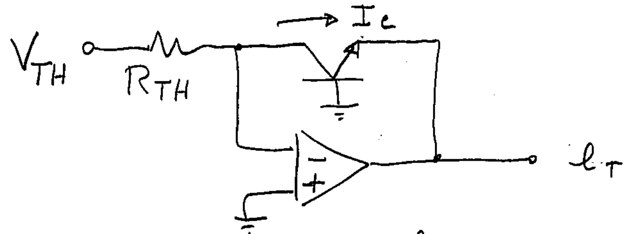
$R_{TH} = R_1 // R_2$

$R_{TH} = 7{,}5K$ //

$$V_{TH} = \frac{l_1 \cdot 30}{10+30} + \frac{l_2 \cdot 10}{10+30}$$

$$V_{TH} = \frac{3l_1 + l_2}{4} \quad //$$

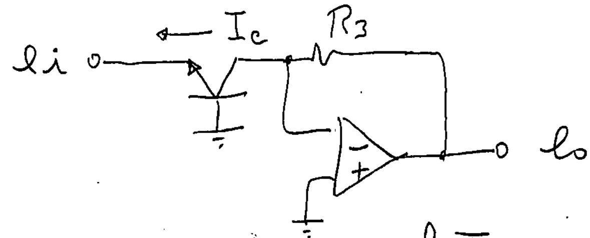
Bloco ln:



$$l_T = -V_{BE} = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$l_T = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{V_{TH}}{R_{TH} \cdot I_o}\right) \quad //$$

Bloco exp:



$$l_i = -V_{BE} = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$l_i = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{l_o}{R_3 \cdot I_o}\right)$$

$$\frac{-l_i \cdot q}{k \cdot T} = \ln\left(\frac{l_o}{R_3 \cdot I_o}\right)$$

$$e^{-\frac{l_i \cdot q}{k \cdot T}} = \frac{l_o}{R \cdot I_o}$$

$$l_o = R \cdot I_o \cdot e^{-\frac{l_i \cdot q}{k \cdot T}} \quad //$$

KVL no ponto X:

$$-V_{BE1} - V_{BE2} = -V_{BE3} - V_{BE4}$$

Substituindo:

$$-\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{V_{TH}}{R_{TH} \cdot I_o}\right) - \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{l_3}{R_3 \cdot I_o}\right) =$$

$$= - \frac{-k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{l_o}{R_4 \cdot I_o}\right) - \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{l_o}{R_5 \cdot I_o}\right)$$

Transistores iguais e na mesma temperatura:

cancelando $\frac{k\cdot T}{q}$ e juntando os ln:

$$\ln\left(\frac{V_{TH}}{R_{TH}\cdot I_0}\cdot\frac{e_3}{R_3\cdot I_0}\right)=\ln\left(\frac{e_0}{R_4\cdot I_0}\cdot\frac{e_0}{R_5\cdot I_0}\right)$$

cancelando os ln:

$$\frac{V_{TH}\cdot e_3}{R_{TH}\cdot R_3\cdot I_0^2}=\frac{e_0^2}{R_4\cdot R_5\cdot I_0^2}$$

Cancelando I_0^2 e isolando e_0^2:

$$e_0^2=\frac{V_{TH}\cdot e_3\cdot R_4\cdot R_5}{R_{TH}\cdot R_3}$$

$$e_0=\sqrt{\frac{R_4\cdot R_5}{R_{TH}\cdot R_3}}\cdot\sqrt{V_{TH}\cdot e_3}$$

Substituindo V_{TH} e R_{TH}:

$$e_0=\sqrt{\frac{R_4\cdot R_5}{R_{TH}\cdot R_3}}\cdot\sqrt{\frac{3\cdot e_1+e_2}{4}\cdot e_3}$$

$$e_0=\underbrace{\sqrt{\frac{R_4\cdot R_5}{R_{TH}\cdot R_3}}\cdot\frac{1}{2}}_{\text{cte}}\sqrt{(3e_1+e_2)\cdot e_3}$$

Para obter cte = 2 fazemos:

$$\sqrt{\frac{R_4\cdot R_5}{R_{TH}\cdot R_3}}\cdot\frac{1}{2}=2$$

elevando ao quadrado:

$$\frac{R_4\cdot R_5}{R_{TH}\cdot R_3}=16$$

Fazendo $R=R_3=R_4=R_5=10k$, por exemplo
como $R_{TH}=7{,}5K$:

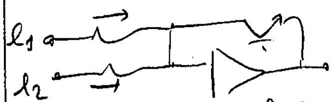
$$\frac{R}{7{,}5K}=16$$

$$R=120K\,//$$

Então:

$$e_0=2\sqrt{(3\cdot e_1+e_2)\cdot e_3}\quad //$$

Bloco 1, outro equacionamento:



$\frac{e_1}{R_1}$ $\frac{e_2}{R_2}$

$$e_0=-\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c1}+I_{c2}}{I_0}\right)$$

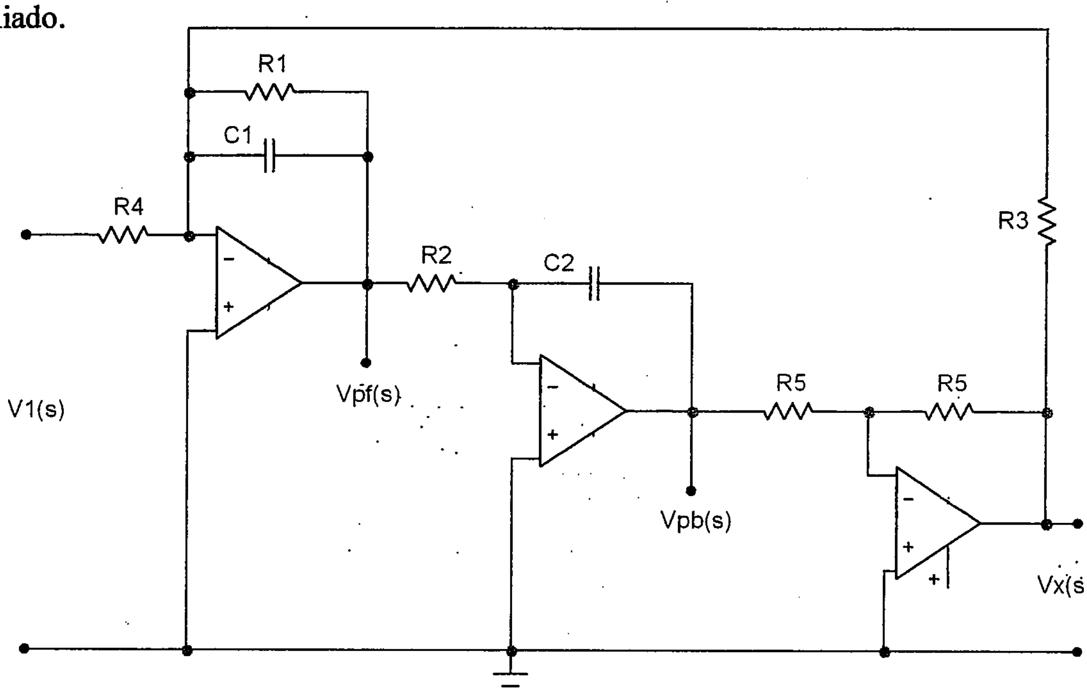
bloco — 1/2 ponto → 2
equaç — 1,5 →
personalizaç → 1,5

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2007/2

Prova 2 4/12/2007

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o filtro ressonante a seguir, do qual estamos interessados na saída passa-baixas. Equacione, de modo literal, esta saída, descrevendo amplamente cada etapa. Configure esta saída para formar um filtro para sinais biológicos com frequência de corte de 19,5Hz, ganho de 8 vezes e fator de qualidade de 0,9. Todos os componentes devem ser calculados. Procure tomar decisões que levem a um produto simples, facilitando a sua fabricação. Impedância de entrada acima de 12kΩ; componentes ideais; arredondamento em 3 dígitos significativos. Descreva convenientemente cada etapa do seu trabalho com textos,equações e diagramas, pois isso será avaliado.

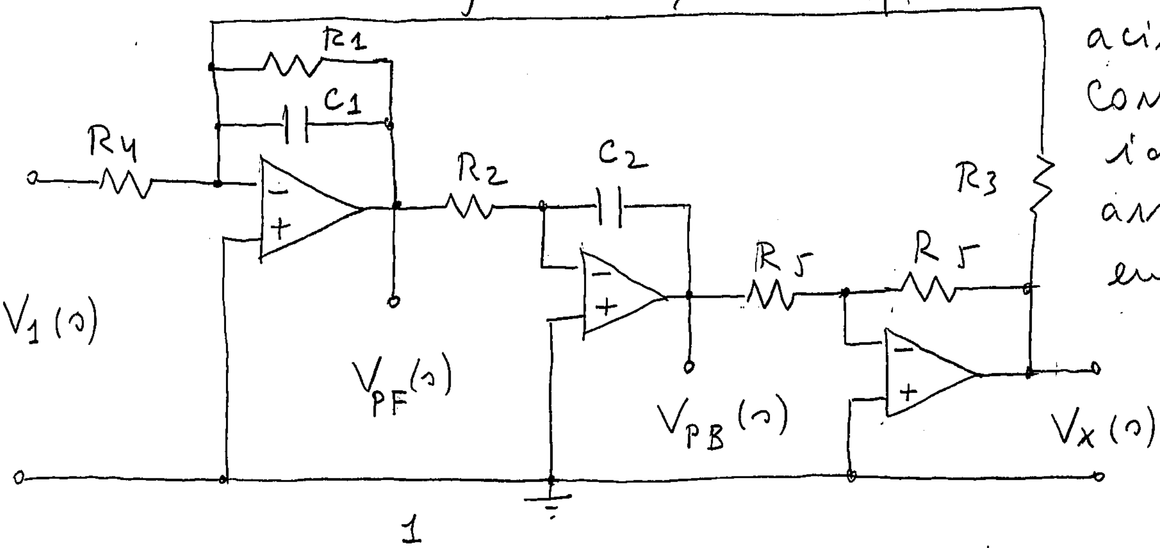


$$\frac{V_{PB}(s)}{V_1(s)} = \frac{\dfrac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2}}{s^2 + \dfrac{s}{R_1 \cdot C_1} + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \qquad \left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

$$\frac{V_{PF}(s)}{V_1(s)} = \frac{\dfrac{-s}{R_4 \cdot C_1}}{s^2 + \dfrac{s}{R_1 \cdot C_1} + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \qquad \left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{H_0 \cdot \dfrac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

2. Projete um voltmetro analógico capaz de medir tensões entre 50V e 50kV, para uso em oficinas de manutenção de monitores e televisores. O instrumento deve ser portátil, preciso, estável e de baixo consumo, com escala ampla, sem comutação de faixas e mesma resolução em qualquer ponto da escala. Galvanômetro analógico com sensibilidade de 2mA para plena deflexão do ponteiro e resistência interna de 2500 Ohms. Máximo dreno de corrente da tensão em medição: 200μA. Alimentação por baterias de 9V, cuja tensão diminui com o uso do aparelho. O voltmetro deve funcionar mesmo quando a tensão cair para 7,5V.
Cada etapa de projeto deve ser extensivamente documentada com textos, esquemas e equações. Procure organizar as suas idéias antes de trabalhar, usando o método hierárquico.

Examine o filtro ressonante a seguir, do qual estamos interessados na saída passa-baixas. Equacione, de modo literal, esta saída, descrevendo amplamente cada etapa. Projete então um filtro para sinais biológicos, com frequência de corte em 19,5 Hz, ganho de 8 e fator de qualidade 0,9. Procure tomar decisões de projeto que levem a um produto simples, facilitando a sua fabricação. Impedância de entrada acima de 12 kΩ. Componentes ideais e arredondamento em 3 dígitos significativos



$$\frac{V_{PB}}{V_1} = \frac{\frac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_2}}{s^2 + \frac{s}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \qquad \left.\frac{V_2}{V_1}\right|_{PB} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{\varphi} s + \omega_0^2}$$

$$\frac{V_{PF}}{V_1} = \frac{\frac{-s}{R_4 \cdot C_1}}{s^2 + \frac{s}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \qquad \left.\frac{V_2}{V_1}\right|_{PF} = \frac{s \cdot H_0 \cdot \frac{\omega_0}{\varphi}}{s^2 + \frac{\omega_0}{\varphi} s + \omega_0^2}$$

P2_2007/2

Comparando a equação do filtro PB com a forma padrão dos filtros 2ª Ordem:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

$$H_0 \omega_0^2 = \frac{1}{\cancel{R_2} R_4 \cancel{C_1} \cancel{C_2}} = H_0 \frac{1}{\cancel{R_2} R_3 \cancel{C_1} \cancel{C_2}}$$

$$H_0 = \frac{R_3}{R_4} \quad //$$

$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1} = \frac{\frac{1}{\sqrt{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}}}{R_1 \cdot C_1}$$

$$\varphi = \omega_0 \cdot R_1 \cdot C_1 = \frac{R_1 \cdot C_1}{\sqrt{R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad //$$

Projeto do filtro PB:

Examinando as equações, notamos que os parâmetros W_0, φ e H_0 são independentes entre si.

Para simplificar, podemos fazer:

$$R_2 = R_3 = R$$

$$C_1 = C_2 = C$$

Deste modo,

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R \cdot R \cdot C \cdot C}} \rightarrow W_0 = \frac{1}{RC} //$$

Existe a restrição de que $Z_{in} > 12k$. Seja então $|Z_{in}| = R_4 = 15k$ //

Ganho na faixa de passagem do filtro:

$$H_0 = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{Então:}$$

$$8 = \frac{R_3}{15k} \rightarrow R_3 = 120k //$$

Pela equação da freq. de corte,

$$W_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = \frac{1}{R_3 \cdot C}$$

$$2 \cdot \pi \cdot 19,5 = \frac{1}{120 \cdot 10^3 \cdot C}$$

$$C = C_1 = C_2 = 68 nF //$$

E ainda:

$$R = R_2 = R_3 = 120k //$$

Acertando agora o φ:

$$\varphi = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R_1 \cdot C_1$$

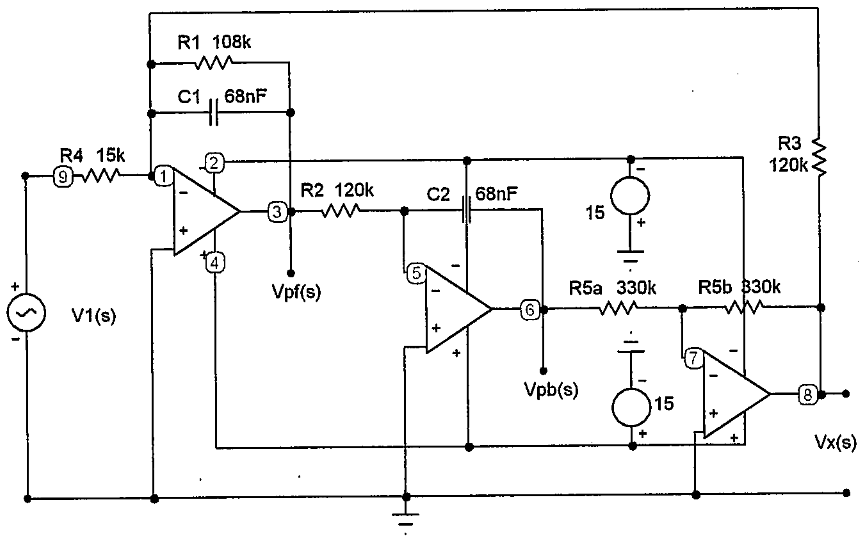
$$0,9 = 2 \cdot \pi \cdot 19,5 \cdot R_1 \cdot 68 \cdot 10^{-9}$$

$$R_1 = 108K //$$

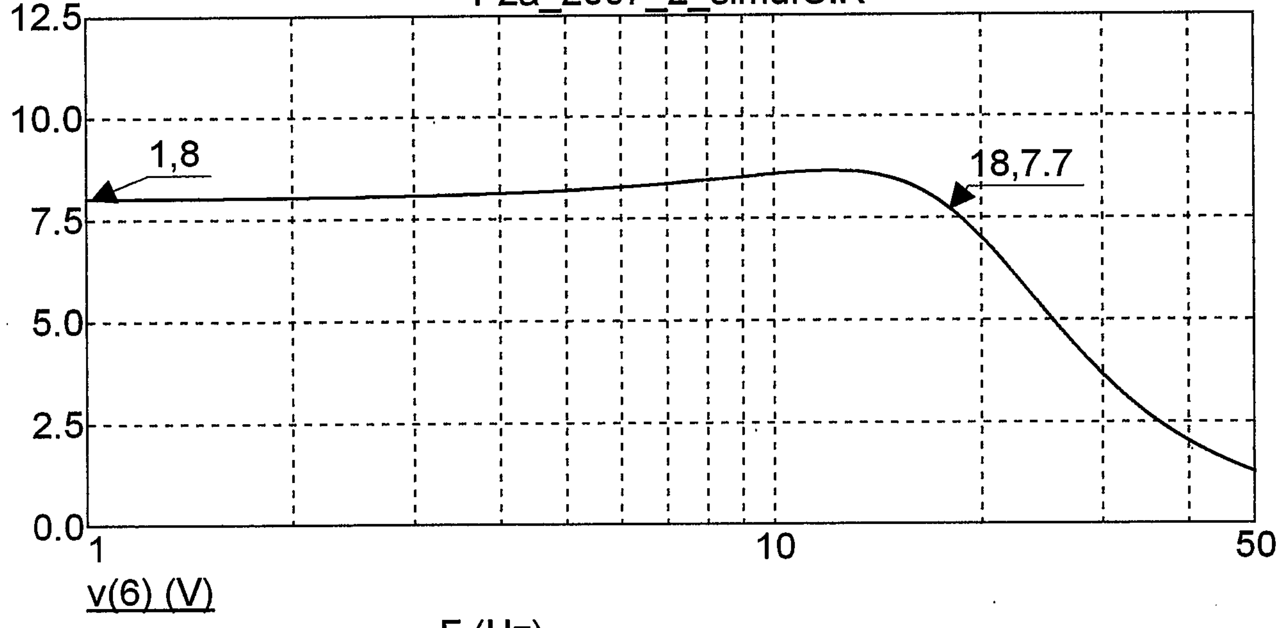
$$R_1 = 39k + 68k = 107k //$$

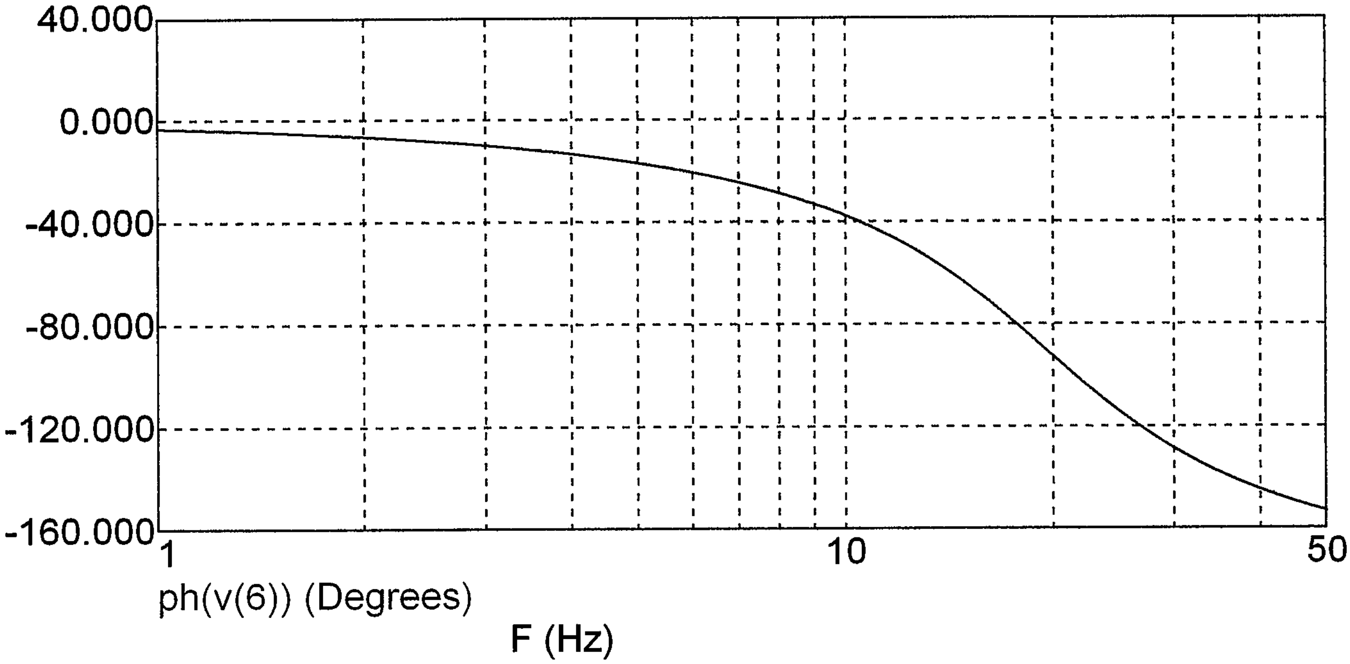
Resistores R_5 do inversor de ganho -1:

$$R_5 = 120k //$$

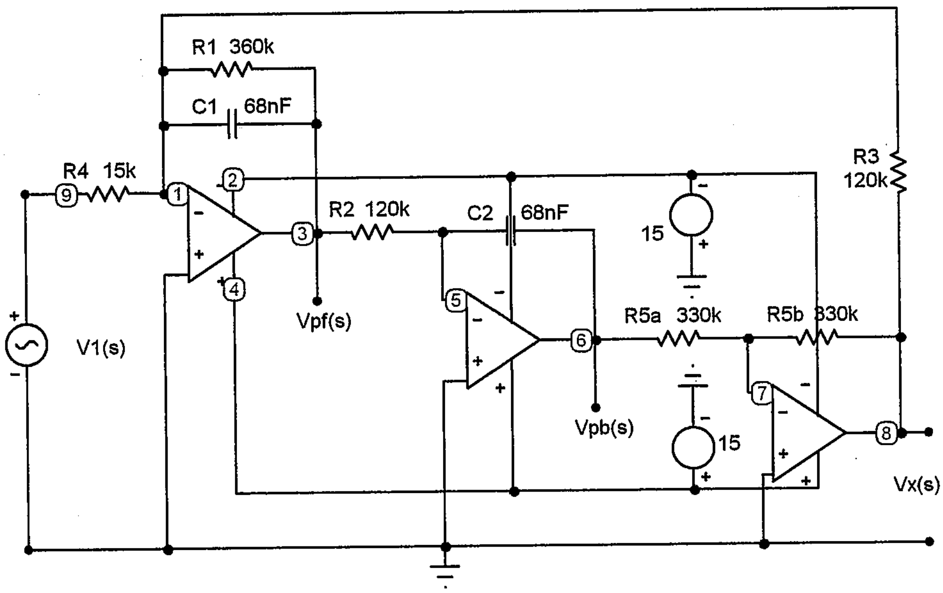


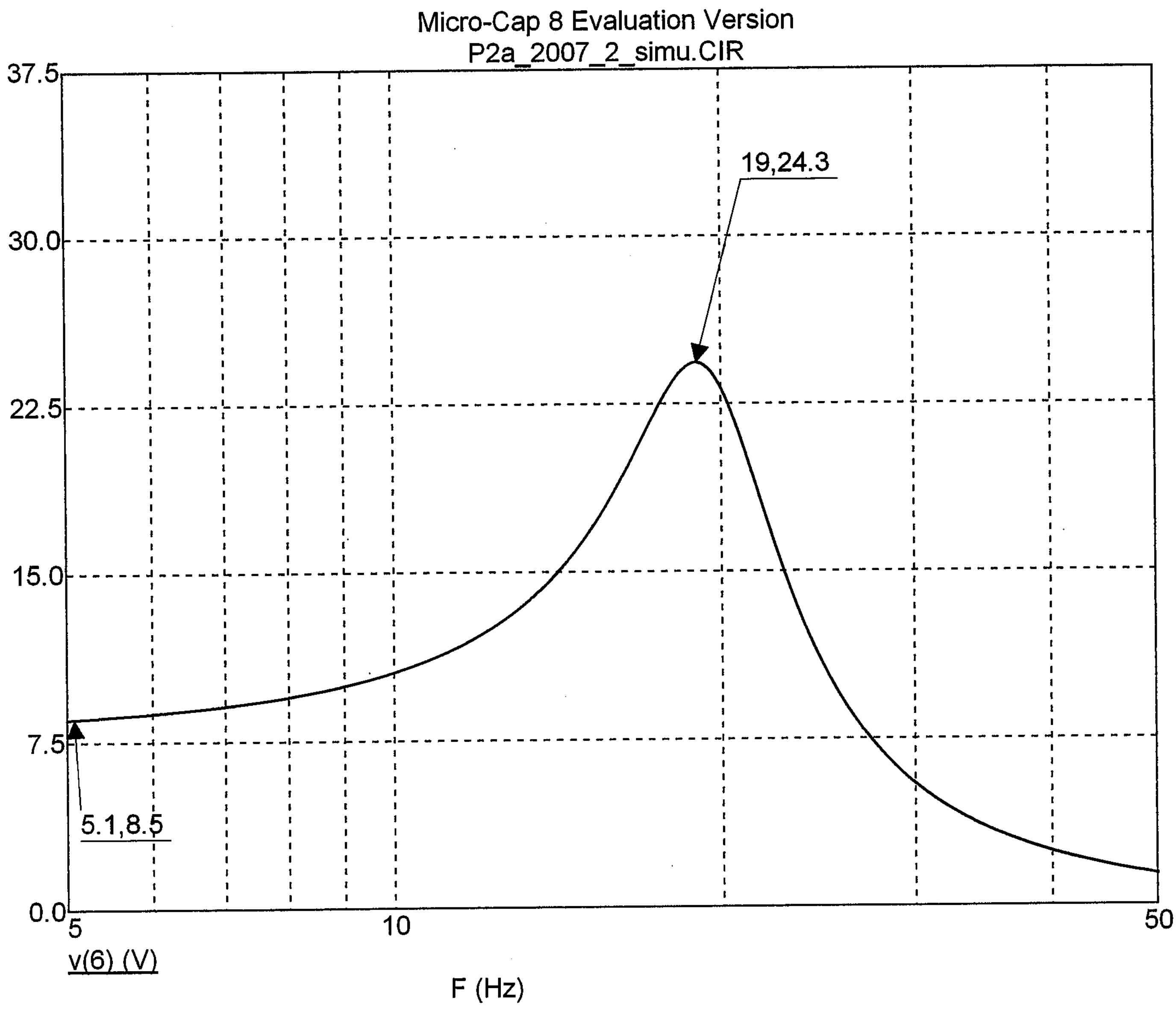
Micro-Cap 8 Evaluation Version
P2a_2007_2_simu.CIR

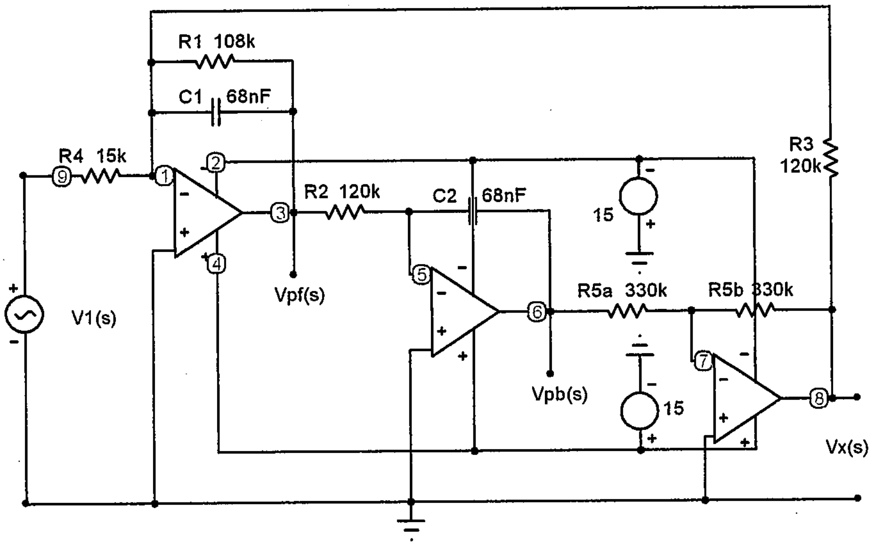


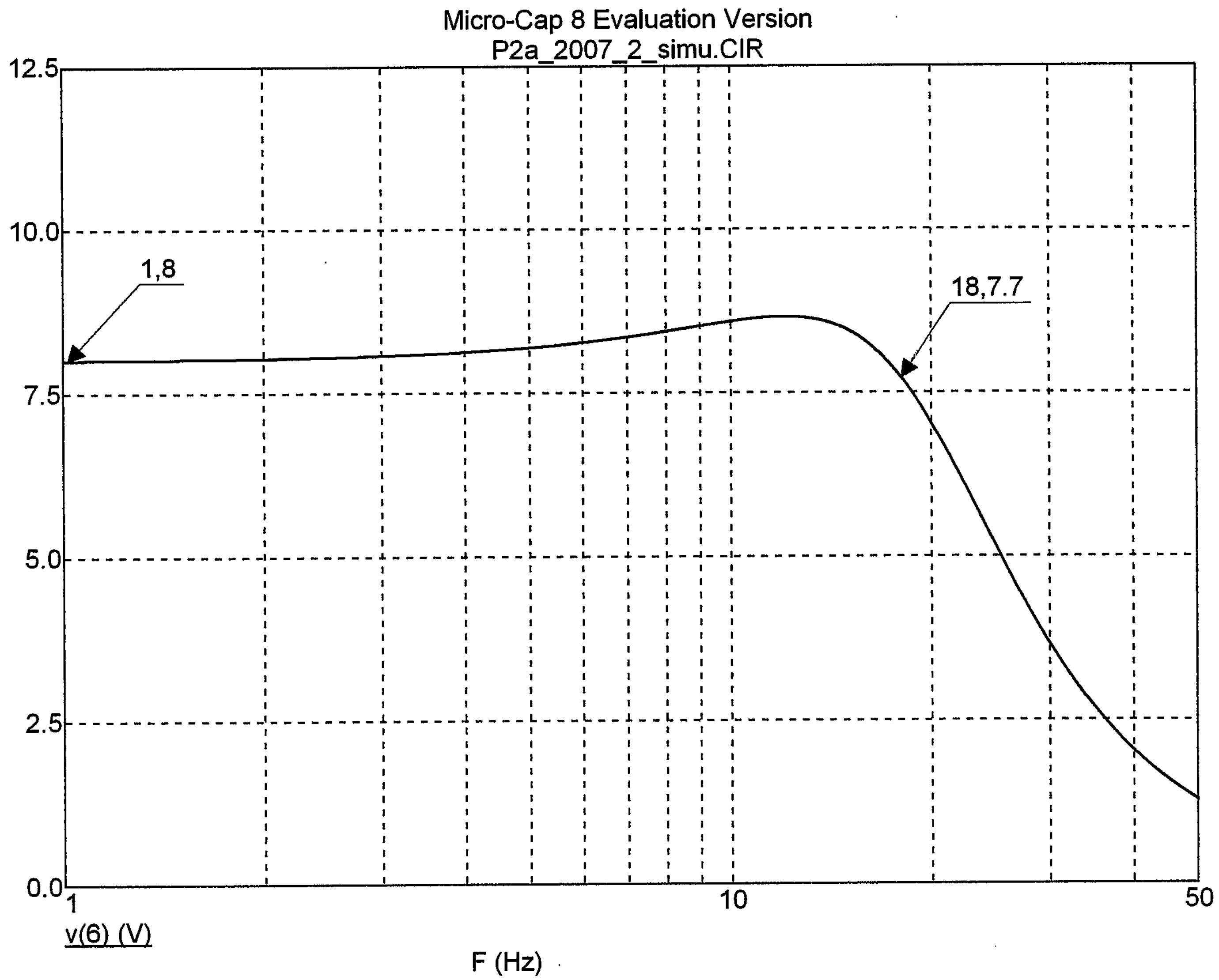


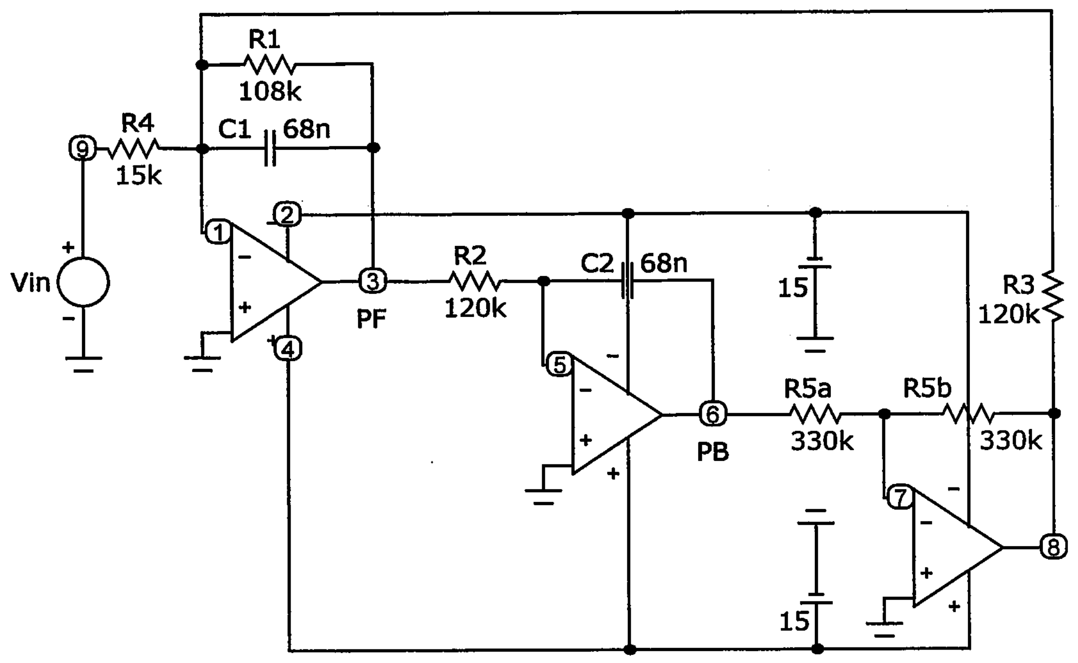
com $\varphi = 3$ $R_1 = 360K$



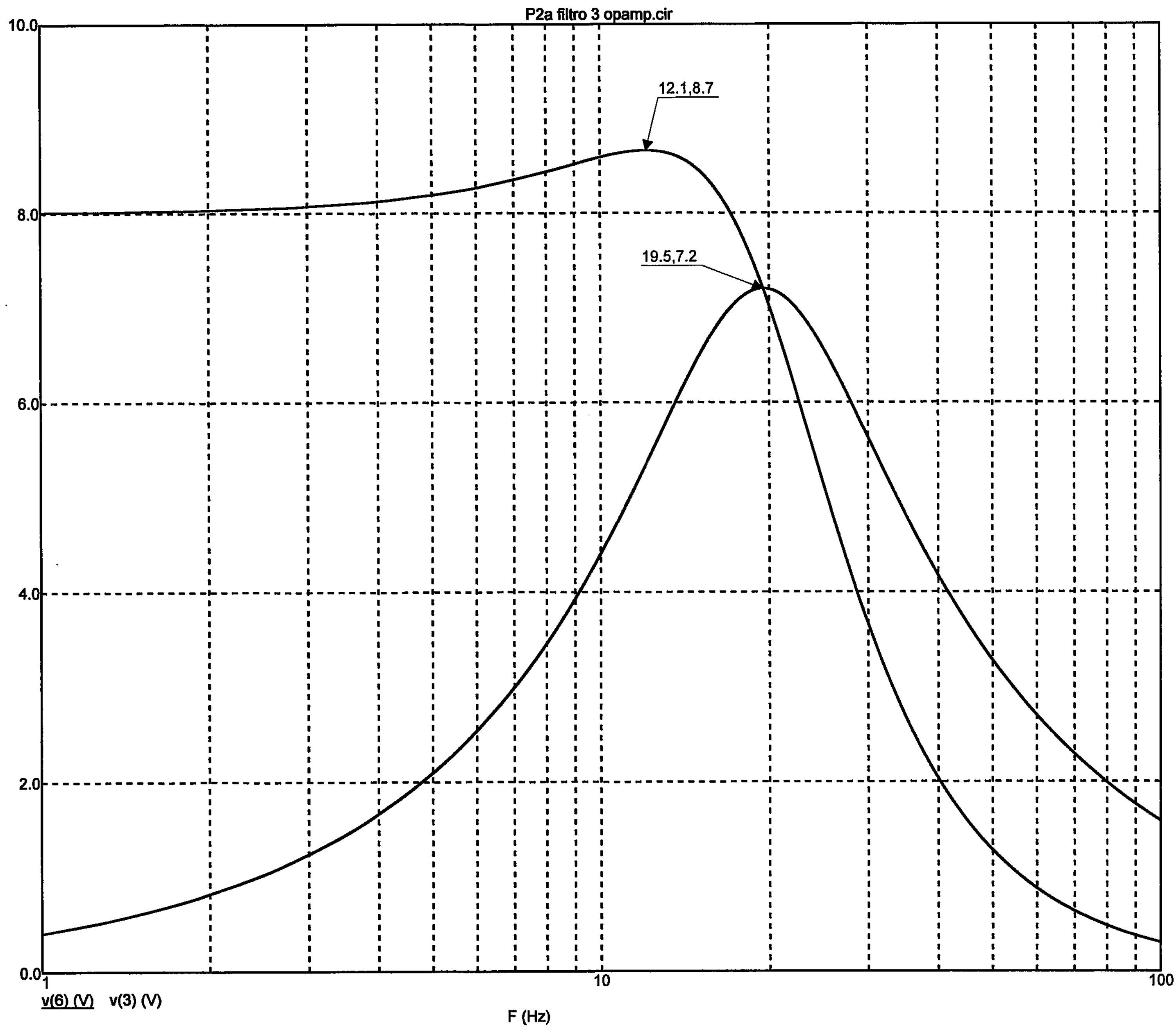



R1 108k
C1 68nF
R4 15k
R2 120k
C2 68nF
R3 120k
15
R5a 330k
R5b 330k
15
V1(s)
Vpf(s)
Vpb(s)
Vx(s)


Micro-Cap 8 Evaluation Version
P2a_2007_2_simu.CIR
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
1,8
18,7.7
1
10
50
v(6) (V)
F (Hz)

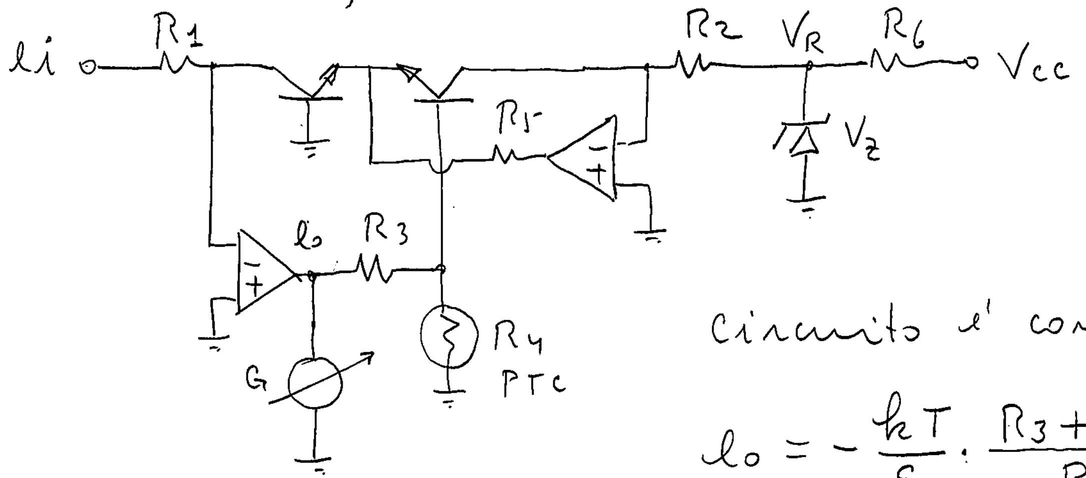


DC 0 AC 1 0 Sin 0 0 0 0 0 0



Projete um voltímetro analógico com ampla faixa de medida, capaz de medir tensões entre 50V e 50kV, para uso em oficinas de manutenção de monitores e TV. televisores. O instrumento deve ser portátil, preciso, estável e de baixo consumo.
Características: Escala ampla sem comutação de faixas. Galvanômetro analógico com sensibilidade de 2mA a plena escala e resist. interna de 2500Ω; máximo dreno de corrente da tensão em medição de 200µA; alimentação por bateria de 9V, cuja tensão diminui com o uso do aparelho, que deve funcionar até que a bateria se reduza a 7,5 Volts.

Precisa amplif. log com compensação de temperatura, tensão de referência estável e eventual ajuste de escala.



Circuito é conhecido: (1)

$$e_o = -\frac{kT}{q} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4} \ln\left(\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{e_i}{V_R}\right)$$

Adaptando para o caso:

$$\frac{k \cdot T}{q} = 26\,mV \quad @\ 27^\circ C$$

R_4 = PTC 1k 0,3%/°C para estabilizar com a temp.
$V_R = V_Z$, estabilizada pelo zener.

O galvanômetro, com 2,5kΩ pode ser ligado direto na saída do amplif. log.
Tensão para máxima deflexão:

$$e_o = I_{G\,máx} \cdot R_G$$

$$e_o = 2\,mA \cdot 2{,}5k = 5\ \text{Volts}$$

OK, saída alcança este valor.

Devido a massa virtual, R_1 é a resist. de entrada do voltmetro:

$$R_1 \geq \frac{e_{i\,máx}}{i_{i\,máx}} = \frac{50KV}{200\mu A}$$

$$R_1 = 250\,M\Omega //$$

Tensão de referência:

Para o zener funcionar, $V_R < V_{cc\,min}$

$V_R < 7{,}5$ Então $V_Z = 5{,}1V$

Baixo consumo; $I_Z = 3mA$

Pior caso:

$$R_6 = \frac{V_{cc\,min} - V_Z}{I_Z} = \frac{7{,}5 - 5{,}1}{3\cdot 10^{-3}}$$

$$R_6 = 800 \rightarrow R_6 = 820\Omega //$$

Para plena deflexão com máximo e_i, usando (1):

$$5 = -26\cdot 10^{-3}\frac{R_3 + 10^3}{10^3}\ln\left(\frac{R_2}{250\cdot 10^6}\cdot\frac{50KV}{5{,}1}\right) \quad (2)$$

Incógnitas R_3 e R_2 serão determinadas pelos limites da escala.

Com $e_i = 50$ Volts, a saída deve ser zero:

$$0 = -26\cdot 10^{-6}\cdot(R_3 + 10^3)\ln\left(\frac{R_2}{250\cdot 10^6}\cdot\frac{50}{5{,}1}\right)$$

Para isso,

$$\ln\left(\frac{R_2}{250\cdot 10^6}\cdot\frac{50}{5{,}1}\right) = 0 \quad \text{Então:}$$

$$\frac{R_2}{250\cdot 10^6}\cdot\frac{50}{5{,}1} = 1$$

Logo $R_2 = 25{,}5 M\Omega //$

Voltando à equação (2):

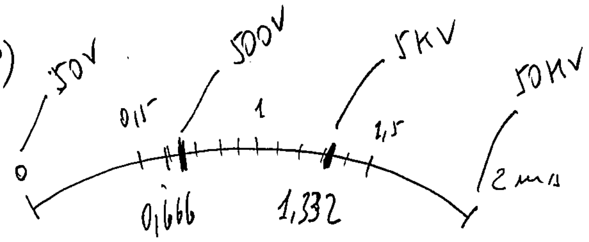
$$5 = -26\cdot 10^{-6}\cdot(R_3 + 10^3)\ln\underbrace{\left(\frac{25{,}5\cdot 10^6}{250\cdot 10^6}\cdot\frac{50KV}{5{,}1}\right)}_{6{,}90775}$$

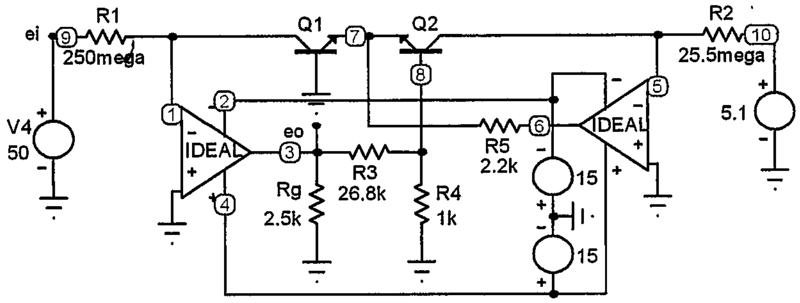
Daí $R_3 = 26{,}83k //$

O sinal negativo é compensado invertendo os terminais do galvanômetro

Escala:

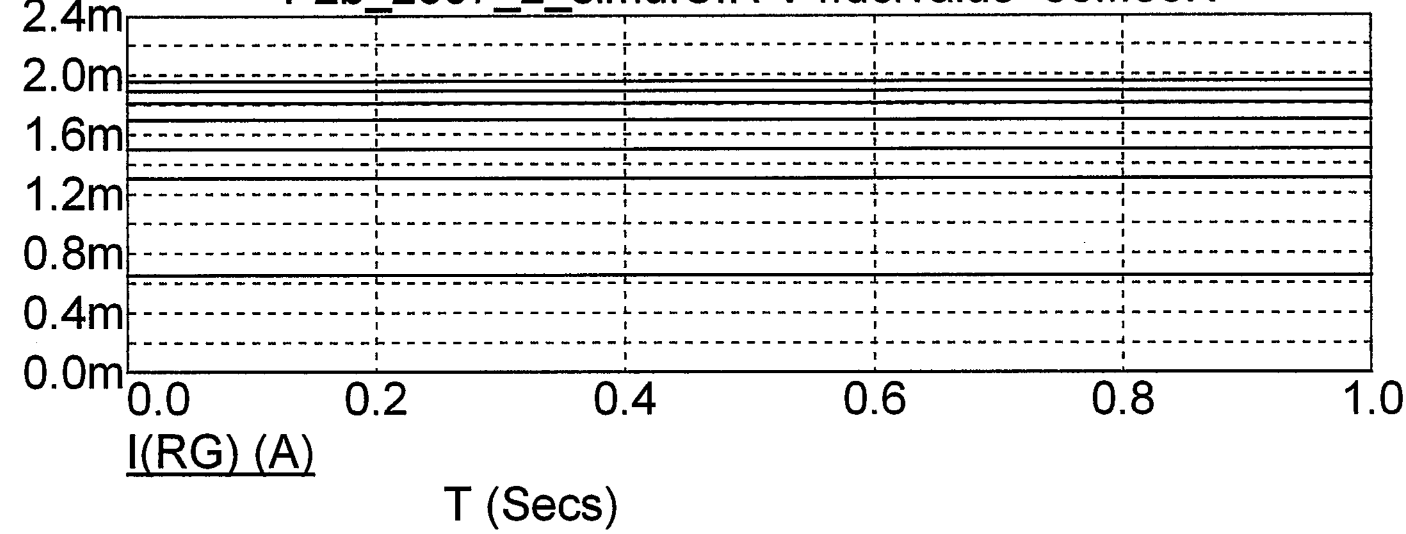
e_i	e_o	i_G
50V	0	0
500V	1,666	0,666 mA
5KV	3,332	1,333 mA
50KV	5	2 mA

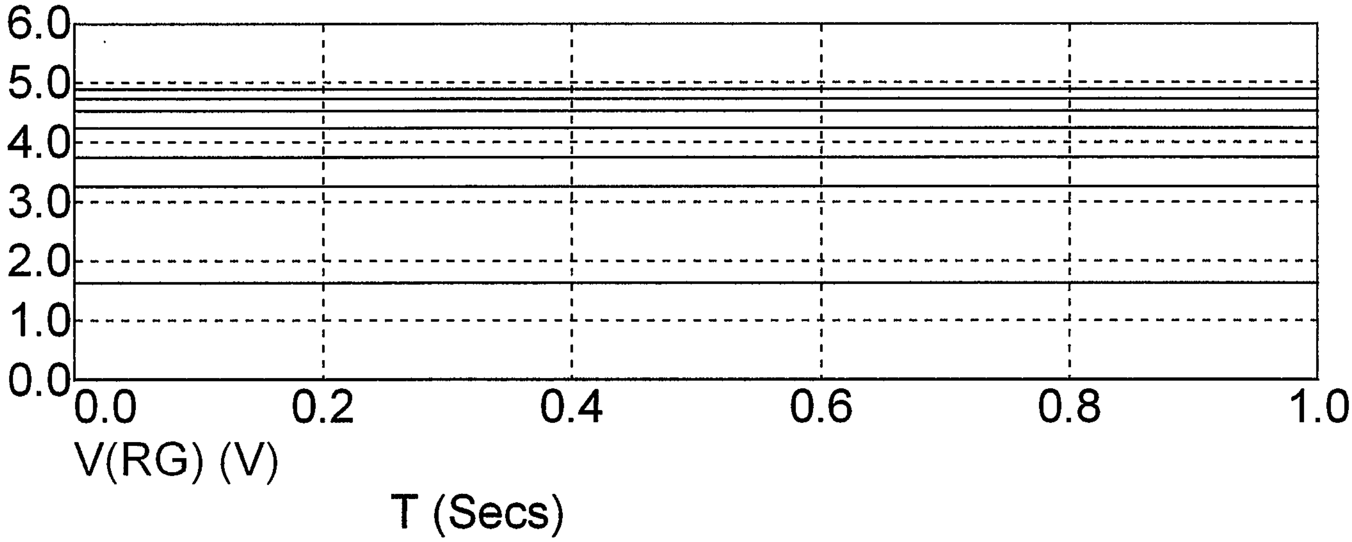


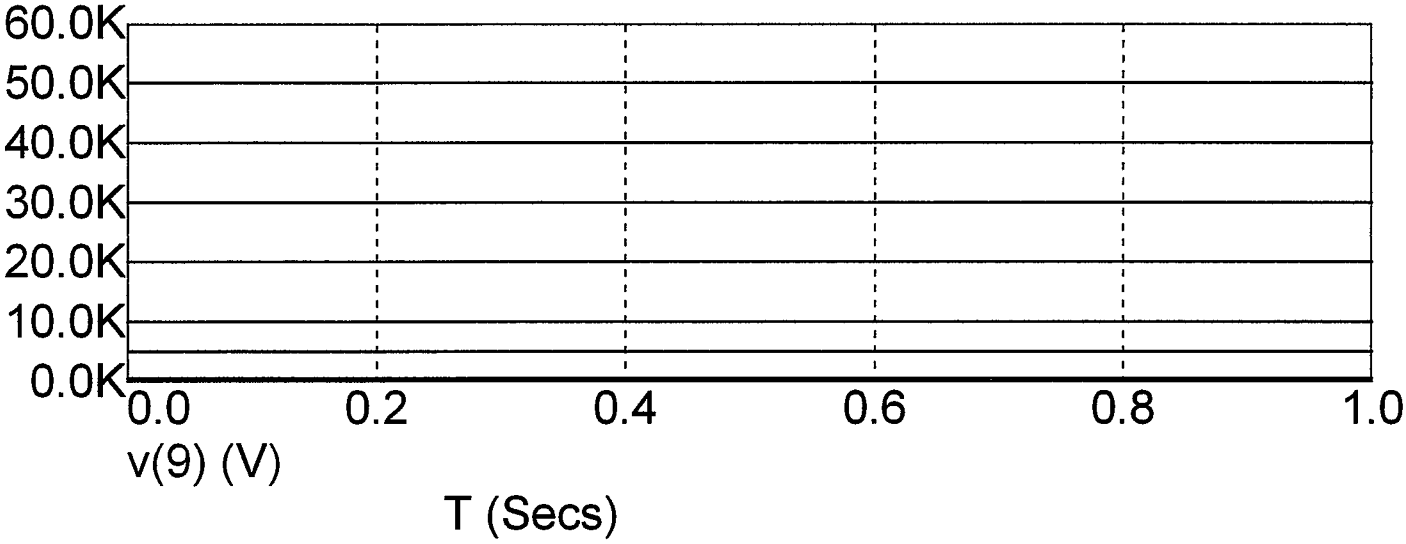


Micro-Cap 8 Evaluation Version

P2b_2007_2_simu.CIR V4.dc.value=50...50K





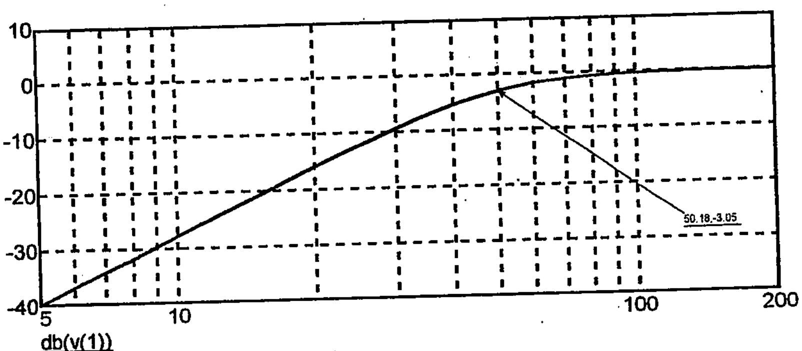


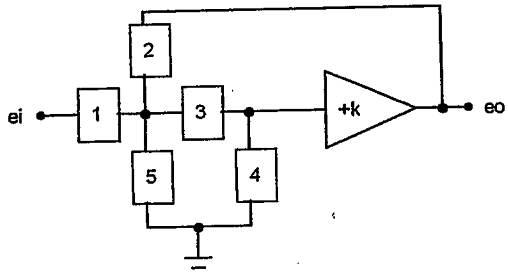
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2008/1**

Prova 2 **25/6/2008**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. A resposta em baixas freqüências das caixas acústicas obedece aos princípios da Física: ressonância de um sistema massa-mola-amortecedor e volume de ar deslocado a cada ciclo do sinal de áudio (proporcional à tensão no alto-falante). A curva de resposta de uma caixa compacta está mostrada a seguir. Projete um filtro passa-altas de segunda ordem para ser colocado no caminho do sinal até a caixa, com o objetivo de extender significativamente (para baixo) a resposta de sons graves desta caixa. 40 Hz Descreva inicialmente as suas idéias, o princípio de funcionamento e cada etapa do seu trabalho, visto que é possível muitas soluções parecidas. Por último, esboce as 3 curvas sobrepostas: caixa, filtro e caixa+filtro. Use capacitores de 1μF.

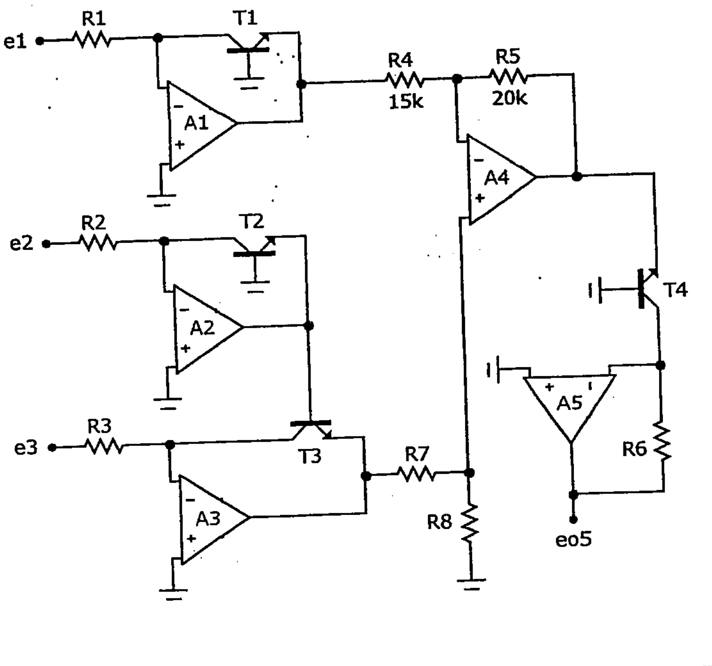




$$T_{pa}(s) = \frac{Ks^2}{s^2 + \left[\frac{1}{R_4C_3} + \frac{1}{R_4C_1} + \frac{1-K}{R_2C_1}\right]s + \frac{1}{R_2R_4C_1C_3}} = \frac{H_o s^2}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q} + \omega_o^{\ 2}}$$

2. Analise o circuito a seguir, separe em blocos funcionais, equacione e comente cada um. Junte os blocos (equações) novamente com o objetivo de obter a saída e_O em função das entradas, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso será avaliado. Transistores iguais e na mesma temperatura. $R_1 = R_2 = R_3 = R_6 = R7 = R8$. Aplique os valores de circuito após equacionar e_{04}. Mantenha as equações em termos de Vbe e Ic até quase o final.
$x \cdot \log(y) = \log(y^x)$.

Overshoot (dB)	Amortecimento
1	1,045
2	0,886
3	0,766
4	0,675
5	0,592
6	0,511



Ampliação da curva de resposta em baixas frequências de uma caixa acústica, a partir de sua curva medida e colocação de um filtro passa-altas, Salen-key, 2ª ordem.

P2 2008/1

---

a) A idéia é colocar um filtro passa-altas pouco amortecido (φ grande) de modo que o overshoot aumente a tensão no alto-falante apenas na faixa ao redor da freq. de corte do filtro. Esta freq. deve ser próxima da freq. de corte da caixa, compensando a redução de amplitude do som e extendendo a resposta de graves.

b) Levantamento das características da caixa, a partir da curva:

A caixa é um passa-altas com $f_0 = 50\,Hz$ @ $-3dB$ e sem overshoot (muito amortecida.

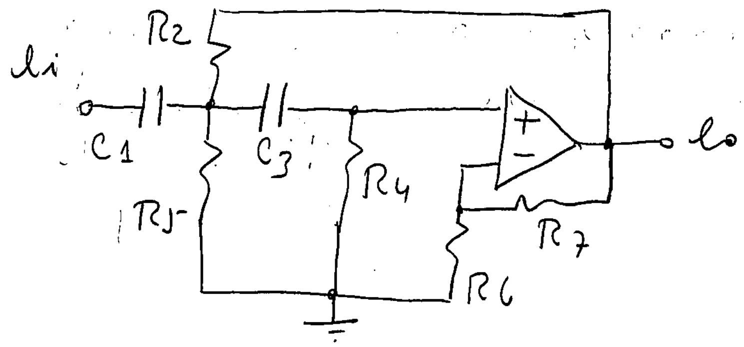
Na freq. onde a tensão caiu $-3dB$, a potência foi reduzida a metade.

Escolhendo para o filtro passa-altas um corte em $f_{0FILTRO} = 40\,Hz$, por exemplo, vamos adotar um overshoot igual a perda de ganho da caixa nesta frequência. Medindo no gráfico encontramos uma perda de 5 dB. Consultando a tabela, o amortecimento é $D = 0,592$ Então, $\varphi = \frac{1}{D} = \frac{1}{0,592} \rightarrow \varphi = 1,69$ //

c) Projeto do filtro com freq. de corte de 40 Hz e fator de qualidade 1,69.

$$\omega_{0FILTRO} = 2\pi f_{0FILTRO} = 2 \cdot \pi \cdot 40 \rightarrow \omega_{0FILTRO} = 251\ rad/s$$ //

O diagrama mostra que a equação refere-se a um filtro não-inversor de ganho $+K$ $\Rightarrow$ Salen-Key



comparando a equação do filtro com sua forma padrão:

$H_o = K$ = ganho na faixa de passagem;

Em altas freq. os capacitores são curtos $\Rightarrow e_+ = e_i$

$e_- = e_o \dfrac{R_6}{R_6+R_7}$ igualando e isolando e_o:

$$\frac{e_o}{e_i} = K = 1 + \frac{R_7}{R_6} \quad // \quad (1)$$

comparando:

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_4 \cdot C_3} + \frac{1}{R_4 \cdot C_1} + \frac{1-K}{R_2 \cdot C_1}$$

Usando $C_1 = C_3 = C = 1\mu F$ e escolhendo $R_2 = R_4 = R$:

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R \cdot C} + \frac{1}{R \cdot C} + \frac{1-k}{R \cdot C}$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{RC}(3-k) = W_0 \cdot D \quad (2)$$

comparando:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_3}$$

$$W_0^2 = \frac{1}{R \cdot R \cdot C \cdot C}$$

$$W_0 = \frac{1}{R \cdot C} \quad (3)$$

Aplicando os valores:

$$251 = \frac{1}{R \cdot 10^{-6}}$$

Então, $R = R_2 = R_4 = 3984\,\Omega$
$= 4K$ //

Note que R_5 não aparece na equação. Então $R_5 = \infty$

Juntando (1), (2) e (3):

$$\cancel{W_0} \cdot D = \cancel{W_0}\left(3 - \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right)\right)$$

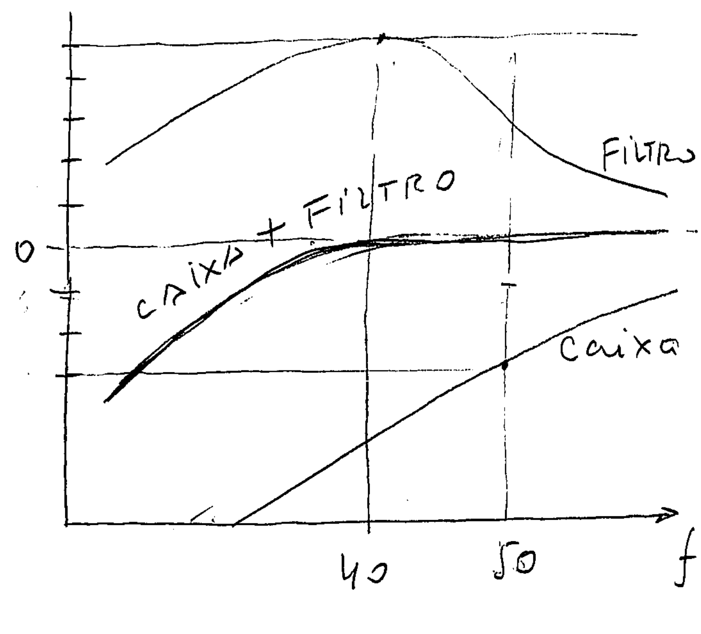
$$D = 2 - \frac{R_7}{R_6} \quad \text{então}$$

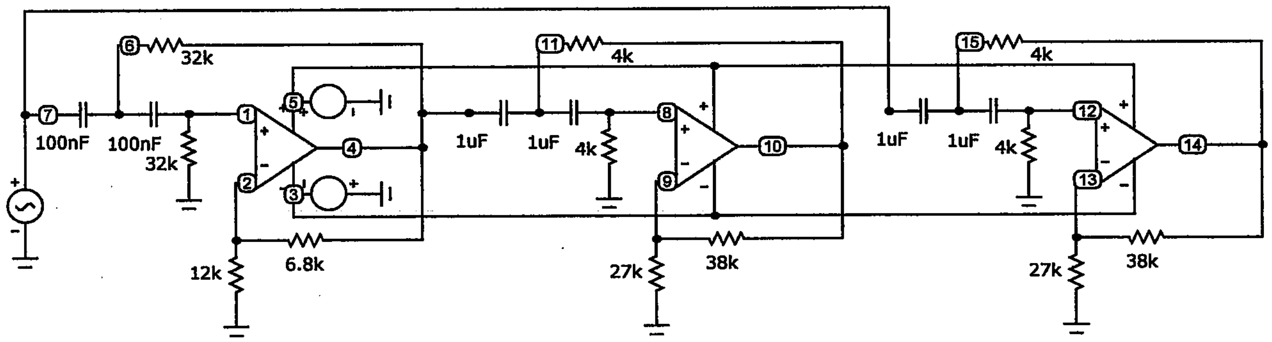
$$\frac{R_7}{R_6} = 2 - D = 2 - 0{,}592$$

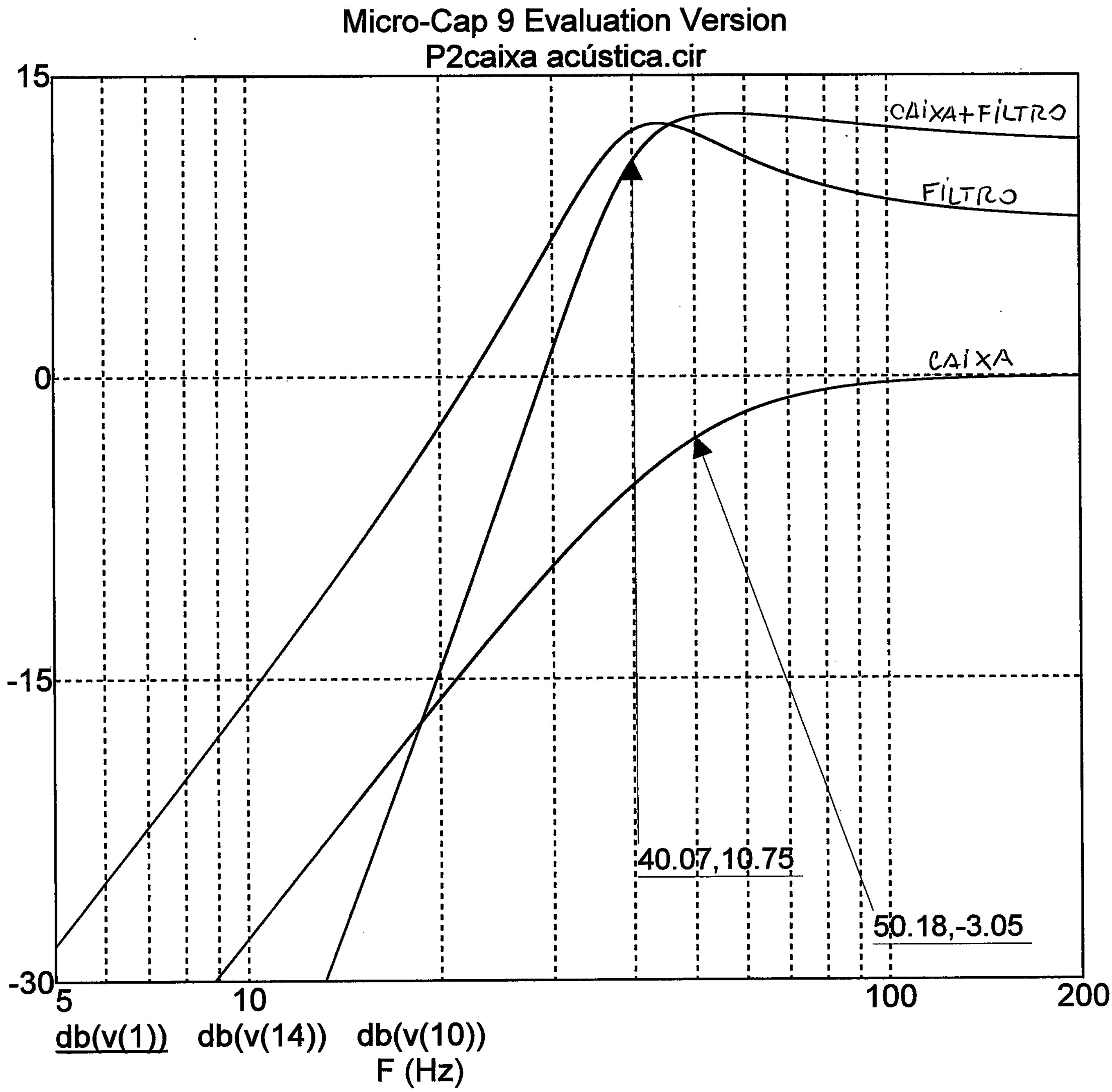
Então: $R_7 = 1{,}408 \cdot R_6$ //

Escolhendo $R_6 = 27K$ //
então $R_7 = 38K$ // e $K = 2{,}408$

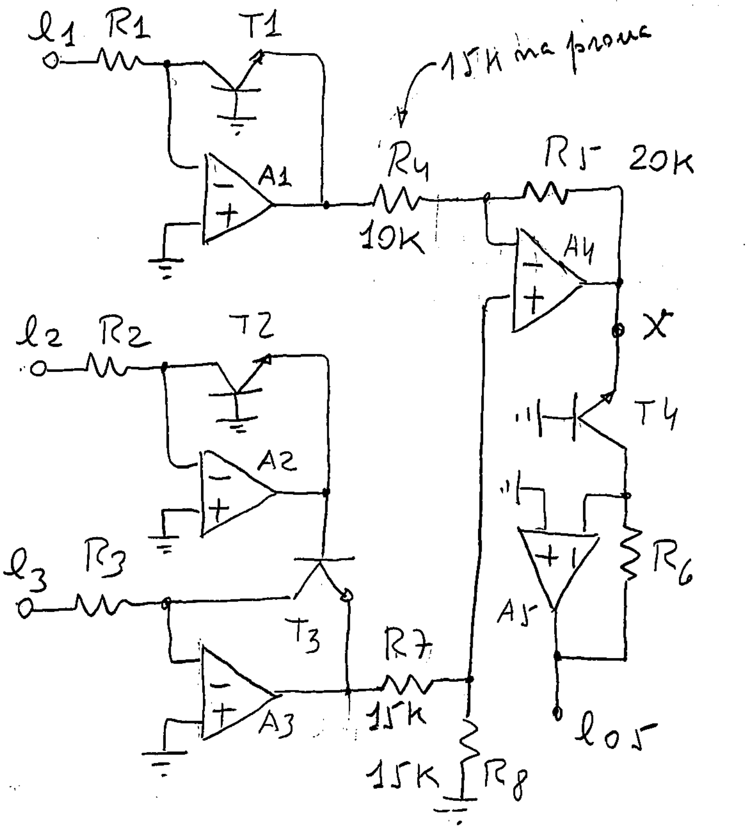
Gráficos:




32k
4k
4k
100nF
100nF
32k
1uF
1uF
4k
1uF
1uF
4k
12k
6.8k
27k
38k
27k
38k


Micro-Cap 9 Evaluation Version
P2caixa acústica.cir
15
0
-15
-30
5
10
100
200
CAIXA+FILTRO
FILTRO
CAIXA
40.07,10.75
50.18,-3.05
db(v(1)) db(v(14)) db(v(10))
F (Hz)

Analise o circuito a seguir, separe em blocos funcionais, equacione e comente cada um. Junte os blocos (equações) novamente com o objetivo de obter a saída e_{o5} em função das entradas. Transistores iguais e na mesma temperatura. $R_1=R_2=R_3=R_6$. Aplique os valores numéricos após equacionar e_{o4}. Mantenha as equações em termos de V_{BE} e I_C até quase o final.



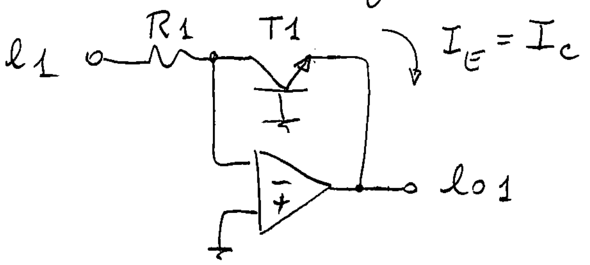
$$x \cdot \log y = \log y^x$$

P2 2008/1

---

conversores log, subtrator, conversor anti-log.

Bloco A1: log.



$$e_{o1} = -V_{BE1} = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_C}{I_0}\right)$$

$$e_{o1} = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_0}\right)$$

Blocos A_2 e A_3: logs com V_{BE1} em série com V_{BE2}.

$$e_{o2} = -V_{BE2} = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot R_0}\right)$$

$$e_{o3} = e_{o2} + \left[-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_0}\right)\right]$$

Bloco A4: Amplificador subtrator, linear.

Fazendo $e+ = e-$:

$$e+ = e_{o3}\frac{R8}{R_7+R8}$$

$$e- = e_{o1}\frac{R_5}{R_4+R_5} + e_{o4}\frac{R_4}{R_4+R_5}$$

Igualando e isolando e_{o4}:

$$e_{o4} = \left(\frac{R_4+R_5}{R_4}\right)\left(\frac{e_{o3}\cdot R8}{R_7+R8} - \frac{e_{o1}\,R_5}{R_4+R_5}\right)$$

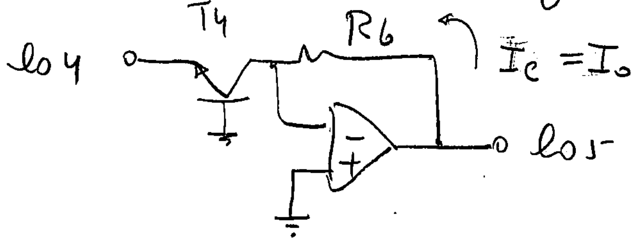
$$e_{o4} = \frac{10+20}{10}\left(\frac{e_{o3}\cdot 15}{15+15} - \frac{e_{o1}\cdot 20}{10+20}\right)$$

$$e_{o4} = 30\left(\frac{15\cdot e_{o3}}{30} - \frac{20\,e_{o1}}{30}\right)$$

$$e_{o4} = 1{,}5\cdot e_{o3} - 2\,e_{o1} \quad //$$

$$\left(\frac{7}{6}e_{o3} - \frac{4}{3}e_{o2}\right)$$

Bloco A5: antilog.



Massa virtual:

$$e_{o5} = R_6 \cdot I_{C4}$$

$$V_{BE4} = \frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_{C4}}{I_0}\right)$$

Juntando os blocos:

No ponto X, área de domínio dos logs,

$$e_{o4} = -V_{BE4}$$

$$1,5 \cdot e_{o3} - 2\, e_{o1} = -V_{BE4}$$

$$-1,5\, V_{BE2} - 1,5\, V_{BE3} - (-2 V_{BE1}) = -V_{BE4}$$

Existe igualdade no nº de V_{BE}s e o circuito é estável com a temperatura.

Juntando os blocos com a equação acima:

$$-1,5 \cdot \frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_{C2}}{I_0}\right) - 1,5\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C3}}{I_0}\right) + 2\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C1}}{I_0}\right) = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C4}}{I_0}\right)$$

$$-1,5 \cdot \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_0}\right) - 1,5 \cdot \ln\left(\frac{I_{C3}}{I_0}\right) + 2\cdot\ln\left(\frac{I_{C1}}{I_0}\right) = -\ln\left(\frac{I_{C4}}{I_0}\right)$$

como $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$ podemos cancelar os $\ln(I_0)$

$$-1,5 \ln(I_{C2}) - 1,5 \ln(I_{C3}) + 2\ln(I_{C1}) = -\ln(I_{C4})$$

como $a \cdot \ln(b) = \ln(b^a)$:

$$\ln\left(I_{C2}^{-1,5}\right) + \ln\left(I_{C3}^{-1,5}\right) + \ln\left(I_{C1}^{2}\right) = \ln\left(I_{C4}^{-1}\right)$$

como $\ln(a) + \ln(b) = \ln(a \cdot b)$:

$$\cancel{\ln}\left(I_{C2}^{-1,5} \cdot I_{C3}^{-1,5} \cdot I_{C1}^{2}\right) = \cancel{\ln}\left(I_{C4}^{-1}\right)$$

$$I_{C4} = \frac{I_{C2}^{1,5} \cdot I_{C3}^{1,5}}{I_{C1}^{2}}$$

$$\frac{e_{o5}}{R_6} = \frac{\left(\frac{e_2}{R_2}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{e_3}{R_3}\right)^{1,5}}{\left(\frac{e_1}{R_1}\right)^{2}} \quad //$$

$$e_{o5} = \frac{e_2^{1,5} \cdot e_3^{1,5}}{e_1^{2}} \quad //$$

Versão de prova: $R_4 = 15K$

$$l_{o4} = \left(\frac{R_4+R_5}{R_4}\right)\left(\frac{l_{o3} R_8}{R_7+R_8} - \frac{l_{o1} R_5}{R_4+R_5}\right)$$

$$l_{o4} = \frac{15+20}{15}\left(l_{o3}\frac{\cancel{R}}{2\cancel{R}} - l_{o1}\frac{20}{15+20}\right)$$

$\frac{35}{30}$

$$l_{o4} = \frac{7}{6} l_{o3} - \frac{4}{3} l_{o1}$$

Igualando: KVL:

$$l_{o4} = -V_{BE4}$$

$$\frac{7}{6}\left(-V_{BE2} - V_{BE3}\right) - \frac{4}{3}\left(-V_{BE1}\right) = -V_{BE4}$$

$$-\frac{7}{3} V_{BE} + \frac{4}{3} V_{BE} = -V_{BE4}$$

$$-\frac{\cancel{3} V_{BE}}{\cancel{3}} = -V_{BE4}$$

V_{BE}s iguais ⇒ estável.

Juntando os blocos:

$$-\frac{7}{6} \cdot \cancel{V_T} \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_0}\right) - \frac{7}{6} \cancel{V_T} \ln\left(\frac{I_{C3}}{I_0}\right) + \frac{4}{3} \cancel{V_T} \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_0}\right) = -\cancel{V_T} \ln\left(\frac{I_{o5}}{I_0}\right)$$

$$-\frac{7}{6}\left(\ln I_{C2} - \ln I_0\right) - \frac{7}{6}\left(\ln I_{C3} - \ln I_0\right) + \frac{4}{3}\left(\ln I_{C1} - \ln I_0\right) \qquad \ln I_{o5} - \ln I_0$$

cancelando os $\ln I_0$: →

$$-\frac{7}{6} \ln I_{C2} - \frac{7}{6} \ln I_{C3} + \frac{4}{3} \ln I_{C1} = -\ln I_{o5}$$

$$\mp \ln I_{C2}^{7/6} \mp \ln I_{C3}^{7/6} \pm \ln I_{C1}^{4/3} = -\ln I_{o5} \quad (\times -1)$$

$$\cancel{\ln}\left(\frac{I_{C2}^{7/6} \cdot I_{C3}^{7/6}}{I_{C1}^{4/3}}\right) = \cancel{\ln} I_{o5}$$

$$\frac{l_{o5}}{R_5} = \frac{\left(\frac{l_2}{R_2}\right)^{7/6} \cdot \left(\frac{l_3}{R_3}\right)^{7/6}}{\left(\frac{l_1}{R_1}\right)^{4/3}} \quad //$$

como $R_1 = R_2 = R_3 = R_5$.

$$\frac{\left(\frac{1}{R}\right)^{7/6} \cdot \left(\frac{1}{R}\right)^{7/6}}{\left(\frac{1}{R}\right)^{4/3}} = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)^{7/3}}{\left(\frac{1}{R}\right)^{4/3}}$$

Ainda em formato ln:

$$\ln\left(\frac{l_1}{R_1 \cdot I_0}\right) \ldots$$

cancelam os devidos

Finalmente:

$$l_{o5} = \frac{l_2^{7/6} \cdot l_3^{7/6}}{l_1^{4/3}} \quad //$$

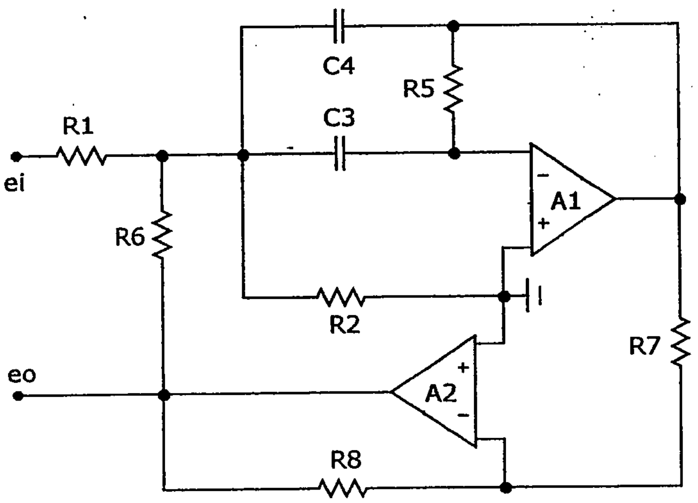
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2008/2

Prova 2 2/12/2008

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. O circuito a seguir é uma modificação do filtro básico (classifique) que permite alcançar valores elevados para o fator de qualidade.
   a) Estude a topologia e descreva o que for possível. Faça isso agora.
   b) Equacione os três parâmetros do filtro: H_o, ω_o, e Q em forma literal e completa.
   c) Particularize os resultados obtidos no ítem anterior usando o seguinte método:
   $$R_1 = R_5 = R_6 \quad C_3 = C_4 \quad R_2 = \infty \quad R_8 = K \cdot R_7.$$
   d) Configure todos os componentes do filtro para detetar 60Hz com fator de qualidade de 40.
   e) Comente os resultados e valores obtidos, direcionando a sua atenção para a sensibilidade do filtro aos valores de circuito.
   Todo o trabalho deve ser amplamente descrito e fundamentado com textos, equações e esquemas pois isso será avaliado sempre. Arredonde os valores em 4 dígitos significativos.

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{\dfrac{K \cdot S}{R_1 \cdot C_4}}{S^2 + \left(\dfrac{S}{R_5 \cdot C_4}\right)\left(1 + \dfrac{C_4}{C_3} - \dfrac{K \cdot R_5}{R_6}\right) + \left(\dfrac{1}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_5}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_6}\right)} = \frac{\dfrac{H_o \omega_o}{Q} S}{S^2 + \dfrac{\omega_o}{Q} S + \omega_o^2}$$



2. Examine a topologia a seguir e descreva o que for possível.

a) Separe em blocos funcionais e equacione cada um de forma literal, de maneira completa e detalhada, aplicando os valores de circuito quando for conveniente.

b) Junte as equações com o objetivo de obter a função de transferência do circuito.

c) Calcule os seus limites de uso.

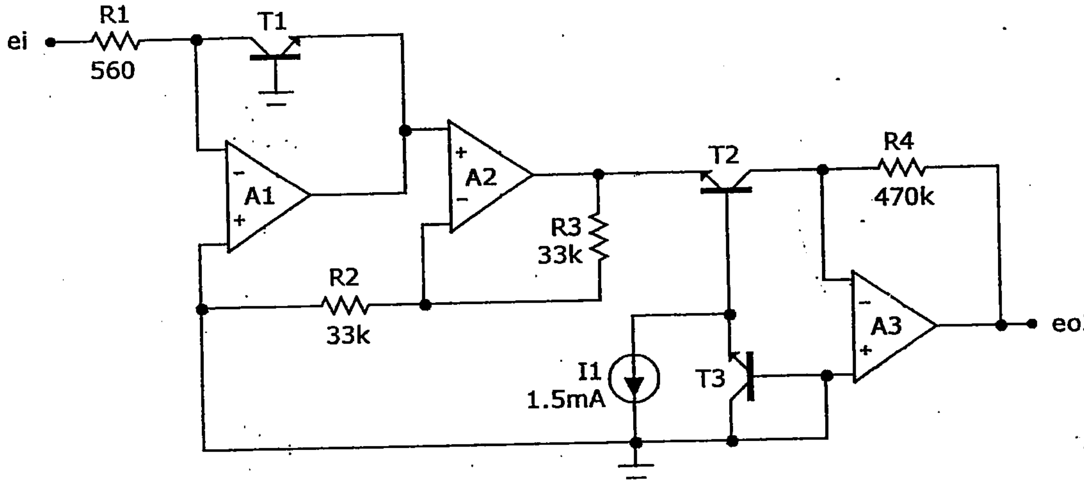
d) Analise os resultados e comente a sua estabilidade.

e) Sabendo que este circuito vai ser usado por pessoas inexperientes, acrescente circuitos de proteção e descreva-os.

f) Por último, modifique os valores de circuito para obter uma constante unitária na equação, tomando 1,5mA como corrente máxima de coletor para evitar o auto-aquecimento dos transistores.

Como sempre, todos os passos devem ser amplamente documentados com textos, equações e diagramas. Escreva de cima para baixo e não para os lados.

Transistores iguais e na mesma temperatura; operacionais ideais; Alimentação simétrica de 18V.



O filtro a seguir é uma versão modificada do filtro básico (classifique) que permite alcançar elevado fator de qualidade.

a) Estude a topologia e descreva o que for possível. Faça isso agora.

b) Equacione os 3 parâmetros deste filtro a partir de sua função de transferência.

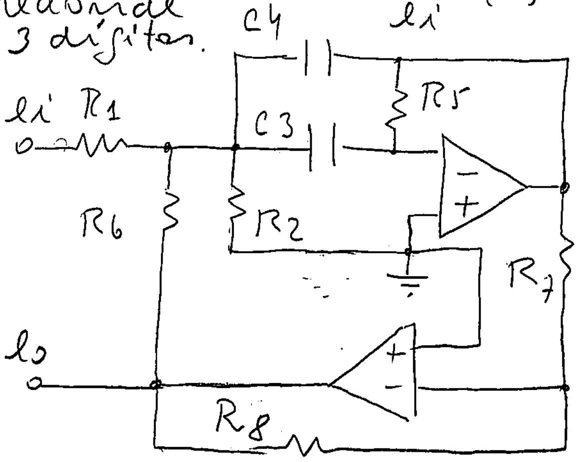
c) Particularize os resultados obtidos em b), usando capacitores iguais, $R_1 = R_5 = R_6$, e $R_2 = \infty$ e $R_8 = K \cdot R_7$.

d) Configure todos os componentes do filtro para detetar 60 Hz com fator de qualidade 40.

e) Comente os resultados e valores obtidos. Descreva cada etapa da resolução com textos, equações e diagramas pois isso será sempre avaliado.

Arredonde em 3 dígitos.

$$\frac{e_o}{e_i}(s) = \frac{s\,(K/R_1 C_4)}{s^2 + (s/R_5 C_4)\left(1 + C_4/C_3 - K\,R_5/R_6\right) + (1/C_3 C_4 R_5)\left(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_6\right)}$$



$$\frac{e_o}{e_i}(s) = \frac{H_o \frac{\omega_o}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q} s + \omega_o^2}$$

---

a) Filtro passa-faixa realimentação múltipla e um bloco de ganho inversor, fazendo uma realimentação positiva via R6.
O filtro é não inversor.

b) Comparando com a forma padrão:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{C_3 C_4 R_5}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6}\right)} \quad //$$

$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5 \cdot C_4}\left(1 + \frac{C_4}{C_3} - \frac{K \cdot R_5}{R_6}\right) \quad \text{então:}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{\frac{1}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_5}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6}\right)}}{\frac{1}{R_5 C_4}\left(1 + \frac{C_4}{C_3} - \frac{K \cdot R_5}{R_6}\right)} \quad //$$

$$H_0 \frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{K}{R_1 C_4}$$

$$H_0 = \frac{K}{R_1 C_4} \cdot \frac{\varphi}{\omega_0} = \frac{K}{R_1 \cdot \cancel{C_4}} \frac{1}{\frac{1}{R_5 \cancel{C_4}}\left(1 + \frac{C_4}{C_3} - \frac{K R_5}{R_6}\right)}$$

$$H_0 = \frac{K \cdot R_5}{R_1\left(1 + \frac{C_4}{C_3} - \frac{K \cdot R_5}{R_6}\right)} \quad //$$

c) Fazendo $R_1 = R_5 = R_6 = R$, $C_3 = C_4 = C$ e $R_2 = \infty$:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C \cdot C \cdot R}\left(\frac{1}{R} + 0 + \frac{1}{R}\right)} = \sqrt{\frac{1}{C^2 R} \cdot \frac{2}{R}}$$

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC} \quad // \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{\frac{\sqrt{2}}{RC}}{\frac{1}{RC}\left(1 + \frac{C}{C} - \frac{K R}{R}\right)} = \frac{\sqrt{2}}{\cancel{RC} \cdot \frac{1}{\cancel{RC}}(1 + 1 - K)}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}}{2 - K} \quad // \quad (2)$$

$$H_0 = \frac{K \cdot \cancel{R}}{\cancel{R}\left(1 + \frac{C}{C} - \frac{K \cdot R}{R}\right)}$$

$$H_0 = \frac{K}{2 - K} \quad // \quad (3)$$

d)

$f_0 = 60\,Hz \rightarrow W_0 = 2\cdot\pi\cdot 60$

$f_0 = 377\ rad/s$

Substituindo em (1)

$$377 = \frac{\sqrt{2}}{RC}$$

$$R\cdot C = 3{,}751\cdot 10^{-3}$$

Escolhendo $C = 1\mu F$ plástico:

$R = 3{,}751\,k$ //

Usando (2):

$$Q = 40 = \frac{\sqrt{2}}{2-K}$$

Então $K = -1{,}9646$ //
(amplif. inversor)

Escolhendo $R_7 = 10k$,
então $K\cdot R_7 = 19{,}65\,k$

Ganho na faixa de passagem do filtro PF:
Usando (3):

$$H_0 = \frac{1{,}9646}{2-1{,}9646}$$

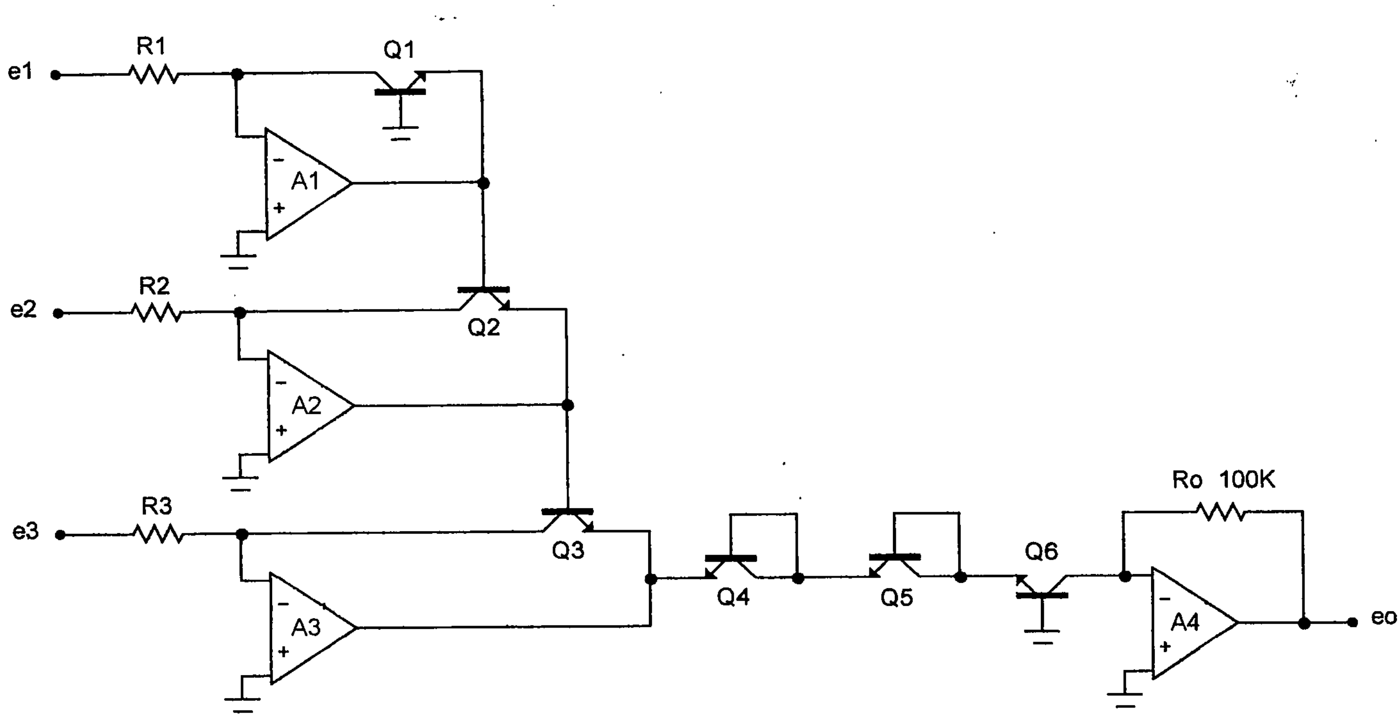
$H_0 = 55{,}5$ //

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2009/1
Prova 24/6/2009

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Configure um filtro do tipo realimentação múltipla para separar a terceira harmônica da rede de 60Hz, com ganho de 10. Para garantir a seletividade em relação às outras harmônicas, use uma largura de faixa de 45Hz (-3dB). Impedância de entrada mínima de 10kΩ.
Explicite as equações do ganho e frequência de operação.
Cada etapa deve ser descrita com textos, equações e esquemas pois isso vai ser avaliado sempre.
Capacitores disponíveis: 22nF 100nF. Componentes ideais. Arredondamento em 3 dígitos.
Mais informações na página seguinte.

2. Examine o esquema a seguir, identifique e descreva os blocos funcionais. Equacione o circuito com o objetivo de obter e_0 em função das entradas. Como sempre, documente cada etapa com textos, equações e esquemas. Analise e comente os resultados obtidos.
Determine o valor dos componentes para obter um ganho de 1, 2 e 4 vezes respectivamente para as entradas e_1, e_2 e e_3.
Ganho global: Com $e_1 = e_2 = e_3 = 1V$, a saída deve ser $e_0 = 5V$. Os transistores estão na mesma temperatura, são casados e de alto ganho. Operacionais ideais, alimentação ± 15V.

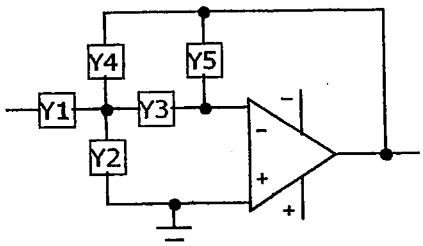


REALIMENTAÇÃO MÚLTIPLA 2ª ORDEM

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{-1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_5}}{s^2 + \dfrac{s}{C_2}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_4}\right) + \dfrac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_2 \cdot C_5}} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^{\,2}}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^{\,2}}$$

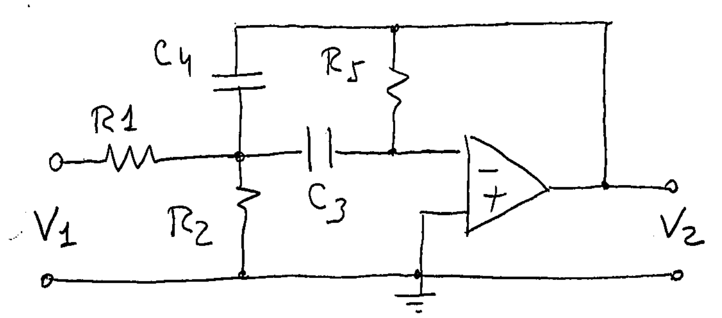
$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{\dfrac{-s^2 \cdot C_3 \;\; 1}{C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{C_1}{C_3 \cdot C_4} + \dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^{\,2}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{-s}{R_1 \cdot C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \left(\dfrac{1}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}\right)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)} = \frac{H_0 \cdot \dfrac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^{\,2}}$$



Configure um filtro do tipo realimentação múltipla para separar a 3ª harmônica da rede de 60 Hz, com ganho de 10. Use uma faixa de passagem de 45 Hz (-3dB) para garantir boa seletividade em relação às outras harmônicas. Impedância de entrada mínima de 10 kΩ. Capacitores disponíveis: 22 nF e 100 nF. Explicite as equações do ganho e frequência de operação. Componentes ideais. Arredondamento 3 dígitos P2 2009/1

Topologia PF real. múltipla:



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{-s/R1 \cdot C4}{s^2 + \frac{s}{R_5}\left(\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right) + \frac{1}{R_5 C_3 C_4}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{H_0 \cdot \frac{W_0}{\varphi} \cdot s}{s^2 + \frac{W_0}{\varphi} s + W_0^2}$$

Comparando os termos:

a) $$W_0^2 = \frac{1}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$W_0 = \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_5 \cdot C_3 \cdot C_4 (R_1+R_2)}} \quad //$$

b) $$H_0 \frac{W_0}{\varphi} = -\frac{1}{R_1 \cdot C_4} \quad (1)$$

A topologia é inversora e o ganho solicitado é -10.

c) $$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right) \quad (2)$$

Juntando (1) com (2) e isolando H_0:

$$H_0 = -\frac{1}{R_1 \cdot C_4} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}\right)}$$

$$H_0 = \frac{-R_5}{R_1\left(1 + \frac{C_4}{C_3}\right)} \quad //$$

configurando o filtro:

Freq. central: $f_0 = 3 \cdot 60 = 180\ Hz$

$W_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2\pi \cdot 180 = 1131\ \frac{rad}{s}$

Faixa de passagem é $\Delta f_0 = \frac{f_0}{\varphi}$ então:

$$\varphi = \frac{f_0}{\Delta f_0} = \frac{180}{45} \rightarrow \varphi = 4 \quad //$$

Aplicando (1) podemos calcular R_1 com cada capacitor e escolher aquele que produz $R_1 > 10 k\Omega$:

$$-10\ \frac{1131}{4} = -\frac{1}{R1 \cdot 22nF}$$

1ª tentativa

Então $R_1 = 16{,}076\ k$.
Este serve.

$$-10\ \frac{1131}{4} = -\frac{1}{R_1 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$

$R_1 = 3536\ \Omega$ Muito pequeno.

Usaremos $C_4 = C_3 = 22\ nF$//

e o resultante $R_1 = 16{,}1k$

Usando (2):

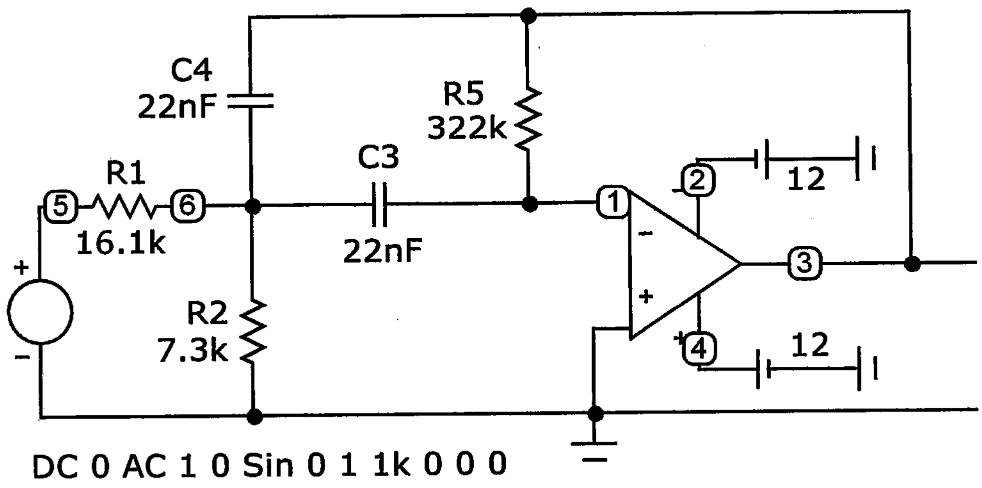
$$\frac{1131}{4} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{1}{22\,nF} + \frac{1}{22\,nF}\right)$$

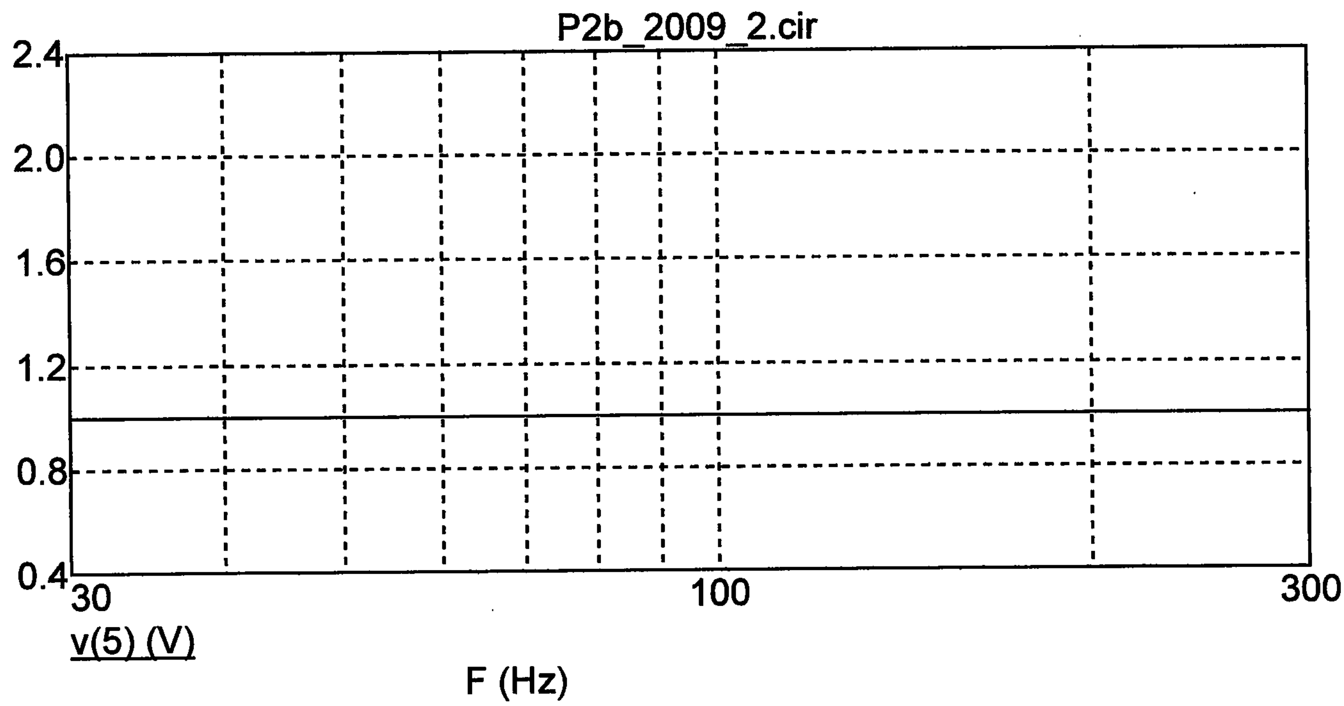
Então $R_5 = 322k$//

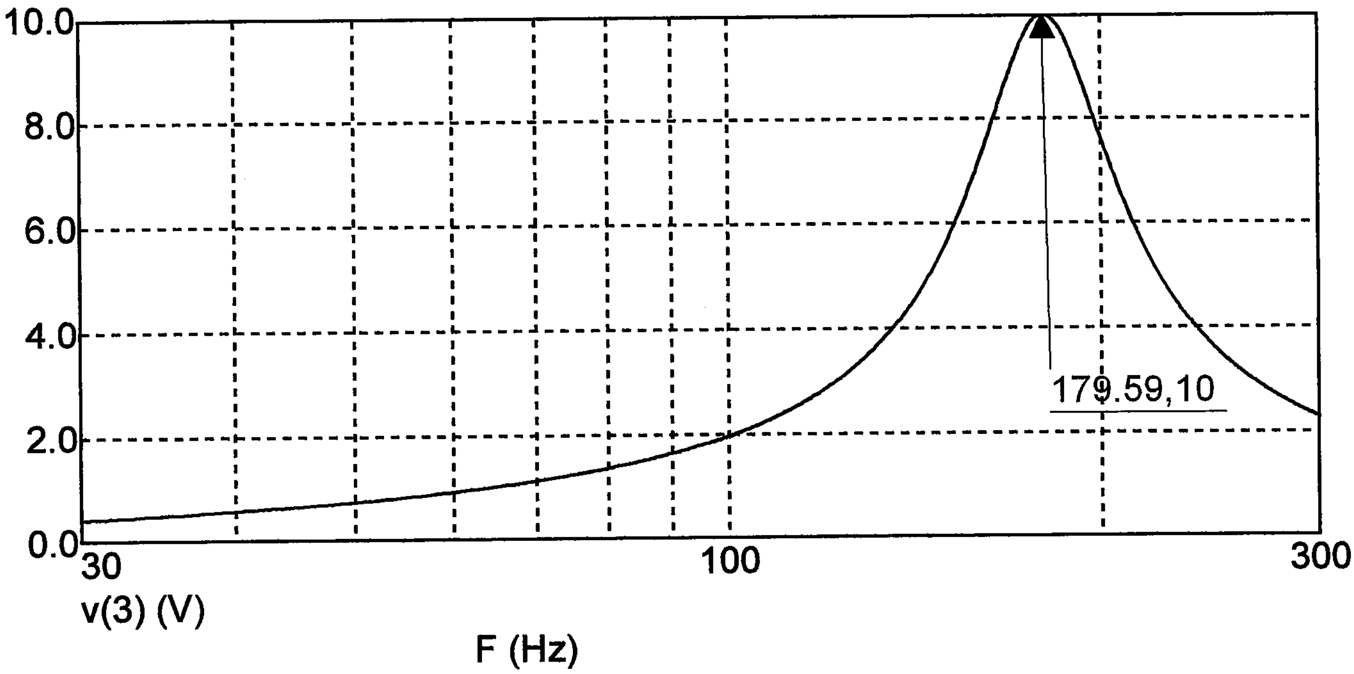
Usando a equação a):

$$(1131)^2 = \frac{1}{322 \cdot 10^3 (22 \cdot 10^{-9})^2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$R_2 = 7286\ \Omega$//

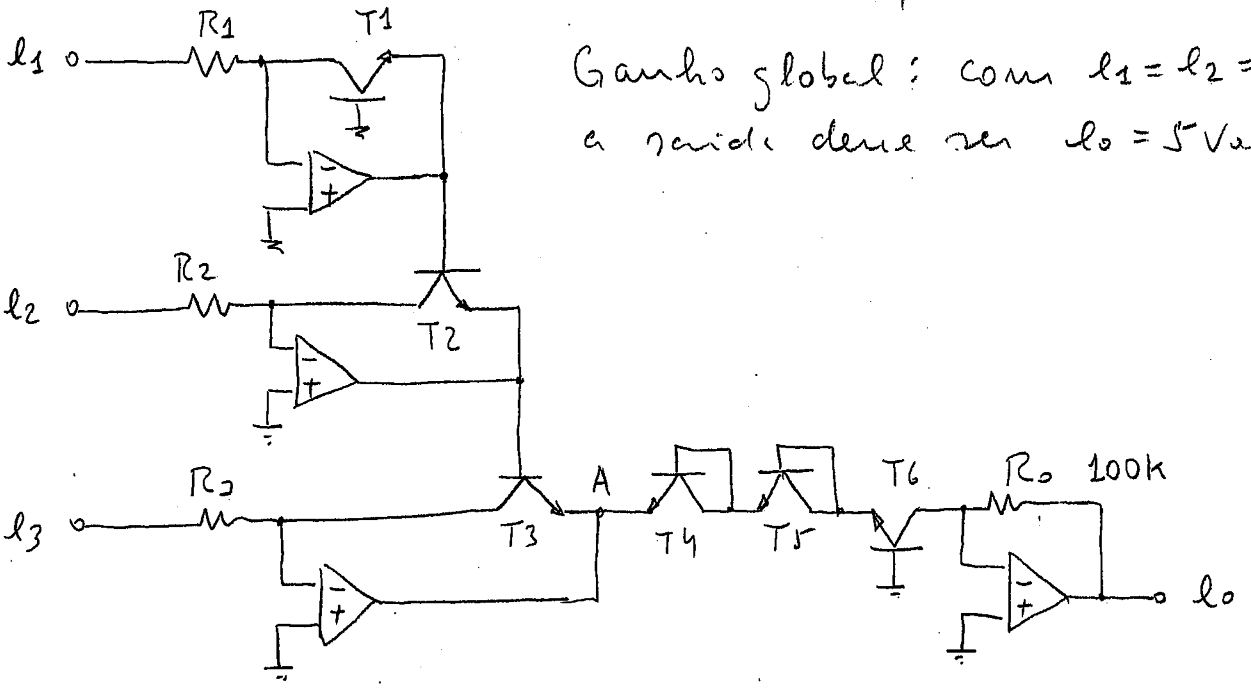

C4
22nF
R5
322k
R1
16.1k
C3
22nF
R2
7.3k
12
12
5
6
1
2
3
4
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 1k 0 0 0


P2b_2009_2.cir
2.4
2.0
1.6
1.2
0.8
0.4
30
100
300
v(5) (V)
F (Hz)

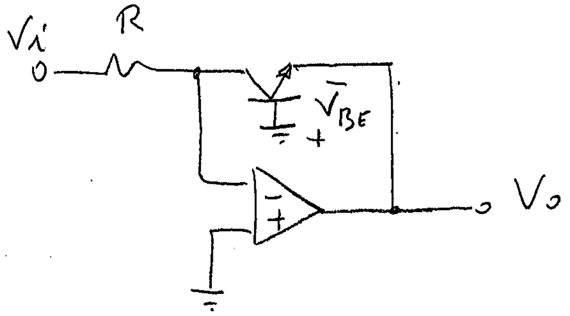

10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
30
100
300
179.59,10
v(3) (V)
F (Hz)

Examine o circuito abaixo, identifique os blocos funcionais e descreva-os.
Equacione o circuito com o objetivo de obter e_o em função das entradas.
Comente os resultados.
Determine o valor dos componentes para obter um ganho de 1, 2 e 4 vezes para as entradas e_1, e_2 e e_3, respectivamente.
Os transistores são casados, mesma temperatura e de alto ganho, de modo que $i_E = i_B + i_C \cong i_C$. Operacionais ideais.
Alimentação $\pm$ 15 Volts

Ganho global: com $e_1 = e_2 = e_3 = 1$ Volt, a saída deve ser $e_o = 5$ Volts



Bloco do amplif. LOG:



$$V_o = -V_{BE} = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

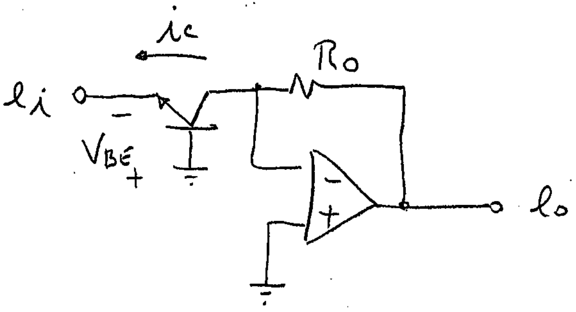
$$I_c = \frac{V_i}{R}$$

I_o = corr. de saturação reversa do transistor.

$$V_o = -0{,}026 \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right) \quad \text{ou:}$$

$$V_o = -0{,}06 \log\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

Bloco do amp. antilog:



considerando a massa virtual:

$e_o = i_c \cdot R$

$$e_i = -V_{BE} = -0{,}026 \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$\frac{-e_i}{0{,}026} = \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

logo: $I_c = I_o \; e^{\frac{-e_i}{0{,}026}}$

$e_o = R \cdot I_o \cdot e^{\frac{-e_i}{0{,}026}}$ ou:

$e_o = R I_o \cdot 10^{\frac{-e_i}{0{,}06}}$

Equacionando a tensão no nó A:

$V_A = -V_{BE1} - V_{BE2} - V_{BE3}$

Vale também:

$V_A = -V_{BE4} - V_{BE5} - V_{BE6}$

Transistores casados e mesma temperatura: Todos os I_o são iguais

Fazendo $K = 0{,}026$ e igualando os dois V_A:

$$K \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c3}}{I_o}\right) =$$

$$= K \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c5}}{I_o}\right) + K \ln\left(\frac{I_{c6}}{I_o}\right)$$

Como $I_{c1} = \frac{e_1}{R_1}$ etc. e

$i_{c4} = i_{c5} = i_{c6} = \frac{e_o}{R_o}$

Cancelando I_o membro-a-membro,

$$\ln\left(\frac{e_1}{R_1}\right) + \ln\left(\frac{e_2}{R_2}\right) + \ln\left(\frac{e_3}{R_3}\right) =$$

$$= 3 \cdot \ln\left(\frac{e_o}{R_o}\right) = \ln\left(\frac{e_o}{R_o}\right)^3$$

Aplicando os logarítmicos:

$$\frac{e_1}{R_1} \cdot \frac{e_2}{R_2} \cdot \frac{e_3}{R_3} = \left(\frac{e_o}{R_o}\right)^3$$

$$e_o = R_o \cdot \sqrt[3]{\frac{e_1}{R_1} \cdot \frac{e_2}{R_2} \cdot \frac{e_3}{R_3}} \quad //$$

Escalas:

e_1: ganho 1 $\rightarrow R_1 = R$

e_2: ganho 2 $\rightarrow R_2 = R/2$

e_3 ganho 4 $\rightarrow R_3 = R/4$

$$e_o = R_o \sqrt[3]{\frac{e_1}{R} \cdot \frac{e_2}{R/2} \cdot \frac{e_3}{R/4}}$$

com $e_1 = e_2 = e_3 = 1$, $e_o = 5$ logo:

$$5 = 100k \sqrt[3]{\frac{8}{R^3}} = 100k \cdot \frac{2}{R}$$

logo: $R = 40k$

$R_1 = 40k$

$R_2 = 40/2 = 20k$

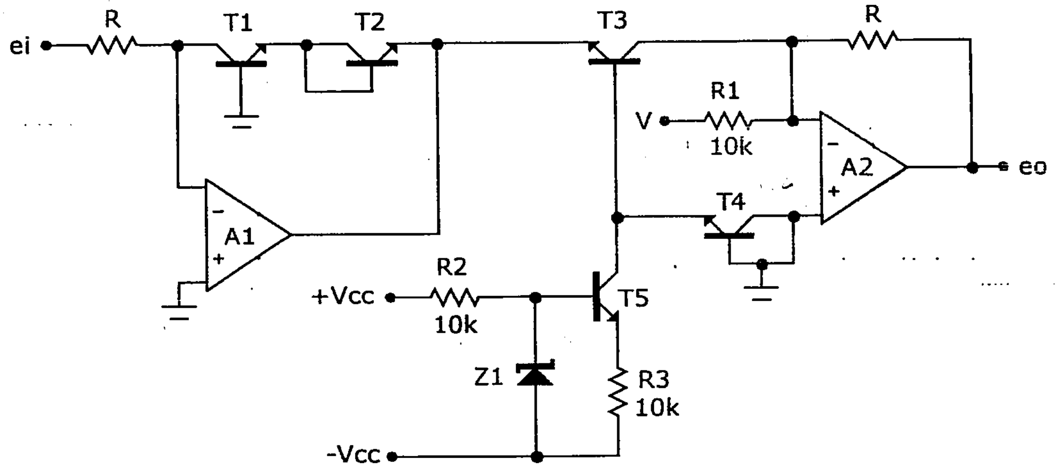
$R_3 = 40/4 = 10k$ //

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2009/2

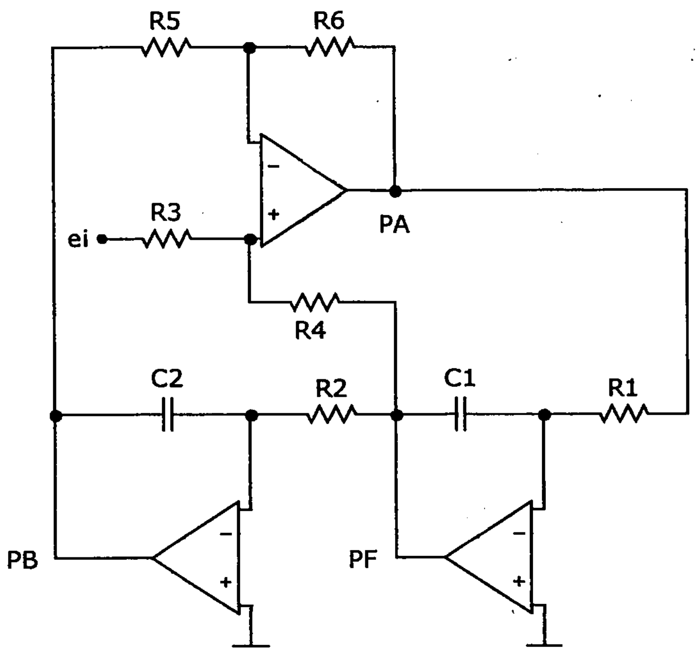
Prova 2 15/12/2009

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento.
Equacione a sua função de transferência em formato literal.
Calcule os componentes de modo que o circuito realize a função $e_0 = 3 + e_i^2 / 6$.
Documente cada etapa de trabalho com textos, equações e diagramas pois isso será avaliado sempre. Transistores de alto ganho, casados e na mesma temperatura. $V_Z = 4{,}7$ $V_{be} = 0{,}7$.

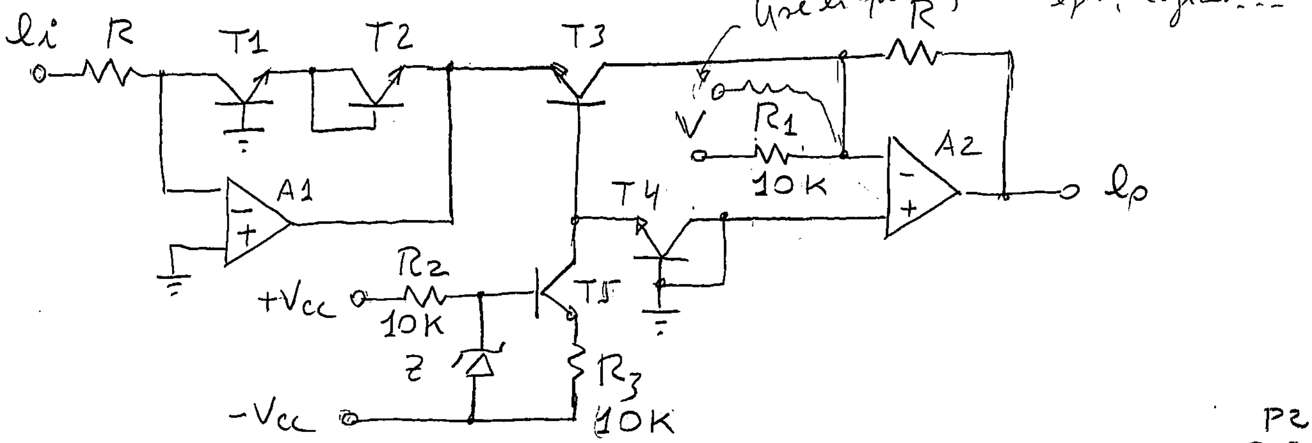


2. A topologia a seguir é um filtro de segunda ordem tipo Variáveis de Estado.
Equacione a sua saída Passa-Altas e obtenha os parâmetros ω_0, Q e H_0.
Personalize esta saída para bloquear baixas frequências entre 11Hz e 35Hz, ajustável por um potenciômetro (1k, 5k, 10k, 50k, 100k), com fator de qualidade de 1,4.
Use capacitores de 470nF e resistores de 15k, exceto R4 e outros componentes e valores, conforme o necessário. Calcule todos os parâmetros deste filtro e esboce o conjunto de curvas de resposta no mesmo gráfico. Documente cada etapa com textos, equações e diagramas.
Componentes ideais, arredondamento em 3 dígitos significativos.



$$\frac{V_{PA}(s)}{V_i(s)} = \frac{s^2 \cdot \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{S^2 + S\dfrac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \dfrac{R_6}{R_5} \cdot \dfrac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Equacione a sua função de transferência em forma literal. Calcule os componentes de modo que o circuito realize a função $e_o = e_i^2/6 + 3$. Documente todo o trabalho com textos, equações e diagramas.
$V_Z = 4{,}7$; $V_{BE} = 0{,}7$; Transistores de alto ganho, casados e na mesma temperatura.



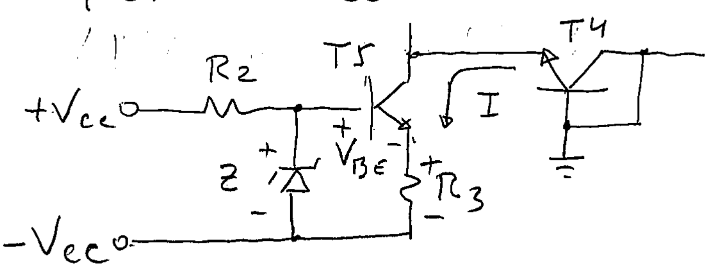
P2 2009-2

A1: conversor log com junção adicional em série.
A2: conversor antilog e somador.
T5: Fonte de corrente.
A área de domínio dos logs é a saída de A1.
Somando as tensões até a mesma temos:

(1) $V_X = -V_{BE2} - V_{BE1} = -V_{BE3} - V_{BE4}$

Existe igualdade dos V_{BE}s e o circuito é estável com a temperatura.

Fonte de corrente:



KVL na malha:

$-V_Z + V_{BE} + I \cdot R_3 = 0$

$I = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_3} = \frac{4{,}7 - 0{,}7}{10 \cdot 10^3}$

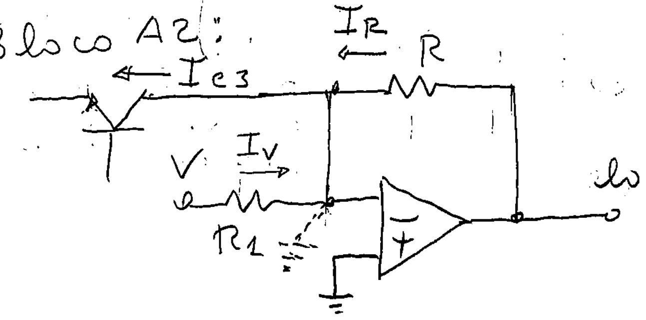
$I = 0{,}4\,mA$ //

Vale: $V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_0}\right)$

$I_{C1} = I_{C2} = \frac{e_i}{R}$ (massa virtual)

$I_{C4} = I_{C5} = I$

Bloco A2:



Interessa I_{C3}.
KCL em e_-:

$+I_{C3} - I_V - I_R = 0$

$$I_{c3} = I_R + I_V$$

$$I_{c3} = \frac{e_o}{R} + \frac{V}{R_1} \quad //$$

Aplicando ①:

$$-\cancel{\frac{kT}{q}} \ln\left(\frac{e_i}{R\cdot I_0}\right) - \cancel{\frac{kT}{q}} \ln\left(\frac{e_i}{R\cdot I_0}\right) =$$

$$= -\cancel{\frac{kT}{q}} \ln\left(\frac{\frac{e_o}{R}+\frac{V}{R_1}}{I_0}\right) - \cancel{\frac{kT}{q}} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

como $\ln a + \ln b = \ln(a\cdot b)$:

$$\cancel{\ln}\left(\frac{e_i}{R\cdot \cancel{I_0}}\cdot\frac{e_i}{R\cdot \cancel{I_0}}\right) = \cancel{\ln}\left[\frac{\frac{e_o}{R}+\frac{V}{R_1}}{\cancel{I_0}}\cdot\frac{I}{\cancel{I_0}}\right]$$

Isolando e_o:

$$\frac{e_i^2}{R^2} = \left(\frac{e_o}{R}+\frac{V}{R_1}\right) I$$

$$\frac{e_i^2}{R^2\cdot I} = \frac{e_o}{R}+\frac{V}{R_1}$$

$$e_o = R\left(\frac{e_i^2}{R^2\cdot I} - \frac{V}{R_1}\right)$$

$$e_o = \frac{e_i^2}{R\cdot I} - \frac{R\cdot V}{R_1} \quad //$$

Personalização:
comparando com a função desejada:

$e_o = \frac{e_i^2}{6} + 3$ temos:

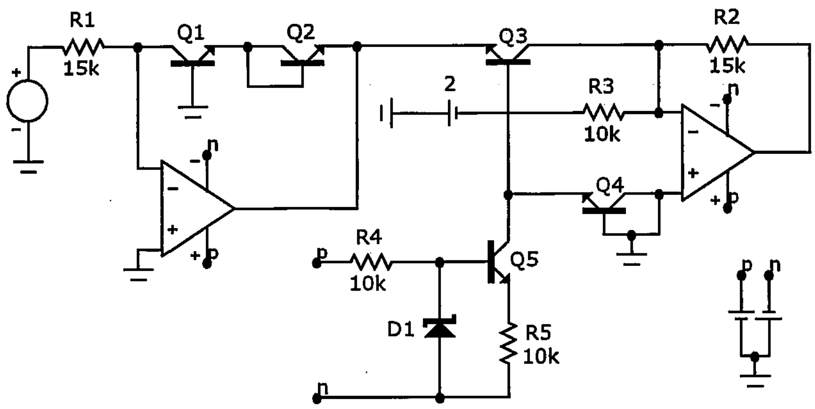
$R\cdot I = 6$ e $\frac{-R\cdot V}{R_1} = 3$

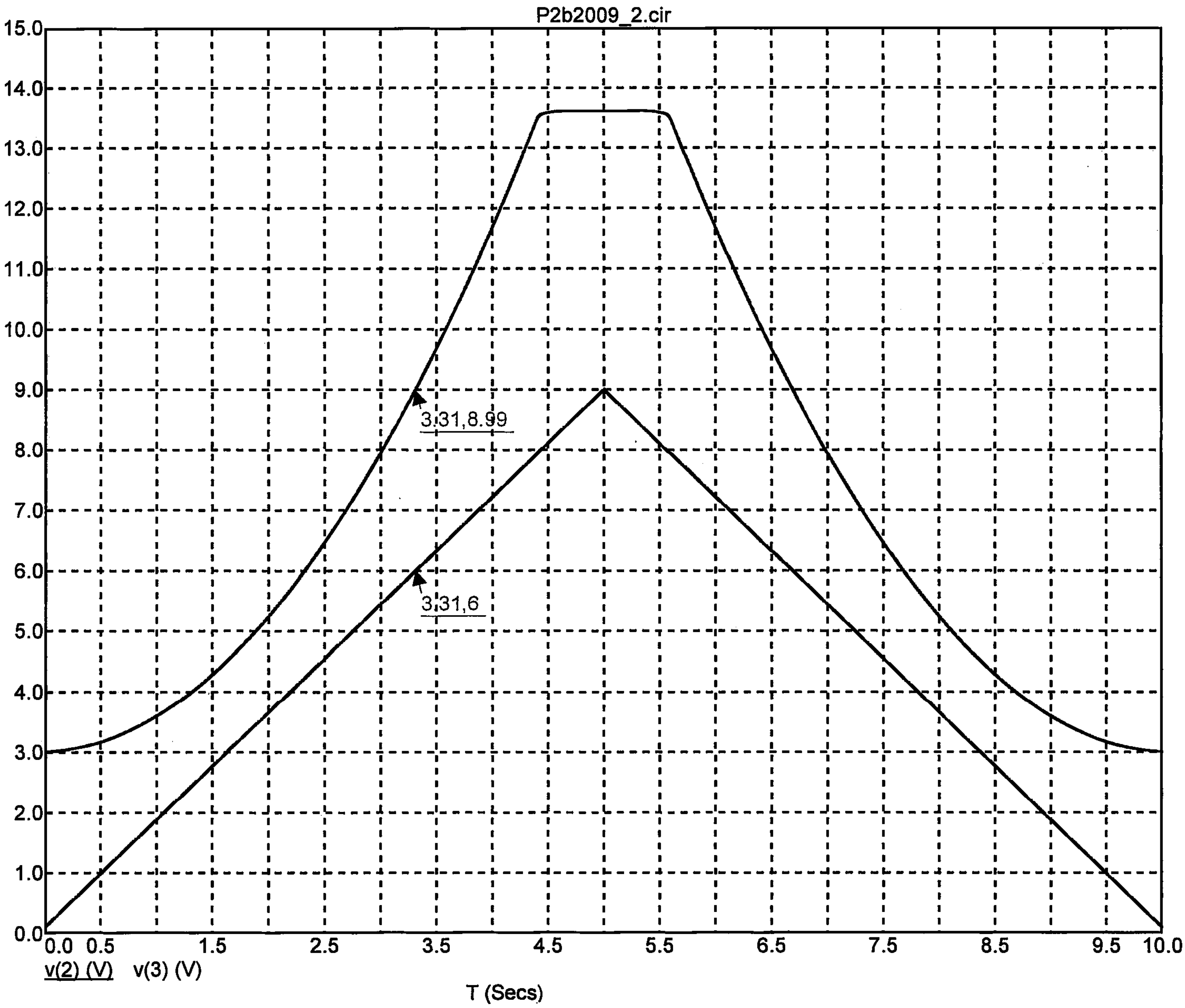
Logo:

$R\cdot 0{,}4\cdot 10^{-3} = 6 \rightarrow R = 15k$ //

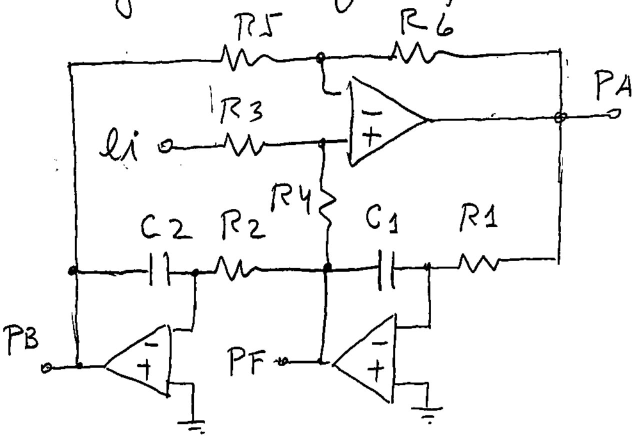
$$-\frac{15k\cdot V}{10k} = 3$$

Então $V = -2$ Volts //


R1
15k
Q1
Q2
Q3
R2
15k
2
R3
10k
Q4
R4
10k
Q5
D1
R5
10k
p
n


P2b2009_2.cir
15.0
14.0
13.0
12.0
11.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
0.0 0.5 1.5 2.5 3.5 4.5 5.5 6.5 7.5 8.5 9.5 10.0
3.31,8.99
3.31,6
v(2) (V) v(3) (V)
T (Secs)

A topologia a seguir é um filtro de segunda ordem do tipo Variáveis de Estado. Equacione a sua saída PA e obtenha os parâmetros W_o, φ e H_o. Personalize esta saída para bloquear baixa frequência entre 11Hz e 35Hz, ajustável por potenciômetro (1k, 4k7, 10k, 20k, 50k, 100k), com $\varphi = 1{,}4$. Use capacitores de 470nF e resistores de 15K, exceto R4, e outros valores conforme necessário. Componentes ideais, arredondamento em 3 dígitos significativos. Documente cada etapa.



$$\frac{V_{PA}(s)}{ei(s)} = \frac{s^2 \cdot \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \dfrac{R_6}{R_5} \cdot \dfrac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\frac{V_{PA}(s)}{ei(s)} = \frac{s^2 \cdot H_o}{s^2 + \dfrac{W_o}{\varphi} s + W_o^2}$$

P2 2009-2

Escolhendo: $C_1 = C_2 = C = 470nF$

$R_1 = R_2 = R_V$ = potenciômetro duplo

$R_3 = R_5 = R_6 = R = 15K$

Fica então:

$$\frac{V_{PA}(s)}{ei(s)} = \frac{s^2 \cdot \dfrac{1+1}{1+R/R_4}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_V \cdot C} \cdot \dfrac{1+1}{1+R_4/R} + \dfrac{1}{R_V^2 \cdot C^2}}$$

comparando os termos:

$$W_o^2 = \frac{1}{R_V^2 \cdot C^2} \rightarrow W_o = \frac{1}{R_V \cdot C} \; // \quad (1)$$

$$H_o = \frac{2}{1+R/R_4} \rightarrow H_o = \frac{2 \cdot R_4}{R+R_4} \; // \quad (2)$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{1}{R_V \cdot C} \cdot \frac{2}{1+R_4/R}$$

$$\frac{1}{\cancel{R_V \cdot C}} \cdot \frac{2}{\dfrac{R+R_4}{R}} = \underbrace{\frac{1}{\varphi \cdot \cancel{R_V \cdot C}}}_{W_o/\varphi}$$

$$\varphi = \frac{R+R_4}{2 \cdot R} \quad (3) \; //$$

como R_V e C só influem na freq. de corte, vamos calcular os outros componentes:

Para $\varphi = 1{,}4$ em (3):

$$1{,}4 = \frac{15k + R_4}{2 \cdot 15k} \rightarrow R_4 = 27k \; //$$

O ganho na faixa de passagem (2) vale então:

$$H_o = \frac{2 \cdot 27k}{15k + 27k} \rightarrow H_o = 1{,}29 \; //$$

Cálculo dos limites de Rv:

$f_{min} = 11\,Hz = 2\cdot\pi\cdot 11 = 69,1\ rad/s$

$f_{max} = 35\,Hz = 2\cdot\pi\cdot 35 = 220\ rad/s$

Aplicando em 1:

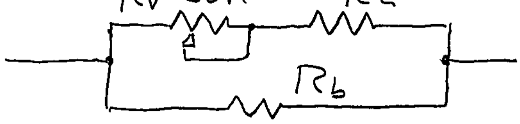
$$R_V = \frac{1}{W_0 \cdot C}$$

$$R_{Vmin} = \frac{1}{220\,\frac{rad}{s}\cdot 470\cdot 10^{-9}} = 9,67\,K$$

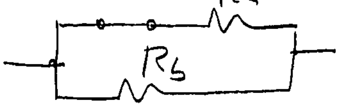
$$R_{Vmáx} = \frac{1}{69,1\,\frac{rad}{s}\cdot 470\cdot 10^{-9}} = 30,8\,K$$

Escolhemos $R_V = 50k$

Precisa usar resistores limitadores de curso:



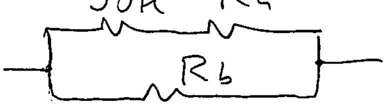
com Rvmin fica:



$R_{Vmin} = R_a // R_b = 9,67k$

$$\frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = 9,67k\ //$$

com Rvmáx fica:



$R_{Vmáx} = (50k + R_a) // R_b = 30,8k$

$$\frac{(50k + R_a)\cdot R_b}{50K + R_a + R_b} = 30,8k\ //$$

Resolvendo o sistema:

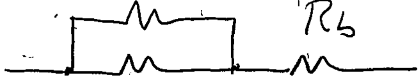
⋮

Outra topologia, mais fácil de equacionar:

Com Rvmin fica:

Então $R_b = 9,67k\ //$

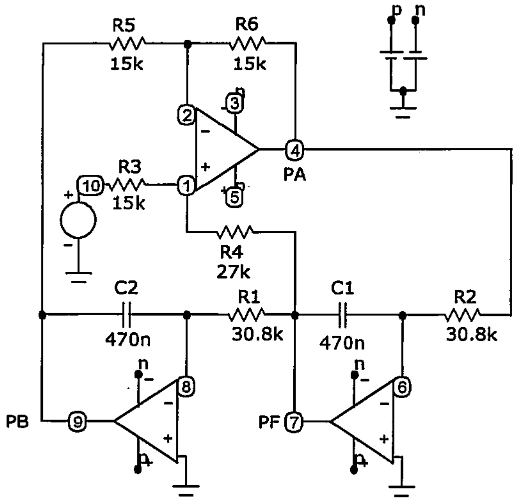
Com Rvmáx fica:



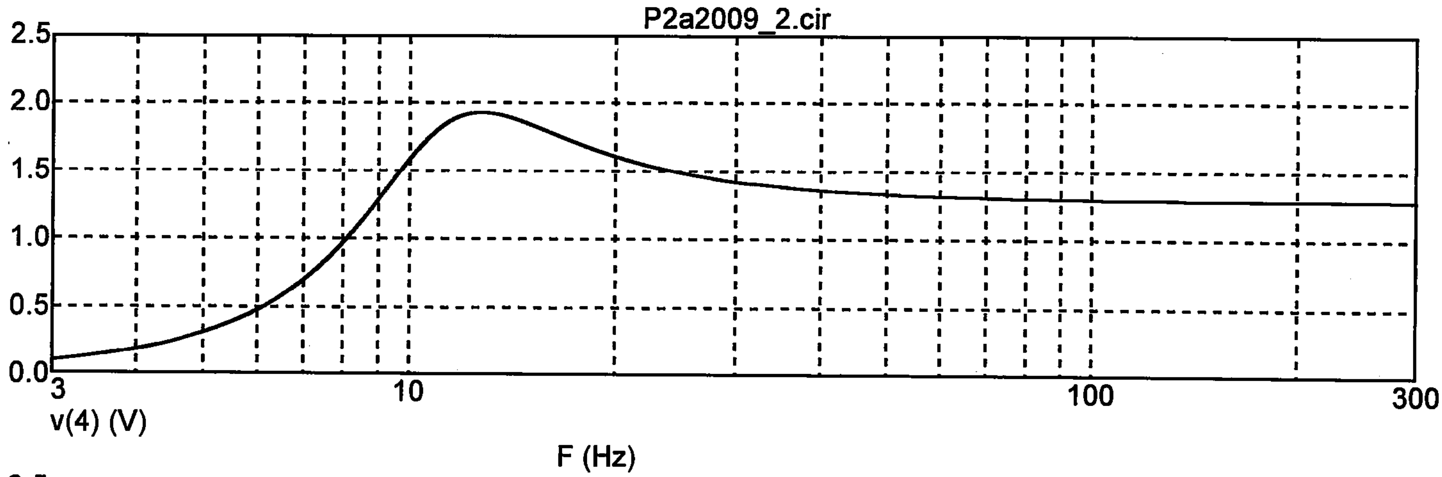
$(R_a // R_V) + R_b = 30,8k$

$$\frac{R_a \cdot 50}{R_a + 50} = 30,8 - 9,67$$

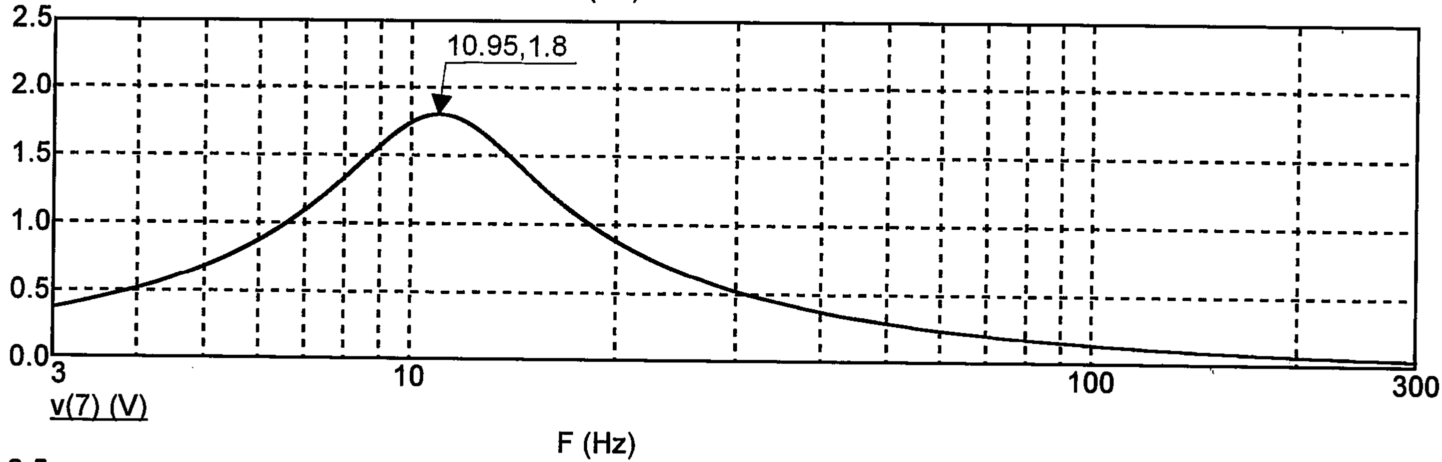
$R_a = 36,6k\ //$



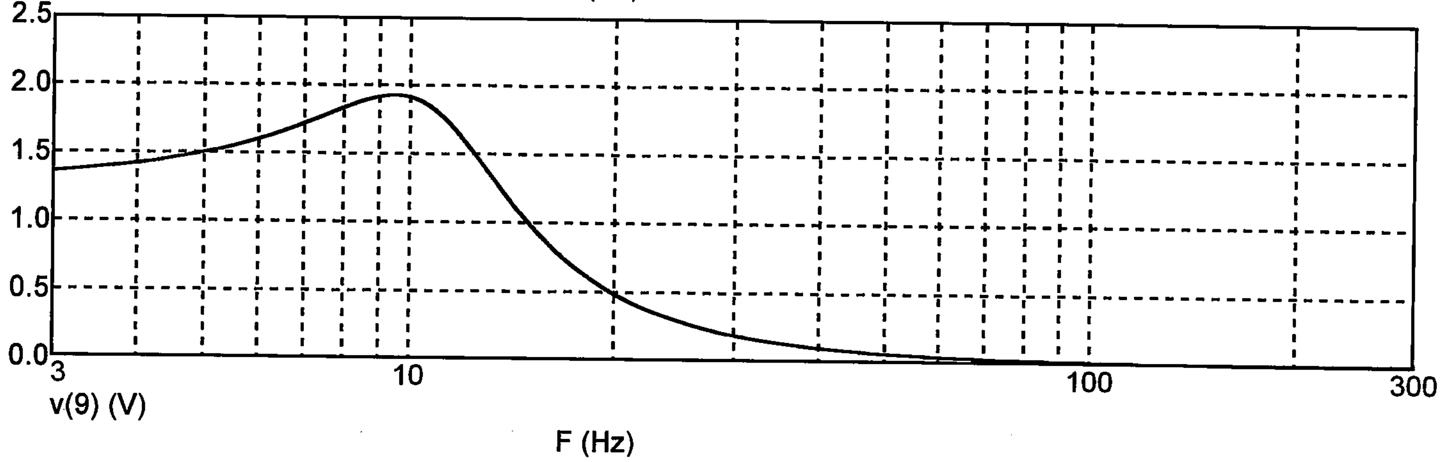
R5
15k
R6
15k
p
n
R3
15k
PA
R4
27k
C2
470n
R1
30.8k
C1
470n
R2
30.8k
PB
PF



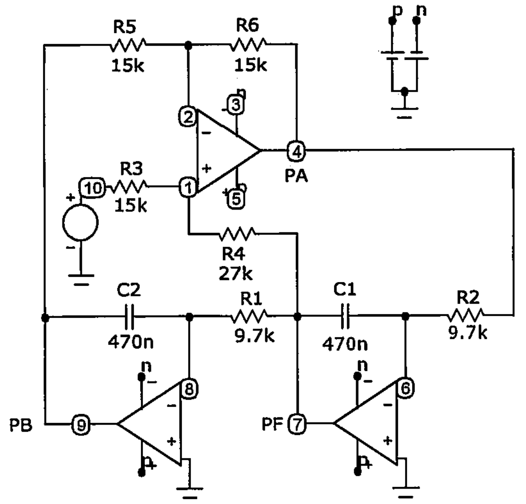
P2a2009_2.cir
v(4) (V)
F (Hz)



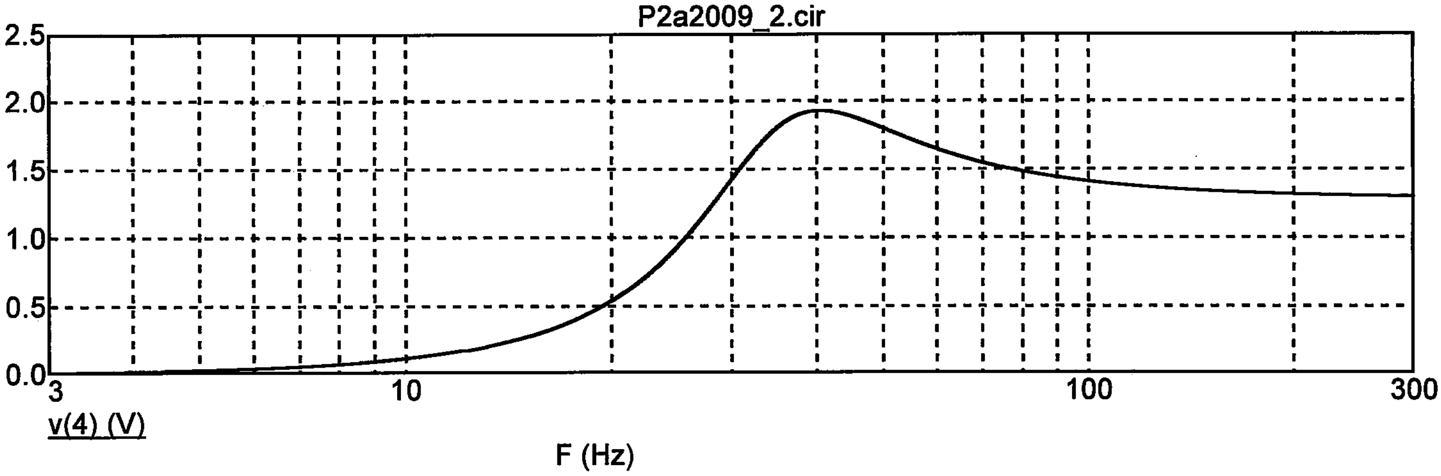
10.95,1.8
v(7) (V)
F (Hz)

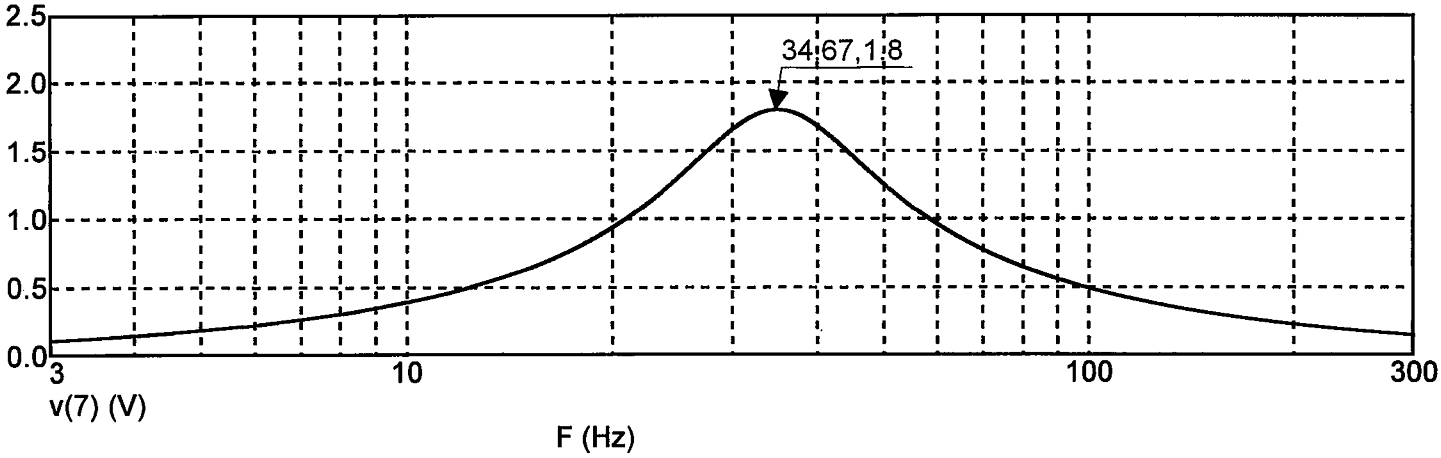


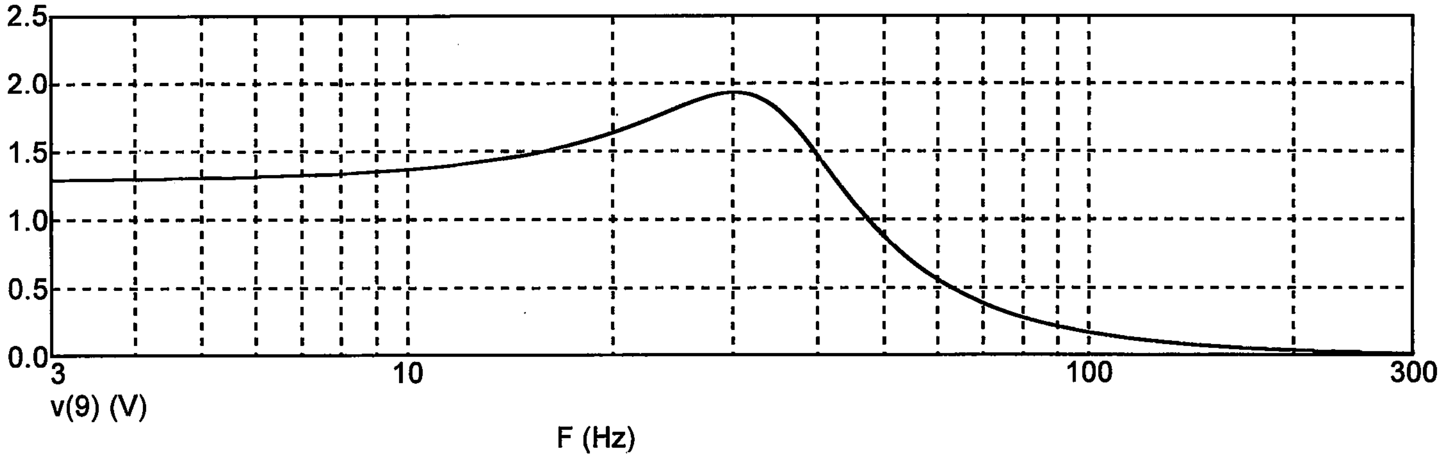
v(9) (V)
F (Hz)



P2a2009_2.cir





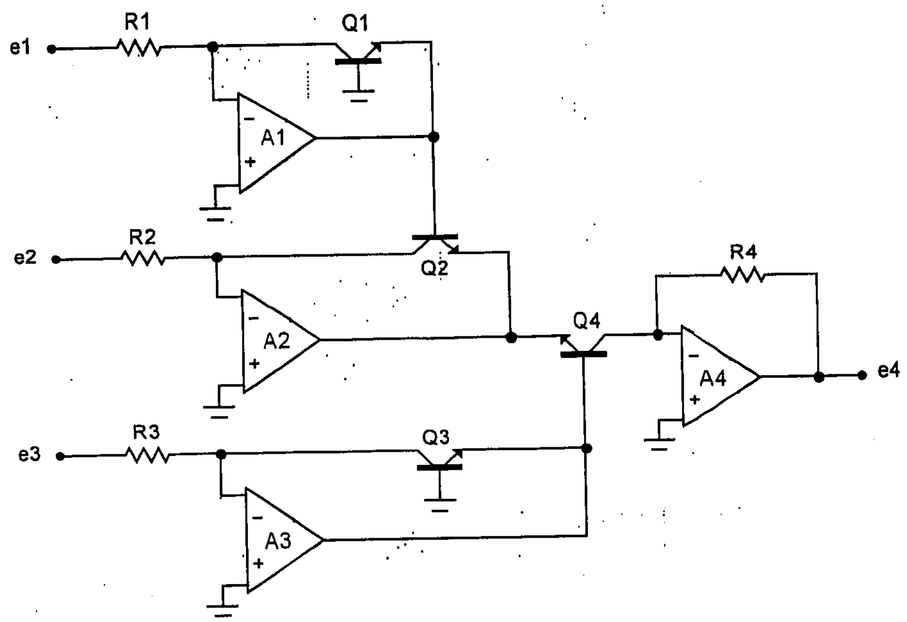


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2010/1

Prova 2 29/6/2010

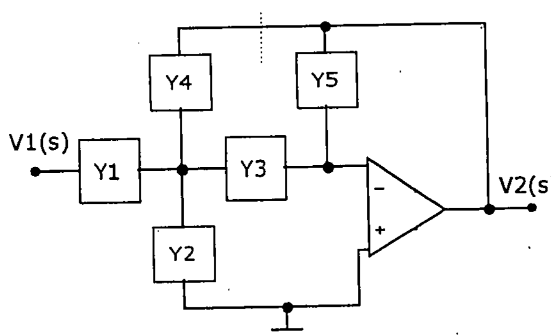
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Um sensor de deformações mecânicas apresenta uma saída que precisa ser linearizada. A melhor curva de linearização foi obtida por ensaios: $e_{out} = 0{,}75 - 0{,}16 \cdot e_i^2$. A topologia básica escolhida está definida a seguir.
   a) Analize esta tarefa, defina e descreva os objetivos.
   b) Equacione a saída e_4 em função das entradas, em formato literal.
   c) Modifique a topologia e calcule o valor dos componentes para obter o e_{out} desejado.
   Limite a corrente de coletor em 1mA para evitar auto-aquecimento. Operacionais rail-to-rail, alimentação regulada ±5 Volts.
   Todas as etapas devem ser documentadas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.



2. Equacione o filtro passa-altas tipo realimentação múltipla usando o procedimento descrito, com o objetivo de determinar os 3 parâmetros do filtro em formato literal, trabalhando de maneira planejada e descrevendo amplamente cada etapa. A seguir, calcule o valor de todos os componentes do filtro para obter um corte em 25 kHz com fator de qualidade 1,2. Componentes comuns, $C_3 = 1\text{nF}$. Procedimento: $C_3 = C_4 = C$ $R_2 = R$ $R_5 = A \cdot R$ $C_1 = B \cdot C$.

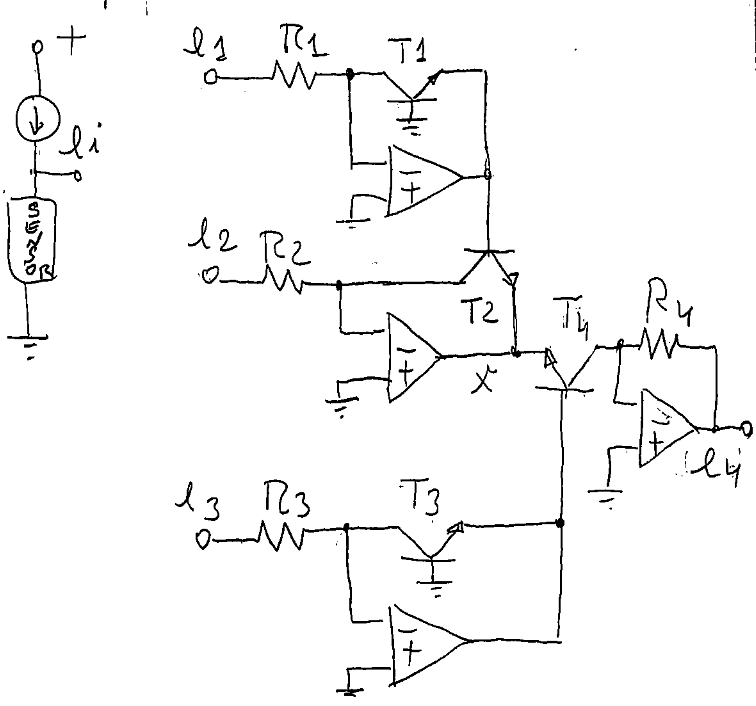
ganho = 3



$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{\dfrac{-s^2 \cdot C_1}{C_4}}{s^2 + \dfrac{s}{R_5}\left(\dfrac{C_1}{C_3 \cdot C_4} + \dfrac{1}{C_3} + \dfrac{1}{C_4}\right) + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

Um sensor de deformações mecânicas apresenta uma saída que precisa ser linearizada. A melhor curva de linearização foi obtida por ensaios:
$l_{out} = 0{,}75 - 0{,}8\, l_i^2$.
O circuito básico que foi escolhido está descrito a seguir.
a) Analise esta tarefa e defina os objetivos a serem alcançados.
b) Equacione o circuito básico para descobrir l_4.
c) Complete o projeto e calcule os valores para obter o l_{out} desejado, sabendo que é possível usar mais um operacional apenas.
Alimentação regulada de +10 e −5 Volts. $I_{C\,max} = 1\,mA$ (auto aquecim.)
Operacionais ideais.



a) Após determinar a equação de l_o, ligar l_i e somar a tensão DC.
b) circuito formado por 3 logs e 1 antilog.
Aplicando o método para esta classe de circuitos:
Domínio dos logs: ponto X
KVL no nó X:

$$\cancel{+}V_{BE2} \cancel{+} V_{B1} = \cancel{+}V_{BE3} \cancel{+} V_{BE4}$$

$$\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C1}}{I_0}\right) + \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C2}}{I_0}\right) = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C3}}{I_0}\right) + \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C4}}{I_0}\right)$$

Devido à massa virtual:

$$\ln\left(\frac{l_1}{R_1 I_0}\right) + \ln\left(\frac{l_2}{R_2 I_0}\right) = \ln\left(\frac{l_3}{R_3 I_0}\right) + \ln\left(\frac{l_4}{R_4 I_0}\right)$$

Cancelando I_0 e isolando l_4:

$$\ln\left(\frac{l_1}{R_1}\right) + \ln\left(\frac{l_2}{R_2}\right) - \ln\left(\frac{l_3}{R_3}\right) = \ln\left(\frac{l_4}{R_4}\right)$$

$$\cancel{\ln}\left(\frac{l_1 \cdot l_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2\, l_3}\right) = \cancel{\ln}\left(\frac{l_4}{R_4}\right)$$

$$l_4 = \frac{R_3 \cdot R_4 \cdot l_1 \cdot l_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot l_3} \quad (1)$$

Analisando os resultados e adaptando:

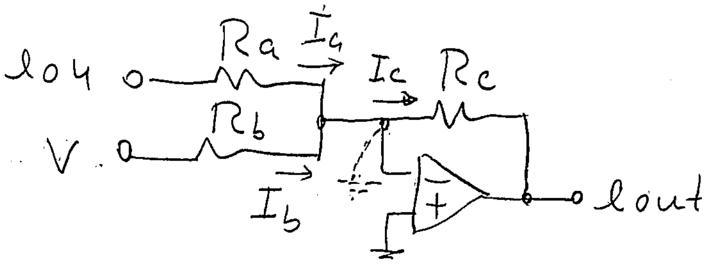
$$l_4 = K \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l_3}$$

Então: $l_{out} = 0{,}75 - l_4$

$$l_{out} = 0{,}75 - \frac{K}{l_3} \cdot l_1 \cdot l_2 \quad (2)$$

com $\frac{K}{l_3} = 0{,}8$, $l_1 = l_2 = l_i$
precisa acertar o sinal.

Precisamos agora somar as duas parcelas.
Usando um somador inversor conseguimos $-lo4$ e usando V e ganho adequado obtemos $+0,75$.



circuito linear, $l+ = l-$.
KCL em $l-$ e massa virtual:

$$-I_a - I_b + I_c = 0$$

$$-\frac{lo4}{Ra} - \frac{V}{Rb} + \frac{(0 - lout)}{Rc} = 0$$

$$lout = -lo4\,\frac{Rc}{Ra} - V\,\frac{Rc}{Rb} \quad (3)$$

Calculando os valores dos componentes:
Para evitar auto-aquecimento, $i_{c\,máx} = 1\,mA$. Com máxima tensão na entrada:

$$R = \frac{li\,máx}{1\,mA} = \frac{10}{10^{-3}} \to R \geq 10K$$

comparando (1) com (2):

$$\frac{R_3 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_2 \cdot l_3} = 0,8$$

como a alimentação é regulada, definimos $l_3 = 10$ Volts

Escolhendo $R_1 = R_2 = R_4 = 10k$:

$$\frac{R_3 \cdot 10k}{10k \cdot 10k \cdot 10} = 0,8 \to R_3 = 80k$$

Examinando (3):
Para ganho unitário em lo4, escolhemos $Ra = Rc = 10K$
Comparando com (2):

$$-V\,\frac{Rc}{Rb} = 0,75$$

Aproveitando a alimentação regulada, usaremos $V = -5V$:

$$-(-5)\,\frac{10k}{Rb} = 0,75$$

Então $Rb = 66,7K$

Versão mais simples:
$lout = -0,16\, li^2$ $\pm 5V$ regulados
Fica:

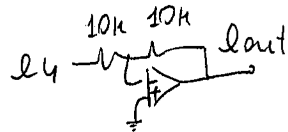
$$\frac{R_3 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_2 \cdot l_3} = -0,16$$

Circuito é de 1 quadrante. Inverter a saída.

$R_1 = R_2 = R_4 = 10k$
$l_3 = +5V$

$$\frac{R_3 \cdot 10k}{10k \cdot 10k\,(+5)} = +0,16$$

$R_3 = 8k$

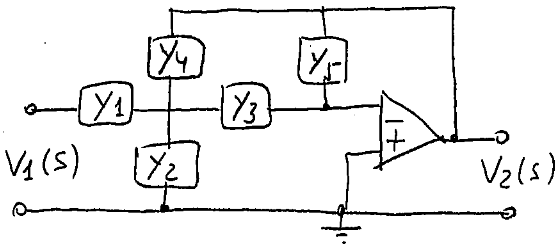


Máxima tensão de entrada:
com $lout\,máx = -Vcc = -5$
ou $lo4\,máx = +Vcc = +5$:

$$-5 = -0,16 \cdot li_{máx}^2$$

$$li\,máx = \sqrt{\frac{-5}{-0,16}} = 5,59 \text{ Volts}$$

Equacione o filtro passa-altas tipo realimentação múltipla usando o procedimento descrito a seguir para obter os 3 parâmetros do filtro em formato literal.
Configure os componentes para obter um filtro com corte em 16 Hz, ganho 3 e fator de qualidade de 1,2. Documente cada etapa. $C_3 = 22nF$.
Procedimento: $C_3 = C_4 = C$; $R_2 = R$; $R_5 = A \cdot R$; $C_1 = B \cdot C$.



$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{-s^2 \frac{C_1}{C_4}}{s^2 + \frac{s}{R_5}\left(\frac{C_1}{C_3 \cdot C_4} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}\right) + \frac{1}{R_2 R_5 C_3 C_4}}$$

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{\varphi} s + \omega_0^2}$$

Use $C_3 = 1n$ e $25kHz$

P2 2010/1

Comparando a equação do filtro com a forma padrão e aplicando o procedimento:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_2 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4} = \frac{1}{R \cdot A \cdot R \cdot C \cdot C}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C \cdot \sqrt{A}} \quad //$$

$$H_0 = -\frac{C_1}{C_4} = -\frac{B \cdot C}{C} \rightarrow H_0 = -B \quad //$$

O filtro é inversor → ok.

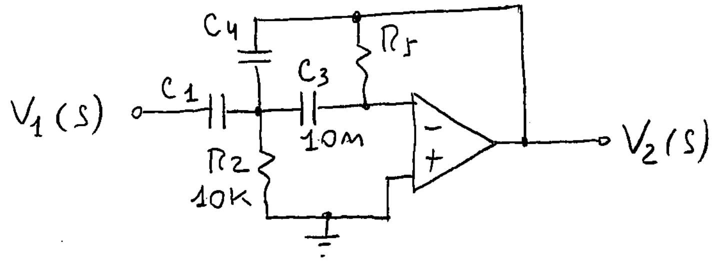
$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5}\left(\frac{C_1}{C_3 \cdot C_4} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}\right)$$

$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{1}{A \cdot R}\left(\frac{B \cdot \cancel{C}}{C \cdot \cancel{C}} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C}\right)$$

$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{1}{A \cdot R} \cdot \frac{B+2}{C} = \frac{B+2}{A \cdot R \cdot C}$$

$$\varphi = \frac{1}{\cancel{RC}} \sqrt{\frac{1}{A}} \cdot \frac{A \cdot \cancel{RC}}{B+2} = \frac{\sqrt{A}}{B+2} \quad //$$

O filtro PA fica:



Cálculo dos componentes:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 2 \cdot \pi \cdot 16 = 101 \text{ rad/s}$$

$$H_0 = 3 = B \rightarrow B = 3 \quad //$$

$$\varphi = 1,2 = \frac{\sqrt{A}}{B+2} = \frac{\sqrt{A}}{3+2} \rightarrow A = 36 \quad //$$

Então: $$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C \cdot \sqrt{A}} = \frac{1}{R_2 \cdot 22n \cdot \sqrt{36}}$$

$$101 = \frac{1}{R_2 \cdot 22n \cdot 6} \rightarrow R_2 = 75k \quad //$$

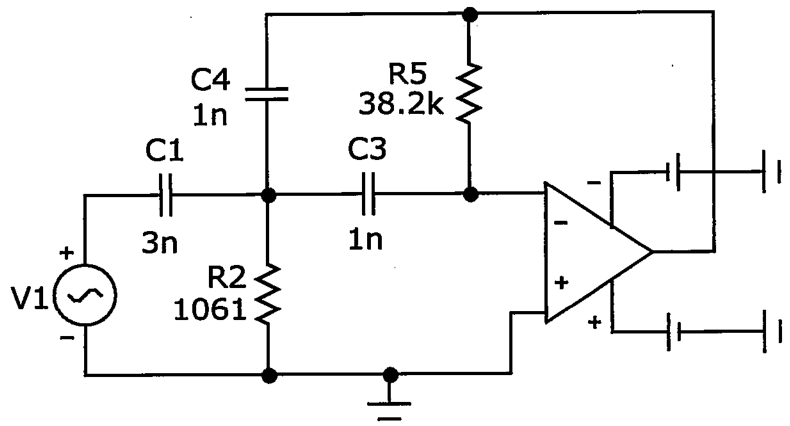
$$C_1 = B \cdot C = 3 \cdot 22n \rightarrow C_1 = 66nF \quad //$$

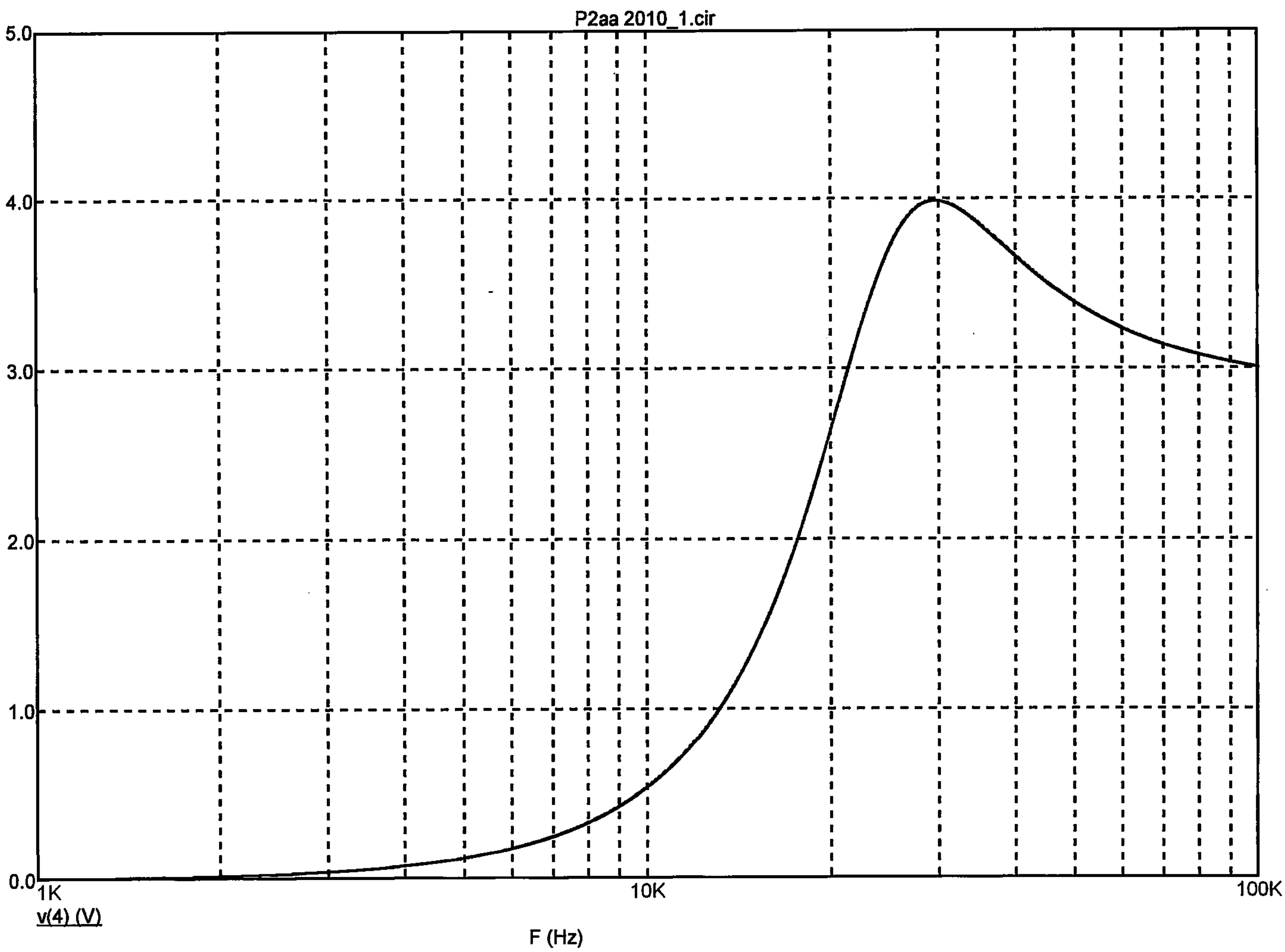
$$R_5 = A \cdot R = 36 \cdot 75k \rightarrow R_5 = 2,7M\Omega \quad //$$

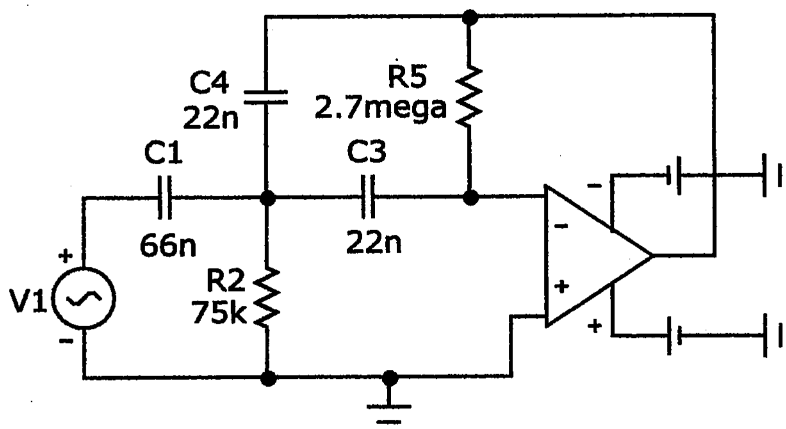
Com $C_3 = 1n$ e $f_0 = 25kHz$:

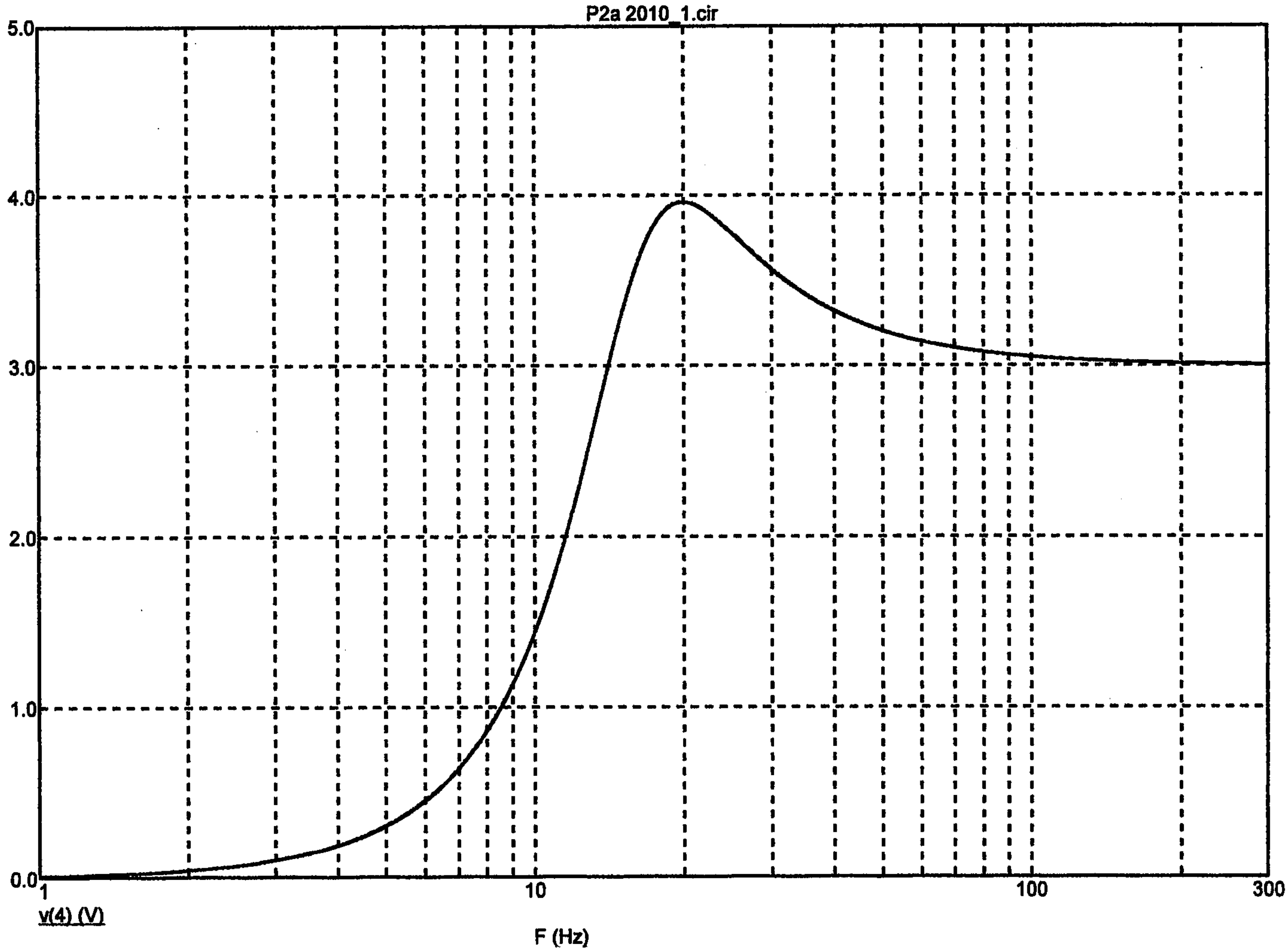
$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 10^3 = \frac{1}{R_2 \cdot 10^{-9} \cdot 6} \rightarrow R_2 = 1061\,\Omega \quad //$$

$R_5 = 36 \cdot 1061 = 38,2k$ // $C_1 = 3 \cdot 1n = 3nF$ //


C4
1n
R5
38.2k
C1
C3
3n
1n
R2
1061
V1


P2aa 2010_1.cir
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1K
10K
100K
v(4) (V)
F (Hz)


C4
22n
R5
2.7mega
C1
C3
66n
22n
R2
75k
V1


P2a 2010_1.cir
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1
10
100
300
v(4) (V)
F (Hz)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2010/2**

Prova 2 **10/12/2010**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (5 pontos)

a) Examine a topologia a seguir e descreva a sua função.

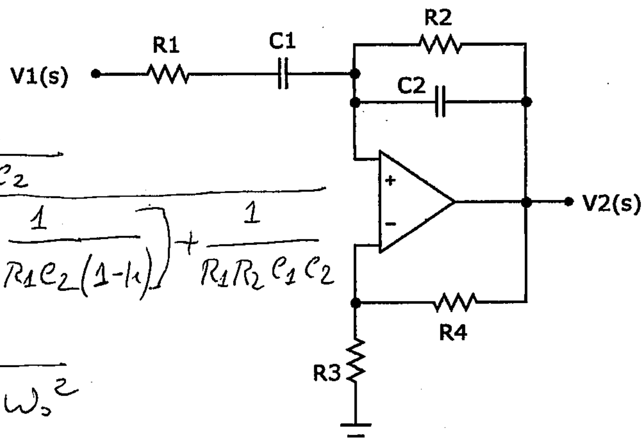
b) Equacione o circuito em formato literal com o objetivo de explicitar os parâmetros ω_0, H_0 e Q, em função de K e dos componentes R e C apenas (e não em função dos outros parâmetros). e de forma compacta e usável.

c) Personalize os resultados fazendo $C_1 = C_2$ e $R_1 = 4 \cdot R_2$ (para ter maior impedância de entrada) e equacione novamente os 3 parâmetros nestas condições.

d) Calcule novamente os 3 parâmetros para obter uma versão centrada em 780Hz, com impedância mínima de 60kΩ e fator de qualidade 2, usando valores comerciais sempre que possível.

Componentes ideais.

Todas as etapas devem ser documentadas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.



$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{s \cdot \frac{K}{1-K} \cdot \frac{1}{R_1 C_2}}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 (1-K)}\right] + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_0 \frac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

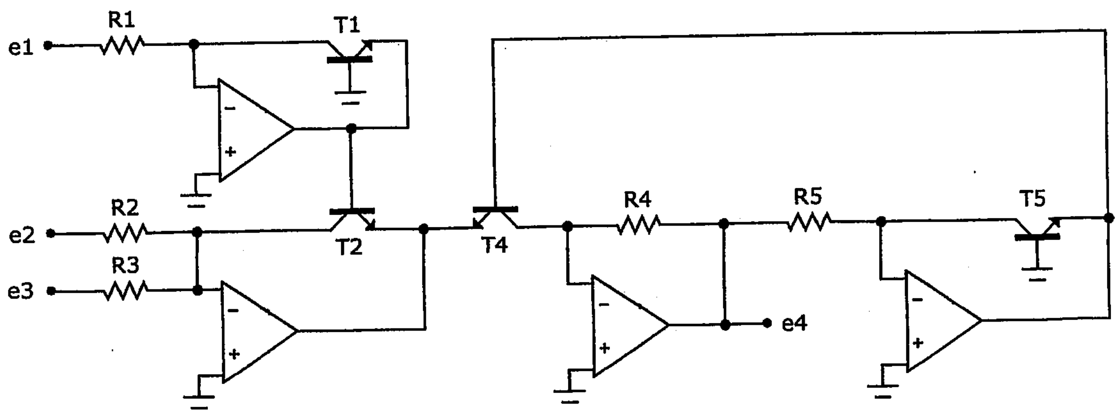
2. (5 pontos)

a) Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento qualitativo e descreva o que for possível sobre cada bloco funcional.

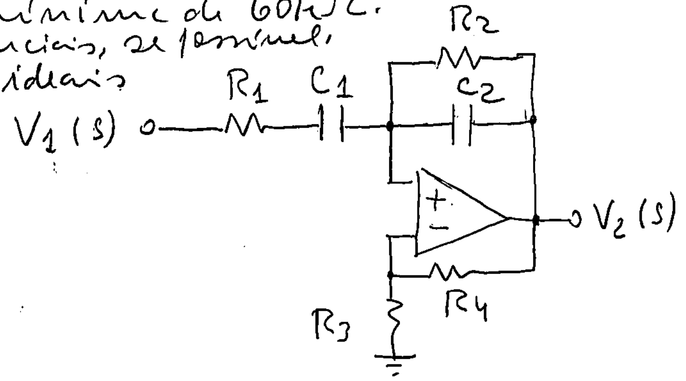
b) Equacione o circuito em formato literal, lembrando que todas as etapas devem ser documentadas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.

c) Personalize o circuito de modo que a saída e_4 tenha o coeficiente 3 afetando a função que opera as entradas.

Transistores casados e na mesma temperatura; 15 volts no máximo em qualquer entrada; 1mA máximo em qualquer transistor para evitar o auto-aquecimento; operacionais ideais. Use valores comerciais quando possível.



Equacione o filtro passa-faixas a seguir com o objetivo de explicitar os parâmetros W_o, φ e H_o, em função de K e dos componentes apenas em formato literal.
A seguir, personalize o filtro fazendo $C_1 = C_2$ e $R_1 = 4 \cdot R_2$ (para ter maior impedância de entrada) e reequacione novamente os 3 parâmetros nestas condições.
Finalmente, calcule o valor de cada componente para realizar um filtro centrado em 780Hz, fator de qualidade 2 e imped. mínima de 60kΩ. Usar valores comerciais, se possível.
Comp. ideais



$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{s \cdot \frac{K}{1-K} \cdot \frac{1}{R_1 \cdot C_2}}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 \cdot C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 (1-K)}\right] + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_o \cdot \frac{W_o}{\varphi} \cdot s}{s^2 + \frac{W_o}{\varphi} s + W_o^2}$$

P2 2010/2

K é o ganho do bloco ativo: amplif. não-inversor:

$$K = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad //$$

Igualando os termos:

$$W_o^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}$$

$$W_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad // \qquad (a)$$

$$H_o \cdot \frac{W_o}{\varphi} = \frac{K}{1-K} \cdot \frac{1}{R_1 C_2} \qquad (1)$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 (1-K)} \qquad (2)$$

Levando (2) para (1) e isolando H_o:

$$H_o = \frac{K}{(1-K) \cdot R_1 \cdot C_2 \cdot \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 (1-K)}\right)}$$

$$H_o = \frac{K}{(1-K)\left(\frac{\cancel{R_1} C_2}{\cancel{R_1} C_1} + \frac{R_1 \cancel{C_2}}{R_2 \cancel{C_2}}\right) + 1}$$

$$H_o = \frac{K}{(1-K) \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right) + 1} \quad // \quad (b)$$

Isolando φ na equação (2):

$$\varphi = \frac{\frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}}{\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 (1-K)}}$$

$$\varphi = \frac{1}{\frac{1}{R_1 C_1} \cdot \sqrt{\dots} + \frac{1}{R_2 C_2} \sqrt{\dots} + \frac{\sqrt{\dots}}{R_1 C_2 (1-K)}}$$

$$\varphi = \left[\sqrt{\frac{R_1 R_2 C_1 C_2}{R_1^2 C_1^2}} + \sqrt{\frac{R_1 R_2 C_1 C_2}{R_2^2 C_2^2}} + \frac{1}{1-K}\sqrt{\frac{R_1 R_2 C_1 C_2}{R_1^2 C_2^2}}\right]^{-1} \qquad K = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

(c)

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}} + \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}} - \frac{R_3}{R_4}\sqrt{\frac{R_2 C_1}{R_1 C_2}}} \quad //$$

Personalizando:

$R_1 = 4 \cdot R_2$ na equação (a):

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{4 \cdot R_2 \cdot R_2 \cdot C \cdot C}}$$

$$W_0 = \frac{1}{2 \cdot R_2 \cdot C} \quad // \quad (d)$$

$R_1 = 4 \cdot R_2$ na equação (b):

$$H_0 = \frac{K}{(1-K)\left(\frac{4R_2}{R_2} + \frac{C}{C}\right) + 1}$$

$$H_0 = \frac{K}{(1-k)\cdot(4+1)+1}$$

$$H_0 = \frac{K}{5-5k+1}$$

$$H_0 = \frac{K}{6-5k} \quad // \quad (e)$$

$R_1 = 4 \cdot R_2$ na equação (c):

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 \cdot C}{4 \cdot R_2 \cdot C}} + \sqrt{\frac{4 \cdot R_2 \cdot C}{R_2 \cdot C}} + \frac{1}{1-k}\sqrt{\frac{R_2 \cdot C}{4 \cdot R_2 \cdot C}}}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4}} + \sqrt{4} + \frac{1}{1-k}\sqrt{\frac{R_2}{4R_2}}}$$

$$\varphi = \frac{1}{\frac{1}{2} + 2 + \frac{1}{1-k} \cdot \frac{1}{2}}$$

$$\varphi = \frac{1}{2,5 + \frac{1}{2-2k}} = \frac{1}{\frac{5-5k+1}{2-2k}}$$

$$\varphi = \frac{2-2k}{6-5k} \quad // \quad (f)$$

Cálculo dos componentes:

Para imp. de entrada mínima de 60k, seja $R_1 = 60k$ //

Como $R_1 = 4 \cdot R_2$, $R_2 = 15k$ //

Para uma freq. central de 760 Hz na equação (d):

$$W_0 = 2 \cdot \pi \cdot 780 = \frac{1}{2 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot C}$$

$$C = 6,801 \cdot 10^{-8}$$

Então $C_1 = C_2 = 6,8\,mF$ //

Para $\varphi = 2$ na equação (f):

$$2 = \frac{2-2k}{6-5k}$$ Isolando K:

$$12 - 10k = 2 - 2K$$

$$10 = 8k \rightarrow k = 1,25 \quad //$$

Ganho do amplificador:

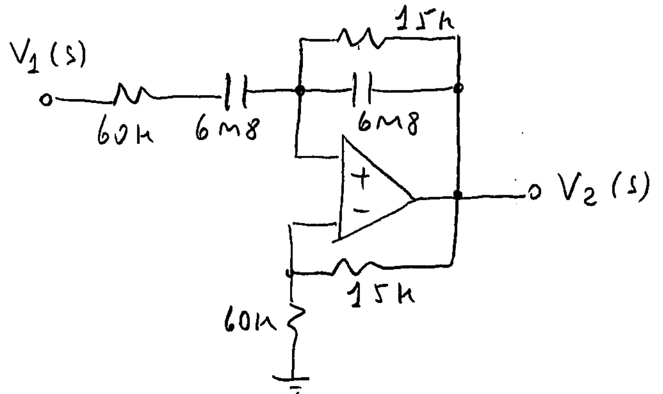
$$K = 1 + \frac{R_4}{R_3} = 1,25$$

$$\frac{R_4}{R_3} = 0,25 \rightarrow R_3 = 4 \cdot R_4$$

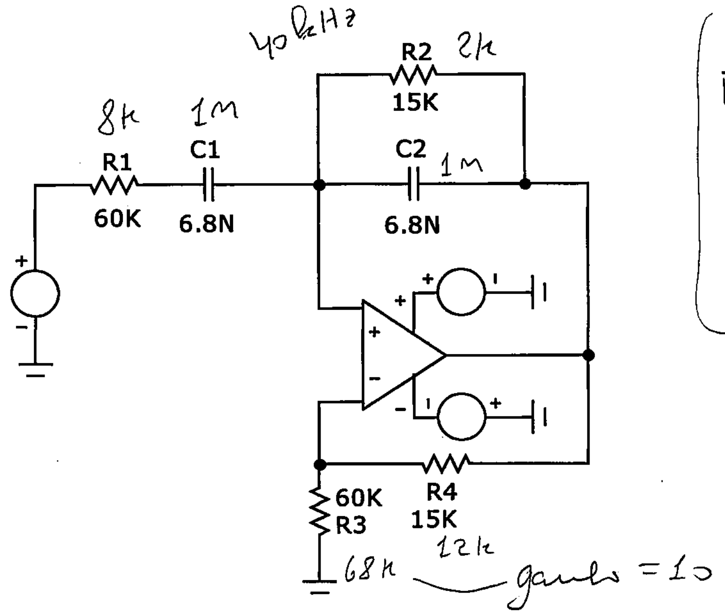
Usando os mesmos valores de R_1 e R_2,

$R_3 = 60k$ // e $R_4 = 15k$ //

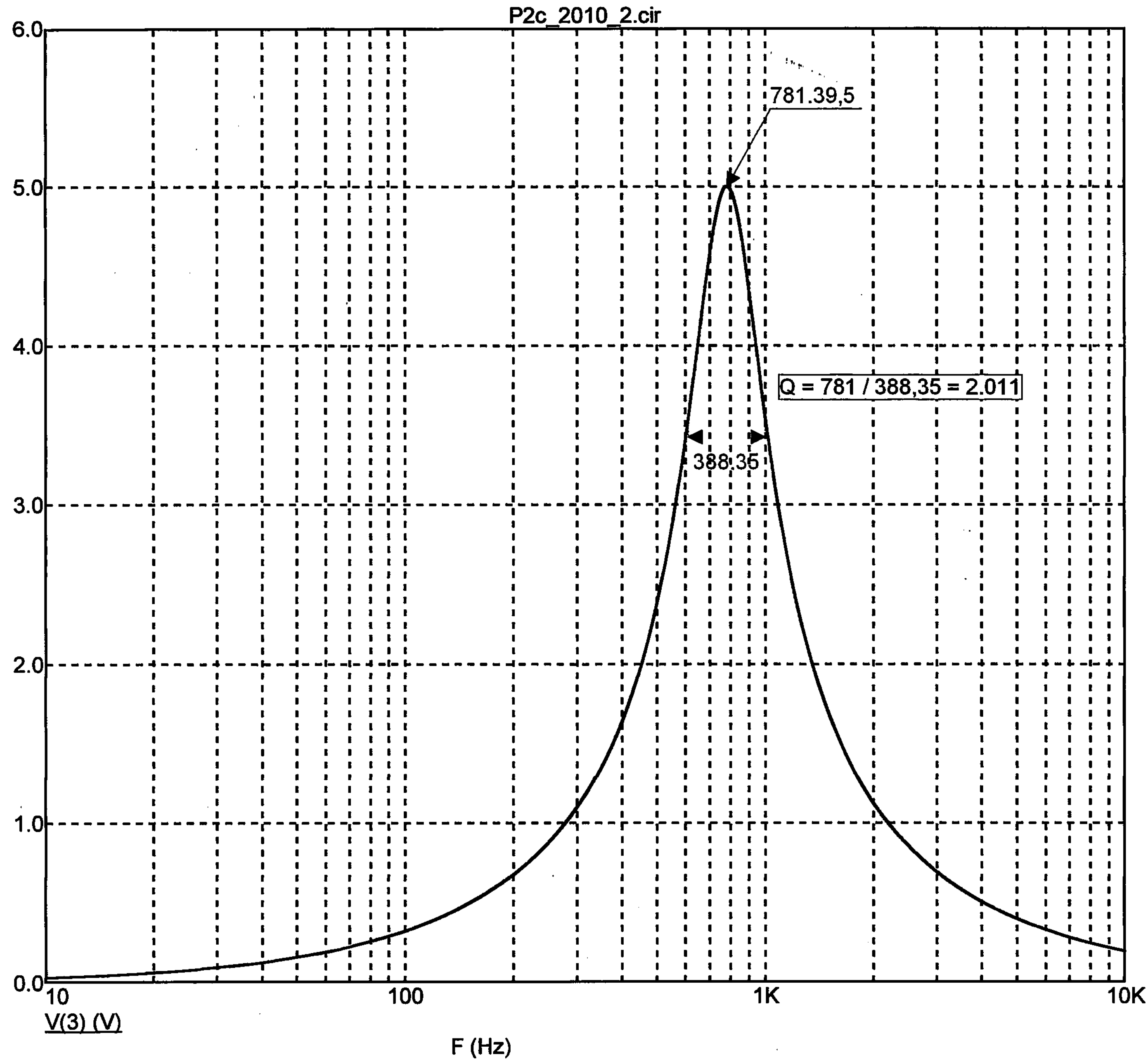
circuito final:



Em tempo: $60k = 33k + 27k$ //

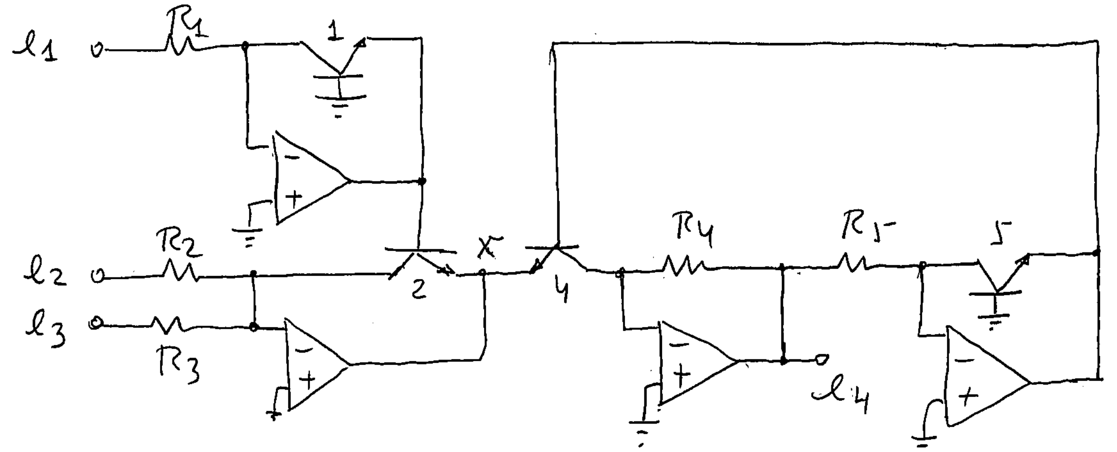


$\varphi = 6$ OPAMP GENERIC LEVEL 1 (IDEAL)
$f = 40kHz$
$H_0 = 19$ 1,9k
8k2 1M 1M
12k
68k



Examine o circuito procurando entender o seu funcionamento. Descreva a função de cada bloco. Equacione, sob forma literal, a saída e_4 em função das entradas. Personalize o circuito de modo que a saída tenha um coeficiente 3 afetando a função que opera as entradas. Todas as etapas devem ser bem documentadas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado.

Transistores casados e na mesma temperatura. Máxima tensão em qualquer entrada: 15 Volts. Limite a corrente nos transistores em menos de 1mA para evitar auto-aquecimento. Use valores comerciais, se possível.



P2 2010/2

1 — Bloco ln, inversor, 1φ
2 — Bloco ln, somador, inv., 1φ
4 — Bloco exp, inversor, 1φ
5 — Bloco ln, inversor, 1φ

Equacionamento:
Método: Domínio dos logs, igualdade dos V_{BE}s.
Ponto X: após os logs e antes do exp.
KVL até a massa:

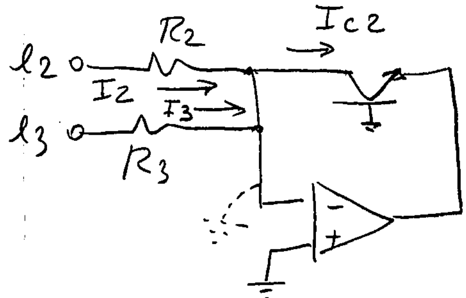
$$-V_{BE2} - V_{BE1} = -V_{BE4} - V_{BE5}$$

Igualdade → estável com a temp. e cancelamento da corr. de saturação reversa.

$$-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_{C1}}{I_0}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C2}}{I_0}\right) = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_{C4}}{I_0}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{C5}}{I_0}\right) \quad (1)$$

Massa virtual: $I_{C1} = \dfrac{e_1}{R_1}$

Bloco ln somador:



KCL em e− :

$$-I_2 - I_3 + I_{C2} = 0$$

$$I_{c2} = \frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3} \quad (2)$$

$$i_{c4} = \frac{e_4}{R_4}$$

$$i_{c5} = \frac{e_4}{R_5}$$

Substituindo em (1) e cancelando sinais e $\frac{kT}{q}$ vem:

$$\ln\left(\frac{e_1}{R_1 \cdot I_0}\right) + \ln\left(\frac{\frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3}}{I_0}\right) = \ln\left(\frac{e_0}{R_4 \cdot I_0}\right) + \ln\left(\frac{e_0}{R_5 \cdot I_0}\right)$$

cancelando I_0 e juntando os ln:

$$\ln\left[\frac{e_1}{R_1} \cdot \left(\frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3}\right)\right] = \ln\left(\frac{e_0}{R_4} \cdot \frac{e_0}{R_5}\right)$$

cancelando os ln e isolando e_0:

$$e_0 = \sqrt{R_4 \cdot R_5 \cdot \frac{e_1}{R_1} \cdot \left(\frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3}\right)} \quad (3) \;//$$

Personalização:

Para $I_{c2} < 1mA$ e $e_1 = e_2 = 15V$ máx, aplicando em (2):

$$I_{c2} = 1mA = \frac{15}{R_2} + \frac{15}{R_3}$$

Seja $R_2 = R_3 = R$ então $R > 30k$

Escolhemos $R = R_2 = R_3 = 33k$ //

Isolando os resistores em (3):

$$e_0 = \sqrt{\frac{R_4 \cdot R_5}{R_1 \cdot R}} \cdot \sqrt{e_1(e_2 + e_3)}$$

Para ter constante 3:

$$3 = \sqrt{\frac{R_4 \cdot R_5}{R_1 \cdot R}} \quad (4)$$

Para garantir $I_c < 1mA$,

$$R_1 > \frac{e_{1\,máx}}{1mA} = \frac{15}{1mA} \rightarrow \underline{\underline{R_1 = 18k}}$$

Ou então podemos escolher $R_1 = 33k$ também.

Levando em (4):

$$9 \cdot 18k \cdot 33k = R_4 \cdot R_5$$

$$R_4 \cdot R_5 = 5346k$$

Fazendo $R_4 = R_5$ dá $73{,}1k$ //

Outra escolha: $R_1 = 33k$:

$$9 \cdot 33k \cdot 33k = R_4 \cdot R_5$$

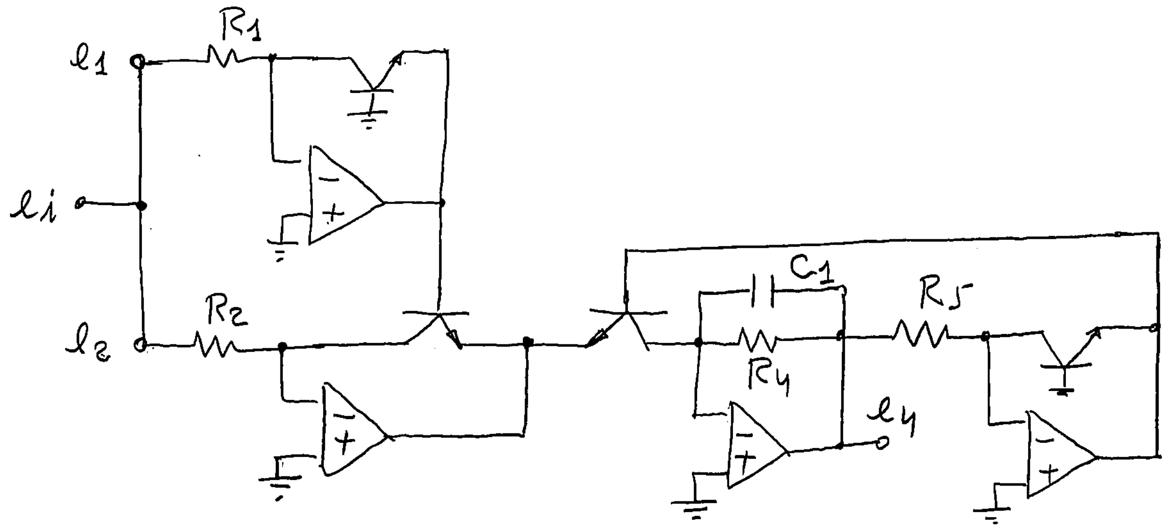
Fazendo $R_4 = R_5$ dá $99k$

Então $R_4 = R_5 = 100k$ //

Resultado:

$$e_0 = 3 \cdot \sqrt{e_1 \cdot (e_2 + e_3)}$$

Modificação na topologia:



Equacionamento:

Usando (3) sem o somador e fazendo $e_1 = e_2 = ei$:

$$e_4 = \sqrt{R_4 \cdot R_5 \cdot \frac{ei}{R_1} \cdot \frac{ei}{R_2}} \quad //$$

Personalizando: $R_1 = R_2 = R_4 = R_5$

$e_4 = \sqrt{ei^2}$ // Mas na verdade, $R_4 \cdot C_1$ formam um filtro passa-baixas atenuando as variações e como e_4 é sempre positivo, podemos entender que $R_4 \cdot C_1$ fazem a média, ou seja:

$$e_4 = \sqrt{\overline{ei^2}}$$

Por definição o valor RMS de um sinal vale:

$$V_{RMS} = \frac{1}{T}\int_0^T \sqrt{ei^2} \quad \text{onde } \frac{1}{T}\int_0^T \text{ fazem a média.}$$

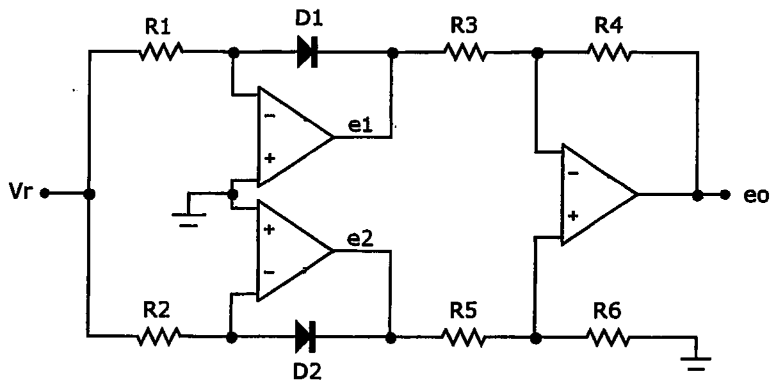
Conclusão o circuito é um conversor RMS de um quadrante apenas, conhecido como Conversor RMS Recursivo.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2011/1

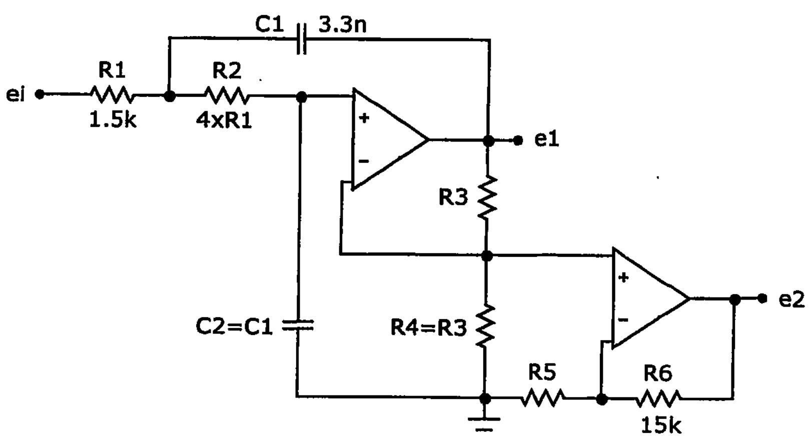
Prova 2 28/6/2011

Nome: GABARÍTO **Turma:** ______

1. circuito a seguir é um medidor diferencial de temperatura para uso em câmaras de refrigeração de alimentos. O aparelho mede a diferença de temperatura entre dois pontos, por exemplo, entre a prateleira inferior e a superior. a) Inicialmente, examine o circuito e descreva o princípio de funcionamento. b) Equacione e_0 em função das entradas, em formato literal e então dimensione os componentes para obter uma escala de -5 °C até +5 °C, que será indicada diretamente pela escala de corrente em um multimetro comum (especifique a escala mais adequada). Alimentação por duas baterias de 9 Volts, V_r = 5 Volts regulados, operacionais tipo rail-to-rail, I_0 = 5nA @27 °C no diodo 1N4148. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
Informações adicionais: Evite auto-aquecimento escolhendo nos diodos menos de 2mA nos diodos. Como a máxima diferença de temperatura é de 10 °C apenas, considere I_0 constante.



2. Deseja-se estudar (e ouvir) os efeitos do fator de qualidade (Q) do filtro que será instalado em um equipamento de áudio. Como em filtros mais simples o fator de qualidade é dependente do ganho na faixa de passagem (H_0), foi proposto o circuito a seguir para corrigir esta característica indesejável. a) Examine a topologia, identifique o filtro básico, equacione os seus 3 parâmetros em formato literal e depois coloque os valores numéricos. Analise os resultados e comprove a dependência. b) Equacione o resto do circuito e determine o ganho total. Coloque os valores numéricos, analise os resultados e comprove a independência. c) Adicione um ajuste que permita variar o fator de qualidade entre 0,5 e 4,0 mantendo o ganho em 2,5. Por último, calcule/especifique o valor de todos os componentes. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.

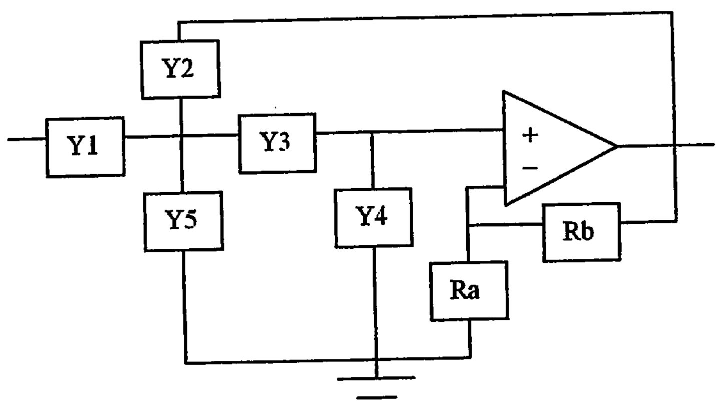


SALEN-KEY 2ª ORDEM

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{K}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_4}}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_1\cdot C_2}+\dfrac{1}{R_3\cdot C_2}+\dfrac{1-K}{R_3\cdot C_4}\right]+\dfrac{1}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_4}} = \frac{H_0\cdot\omega_0^2}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{s^2}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_4\cdot C_1}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_3}+\dfrac{1-K}{R_2\cdot C_1}\right]+\dfrac{1}{R_2\cdot R_4\cdot C_1\cdot C_3}} = \frac{H_0\cdot s^2}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{S-K}{R_1\cdot C_5}}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_1\cdot C_5}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_5}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_3}\right]+\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)\Big/R_4\cdot C_3\cdot C_5} = \frac{H_0\cdot\dfrac{\omega_0}{Q}\cdot s}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$



$$V_d = V_{be} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

Constante de Boltzman: $k = 1{,}38\ 10^{-23}$ J/K

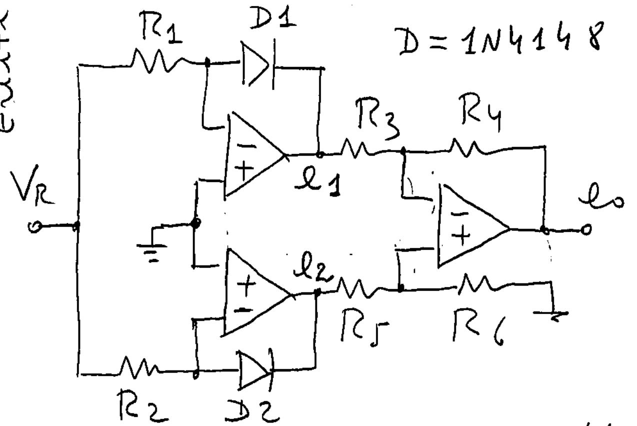
Carga do elétron: $q = 1{,}6\ 10^{-19}$ C

K = 273 + °C

-a-

Dicas: Como a máxima diferença de temperatura é de 10°C apenas, faça $I_0 \cong 5mA$ constante, Evite auto-aquecimento tendo $I_{Dmin} < 2mA$;

O circuito a seguir é um medidor diferencial de temperatura, para uso em câmara de refrigeração de alimentos. O aparelho mede a diferença de temperatura entre dois pontos, por exemplo, entre a prateleira inferior e a superior. Inicialmente, examine o circuito e descreva o seu funcionamento. Equacione-o em função das entradas, em forma literal e então dimensione os componentes para obter uma escala de $-5°C$ a $+5°C$, que será indicada diretamente pela corrente em um multímetro. (qual escala?) Alimentação por 2 baterias de 9 Volts. $V_R = 5$ Volts regulados. Operacionais rail-to-rail.



Experimente trocar: $R_1 \longleftrightarrow D_1$

P2 2011/1

Dois conversores log e ampl. subtrator.

Os sensores de temperatura são os diodos pois

$$V_D = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_D}{I_0}\right)$$

Para uma leitura direta, a corrente no multímetro deve ser numericamente igual à diferença entre as temperaturas, por exemplo:

$\Delta T = 10°C \rightarrow 10$ Ampères

Impossível pois as baterias vão se esgotar em poucos segundos.

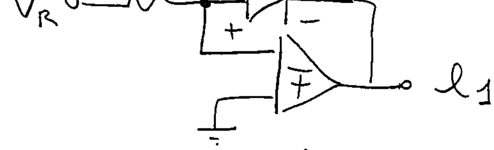
$\Delta T = 10°C \rightarrow 10mA$

O.K. Usaremos a escala de 20mA do multímetro.

Operacional pode fornecer até 20mA. O.K.

Equacionamento:

conversor log:



$$e_1 = -V_D = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_D}{I_0}\right)$$

Devido à massa virtual:

$$e_1 = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{V_R}{R_1 \cdot I_0}\right) \quad e$$

$$e_2 = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{V_R}{R_2 \cdot I_0}\right)$$

Amplificador subtrator:
circuito linear, $e_+ = e_-$:

$$\frac{e_1 \cdot R_4}{R_3+R_4} + \frac{e_o \cdot R_3}{R_3+R_4} = e_2 \frac{R_6}{R_5+R_6}$$

Isolando e_o:

$$e_o \frac{R_3}{R_3+R_4} = e_2 \frac{R_6}{R_5+R_6} - e_1 \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

$$e_o = e_2 \frac{R_3+R_4}{R_3} \cdot \frac{R_6}{R_5+R_6} - e_1 \frac{R_4}{R_3}$$

Para simplificar, escolhemos $R_3 = R_5 = R_a$ e $R_4 = R_6 = R_b$:

$$e_o = e_2 \frac{\cancel{R_a+R_b}}{R_a} \cdot \frac{R_b}{\cancel{R_a+R_b}} - e_1 \frac{R_b}{R_a}$$

$$e_o = \frac{R_b}{R_a}(e_2 - e_1)$$

Juntando os blocos:
Para ter simetria, escolhemos $R_1 = R_2 = R$ e identificamos T_1 e T_2:

$$e_o = \frac{R_b}{R_a}\left[-\frac{k \cdot T_2}{q} \ln\left(\frac{V_R}{R \cdot I_{o2}}\right) + \frac{k \cdot T_1}{q} \ln\left(\frac{V_R}{R \cdot I_{o1}}\right)\right]$$

Fazendo $I_{o1} = I_{o2} = 5\,nA$ e: $\frac{V_R}{R} = I_D = 1\,mA$:

$$e_o = \frac{R_b}{R_a} \cdot \frac{k}{q}\left[-T_2 \ln\left(\frac{I_D}{I_o}\right) + T_1 \ln\left(\frac{I_D}{I_o}\right)\right]$$

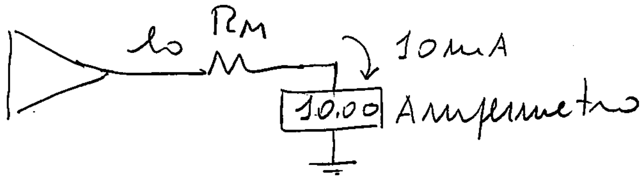
$$e_o = \frac{R_b}{R_a} \cdot \frac{k}{q}\left[\ln\left(\frac{I_D}{I_o}\right) \cdot (T_1 - T_2)\right]$$

$$e_o = \frac{R_b}{R_a} \frac{1{,}38 \cdot 10^{-23}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}\left[\ln\left(\frac{10^{-3}}{5 \cdot 10^{-9}}\right)(T_1 - T_2)\right]$$

$$e_o = \frac{R_b}{R_a} \cdot 86{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 12{,}2\,(T_1 - T_2)$$

$$e_o = \frac{R_b}{R_a} \cdot 1{,}0528 \cdot 10^{-3}(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Para converter e_o em I_o, usaremos um resistor R_m:



Com baterias fracas e a perda entre Vcc e e_o de 2V, Vamos estabelecer $e_o = 6$ Volts.

Logo $R_m = \frac{e_o}{I_o} = \frac{6V}{10mA} = 600\,\Omega$

Usando $R_m = 560\,\Omega$ então

$e_o = 10mA \cdot 560 = 5{,}6$ Volts

Máximo e_o ocorre para $T_1 - T_2 = 5°C - (-5°C) = 10°C$ ou Kelvin

Levando em (1):

$$5{,}6 = \frac{R_b}{R_a} 1{,}0528 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

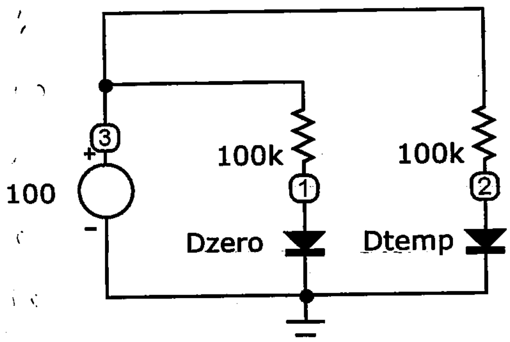
$$\frac{R_b}{R_a} = 531{,}9$$

Fazendo $R_a = 1K8$, $R_b = 1M$

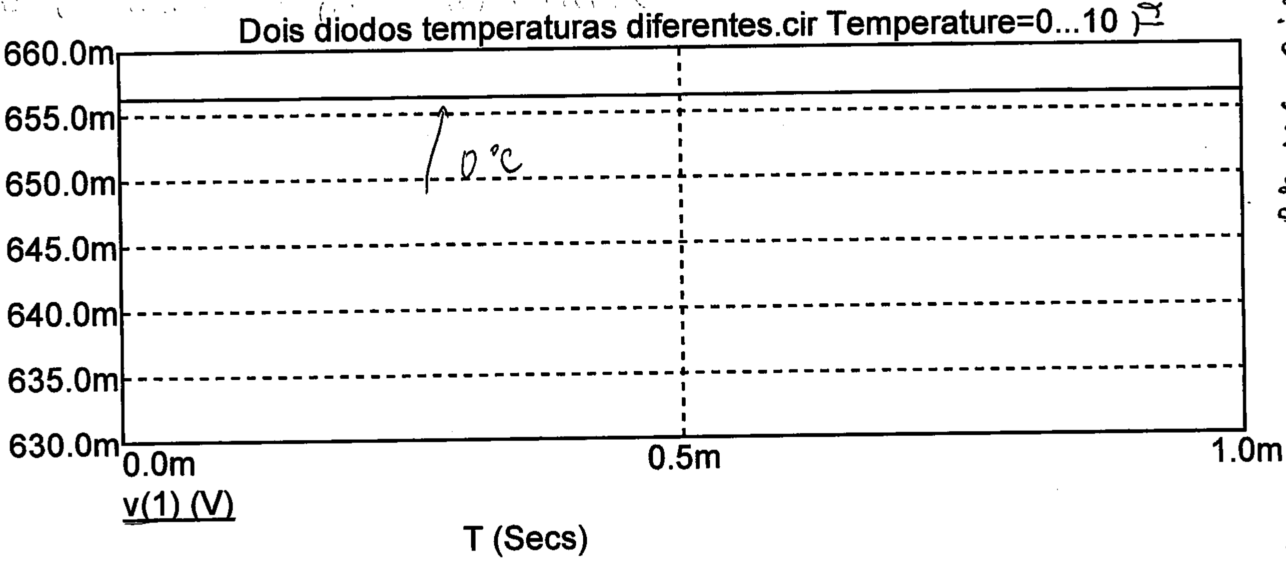
Escolhendo $I_D = 1\,mA$ e lembrando da massa virtual

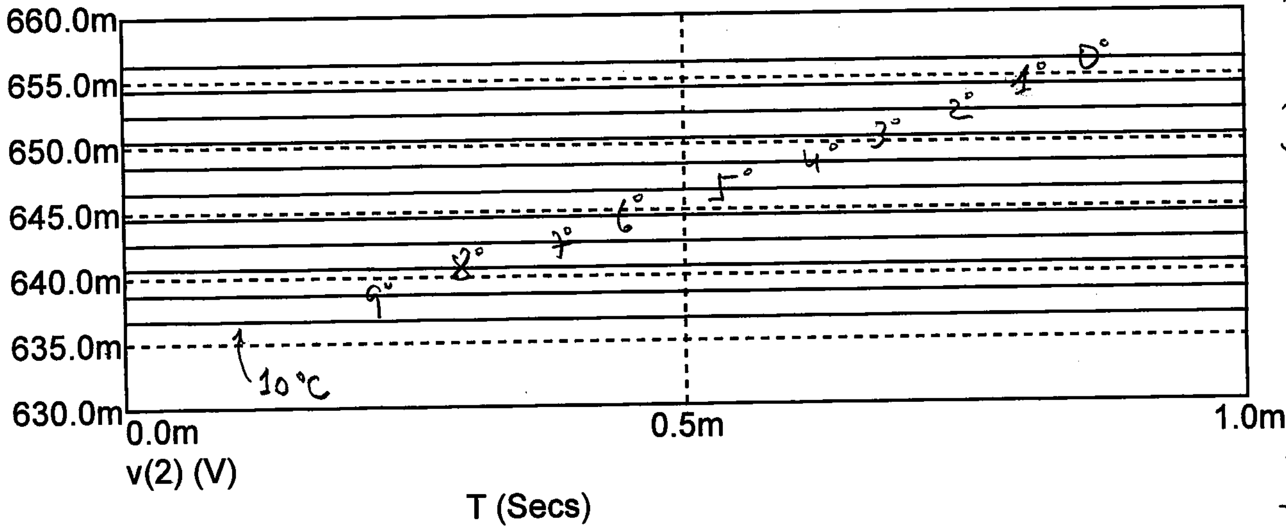
$R_1 = R_2 = V_R \cdot I_D = 5 \cdot 1\,mA$

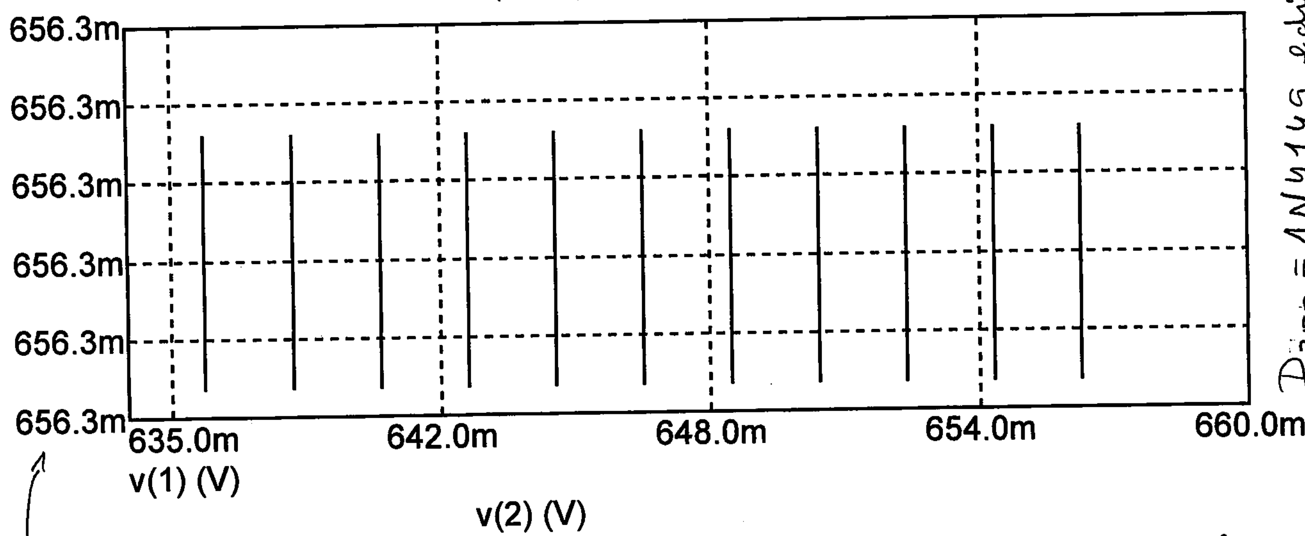
$R_1 = R_2 = 5K$



Transient Limits:
Temperature LINEAR 10,0,1







D_{ZERO} = 1N4149 editado T_abs = 0 (°C) → Fica sempre em 0°C nas simulações

D_{TEMP} = 1N4150 editado com os mesmos parâmetros do D_{ZERO} e T_abs = undefined → Temperature muda conforme o pedido

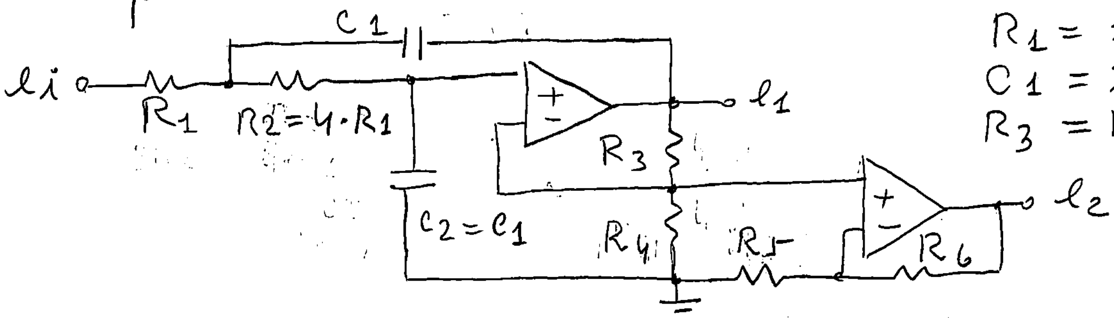
mesmo valor! coloque auto no Y RANGE. Ao simular de novo dá erro então coloque auto novamente.

Deseja-se estudar (e corrigir) os efeitos do fator de qualidade (φ) do filtro que será instalado em um equipamento de áudio. Como em filtros mais simples o fator de qualidade é dependente do ganho na faixa de passagem (Ho), foi proposta a topologia a seguir para corrigir esta característica.

a) Analise a topologia, identifique o filtro básico, equacione seus 3 parâmetros em formato literal e depois coloque os valores numéricos. Analise os resultados e confirme a dependência.

b) Equacione o resto do circuito e determine o ganho total. Analise e confirme a independência.

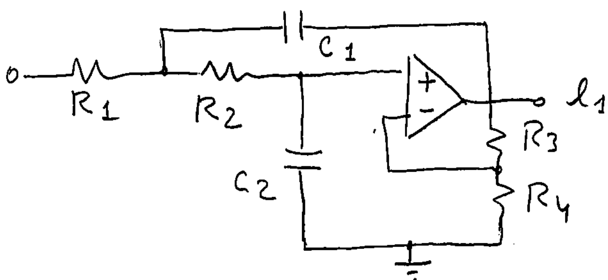
c) Adicione um ajuste que permite variar o fator de qualidade entre 0,5 e 4,0 mantendo o ganho total fixo em 2,5. Calcule o valor dos componentes ou da relação entre eles.



$R_1 = 1K5$
$C_1 = 3n3$
$R_3 = R_4$

P2 2011/1

a) Filtro básico:



comparando a função de transferência do filtro com a forma padrão:

$$W_o^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}$$

$$W_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad //$$

$$W_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot 4 \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot C_1}}$$

$$W_o = \frac{1}{2 \cdot R_1 \cdot C_1} \quad //$$

$$W_o = \frac{1}{2 \cdot 1K5 \cdot 3n3}$$

$W_o = 101\,K\ rad/s = 2\pi f_o$

$f_o = 16\,KHz$ //

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 \cdot C_1} + \frac{1-K}{R_2\, C_2}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}\left(\frac{1}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1-K}{R_2 \cdot C_2}\right)}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}\left(\frac{R_2 \cdot C_2 + R_1 \cdot C_2 + R_1 \cdot C_1 \cdot (1-K)}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}\right)}$$

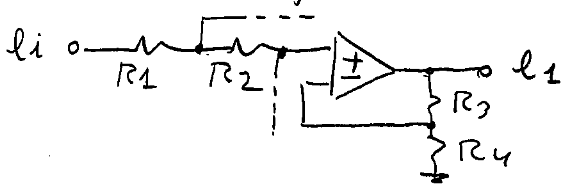
$$\varphi = \frac{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}{C_2(R_1+R_2) + R_1 \cdot C_1 \cdot (1-K)} \rightarrow \varphi = \frac{2}{6-K} \quad // \quad (1)$$

Existe dependência entre φ e K //

Por último, $H_0 = K$.

Equacionando o bloco de ganho:

Quando $\omega = 0$ (DC) os capacitores são circuito aberto e fica:



$e_+ = e_i$

$e_- = e_1 \frac{R_4}{R_3+R_4}$

Igualando e isolando e_1:

$e_1 = e_i \frac{R_3+R_4}{R_4}$

$e_1 = e_i \cdot \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)$ Amplif. não-inversor. // (3)

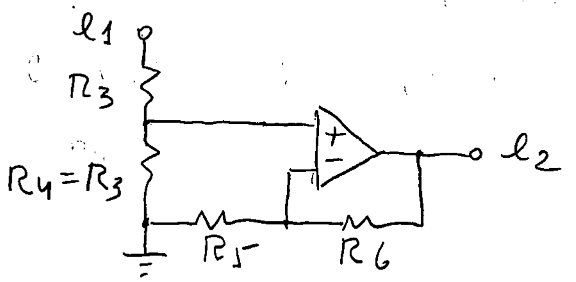
$e_1 = e_i \left(1 + \frac{R_3}{R_3}\right) \rightarrow e_1 = 2 \cdot e_i$

Ou seja; $K = \frac{e_1}{e_i} = 2$ (2)

Levando em (1):

$\varphi = \frac{2}{6-2} \rightarrow \varphi = 0{,}5$ //

b) Equacionando o resto do circuito:



$e_+ = e_1 \frac{R_4}{R_3+R_4}$

$e_- = e_2 \frac{R_5}{R_5+R_6}$

Igualando e isolando e_2:

$$\frac{e_1 \cdot R_4}{R_3+R_4} = \frac{e_2 \cdot R_5}{R_5+R_6}$$

$$e_2 = \frac{e_1 \cdot R_4 \cdot (R_5+R_6)}{R_5 \cdot (R_3+R_4)} \quad //$$

Usando (2) e os valores:

$$e_2 = \frac{2 \cdot e_i \cdot R_3 \, (R_5+R_6)}{R_5 \cdot (R_3+R_3)}$$

$$e_2 = e_i \frac{R_5+R_6}{R_5} \rightarrow e_2 = e_i \cdot \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \quad //$$

Agora o ganho do filtro modificado não depende do K //

Para um ganho total de 2,5:

$e_2 = 2{,}5 \cdot \cancel{e_i} = \cancel{e_i} \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right)$

$\frac{R_6}{R_5} = 1{,}5$ Fazendo $R_5 = 10k$ //

$R_6 = 15k$ //

c) Para ajustar o φ entre 0,5 e 4 vamos variar K:

$\varphi = 0{,}5 \rightarrow K = 2$ como já foi calculado.

Para $\varphi = 4$ usamos (1):

$4 = \frac{2}{6-K} \rightarrow K = 5{,}5$ //

Usando (3):

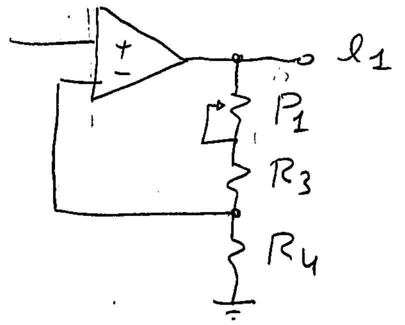
$$K = \frac{e_1}{e_i} = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)$$

$$5,5 = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)$$

Então:

$$\frac{R_3}{R_4} = 4,4$$

colocando um potenciômetro e resistor limitador de curso:



com $P_1 = 0$, $R_3 = R_4$; $K = 2$ e $\varphi = 0,5$

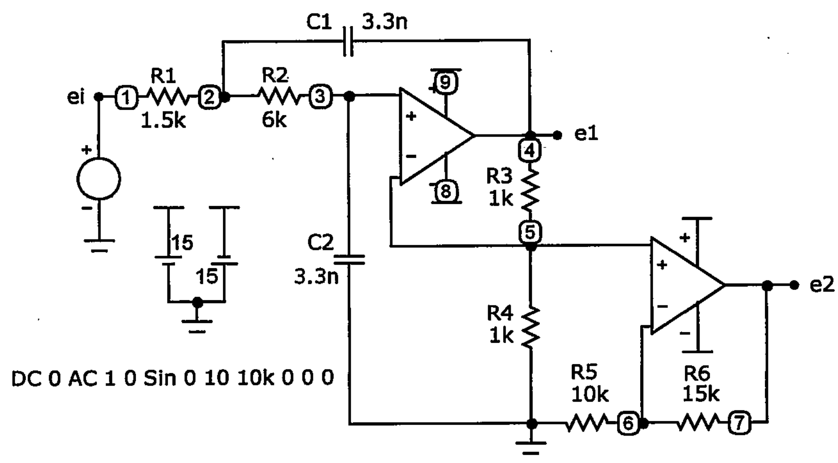
com valor máximo em P1:

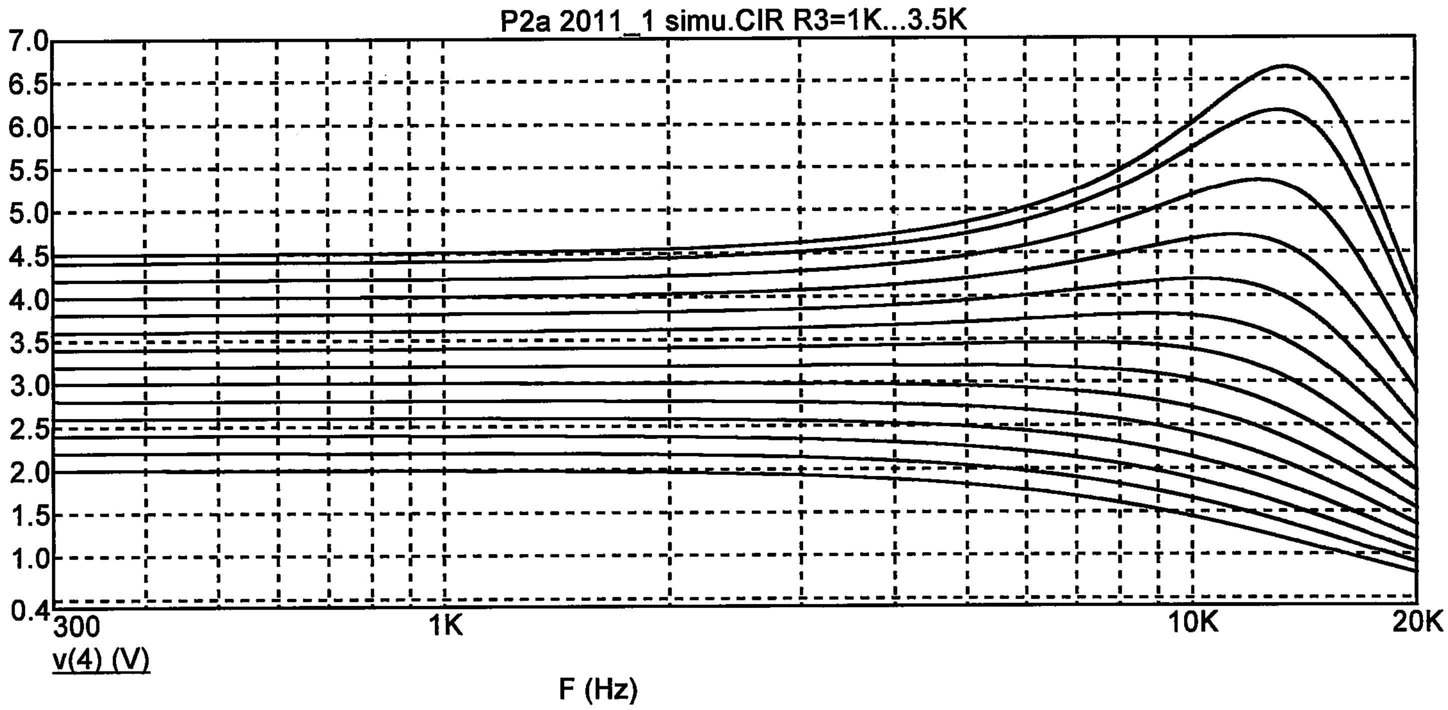
$$\frac{P_1 + R_3}{R_4} = 4,4$$

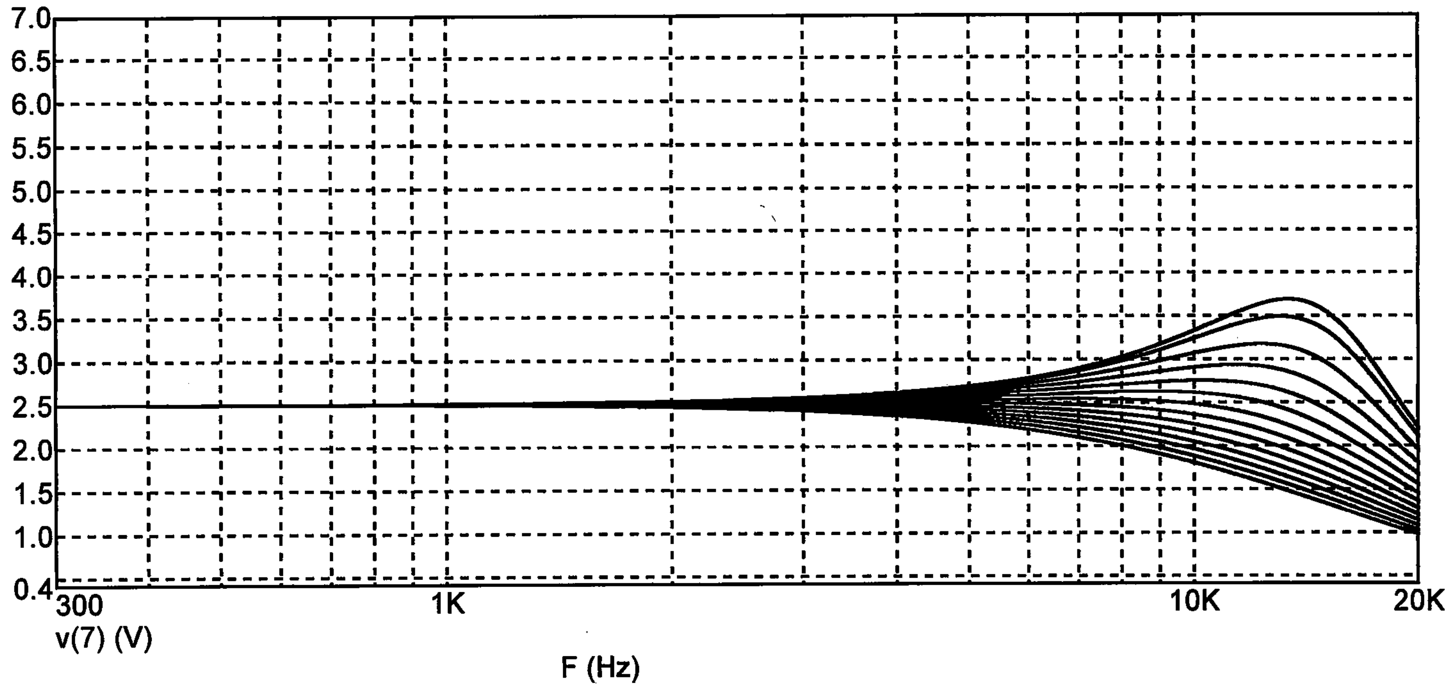
Logo:

$P_1 = 4,4 \cdot R_4 - R_3$ como $R_3 = R_4$:

$P_1 = 3,4 \cdot R_4$ //


C1 3.3n
R1
R2
ei
1
2
3
1.5k
6k
9
8
4
e1
R3
1k
5
C2
3.3n
15
15
R4
1k
e2
DC 0 AC 1 0 Sin 0 10 10k 0 0 0
R5
10k
R6
15k
6
7


P2a 2011_1 simu.CIR R3=1K...3.5K
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.4
300
1K
10K
20K
v(4) (V)
F (Hz)

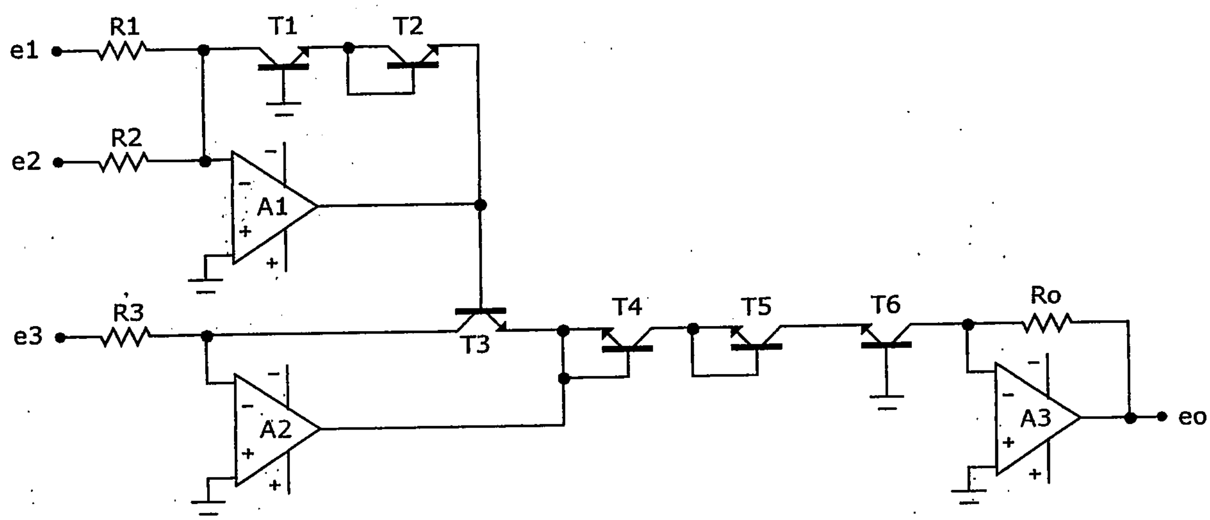

7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.4
300
1K
10K
20K
v(7) (V)
F (Hz)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2011/2

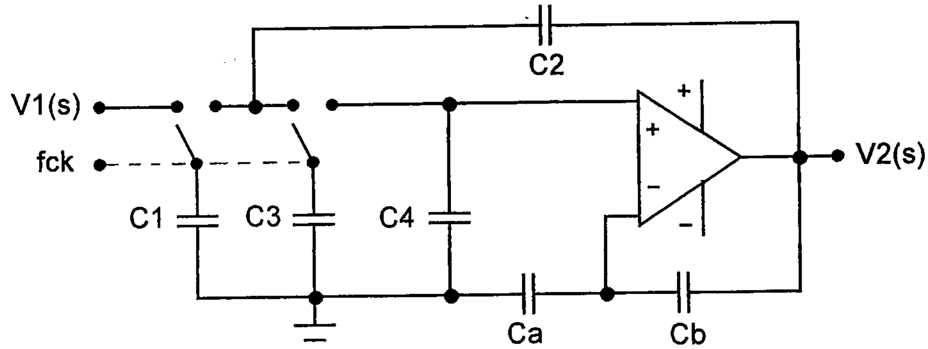
Prova 2 6/12/2011

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1) Equacione o circuito a seguir com o objetivo de obter a saída e_O em função das entradas, documentando cada etapa com textos, equações (em formato literal primeiro) e esquemas pois isso vai ser avaliado sempre. Use hierarquia, organização e método. Especifique o valor dos resistores para manter $I_C \leq 1mA$ para evitar auto-aquecimento e $e_O \leq 10$ Volts em qualquer situação, mesmo que as entradas alcancem 1000Volts. Apresente a equação final com estes valores aplicados. Transistores na mesma temperatura, alimentação simétrica de 15V.



2) Estude a topologia do filtro a seguir.
a) Descreva e classifique a função
b) Equacione os 3 parâmetros, colocando resistores comuns no lugar dos capacitores chaveados
c) Volte a colocar os capacitores chaveados nas equações H_o, ω_o e Q obtidas no ítem b) e melhore a apresentação
d) Calcule o valor de todos os componentes para implementar um filtro com frequência de corte ajustável entre 14Hz e 48Hz com fator de qualidade 1,8. Use $C_1 = C_3$, $C_2 = C_4 = C_a = 27nF$ e uma frequência de clock 5 vezes maior que a atual frequência de corte do filtro.
Descreva com textos, equações e esquemas todas as etapas da solução.



SALEN-KEY 2ª ORDEM

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{K}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_4}}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_1\cdot C_2}+\dfrac{1}{R_3\cdot C_2}+\dfrac{1-K}{R_3\cdot C_4}\right]+\dfrac{1}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_4}} = \frac{H_0\cdot\omega_0{}^2}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0{}^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{s^2}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_4\cdot C_1}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_3}+\dfrac{1-K}{R_2\cdot C_1}\right]+\dfrac{1}{R_2\cdot R_4\cdot C_1\cdot C_3}} = \frac{H_0\cdot s^2}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0{}^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{S-K}{R_1\cdot C_5}}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_1\cdot C_5}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_5}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_3}\right]+\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)\Big/R_4\cdot C_3\cdot C_5} = \frac{H_0\cdot\dfrac{\omega_0}{Q}\cdot s}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0{}^2}$$

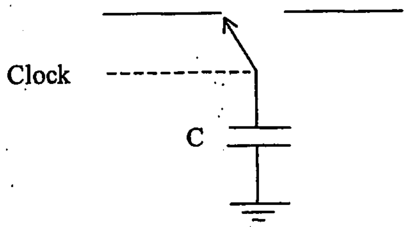
$$V_d = V_{be} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

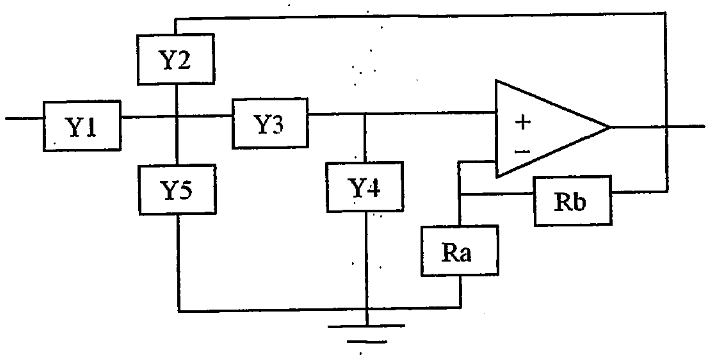
Constante de Boltzman: $k = 1{,}38\ 10^{-23}$ J/K $\quad K = 273 + °C$

Carga do elétron: $q = 1{,}6\ 10^{-19}$ C

Capacitor Chaveado:

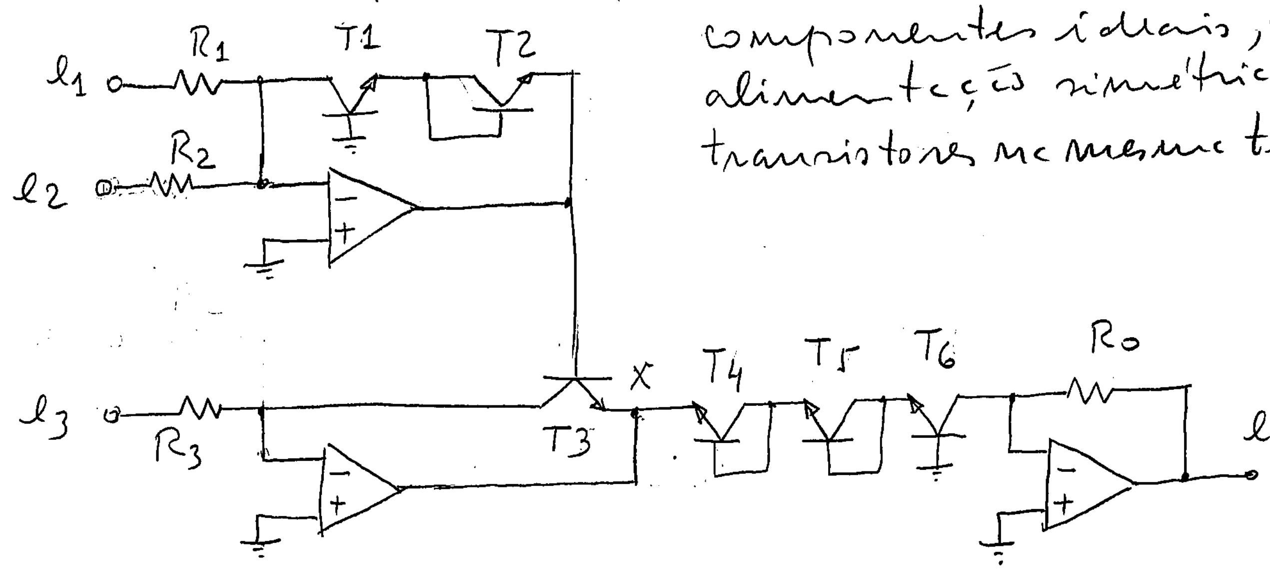
$$R = \frac{1}{C\cdot f_c}$$





Equacione o circuito a seguir com o objetivo de obter a saída e_o em função das entradas. Especifique o valor dos resistores para manter $I_c \le 1mA$ e $e_o \le 10$ Volts em qualquer situação, mesmo que as entradas (positivas) alcancem 1000 Volts.

componentes ideais, alimentação simétrica 15V, transistores na mesma temper.



Circuito log e antilog. Procurar o domínio dos logs: ponto X. Igualando o KVL de X até a massa pelo lado dos logs com o KVL pelo lado dos antilogs:

$$-V_{BE3} - V_{BE2} - V_{BE1} = -V_{BE4} - V_{B5} - V_{B6}$$

Como $V_{BE} = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$ e cancelando o sinal −:

$$\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c3}}{I_o}\right) + \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) + \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) =$$

$$= \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right) + \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c5}}{I_o}\right) + \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{c6}}{I_o}\right)$$

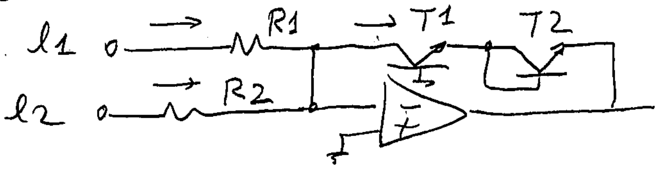
como $\ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) = \ln(I_{c1}) - \ln(I_o)$ etc. e os trans. estão na mesma temperatura, cancelamos $\frac{kT}{q}$ e $\ln(I_o)$:

$$\ln(I_{c3}) + \ln(I_{c2}) + \ln(I_{c1}) = \ln(I_{c4}) + \ln(I_{c5}) + \ln(I_{c6})$$

como $\ln(a) + \ln(b) = \ln(a \cdot b)$:

$$\cancel{\ln}(I_{c1}\cdot I_{c2}\cdot I_{c3}) = \cancel{\ln}(I_{c4}\cdot I_{c5}\cdot I_{c6}) \quad (1)$$

Devido à massa virtual, KCL no e− de A1 dá:



$$I_{c1} = I_{c2} = \frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \quad (2)$$

Da mesma forma:

$$i_{c3} = \frac{e_3}{R_3}$$

$$i_{c6} = i_{c5} = i_{c4} = \frac{e_o}{R_o}$$

Levando em (1):

$$\left(\frac{e_1}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}\right)\cdot\left(\frac{e_1}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}\right)\cdot\frac{e_3}{R_3} =$$

$$= \frac{e_o}{R_o}\cdot\frac{e_o}{R_o}\cdot\frac{e_o}{R_o}$$

$$\left(\frac{e_1}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}\right)^2\cdot\frac{e_3}{R_3} = \left(\frac{e_o}{R_o}\right)^3$$

Isolando e_o:

$$e_o = \sqrt[3]{\left(\frac{e_1}{R_1}+\frac{e_2}{R_2}\right)^2\cdot\frac{e_3}{R_3}\cdot R_o^3} \quad (3)$$

Personalizando:
Entrada até 1000 Volts
e $i_c \leq 1\,mA$: a maior corrente ocorre em T1, T2.
Usando (2):

$$I_{c1} = I_{c2} = 1\,mA = \frac{1000}{R_1}+\frac{1000}{R_2}$$

Então, $R_1 = R_2 \geq 2\cdot 10^6\ \Omega$

Escolhido $R_1 = R_2 = 2{,}2\ M\Omega$

Para uniformizar, $R_3 = 2{,}2\,M\Omega$

Nesta situação $e_o \leq 10$ Volts:
Usando (3)

$$10 = \sqrt[3]{\left(\frac{1000}{2M2}+\frac{1000}{2M2}\right)^2\cdot\frac{1000}{2M2}\cdot R_o^3}$$

$$10 = R_o\sqrt[3]{3{.}756\cdot 10^{-10}}$$

$$10 = R_o\cdot 7{,}215\cdot 10^{-4}$$

$$R_o = 13{,}86\ K\Omega$$

Aplicando em (3):

$$e_o = \sqrt[3]{\left(\frac{e_1}{2M2}+\frac{e_2}{2M2}\right)^2\cdot\frac{e_3}{2M2}\cdot(13{,}8\cdot 10^3)^3}$$

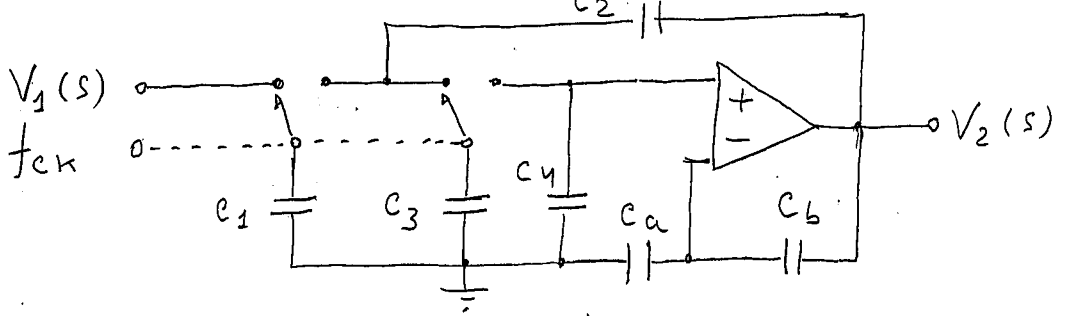
$$e_o = 6{,}3\cdot 10^{-3}\sqrt[3]{(e_1+e_2)^2\cdot e_3}$$

confirmando:

$$e_o = 6{,}3\cdot 10^{-3}\sqrt[3]{(1000+1000)^2\cdot 1000}$$

$$e_o = 10$$

Estude a topologia a seguir e: a) descreva e classifique. b) Equacione os 3 parâmetros que a caracterizam, em formato literal e completo.
c) Configure para que a sua frequência de corte excursione entre 14 Hz e 48 Hz, com fator de qualidade de 2,5. Para evitar ruídos de quantização, use um clock ao redor de 30 vezes a frequência de corte do momento. Para uniformizar as respostas, use capacitores de 10 mF (ou menos). Componentes ideais.
Como sempre, todas as etapas devem ser amplamente descritas e equacionadas pois isso será avaliado.



$C_1 = C_3 = 1mF$
$C_2 = 4 \cdot C_4$
Precisa ser $C_4 > C_2$

$$\frac{V_1(s)}{V_2(s)} = \frac{\dfrac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}}{s^2 + \left(\dfrac{1}{R_1 \cdot C_2} + \dfrac{1}{R_3 C_2} + \dfrac{1-K}{R_3 \cdot C_4}\right)s + \dfrac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}} = \frac{H_0 W_0^2}{s^2 + \dfrac{W_0}{Q} s + W_0^2}$$

---

a) Filtro Passa-Baixas tipo Salen-Key onde R_1 e R_3 estão implementados por capacitores chaveados sob comando do clock f_{ck}.

b) Comparando a equação do filtro com a forma padrão obtemos os 3 parâmetros:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}$$

Na estrutura cap. chaveado: $R = \dfrac{1}{C \cdot f_{ck}}$. Substituindo:

$$W_0^2 = \frac{1}{\dfrac{1}{C_1 \cdot f_{ck}} \cdot \dfrac{1}{C_3 \cdot f_{ck}} \cdot C_2 \cdot C_4}$$

Como $C_1 = C_3 = C$ e $C_2 = 4 \cdot C_4$

$$W_0^2 = \frac{C^2 \cdot f_{ck}^2}{4 \cdot C_4 \cdot C_4}$$

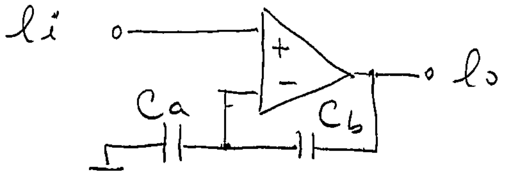
$$W_0 = \frac{C \cdot f_{ck}}{2 \cdot C_4}$$ // mas $W_0 = 2\pi f_0$

$$f_0 = \frac{C \cdot f_{ck}}{4 \cdot \pi \cdot C_4}$$ //

$$H_0 W_0^2 = \frac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}$$

Então $H_0 = K$

Ganho na faixa de passagem — Ganho do amplificador.



circuito linear, $e+ = e-$:

$e+ = ei$

$$e- = eo \frac{X_{ca}}{X_{ca}+X_{cb}} = eo \frac{\frac{1}{s \cdot C_a}}{\frac{1}{s \cdot C_a} + \frac{1}{s \cdot C_b}}$$

Igualando:

$$ei = eo \frac{1}{\cancel{s} \cdot C_a \left(\frac{1}{\cancel{s} \cdot C_a} + \frac{1}{\cancel{s} \cdot C_b}\right)}$$

$$ei = eo \frac{1}{1 + C_a/C_b} \quad \text{Então:}$$

$$K = \frac{eo}{ei} = 1 + \frac{C_a}{C_b} \ //$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1-K}{R_3 C_4}$$

colocando relações já deduzidas:

$$\frac{c \cdot f_{ck}}{2 \cdot C_4 \cdot \varphi} = \frac{c \cdot f_{ck}}{4 \cdot C_4} + \frac{c \cdot f_{ck}}{4 \cdot C_4} + \frac{c \cdot f_{ck}\left(1 - \left(1 + \frac{C_a}{C_b}\right)\right)}{C_4}$$

$$\frac{1}{2 \cdot \varphi} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + 1 - \left(1 + \frac{C_a}{C_b}\right)$$

$$\varphi = \frac{1}{1 - 2\frac{C_a}{C_b}} = \frac{1}{\frac{C_b - 2C_a}{C_b}} \quad \text{Então:}$$

$$\varphi = \frac{C_b}{C_b - 2C_a} \ //$$

c) Fator de qualidade:

$$\varphi = 2{,}5 = \frac{C_b}{C_b - 2 C_a}$$

$$2{,}5\, C_b - 5\, C_a = C_b \rightarrow C_a = 0{,}3 \cdot C_b$$

Fazendo $C_a = 10\,nF$ vem:

$$C_b = 10\,nF \cdot 0{,}3 = 3\,nF \ //$$

O ganho do operacional é:

$$K = 1 + \frac{C_a}{C_b} = 1 + \frac{10}{3} \rightarrow K = 4{,}33$$

Menor frequência:

$$f_{o\,min} = 14 = \frac{c \cdot f_{ck}}{4 \cdot \pi \cdot C_4}$$

Conforme solicitado:

$$f_{ck} = 30 \cdot f_0 = 30 \cdot 14 = 420\ Hz$$

$C_2 = 4 C_4 \rightarrow$ Fazendo $C_2 = 10\,nF$

então $C_4 = 2{,}5\,nF$

Substituindo:

$$14 = \frac{c \cdot 420}{4 \cdot \pi \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-9}}$$

$$c = 1{,}047\ nF$$

Usaremos $c = c_1 = c_3 = 1\,nF$

Maior frequência:

$$f_{o\,max} = 48\,Hz = \frac{1\,nF \cdot f_{ck}}{4 \cdot \pi \cdot 2{,}5\,nF}$$

$$f_{ck} = 1.507\ Hz \ //$$

Proporção:

$$\frac{f_{ck}}{f_{o\,max}} = \frac{1507}{48} = 31{,}4$$

que é maior do que 30 vezes.

$f_0 = 14 \dots 48\,Hz$

Versão mono:

— Equacione colocando resistores comuns no lugar dos capacitores chaveados e obtenha os parâmetros do filtro. Só então implemente com os cap. chaveados.

— Valores:

$$C_1 = C_3 = C_H$$

$$C_2 = C_4 = 27\,mF$$

$$\varphi = 1{,}8$$

$$f_{CH} = 5 \cdot f_0$$

Equacionando os parâmetros do filtro:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 C_3 \; C_2 \; C_4}$$

como $C_1 = C_3 \rightarrow R_1 = R_3 = R$

$$W_0^2 = \frac{1}{R \cdot R \cdot C \cdot C} \rightarrow W_0 = \frac{1}{R \cdot C}$$

$$H_0 W_0^2 = \frac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}$$

$$H_0 \frac{1}{R \cdot R \cdot C \cdot C} = \frac{K}{R \cdot R \cdot C \cdot C}$$

$$H_0 = K \;//$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_1 \cdot C_2} + \frac{1}{R_3 \cdot C_2} + \frac{1-K}{R_3 \cdot C_4}$$

$$\frac{1}{\varphi \cdot \cancel{R \cdot C}} = \frac{1}{\cancel{R \cdot C}} + \frac{1}{\cancel{R \cdot C}} + \frac{1-K}{\cancel{R \cdot C}}$$

$$\frac{1}{\varphi} = 1 + 1 + 1 - K \rightarrow \varphi = \frac{1}{3-K} \;//$$

colocando os cap. chaveados:

$$R_1 = R_3 = R = \frac{1}{C_K \cdot f_{CH}} \;//$$

Fica então:

$$W_0 = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{\frac{1}{C_H \cdot f_{CH}} \cdot C}$$

$$W_0 = \frac{C_H \cdot f_{CH}}{C} \;//$$

como $W_0 = 2\pi f_0$

$$f_0 = \frac{C_H \cdot f_{CH}}{2 \cdot \pi \cdot C} \;//$$

Como $K = 1 + \frac{C_a}{C_b}$)

$$\varphi = \frac{1}{3-K} = \frac{1}{3 - 1 - \frac{C_a}{C_b}}$$

$$\varphi = \frac{1}{2 - \frac{C_a}{C_b}} \;//$$

Colocando os valores:

$\underline{f_0 = 14\,Hz}$ e $f_{CH} = 5 \cdot 14 = 70\,Hz$

$$14 = \frac{C_H \cdot 70}{2 \cdot \pi \cdot 27 \cdot 10^{-9}}$$

Então $C_H = C_1 = C_3 = 33{,}9\,mF \;//$

$\underline{f_0 = 48\,Hz}$:

$$48 = \frac{33{,}9\,10^{-9} \cdot f_{CH}}{2 \cdot \pi \cdot 27 \cdot 10^{-9}}$$

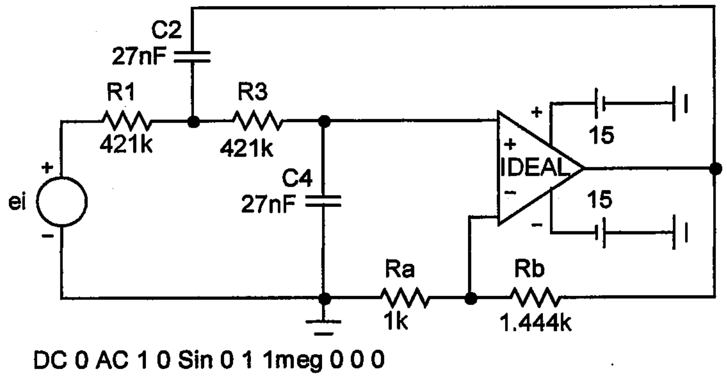
Então $f_{CH} = 240 = 5 \cdot 48\,Hz$ O.K.

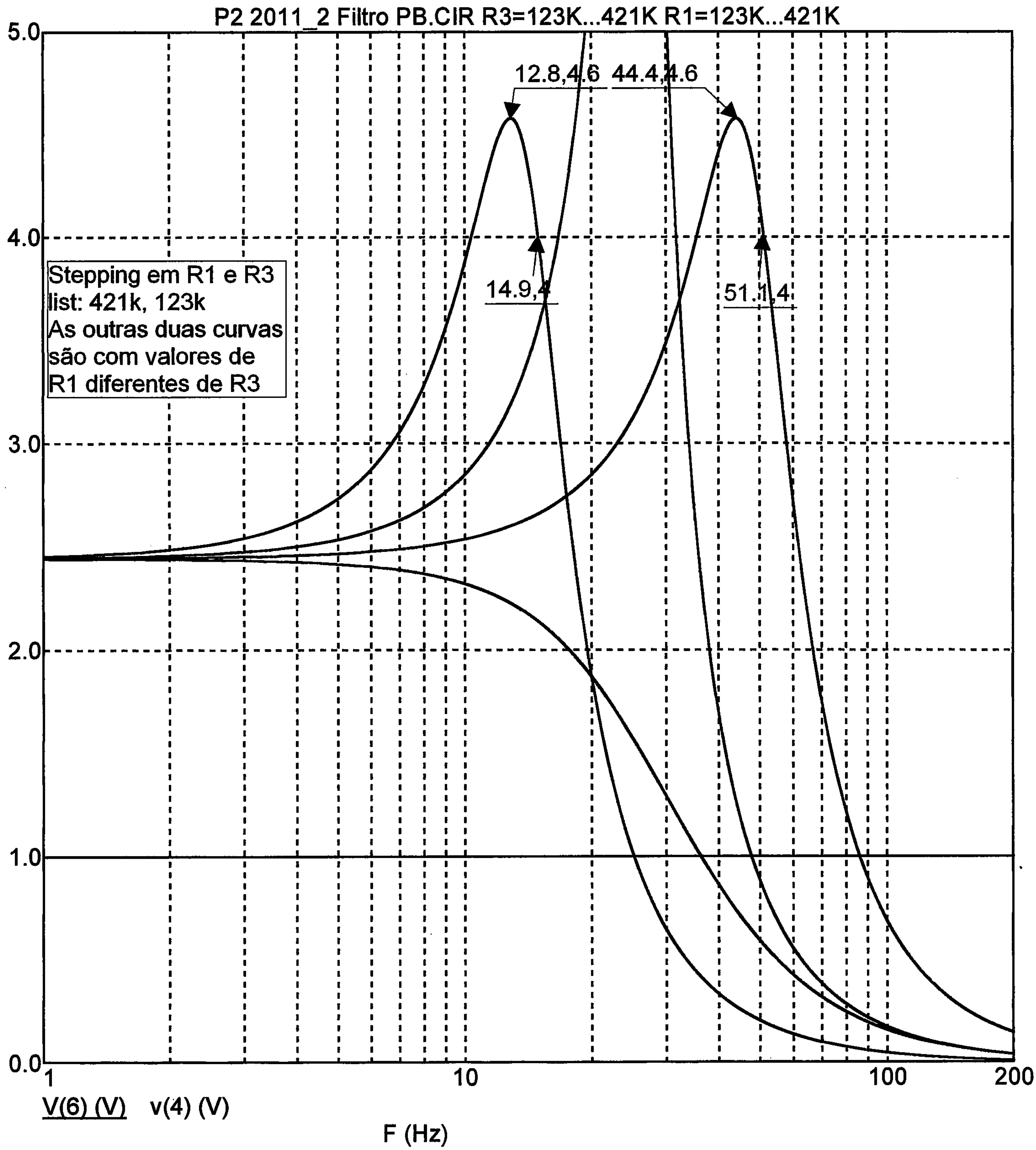
$\underline{\varphi = 1{,}8}$:

$$\varphi = \frac{1}{3-K} = 1{,}8 \rightarrow K = 2{,}444 \;//$$

como $K = 1 + \frac{C_a}{C_b} = 2{,}444$

$\frac{C_a}{C_b} = 1{,}444$ Fazendo $C_a = 27\,mF$ então $C_b = 18{,}7\,mF$ //


C2
27nF
R1
421k
R3
421k
C4
27nF
ei
IDEAL
15
15
Ra
1k
Rb
1.444k
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 1meg 0 0 0

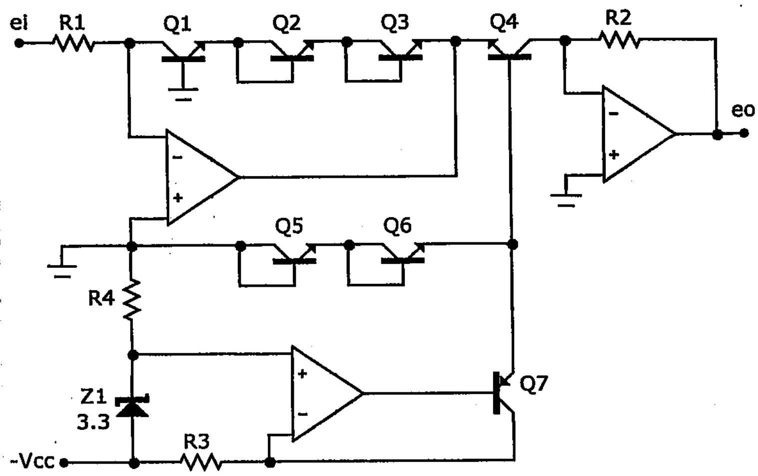

P2 2011_2 Filtro PB.CIR R3=123K...421K R1=123K...421K
12.8,4.6
44.4,4.6
14.9,4
51.1,4
Stepping em R1 e R3
list: 421k, 123k
As outras duas curvas
são com valores de
R1 diferentes de R3
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1
10
100
200
V(6) (V) v(4) (V)
F (Hz)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2012/1

Prova 2 3/7/2012

Nome: GABARITO **Turma:** ______

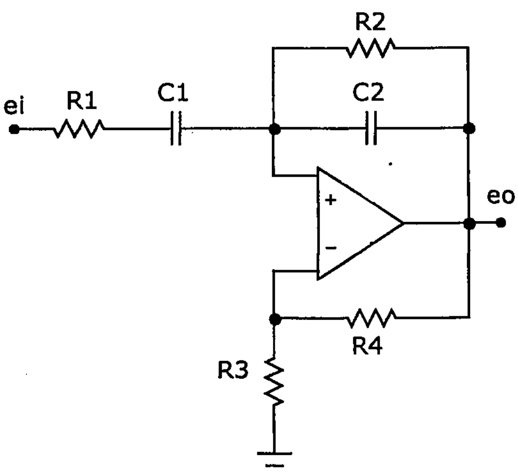
1. Equacione o circuito com o objetivo de obter a sua função de transferência em formato literal, lembrando de descrever todo o seu trabalho com textos equações e diagramas. Dimensione os componentes mantendo em qualquer transistor, $I_C \leq 2{,}2mA$. Alimentação simétrica de $\pm$ 15V, transistores de alto ganho na mesma temperatura, entrada dentro dos limites da alimentação. Por último, calcule a equação personalizada de e_O.

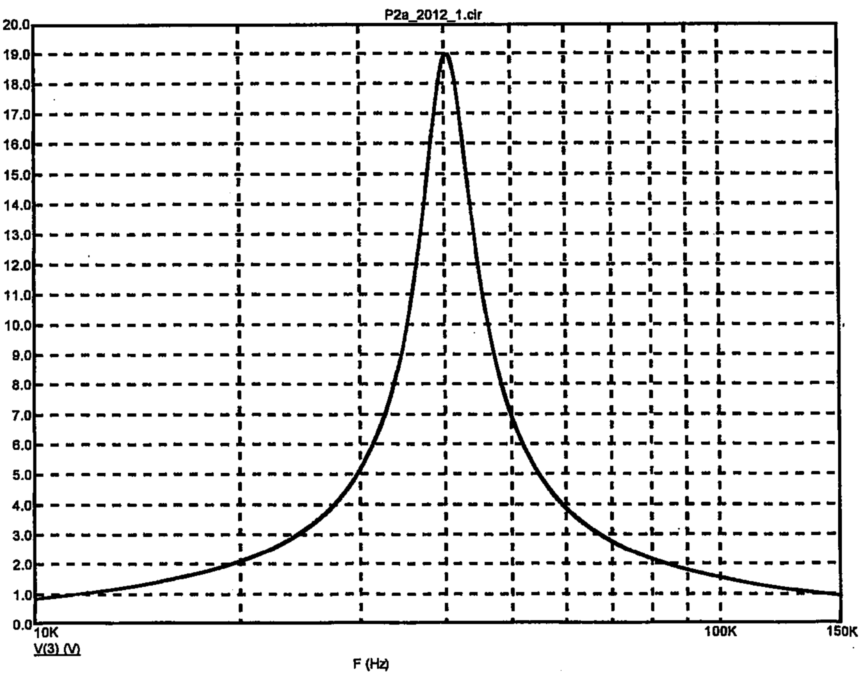


2. Examine o circuito a seguir e descreva a sua topologia, comparando com topologias e funções já conhecidas. Usando a função de transferência, equacione em formato literal H_O, ω_O e Q em função dos componentes e do ganho do amplificador apenas, sempre justificando cada etapa com textos, equações e diagramas.
   A seguir, aplique o método de fazer C1 = C2 e R1 = m · R2 com m = 4 e calcule H_O, ω_O e Q novamente. Por último, calcule os componentes do circuito para reproduzir a curva abaixo e assim compor um detetor de sinais ultrassônicos ao redor dos 40kHz, usados em alarmes e detetores de obstáculos. Impedância de entrada mínima de 8,2K e R3 = 68k para uniformizar as respostas. Componentes ideais, arredondamento em 3 dígitos significativos.

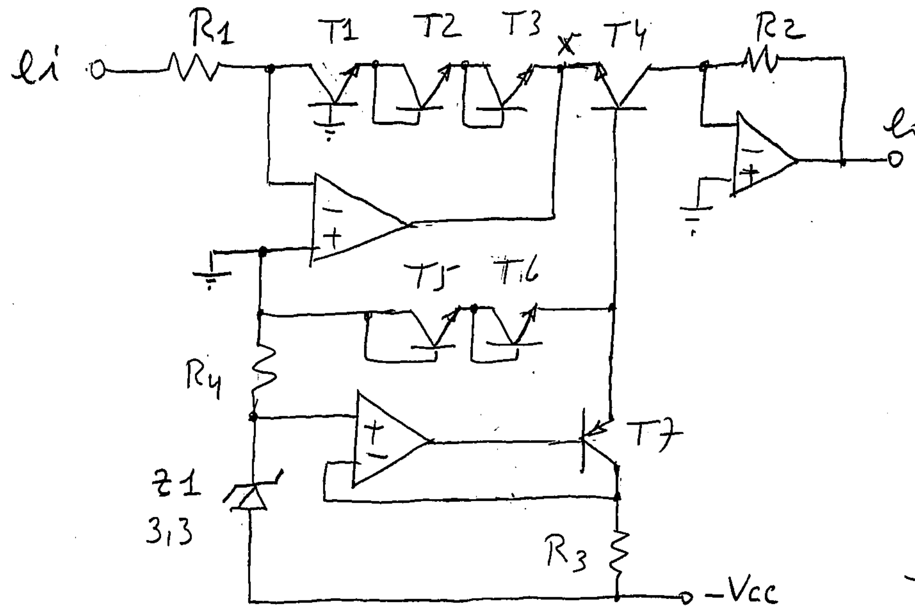
$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right| = \frac{S \cdot \frac{K}{1-K} \cdot \frac{1}{R_1 \cdot C_2}}{S^2 + S\left[\frac{1}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 \cdot C_2} + \frac{1}{R_1 \cdot C_2} + \frac{1}{R_1 \cdot C_2 \cdot (1-K)}\right] + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right| = \frac{H_0 \cdot \frac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$





Equacione o circuito com o objetivo de obter sua função de transferência em formato literal.



Dimensione os componentes para que a corrente de coletor em qualquer transistor não ultrapasse 2,2mA. Alimentação simétrica de 15 Volts. Entrada dentro do limite de alimentação. Transistores de alto ganho e na mesma temperatura. Por último, calcule a equação de eo personalizada

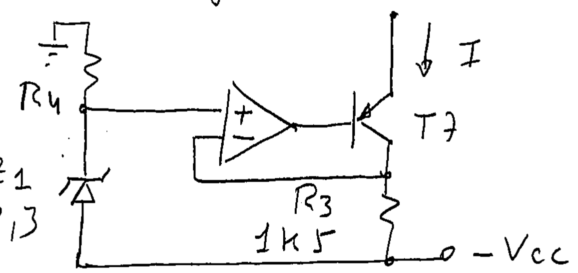
P2 2012-1

Topologia: conversores tipo log e anti-log, fonte de corrente.

Equacionamento:

$$V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_0}\right)$$

Bloco de fonte de corrente:



R4 polariza o zener:

$$e+ = V_z - V_{cc}$$

$$e- = I \cdot R_3 - V_{cc}$$

Igualando e isolando I:

$$V_z - \cancel{V_{cc}} = I \cdot R_3 - \cancel{V_{cc}}$$

$$I = \frac{V_z}{R_3} \text{ //}$$

Método para equacionar circuitos log, anti-log:

- Domínio dos logs: ponto X
- KVL para os dois lados até a massa:

$$\cancel{+}V_{BE3} \cancel{+} V_{BE2} \cancel{+} V_{BE1} = V_{BE4} \cancel{+} V_{BE6} \cancel{+} V_{BE5}$$

$$3 \cdot \cancel{\frac{k \cdot T}{q}} \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_0}\right) = \cancel{\frac{k \cdot T}{q}} \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_0}\right) + 2 \cdot \cancel{\frac{k \cdot T}{q}} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Devido à massa virtual,

$$I_{c1} = \frac{ei}{R_1} \quad I_{c4} = \frac{eo}{R_2} \quad e \quad I = \frac{V_z}{R_3} \quad (1)$$

Como $a \cdot \ln(b) = \ln(b^a)$:

$$\ln\left[\left(\frac{ei}{R_1 \cdot I_0}\right)^3\right] = \ln\left(\frac{eo}{R_2 \cdot I_0}\right) + \ln\left[\left(\frac{V_z}{R_3 \cdot I_0}\right)^2\right]$$

Como $\ln(a) + \ln(b) = \ln(a \cdot b)$ podemos cancelar os ln:

$$\left(\frac{ei}{R_0 \cdot I_0}\right)^3 = \frac{e_0}{R_2 \cdot I_0} \cdot \left(\frac{V_z}{R_3 \cdot I_0}\right)^2$$

$$\frac{ei^3}{R_0^3 \cdot \cancel{I_0^3}} = \frac{e_0 \cdot V_z^2}{R_2 \cdot R_3 \cdot \cancel{I_0^3}}$$

Isolando e_0:

$$e_0 = \frac{ei^3 \cdot R_2 \cdot R_3^2}{R_1^3 \cdot V_z^2} \quad // \quad (2)$$

Dimensionamento para:

$I_{c\,m\acute{a}x} = 2,2\,mA$

$ei_{m\acute{a}x} = V_{cc}$

$e_{o\,m\acute{a}x} = V_{cc}$

Usando (1):

$$I_{c1} = \frac{V_{cc}}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{15}{2,2 \cdot 10^{-3}} = 6818 \rightarrow R_1 = 6K8 \,//$$

$$I_{c4} = \frac{V_{cc}}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{15}{2,2 \cdot 10^{-3}} \rightarrow R_2 = 6K8 \,//$$

$$I = \frac{V_z}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{3,3}{2,2 \cdot 10^{-3}} \rightarrow R_3 = 1K5 \,//$$

Levando em (2):

$$e_0 = \frac{ei^3 \cdot 6,8 \cdot 1,5^2}{6,8^3 \cdot 3,3^2}$$

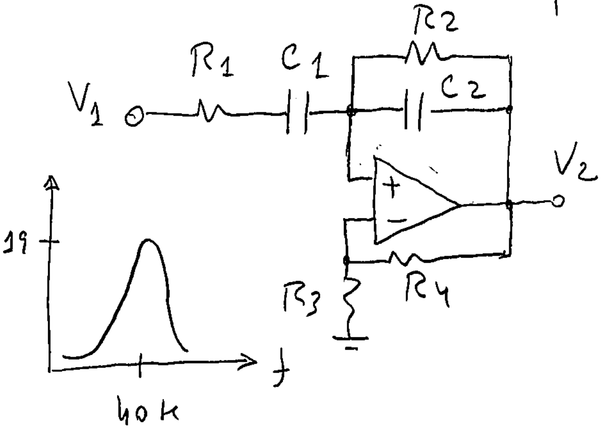
$$e_0 = 4,468 \cdot 10^{-3} \cdot ei^3 \,//$$

Examine o circuito a seguir e descreva a sua topologia, comparando com topologias (e funções) já conhecidas. Usando a função de transferência do circuito, equacione em formato literal H_0, ω_0 e φ em função dos componentes e do ganho apenas.

A seguir configure o circuito para detetar sinais ultrasonicos de 40 kHz, conforme a figura.

Impedância de entrada mínima 8,2K; $C_1 = C_2$, $R_1 = 4 \cdot R_2$ e $R_3 = 68K$ para uniformizar as respostas.

Descreva cada etapa. Arredondamento 3 dígitos.



$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{s\,\frac{K}{1-K}\,\frac{1}{R_1 \cdot C_2}}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_1 \cdot C_1} + \frac{1}{R_2 \cdot C_2} + \frac{1}{R_1 \cdot C_2\,(1-K)}\right] + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_0 \frac{\omega_0}{\varphi} s}{s^2 + \frac{\omega_0}{\varphi} s + \omega_0^2}$$

P2 2012-1

Comparando com a forma padrão de PF 2ª ordem:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

$$H_0 = \frac{K}{(1-K) \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right) + 1}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 \cdot C_2}{R_1 \cdot C_1}} + \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}} + \frac{1}{1-K}\sqrt{\frac{R_2 C_1}{R_1 C_2}}}$$

Ganho do amplificador não-inversor:

$$K = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad //$$

Personalizando:

$R_1 = 4 \cdot R_2$ e $C_1 = C_2 = C$:

$$\omega_0 = \frac{1}{2 \cdot R_2 \cdot C}$$

$$H_0 = \frac{K}{6 - 5K}$$

$$\varphi = \frac{2 - 2K}{6 - 5K}$$

Cálculo dos componentes:

Da curva do filtro obtemos:

$f_0 = 40 \cdot 10^3$ Hz

$H_0 = 19$

$$\varphi = \frac{f_0}{\Delta f_0}$$

Medindo 3 dB = 0,707 do ganho máximo:

$0{,}707 \cdot 19 = 13{,}4$

obtemos $\Delta f_0 = 6{,}4$ kHz

$$\varphi = \frac{40k}{6{,}4k} \cong 6$$

Escolhemos $R_1 = 8{,}2k$ para garantir impedância mínima de entrada.

Então, $R_2 = \frac{R_1}{4} = \frac{8,2k}{4}$

$R_2 = 2k$ //

$$W_0 = 2\cdot\pi\cdot f_0 = \frac{1}{2\cdot R_2\cdot C}$$

$$2\cdot\pi\cdot 40\cdot 10^3 = \frac{1}{2\cdot 2\cdot 10^3\cdot C}$$

$C = 0,95\cdot 10^{-9} \rightarrow C = 1n$ //

$$H_0 = 19 = \frac{k}{6-5k}$$

$114 - 95k = k$

$k = 1,213$ //

Ou então;

$$\varphi = 6 = \frac{2-2k}{6-5k}$$

$36 - 30k = 2 - 2k$

$K = 1,214$ //

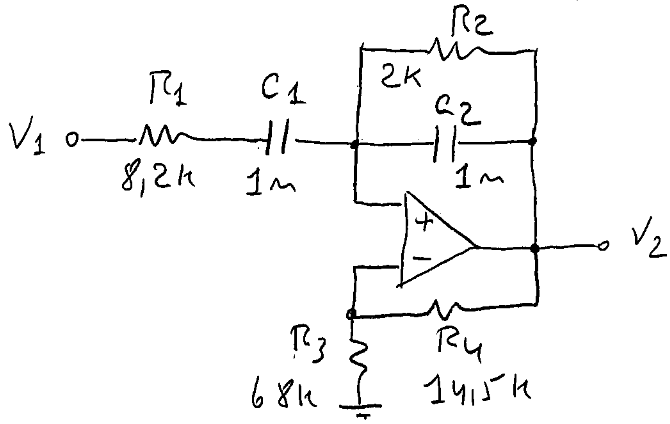
com $R_3 = 68k$,

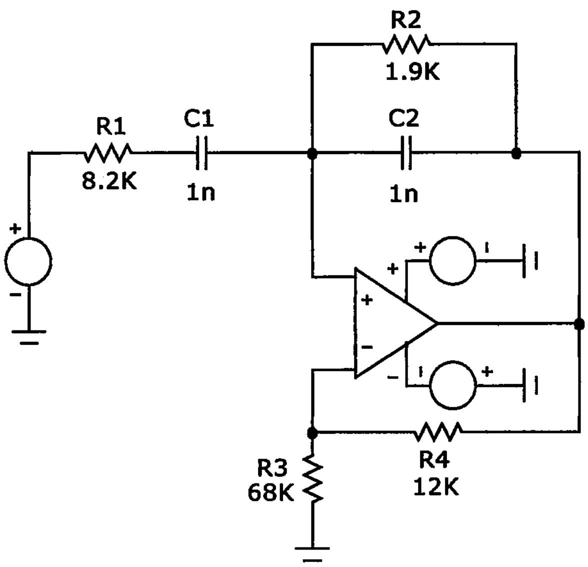
$$K = 1,213 = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

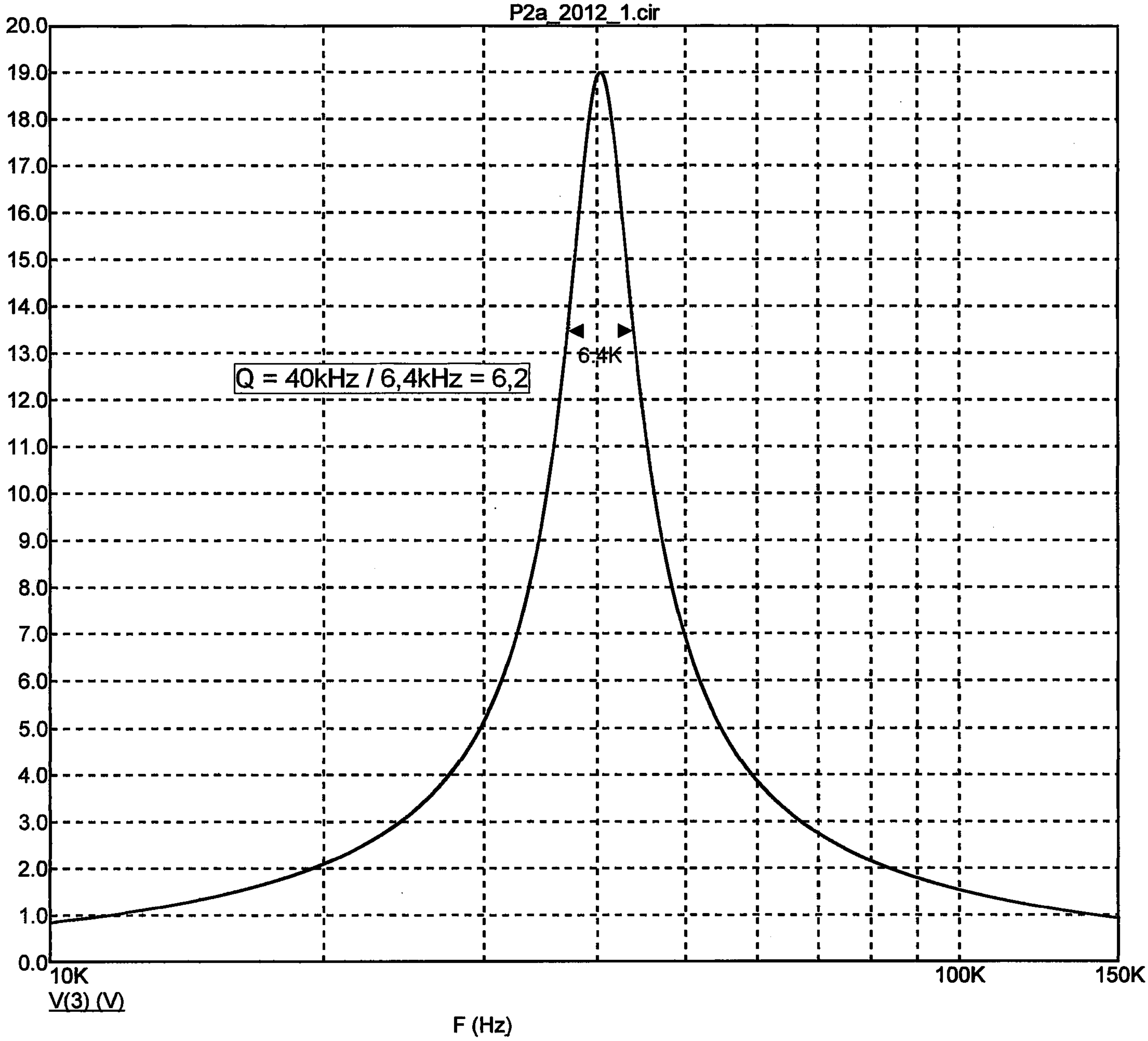
$$\frac{R_4}{R_3} = 0,213 = \frac{R_4}{68k}$$

$R_4 = 14,5k$ //

circuito final:




R2
1.9K
R1
8.2K
C1
1n
C2
1n
R3
68K
R4
12K


P2a_2012_1.cir
20.0
19.0
18.0
17.0
16.0
15.0
14.0
13.0
12.0
11.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
6.4K
Q = 40kHz / 6,4kHz = 6,2
10K
100K
150K
V(3) (V)
F (Hz)

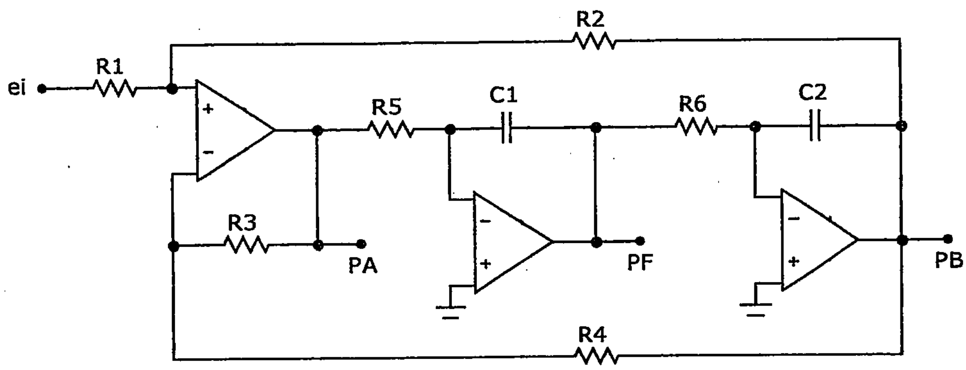
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2012/2

Prova 2 2/1/2013

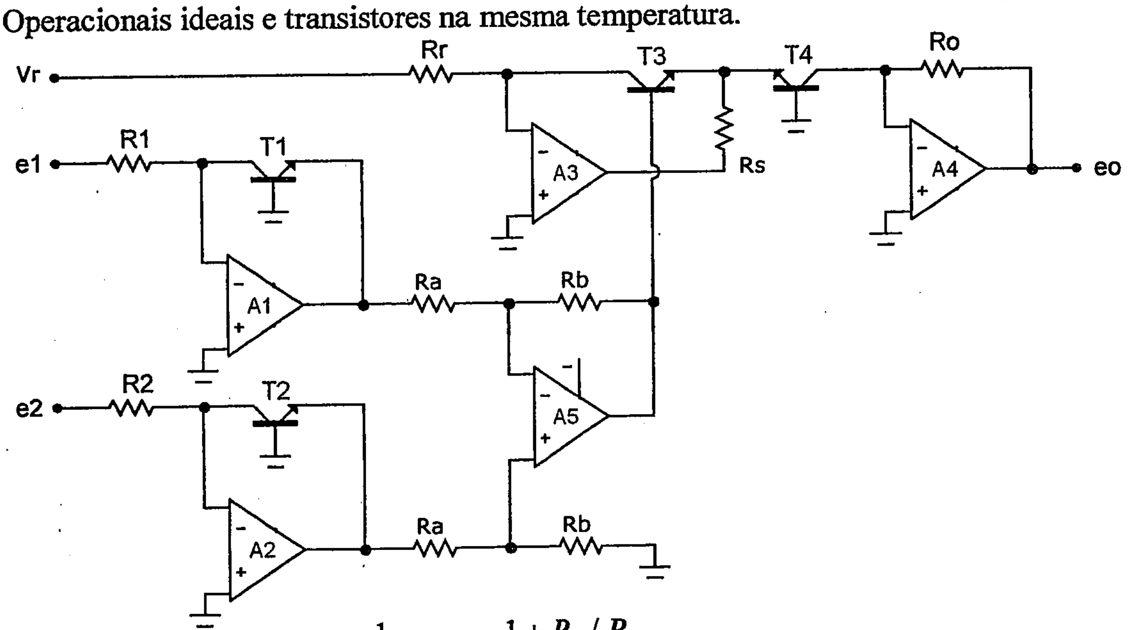
Nome: GABARITO **Turma:** ______

Configure o Filtro Variáveis de Estado a seguir para deixar passar sinais de áudio, bloqueando as frequências mais altas, cujo limite pode ser ajustado entre 3kHz e 9kHz por um sinal digital de clock. Inicie pela análise e equacionamento literal, descrevendo cada etapa com textos, equações e esquemas pois isso vai ser avaliado. Após obter os parâmetros da saída de interesse do filtro, com equações bem simplificadas, aplique o procedimento descrito a seguir e calcule os parâmetros novamente. Modifique a topologia para aceitar o ajuste do corte e só então começe a especificar/calcular o valor de cada componente, justificando convenientemente. Arredonde os valores. $C = C_1 = C_2 = 6{,}8nF$ $R_m = R_5 = R_6$ $R_n = R_1 = R_3 = R_4$ $Q = 1{,}25$ $C_k = 10nF$

Sem clock aplicado o filtro deve atuar em 3kHz e com $f_k = 50kHz$ deve atuar em 9kHz.



Identifique os blocos funcionais do circuito a seguir e entenda o seu funcionamento. Equacione a saída em função das entradas em formato literal, descrevendo cada passo com textos equações e diagramas. A seguir, calcule/dimensione os componentes para obter a função mais simples possível, com coeficiente unitário, usando $R_1 = R_2$ $R_b = 2{,}2\,R_a$ e $V_r = 3$.
Operacionais ideais e transistores na mesma temperatura.



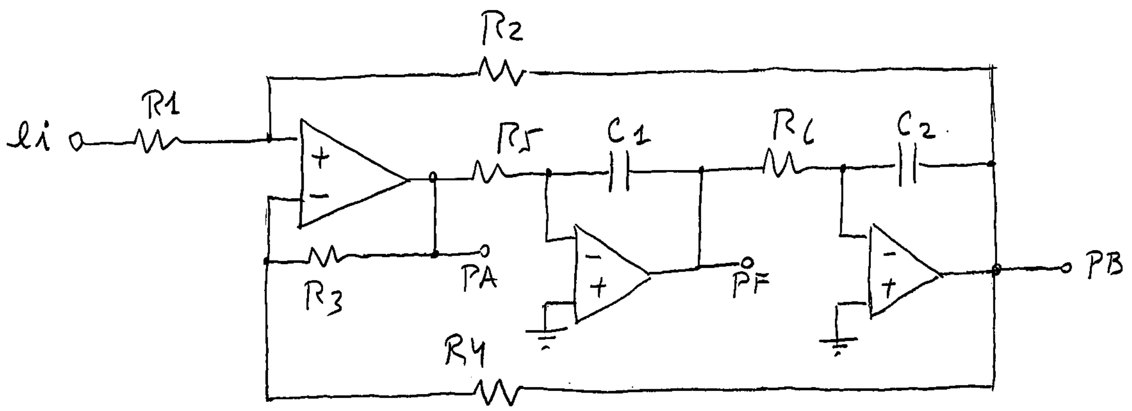
$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right| = \frac{\dfrac{1}{R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2} \cdot \dfrac{1 + R_3 / R_4}{1 + R_1 / R_2}}{S^2 + S\left[\dfrac{1}{R_5 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1 + R_3 / R_4}{1 + R_2 / R_1}\right] + \dfrac{R_3}{R_4} \cdot \dfrac{1}{R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right| = \frac{H_0 \cdot \omega_0^{\,2}}{S^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^{\,2}}$$

Configure o Filtro Variáveis de Estado a seguir para deixar passar sinais de áudio, bloqueando as frequências mais altas cujo limite pode ser ajustado entre 3 kHz e 9 kHz por um sinal digital de clock. Inicie pela análise e equacionamento literal, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser analisado. Após obter os parâmetros de saída de interesse do filtro, com equações bem simplificadas, aplique o procedimento descrito a seguir e calcule os parâmetros novamente. Modifique a topologia para aceitar o ajuste da frequência de corte pelo sinal de clock e só então comece a especificar/calcular todos os valores, documentando convenientemente. Arredonde os valores.

$C = C_1 = C_2 = 6{,}8\,nF \quad R_{in} = R_5 = R_6 \quad R_m = R_1 = R_3 = R_4 \quad Q = 1{,}25$

Sem clock aplicado, o filtro deve atuar em 3 kHz e com $f_{CLOCK} = 50\,kHz$ deve atuar em 9 kHz. $C_k = 10\,nF$.



P2 2012/2

Saída passa-baixas:

$$V_{PB}(s) = \frac{\dfrac{1}{R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2} \cdot \dfrac{1 + R_3/R_4}{1 + R_1/R_2}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_5 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1 + R_3/R_4}{1 + R_2/R_1} + \dfrac{R_3}{R_4}\dfrac{1}{R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2}} = \frac{H_0 \cdot W_0^2}{s^2 + \dfrac{W_0}{Q} s + W_0^2}$$

Igualando os termos:

$$W_0^2 = \frac{R_3}{R_4} \cdot \frac{1}{R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2} \longrightarrow W_0 = \sqrt{\frac{R_3}{R_4 \cdot R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad //$$

$$H_0 \cdot W_0^2 = \frac{1}{R_5 \cdot R_6 \cdot \cancel{C_1} \cdot C_2} \cdot \frac{1 + R_3/R_4}{1 + R_1/R_2} = H_0 \cdot \frac{R_3}{R_4} \frac{1}{R_5 \cdot \cancel{R_6} \cdot C_1 \cdot C_2}$$

$$H_0 = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{\frac{R_3 + R_4}{R_4}}{\frac{R_1 + R_2}{R_2}} \longrightarrow H_0 = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_4} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} \quad //$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_5 \cdot C_1} \cdot \frac{1 + R_3/R_4}{1 + R_2/R_1} = \frac{1}{R_5 \cdot C_1} \cdot \frac{\frac{R_3 + R_4}{R_4}}{\frac{R_1 + R_2}{R_1}} \rightarrow \frac{W_0}{\varphi} = \frac{R_1}{R_4 \cdot R_5 \cdot C_1} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2}$$

$$\varphi = \frac{1}{\frac{R_1 \cdot \sqrt{R_5 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2}}{R_4 \cdot R_5 \cdot C_1} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2}} \quad //$$

Aplicando $C = C_1 = C_2$, $R_m = R_5 = R_6$ e $R_M = R_1 = R_3 = R_4$:

$$W_0 = \sqrt{\frac{R_M}{R_M \cdot R_m \cdot R_m \cdot C \cdot C}} \rightarrow W_0 = \frac{1}{R_m \cdot C} \quad //$$

$$H_0 = \frac{R_2}{R_M} \cdot \frac{R_M + R_M}{R_M + R_2} = \frac{2 \cdot R_2 \cdot \cancel{R_M}}{\cancel{R_M} \cdot (R_M + R_2)} \longrightarrow H_0 = \frac{2 \cdot R_2}{R_M + R_2} \quad //$$

$$\varphi = \frac{1}{\frac{\cancel{R_M} \sqrt{R_m \cdot \cancel{R_m} \cdot C \cdot C}}{\cancel{R_M} \cdot \cancel{R_m} \cdot C} \cdot \frac{R_M + R_M}{R_M + R_2}} \rightarrow \varphi = \frac{R_M + R_2}{2 \cdot R_M} \quad //$$

Aplicando $f_0 = 3$ kHz --- 9 kHz, $\varphi = 1{,}25$ e $C = 6{,}8$ nF:

$f_0 = 3$ kHz: $$2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^3 = \frac{1}{R_{m3} \cdot 6{,}8 \cdot 10^{-9}} \longrightarrow R_{m3} = 7{,}8\ \text{k}\Omega \quad //$$

$f_0 = 9$ kHz: $$2 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^3 = \frac{1}{R_{m9} \cdot 6{,}8 \cdot 10^{-9}} \longrightarrow R_{m9} = 2{,}6\ \text{k}\Omega \quad //$$

$\varphi = 1{,}25 = \dfrac{R_m + R_2}{2 \cdot R_m}$

$2{,}5 \cdot R_m = R_m + R_2 \rightarrow R_2 = 1{,}5 \cdot R_m$ //

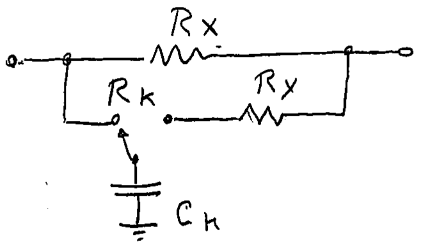
com $R_m = 10K$, $R_2 = 15k$ //

Podemos agora calcular:

$H_0 = \dfrac{2 \cdot 1{,}5 \cdot R_m}{R_m + 1{,}5 R_m} \longrightarrow H_0 = 1{,}2$ //

Para variar w_o com um sinal de clock, vamos usar capacitores chaveados.

R_m fica então:



Sem clock, $R_k = \infty$ e

$f_o = 3KHz \rightarrow R_{m3} = 7{,}8 K\Omega$

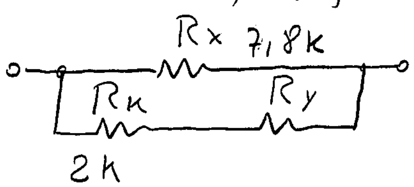
Então, $R_x = R_{m3} = 7{,}8K$ //

Com $f_{ck} = 50\ kHz$ e $C_k = 10nF$

$R_k = \dfrac{1}{C_k \cdot f_{ck}} = \dfrac{1}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 50 \cdot 10^3}$

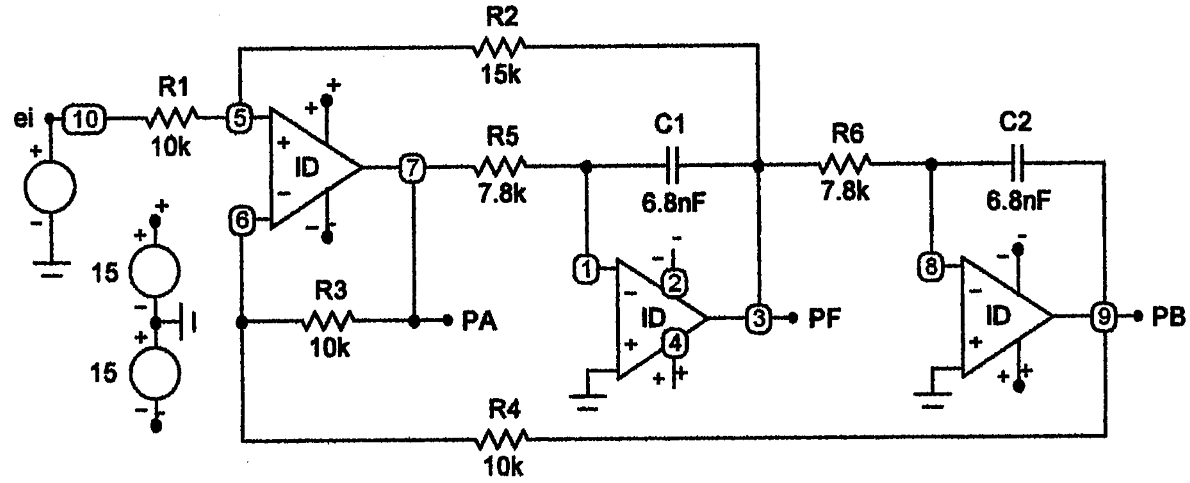
$R_k = 2KHz$

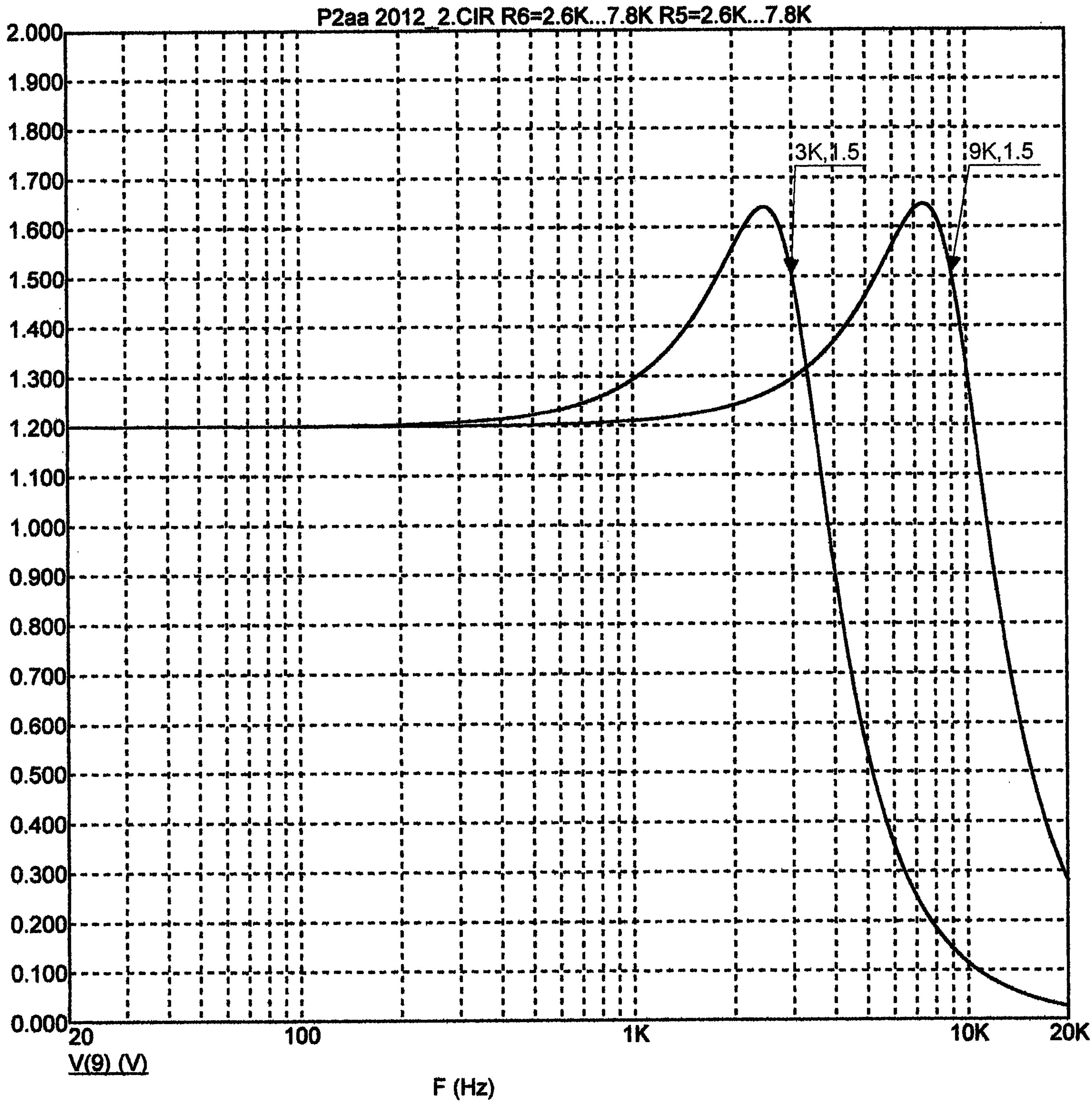
Nesta condição, $f_o = 9kHz \rightarrow R_{m9} = 2{,}6K$



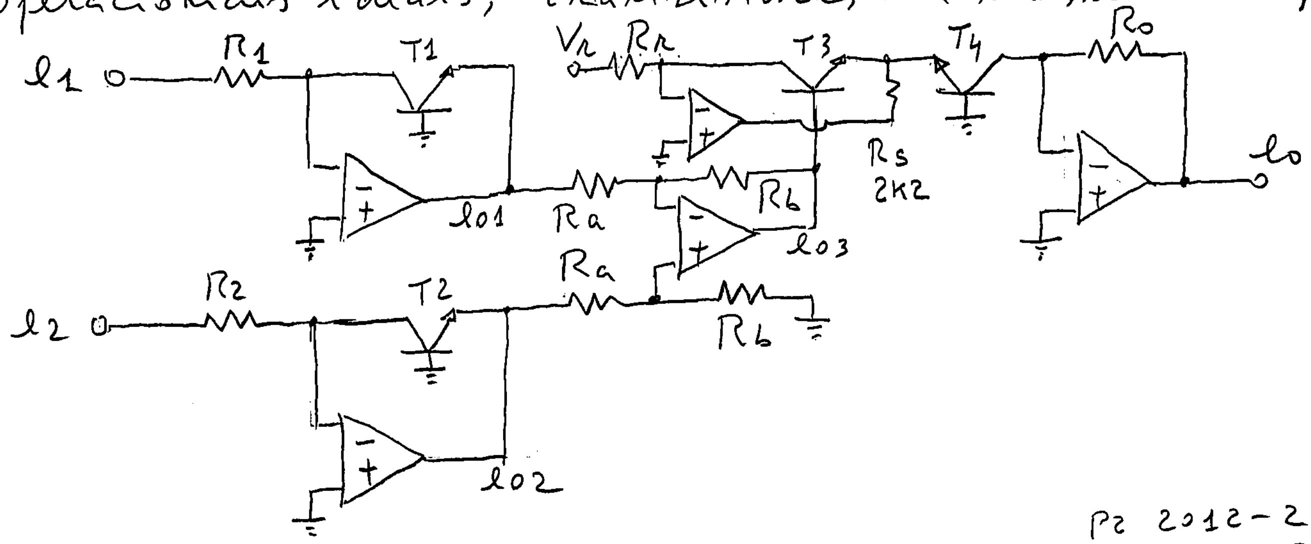
$R_{m9} = R_x // (R_k + R_y)$

$2{,}6 = \dfrac{7{,}8 \cdot (2 + R_y)}{7{,}8 + 2 + R_y} \rightarrow R_y = 1{,}9k$ //


R2
15k
ei
10
R1
10k
5
ID
7
R5
7.8k
C1
6.8nF
R6
7.8k
C2
6.8nF
6
15
15
R3
10k
PA
1
2
ID
4
3
PF
8
ID
9
PB
R4
10k


P2aa 2012_2.CIR R6=2.6K...7.8K R5=2.6K...7.8K
3K,1.5
9K,1.5
2.000
1.900
1.800
1.700
1.600
1.500
1.400
1.300
1.200
1.100
1.000
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
20
100
1K
10K
20K
V(9) (V)
F (Hz)

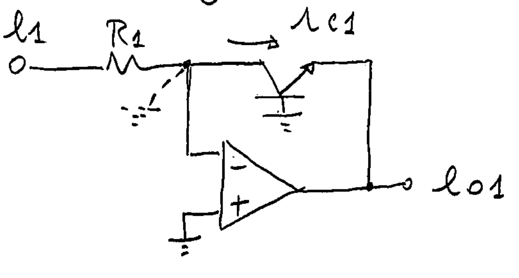
Identifique os blocos funcionais do circuito a seguir e entenda o seu funcionamento.
Equacione a saída em função das entradas, em formato literal, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso será avaliado.
A seguir calcule/dimensione os componentes para obter a função mais simples possível, com coeficiente unitário, supondo $R_1=R_2$, $R_b=2{,}2\cdot R_a$ e $V_R=3{,}3$.
Operacionais ideais, transistores na mesma temp.



P2 2012-2

Amplificadores log
Amplificador subtrator
Amplif. anti-log com compensação de I_o

Bloco log:



Massa virtual: $e_{o1} = -V_{BE1}$

$$e_{o1} = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{i_{c1}}{I_o}\right)$$

$$e_{o1} = -V_T\cdot\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\right)$$

Igualmente:

$$e_{o2} = -V_T\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot I_o}\right)$$

Bloco subtrator com $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_{o2}\cdot\frac{R_b}{R_a+R_b}$$

$$e_- = e_{o1}\cdot\frac{R_b}{R_b+R_a} + e_{o3}\frac{R_a}{R_a+R_b}$$

Igualando e isolando e_{o3}:

$$e_{o3} = \frac{R_a+R_b}{R_a}\left(\frac{e_{o2}\cdot R_b}{R_a+R_b} - e_{o1}\frac{R_b}{R_a+R_b}\right)$$

$$e_{o3} = \frac{R_b}{R_a}\left(e_{o2}-e_{o1}\right) \;//$$

Método de equacionamento: encontrar o lugar de domínio dos logs e aplicar KVL pelos dois lados até a massa.
Este ponto é a saída e_{o3}:

$$e_{o3} = V_{BE3} - V_{BE4}$$

Substituindo:

$$\frac{R_b}{R_a}\left[-V_T \ln\left(\frac{e_2}{R_2 I_0}\right)-\left(-V_T \ln\left(\frac{e_1}{R_1 \cdot I_0}\right)\right)\right] = V_T \ln\left(\frac{i_{c3}}{I_0}\right) - V_T \ln\left(\frac{i_{c4}}{I_0}\right)$$

Cancelando V_T, fazendo $k = \frac{R_b}{R_a}$ e como $k \ln(a) = \ln(a^k)$

$$-\ln\left[\left(\frac{e_2}{R_2 \cdot I_0}\right)^k\right] + \ln\left[\left(\frac{e_1}{R_1 \cdot I_0}\right)^k\right] = \ln\left(\frac{V_r}{R_r \cdot I_0}\right) - \ln\left(\frac{e_0}{R_0 \cdot I_0}\right)$$

Juntando os logs:

$$\ln\left[\frac{\left(\frac{e_1}{R_1 \cdot I_0}\right)^k}{\left(\frac{e_2}{R_2 \cdot I_0}\right)^k}\right] = \ln\left[\frac{\frac{V_r}{R_r \cdot I_0}}{\frac{e_0}{R_0 \cdot I_0}}\right]$$

cancelando os logs e depois I_0 fica:

$$\left(\frac{e_1 \cdot R_2}{e_2 \cdot R_1}\right)^k = \frac{V_r \cdot R_0}{e_0 \cdot R_r}$$

isolando e_0:

$$e_0 = \frac{V_r \cdot R_0}{\left(\frac{e_1 \cdot R_2}{e_2 \cdot R_1}\right)^k \cdot R_r}$$

como $k = \frac{R_b}{R_a}$

$$e_0 = V_r \cdot \left(\frac{e_2}{e_1}\right)^{R_b/R_a} \cdot \frac{R_0}{R_r} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{R_b/R_a} \quad //$$

Aplicando os valores para obter constante unitária:

$$V_r \cdot \frac{R_0}{R_r} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{R_b/R_a} = 1$$

$$3{,}3 \cdot \frac{R_0}{R_r} \left(1\right)^{2,2} = 1 \rightarrow R_r = 3{,}3 \cdot R_0 \quad //$$

Escolhendo $R_0 = 10k$, $R_r = 33k$ //

No final: $e_0 = \left(\frac{e_2}{e_1}\right)^{2,2}$ //

Escolhendo $R_a = 10k$, $R_b = 22k$ //

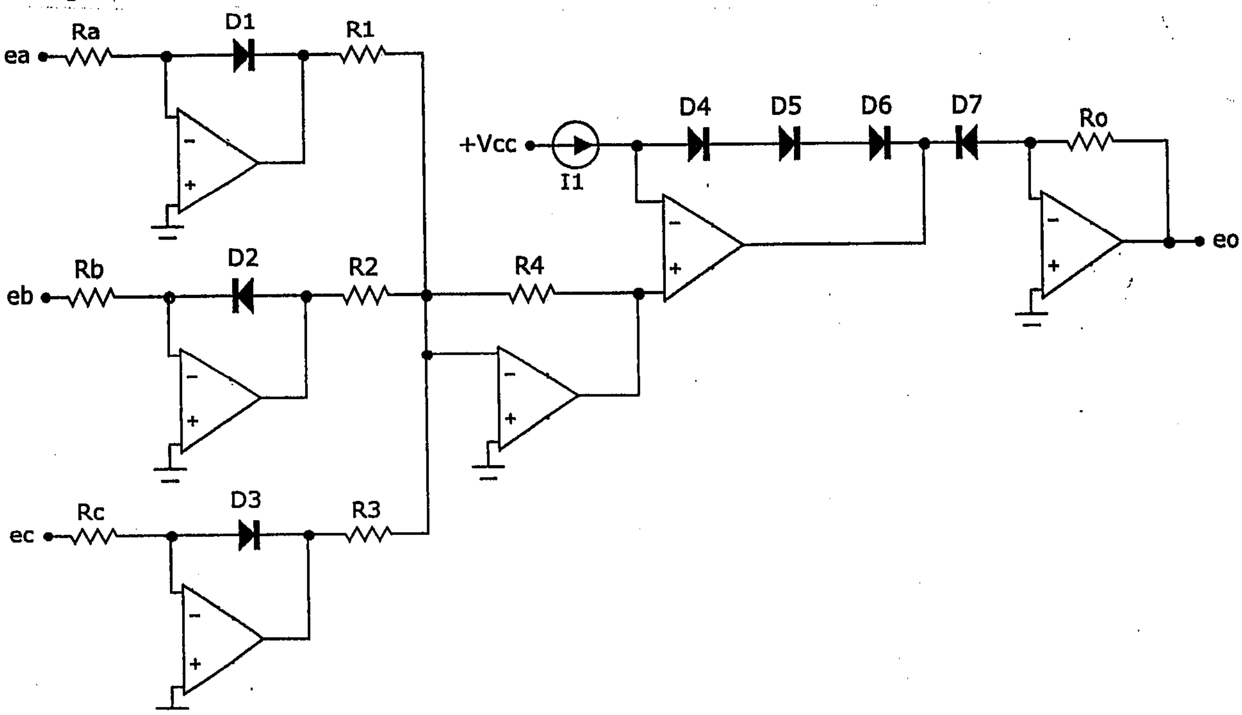
Para $i < 1mA$, $R_1 = R_2 = \frac{e_{1\,máx}}{R_1} = \frac{15V}{R_1} \rightarrow R_1 = R_2 = 15k$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2013/1

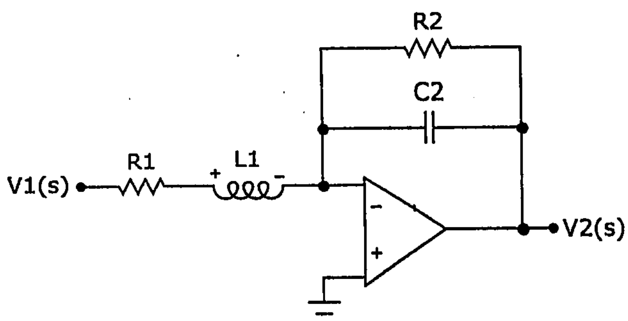
Prova 2 9/7/2013

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Equacione a saída e_0 em função das entradas, em formato literal, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
Por último, faça $R_1 = R_2 = R_3 = R_4/2 = R$ e dimensione os componentes para obter uma função bem simples com ganho 6, respeitando os limites desta classe de circuitos. Justifique as suas decisões. Alimentação simétrica de 15 volts, diodos casados e na mesma temperatura.

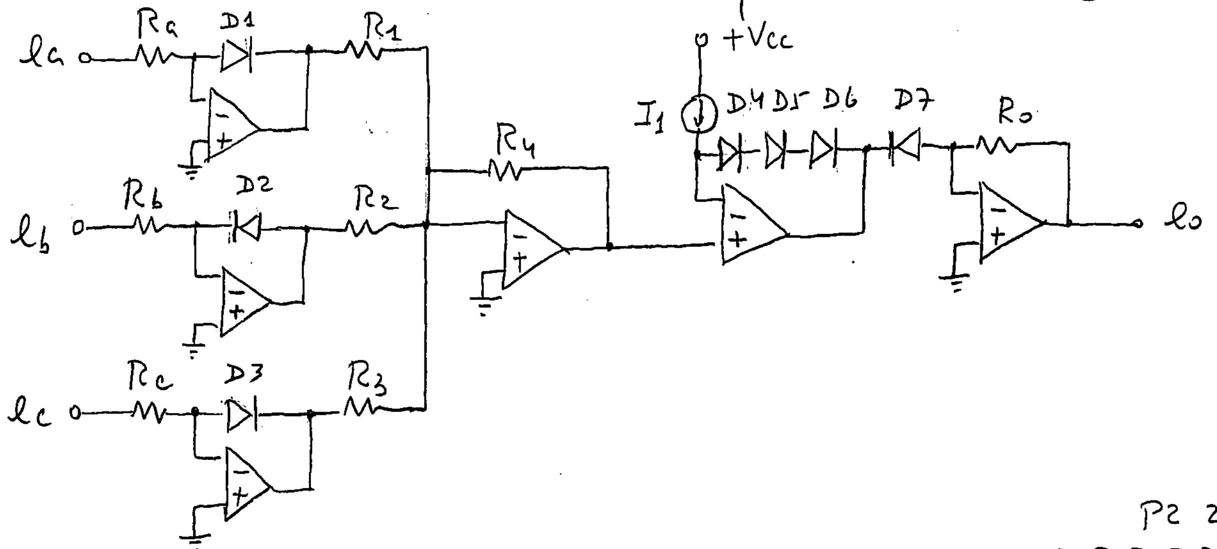


2. Classifique o circuito ao lado após examiná-lo e entender o seu funcionamento. Equacione a sua função de transferência $V_2(s)$ / $V_1(s)$ e manipule os termos da equação até obter um formato adequado para comparar com o formato padrão. Extraia então 3 os parâmetros de interesse.
Todas as etapas devem ser documentadas com textos, equações e diagramas.



$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{H_0 \cdot \frac{\omega_0}{Q} \cdot s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^{\,2}} \qquad \left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^{\,2}}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^{\,2}} \qquad \left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^{\,2}}$$

Examine o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento. Equacione a saída e_o em função das entradas, em formato literal, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas. Por último, personalize o circuito dimensionando os componentes para obter uma função bem simples com ganho 6, obedecendo as limitações desta classe de circuitos (justifique as suas decisões). Alimentação simétrica 15V, diodos casados e na mesma temperatura. $R_1 = R_2 = R_3 = R_4/2 = R$.



P2 2013/2

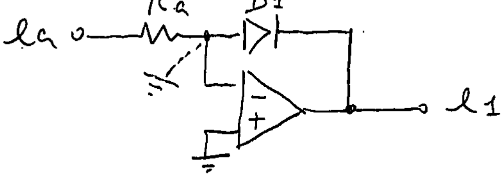
Circuito log-antilog

D2 invertido → e_b deve ser negativo. e_a e e_c positivos.

Somador inversor.

circuito parecido com um anti-log com I_o compensado.

Separando em blocos e equacionando:



Massa virtual: $e_1 = -V_{D1}$

$$e_1 = -V_T \ln\left(\frac{I_{D1}}{I_o}\right)$$

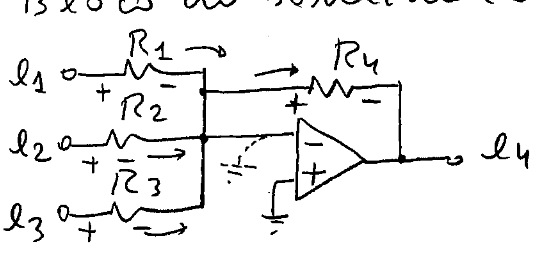
$$e_1 = -V_T \ln\left(\frac{e_a}{R_a I_o}\right) \quad //$$

Do mesmo modo,

$$e_2 = +V_T \ln\left(\frac{e_b}{R_b \cdot I_o}\right) \quad //$$

$$e_3 = -V_T \ln\left(\frac{e_c}{R_c \cdot I_o}\right) \quad //$$

Bloco do somador inversor:



Equacionando por correntes:

$$-i_1 - i_2 - i_3 + i_4 = 0$$

$$-\frac{e_1}{R_1} - \frac{e_2}{R_2} - \frac{e_3}{R_3} + \frac{0 - e_4}{R_4} = 0$$

$$e_4 = -R_4 \cdot \left(\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3}\right) \quad //$$

Método para esta classe de circuitos: encontrar o nó X (domínio dos logs) e aplicar KVL para os dois lados até a mesma.

Nó X é e_4. Aplicando KVL:

$$e_4 = +V_{D4} + V_{D5} + V_{D6} - V_{D7} \quad (1)$$

Sabemos que $V_D = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_D}{I_0}\right)$

Fazendo $V_T = \frac{k \cdot T}{q}$ e aplicando na equação (1), lembrando que $R_1 = R_2 = R_3 = R_4/2 = R$;

$$e_4 = -2 \cdot R \cdot \left(\frac{e_1}{R} + \frac{e_2}{R} + \frac{e_3}{R}\right)$$

$$e_4 = -2 \cdot (e_1 + e_2 + e_3)$$

$$e_4 = -2 \cdot \left(-V_T \ln\left(\frac{e_a}{R_a \cdot I_0}\right) + V_T \ln\left(\frac{e_b}{R_b \cdot I_0}\right) - V_T \ln\left(\frac{e_c}{R_c \cdot I_0}\right)\right)$$

Vale também: $e_4 = V_T \ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) + V_T \ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) + V_T \ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) - V_T \ln\left(\frac{e_0}{R_0 \cdot I_0}\right)$

Igualando, cancelando V_T e lembrando que $k \cdot \ln a = \ln a^k$:

$$2 \cdot \ln\left[\frac{e_a \cdot R_b \cdot \cancel{I_0} \cdot e_c}{R_a \cdot \cancel{I_0} \cdot e_b \cdot R_c \cdot I_0}\right] = \ln\left[\frac{I_1 \cdot I_1 \cdot I_1 \cdot R_0 \cdot \cancel{I_0}}{I_0 \cdot I_0 \cdot \cancel{I_0} \cdot e_0}\right]$$

$$\cancel{\ln}\left[\frac{e_a \cdot e_c \cdot R_b}{R_a \cdot R_c \cdot R_c \cdot \cancel{I_0}}\right]^2 = \cancel{\ln}\left[\frac{I_1^3 \cdot R_0}{I_0^2\, e_0}\right]$$

$$e_0 = \left(\frac{R_a \cdot R_c}{R_b}\right)^2 \cdot I_1^3 \cdot R_0 \cdot \left(\frac{e_b}{e_a \cdot e_c}\right)^2 \quad //$$

Dimensional:

$$e_0 = \cancel{R^2} \cdot R \cdot \cancel{I^3} \cdot \frac{1}{\cancel{R^2} \cdot \cancel{I^2}}$$

$e_0 = R \cdot I$ = tensão ok.

Personalizando:

Para evitar auto-aquecimento, $I_{Dmáx} = 1\,mA$

com máxima entrada: $I_{D1máx} = \frac{V_{cc}}{R_a} \rightarrow R_a = R_b = R_c = 15K$ //

Escolhemos também $I_1 = 1\,mA$ //

Para ganho 6: $\left(\frac{R_a \cdot R_c}{R_b}\right)^2 \cdot I_1^3 \cdot R_0 = 6 \rightarrow \left(\frac{15k \cdot 15k}{15k}\right)^2 \cdot (1mA)^3 \cdot R_0 = 6$

$\Rightarrow R_0 = 27\,\Omega$ //

$$e_4 = \frac{R_4}{R_1} V_T \ln\left(\frac{e_a}{R_a \cdot I_0}\right) - \frac{R_4}{R_2} V_T \ln\left(\frac{e_b}{R_b \cdot I_0}\right) + \frac{R_4}{R_3} V_T \ln\left(\frac{e_c}{R_c I_0}\right) =$$

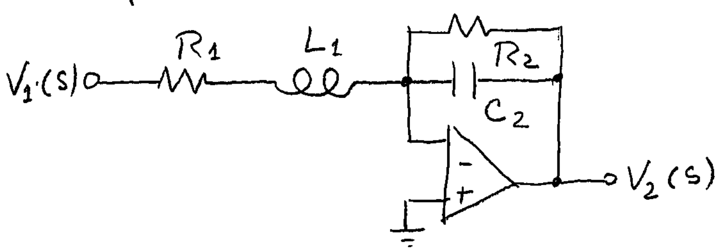
$$V_T \ln\left(\frac{e_a}{R_a I_0}\right)^{R_4/R_1} - V_T \ln\left(\frac{e_b}{R_b I_0}\right)^{R_4/R_2} + V_T \ln\left(\frac{e_c}{R_c I_0}\right)^{R_4/R_3} =$$

$$= \cancel{V_T} \cancel{\ln}\left[\frac{\left(\frac{e_a}{R_a I_0}\right)^{R_4/R_1} \cdot \left(\frac{e_c}{R_c I_0}\right)^{R_4/R_3}}{\left(\frac{e_b}{R_b \cdot I_0}\right)^{R_4/R_2}}\right] = \cancel{V_T} \cancel{\ln}\left[\frac{\frac{I_1^3}{I_0^{\cancel{3}\,2}}}{\frac{e_0}{R_0 \cdot \cancel{I_0}}}\right]$$

$$e_0 = \frac{R_0 \cdot I_1^3}{I_0^2} \frac{\left(\frac{e_b}{R_b \cdot I_0}\right)^{R_4/R_2}}{\left(\frac{e_a}{R_a \cdot I_0}\right)^{R_4/R_1} \cdot \left(\frac{e_c}{R_c \cdot I_0}\right)^{R_4/R_3}}$$

$$e_0 = \frac{R_0 \cdot I_1^3}{I_0^2} \left[\frac{e_b}{e_a \cdot e_c} \cdot \frac{R_a \cdot R_c}{R_b} \cdot \frac{I_0 \cdot I_0}{I_0}\right]^{R_4/R_2} \quad //$$

Examine o circuito a seguir e entenda o seu funcionamento. Equacione sua função de transferência e coloque no formato adequado para comparar com a forma padrão. Obtenha então os parâmetros H_0, φ e W_0. Documente todas as etapas de cálculo.



A topologia é de um amplificador inversor com ganho:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{X_2}{X_1}$$

Aumentando a frequência de $V_1(s)$, X_1 aumenta e X_2 diminui. Então é um filtro Passa-Baixas de 2ª ordem.

Equacionamento: circuito é linear, $e_+ = e_-$, $e_+ = 0$. Por superposição:

$$e_- = V_1(s)\,\frac{X_2}{X_1+X_2} + V_2(s)\,\frac{X_1}{X_1+X_2}$$

Então $\dfrac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\dfrac{X_2}{X_1}$

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{R_2 /\!/ X_{C2}}{R_1 + X_{L1}} = -\frac{R_2 /\!/ \frac{1}{s\cdot C_2}}{R_1 + s\cdot L_1}$$

$$= \frac{\dfrac{-R_2\cdot\frac{1}{s\cdot C_2}}{R_2+\frac{1}{s\cdot C_2}}}{R_1+s\cdot L_1} = \frac{\dfrac{-R_2}{s\cdot R_2 C_2+1}}{R_1+s\cdot L_1}$$

$$= \frac{-R_2}{(s\cdot R_2\cdot C_2+1)\cdot(R_1+s\cdot L_1)}$$

$$= \frac{-R_2}{s\cdot R_1\cdot R_2\cdot C_2 + s^2 R_2 C_2 L_1 + R_1 + s\cdot L_1}$$

$$= \frac{-R_2}{s^2 R_2\cdot C_2\cdot L_1 + s(R_1\cdot R_2\cdot C_2 + L_1) + R_1}$$

Isolando o termo quadrático:

$$= \frac{-\cancel{R_2}}{\cancel{R_2}\, C_2 L_1\left[s^2 + s\,\frac{R_1\cdot R_2\cdot C_2 + L_1}{R_2\cdot C_2\cdot L_1} + \frac{R_1}{R_2\cdot C_2\cdot L_1}\right]}$$

$$= \frac{\dfrac{-1}{L_1\cdot C_2}}{s^2 + s\left(\dfrac{R_1}{L_1} + \dfrac{1}{R_2\cdot C_2}\right) + \dfrac{R_1}{R_2\cdot L_1\cdot C_2}} \quad /\!/$$

comparando com o formato padrão de um PB:

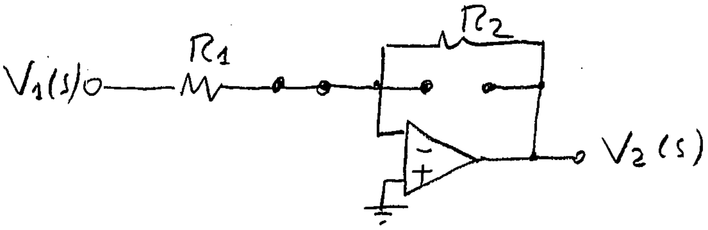
$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_0\cdot W_0^2}{s^2 + \frac{W_0}{\varphi}s + W_0^2}$$

$$W_0^2 = \frac{R_1}{R_2\cdot L_1\cdot C_2} \rightarrow W_0 = \sqrt{\frac{R_1}{R_2\cdot L_1\cdot C_2}} \quad /\!/$$

$$H_0\cdot W_0^2 = \frac{-1}{\cancel{L_1\cdot C_2}} = H_0\cdot\frac{R_1}{R_2\cdot\cancel{L_1\cdot C_2}}$$

$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1} \quad /\!/$$

Note que na faixa de passagem, com frequência zero, L = curto e C = aberto e o circuito fica:



Ganho do amplificador:

$$K = -\frac{R_2}{R_1} = H_0 \quad //$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{R_1}{L_1} + \frac{1}{R_2 \cdot C_2}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{\dfrac{R_1}{R_2 \cdot L_1 \cdot C_2}}}{\dfrac{R_1}{L_1} + \dfrac{1}{R_2 \cdot C_2}}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{\dfrac{R_1}{R_2 L_1 C_2}}}{\dfrac{R_1 R_2 C_2 + L_1}{L_1 R_2 C_2}}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{\dfrac{R_1}{R_2 L_1 C_2} \cdot (L_1 R_2 C_2)^2}}{R_1 R_2 C_2 + L_1}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{R_1 \cdot L_1 \cdot R_2 \cdot C_2}}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 + L_1} \quad //$$

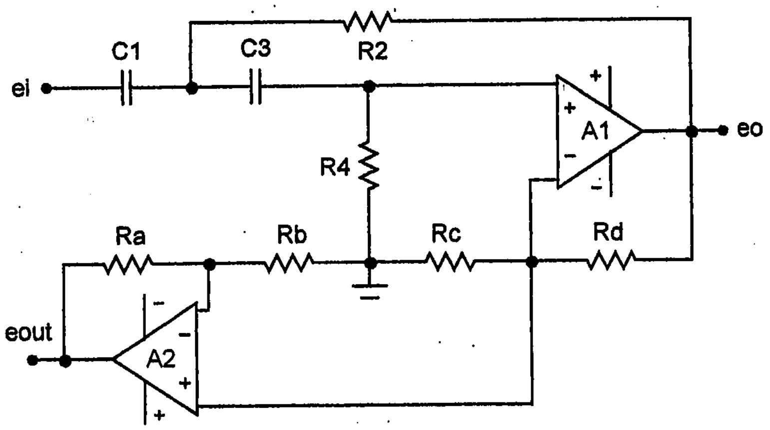
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2013/2

Prova 2 3/12/2013

Nome: GABARITO **Turma:** ______

Sempre equacione o circuito em formato literal e depois aplique os valores numéricos.

1. Em um aparelho com vários filtros interligados, deseja-se estudar (e ouvir) os efeitos de variar o ganho de apenas um dos filtros. Como em filtros mais simples o ganho na faixa de passagem é dependente do fator de qualidade, foi proposto o circuito a seguir para corrigir esta característica indesejável. a) Examine a topologia, identifique o filtro básico, equacione os seus 3 parâmetros em formato literal, analise os resultados e comprove a dependência. b) Equacione o resto do circuito e determine o ganho total, comprovando a independência. c) Coloque os valores numéricos e adicione um ajuste que permita variar o ganho entre 2 e 6 mantendo o fator de qualidade em 0,75. Por último, calcule/especifique o valor de todos os componentes para um corte em 86Hz. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Componentes ideais, capacitores de 330nF.

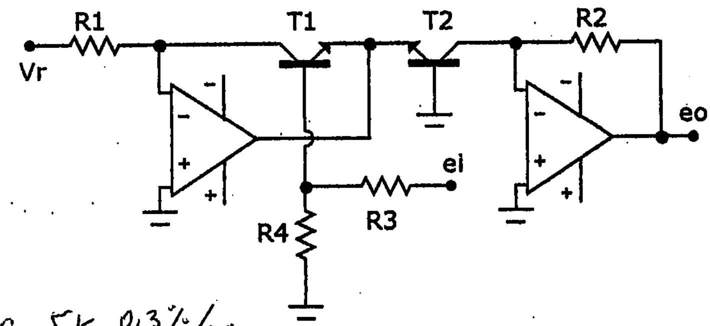


$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{K}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_4}}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_1\cdot C_2}+\dfrac{1}{R_3\cdot C_2}+\dfrac{1-K}{R_3\cdot C_4}\right]+\dfrac{1}{R_1\cdot R_3\cdot C_2\cdot C_4}} = \frac{H_0\cdot\omega_0^2}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{K\cdot s^2}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_4\cdot C_1}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_3}+\dfrac{1-K}{R_2\cdot C_1}\right]+\dfrac{1}{R_2\cdot R_4\cdot C_1\cdot C_3}} = \frac{H_0\cdot s^2}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{\dfrac{s\cdot K}{R_1\cdot C_5}}{s^2+s\left[\dfrac{1}{R_1\cdot C_5}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_5}+\dfrac{1}{R_4\cdot C_3}\right]+\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)\Big/R_4\cdot C_3\cdot C_5} = \frac{H_0\cdot\dfrac{\omega_0}{Q}\cdot s}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$

1. Examine a topologia a seguir e equacione completamente em formato literal, descrevendo cada passo com textos, equações e diagramas até obter a expressão da saída em função das entradas. Adapte o circuito para resolver com precisão e estabilidade a equação: $e_o = 0{,}1\cdot e_1\cdot 10^{0{,}8\cdot e2}$



$V_{be} = (k\cdot T/q)\cdot\ln(I_c/I_o)$ $\quad e^x = 10^{\log(e)\cdot x}$

$V_{be} = 26mV\cdot\ln(I_c/I_o)$ @ 27 °C $\quad R_3 = NTC\ 5K\ 0{,}3\%/°C$

Versão P2 2013-2

Passa-altas

$\varphi = 0{,}75$

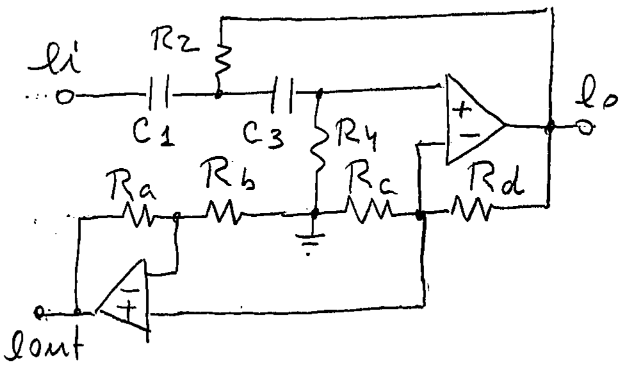
$f_o = 86\ Hz$

$C = 330\ nF$

Ganho: 2 ... 6

$$\frac{e_o(s)}{e_i(s)} = \frac{K s^2}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_4 C_1} + \frac{1}{R_4 C_3} + \frac{1-k}{R_2 C_1}\right] + \frac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_3}}$$

$$\frac{e_o(s)}{e_i(s)} = \frac{H_0 s^2}{s^2 + \frac{w_0}{\varphi} s + w_0^2}$$



Equacionando o filtro básico:

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_4 C_1 C_3}} \quad // \quad (1)$$

$$\frac{w_0}{\varphi} = [\,\cdots\,]$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_4 C_1 C_3} \cdot [\,\cdots\,]}$$

$$\varphi = \frac{1}{\frac{\sqrt{R_2 \cancel{R_4} \cancel{C_1} C_3}}{\sqrt{R_4 C_1}} + \frac{\sqrt{R_2 \cancel{R_4} C_1 \cancel{C_3}}}{\sqrt{R_4 C_3}} + \frac{(1-k)\sqrt{\cancel{R_2} R_4 \cancel{C_1} C_3}}{\sqrt{\cancel{R_2} \cancel{C_1}}}}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_3}{R_4 C_1}} + \sqrt{\frac{R_3 C_1}{R_4 C_3}} + (1-k)\sqrt{\frac{R C}{R C}}} \quad (2) \quad //$$

$H_0 = K$ //

Amplificador não-inversor:

$$K = 1 + \frac{R_d}{R_c} \quad // \quad (3)$$

O outro operacional é um amplificador não-inversor também.

$$V_{out} = V_x \cdot \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right) //$$

V_x é variável interna e precisa eliminar:

Divisor de tensão:

$$V_x = V_o \frac{R_c}{R_c + R_d} \quad \text{então:}$$

$$V_{out} = V_o \cdot \frac{R_c}{R_c + R_d}\left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right)$$

Na faixa de passagem:

$$H_o = K = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_d}{R_c} \quad \text{então:}$$

$$V_{out} = V_i \cancel{\left(1 + \frac{R_d}{R_c}\right) \frac{R_c}{R_c + R_d}} \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right) \quad (4)$$

$$V_{out} = V_i\left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right) //$$

V_{out} não depende do ganho H_o do filtro //

Projetando o filtro:

Escolhemos $\begin{cases} R_2 = R_4 = R \\ C_1 = C_3 = C \end{cases}$

Usando (1):

$$W_o = \frac{1}{\sqrt{R \cdot C \cdot R \cdot C}} \rightarrow W_o = \frac{1}{RC} //$$

como $C = 330n$ e $f_o = 86\ Hz$:

$$2 \cdot \pi \cdot 86 = \frac{1}{R \cdot 330 \cdot 10^{-9}}$$

$$R = 5608\ \Omega \rightarrow R_2 = R_4 = 5k6 //$$

Usando (2):

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{RC}{RC}} + \sqrt{\frac{RC}{RC}} + (1-k)\sqrt{\frac{RC}{RC}}}$$

$$\varphi = \frac{1}{1 + 1 + 1 - K} \rightarrow \varphi = \frac{1}{3 - K} //$$

Aplicando:

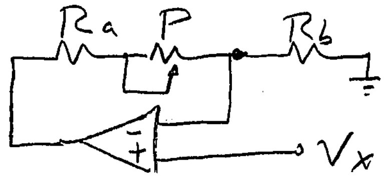
$$0{,}75 = \frac{1}{3 - K} \rightarrow K = 1{,}667 //$$

Usando (3):

$$1{,}667 = 1 + \frac{R_d}{R_c} \rightarrow \frac{R_d}{R_c} = \frac{1}{1{,}5}$$

Então: $R_c = 15k$ // e $R_d = 10k$ //

Para variar o ganho entre 2 e 6:



Ganho mínimo 2 → máximo realimentação → $P = 0$:

Usando (4):

$$\frac{V_{out}}{V_i} = 2 = 1 + \frac{R_a}{R_b} \rightarrow R_a = R_b //$$

Ganho máximo → $P = $ máx.

$$\frac{V_{out}}{V_i} = 6 = 1 + \frac{R_a + P}{R_b}$$

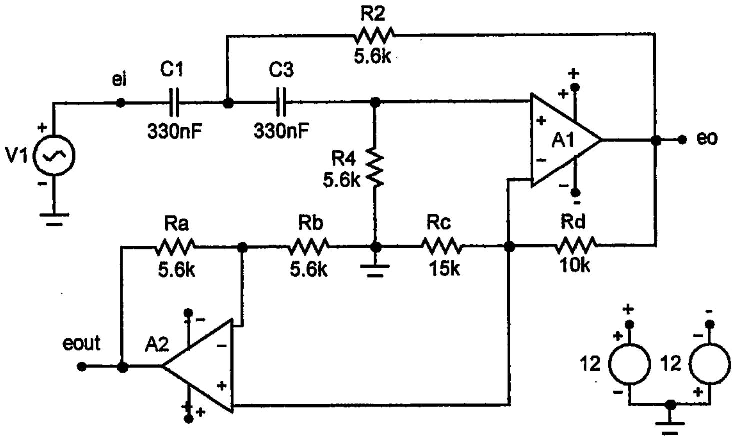
como $R_a = R_b$:

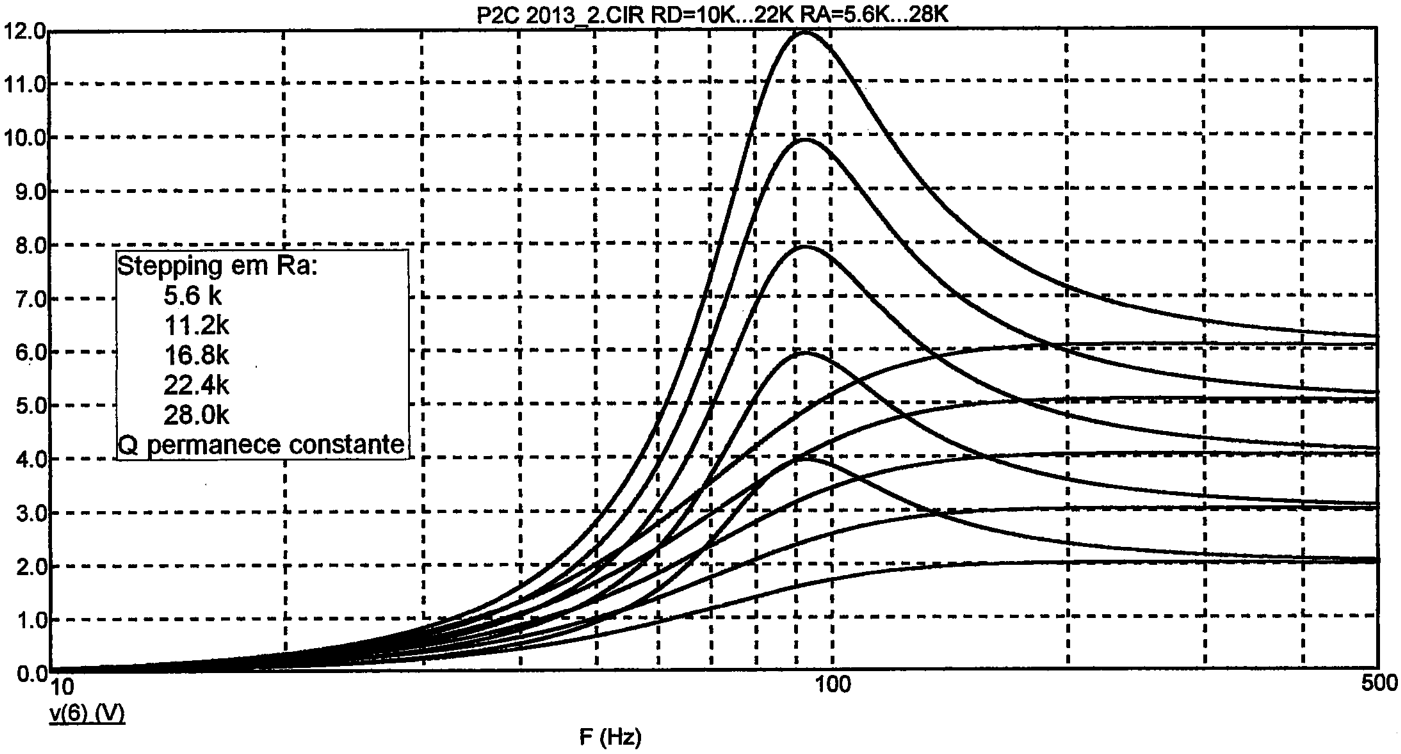
$$6 = 1 + 1 + \frac{P}{R_b} \rightarrow P = 4 \cdot R_b //$$

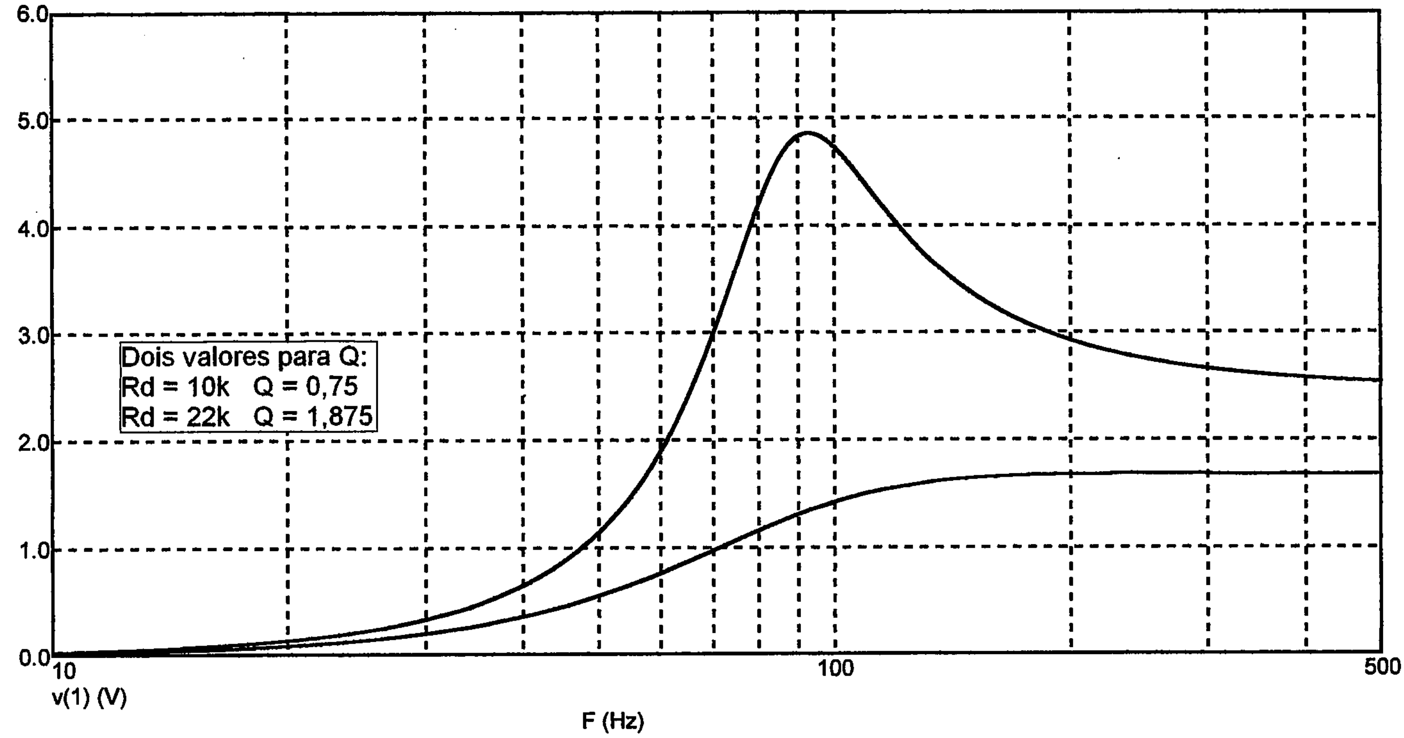
Para facilitar a montagem:

$$R_a = R_b = R_2 = R_4 = 5k6 //$$

$$P = 4 \cdot 5k6 \rightarrow P = 22{,}4k //$$


R2
5.6k
ei
C1
330nF
C3
330nF
A1
eo
V1
R4
5.6k
Ra
5.6k
Rb
5.6k
Rc
15k
Rd
10k
eout
A2
12
12


P2C 2013_2.CIR RD=10K...22K RA=5.6K...28K
Stepping em Ra:
5.6 k
11.2k
16.8k
22.4k
28.0k
Q permanece constante
12.0
11.0
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
10
100
500
v(6) (V)
F (Hz)

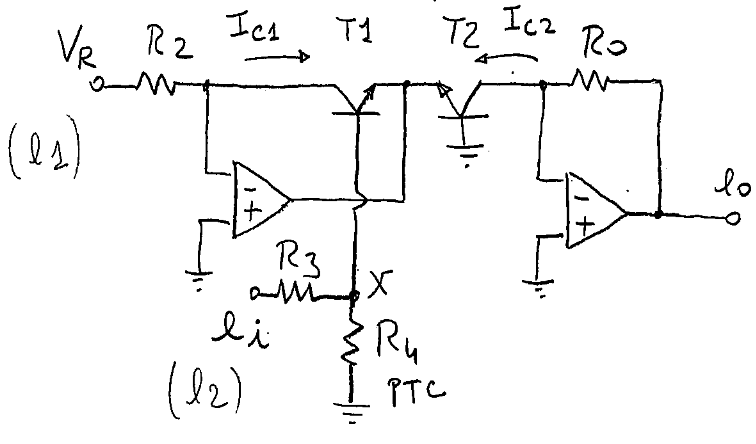

Dois valores para Q:
Rd = 10k Q = 0,75
Rd = 22k Q = 1,875
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
10
100
500
v(1) (V)
F (Hz)

Implemente um circuito que execute com precisão e estabilidade a equação $e_o = \frac{e_1}{1{,}5}(10)^{e_2}$, onde e_1, e_2 e e_o são positivos.
Componentes ideais variados estão disponíveis.
Use valores comerciais para os resistores.
Documente cada passo do seu trabalho.

P2 2003/1

Princípio de funcionamento:
Precisa de conversor antilog com compensação de temp. e compensação de corrente de saturação reversa.
Como este tipo precisa de tensão de referência, esta pode ser a outra entrada.
A polaridade das entradas pode ser ajustada por um inversor de tensão.

Circuito e equacionamento:



No ponto X:

$$V_X = V_{BE1} - V_{BE2} = -(V_{BE2} - V_{BE1})$$

Como:

$$V_{BE} = \frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$V_X = -\frac{k\cdot T}{q}\left[\ln\left(\frac{I_{C2}}{I_o}\right) - \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_o}\right)\right]$$

$$V_X = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{\frac{e_o}{R_o\cdot I_o}}{\frac{V_R}{R_2}\cdot I_o}\right)$$

$$V_X = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_o}{V_R}\,\frac{R_2}{R_o}\right)$$

como $V_X = e_i\,\dfrac{R_4}{R_3+R_4}$ vem

$$e_i = -\frac{R_3+R_4}{R_4}\cdot\frac{k\cdot T}{q}\cdot\ln\left(\frac{e_o}{V_R}\cdot\frac{R_2}{R_o}\right)$$

Isolando o termo ln e exponenciando membro-a-membro:

$$e^{\left(-\frac{e_i\cdot R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{q}{k\cdot T}\right)} = \frac{e_o}{V_R}\cdot\frac{R_2}{R_o}$$

Isolando e_o:

$$e_o = \frac{V_R\cdot R_o}{R_2}\,e^{\left(-\frac{e_i\cdot R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{q}{k\cdot T}\right)}$$

convertendo e^x para 10^x

$$e = 10^{\log(e)}$$

$$e^x = \left(10^{\log(e)}\right)^x = 10^{\log(e)\cdot x}$$

Então:

$$e_0 = \frac{V_R \cdot R_0}{R_2}\, 10^{\left(\frac{-e_i \cdot R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{q}{k\cdot T}\cdot \log(e)\right)}$$

Adaptando para o caso:

$$\frac{V_R \cdot R_0}{R_2} = \frac{e_1}{1,5} \rightarrow \begin{cases} V_R = e_1 \\ R_2 = 1,5 \cdot R_0 \end{cases}$$

Escolhendo $R_0 = 100k$ //

então $R_2 = 150k$ //

$$-\frac{e_i \cdot R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{q}{k\cdot T}\cdot \log(e) = e_2$$

Logo: $e_i = -e_2$

$$\frac{R_4}{R_3+R_4}\cdot\frac{1}{26mV}\cdot 0,4343 = 1$$

$R_3 = 15,704 \cdot R_4$

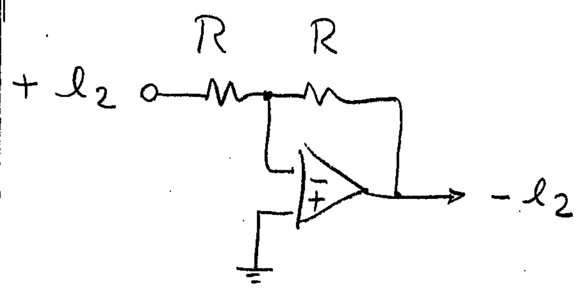
Fazendo $R_4 = 1k$ PTC 0,3% //

$R_3 = 15,704\,K$ //

Ajuste das polaridades:

e_1 positivo → saída e_{01} é negativa e T2 opera corretamente, levando e_0 a um valor positivo. OK.

Para executar a operação, e_2 deve ser negativa → inverter a polaridade:



Usando valores comerciais:

$R = 100K$ //

Nota: Para T1 operar, a saída e_{01} deve ser mais negativa que a tensão no ponto X que é alimentado por e_2.

Versão 2013/2

Resolver $e_0 = 0,1 \cdot e_1 \cdot 10^{-0,8 \cdot e_2}$

Após equacionar:

$$e_0 = \frac{V_R \cdot R_2}{R_1} \cdot 10^{\left(\frac{-e_i \cdot R_4}{R_3+R_4} \cdot \frac{q}{k \cdot T} \cdot \log(e)\right)}$$

Adaptando ao caso:

$$\frac{V_R \cdot R_2}{R_1} = 0,1 \cdot e_1$$

comparando:

$V_R = e_1$ //

$$\frac{R_2}{R_1} = 0,1 \rightarrow R_1 = 10 \cdot R_2$$

Para evitar auto-aquecimento a corrente máxima em T2 deve ficar poucos mA. então

$R_2 = 10k$ // e $R_1 = 100k$ //

$$\frac{\cancel{-} e_i R_4}{R_3+R_4} \cdot \frac{q}{k \cdot T} \cdot \log(e) = \cancel{-} 0,8 \cdot e_2$$

comparando:

$e_i = e_2$ //

$$\frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot \frac{q}{k \cdot T} \cdot \log(e) = 0,8$$

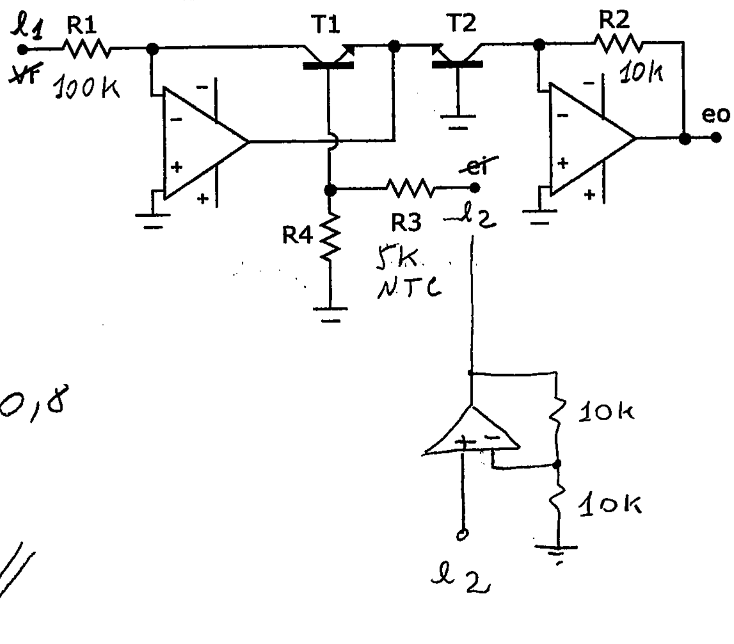
$$\frac{5 \cdot 10^3}{R_3 + 5 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{26 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,4343 = 0,8$$

$R_3 = 99397$ // $\rightarrow R_3 = 100k$ //

com NTC 5k em R_3:

$$\frac{R_4}{5k+R_4} \cdot \frac{1}{26 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,4343 = 0,8$$

$R_3 =$

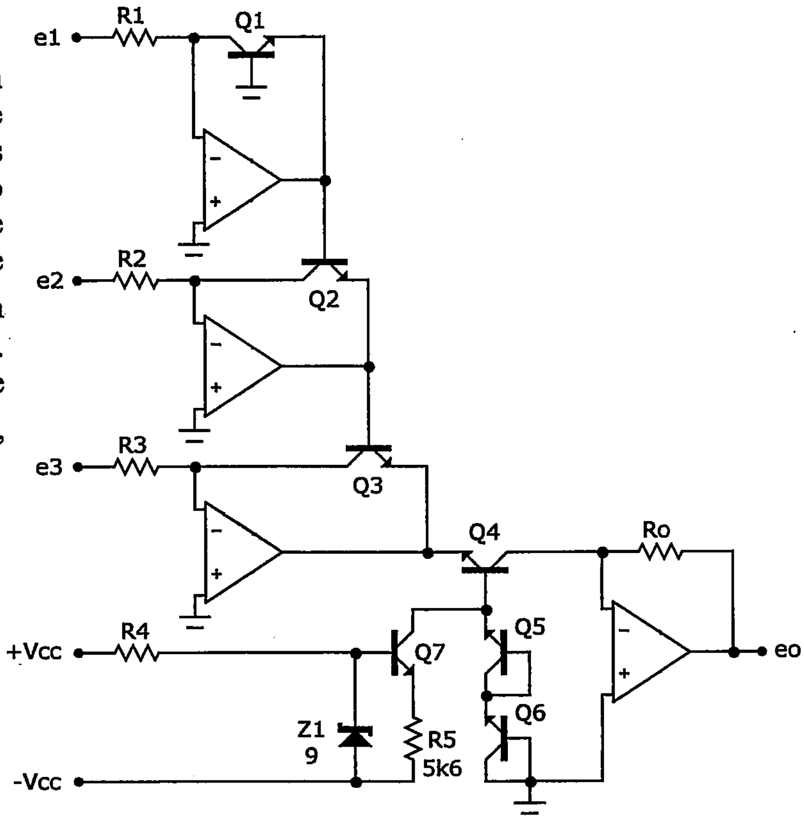


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2014/1

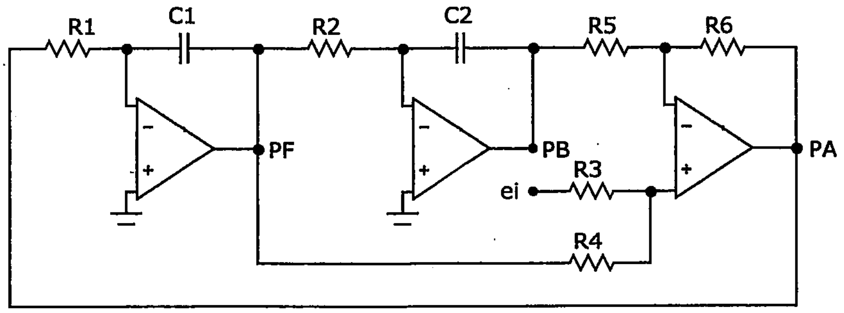
Prova 2 8/7/2014

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. Examine o circuito ao lado, separe em blocos funcionais, descreva e equacione cada um, em formato literal. Junte os blocos (equações) para obter a expressão da saída em função das entradas. Comente os resultados. Aplique então os valores de circuito e determine R_0 para obter um resultado com constante unitária. Operacionais ideais, transistores casados e na mesma temperatura, $V_{be} = 0{,}6V$ típico, $R_1=R_2=R_3=R=18k$. Dimensione R_4.

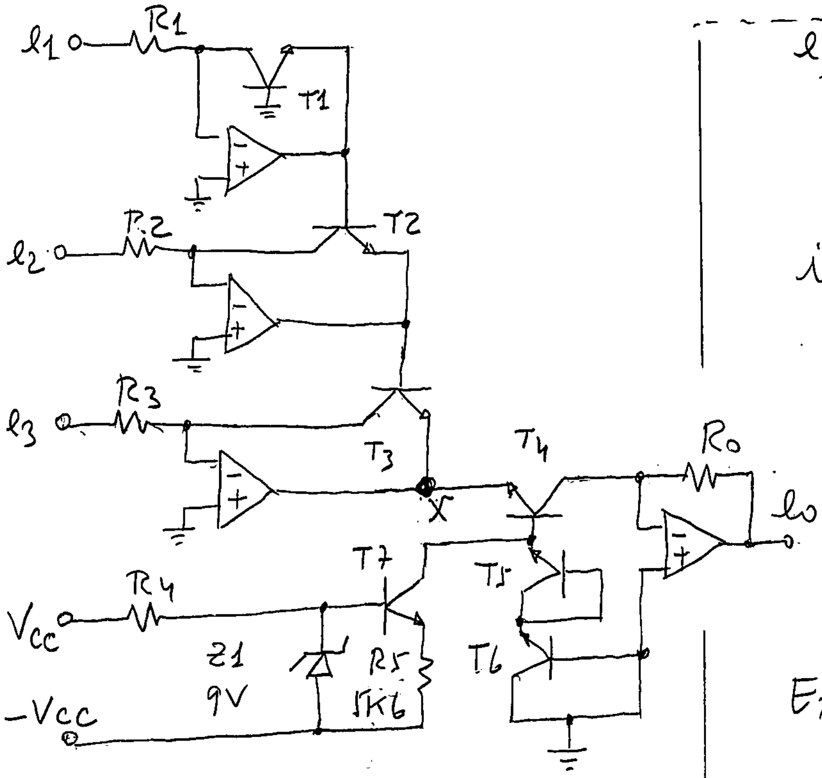


2. Examine o filtro de segunda ordem tipo Variáveis de Estado a seguir e quacione a sua saída Passa-Altas, em formato literal, e obtenha os parâmetros ω_0, Q e H_0.
Personalize esta saída para bloquear baixas frequências entre 11Hz e 28Hz, ajustável por um potenciômetro (escolha o mais conveniente: 47k ou 100k), com fator de qualidade de 0,9. Atenção: os limites do cursor devem ser as frequências solicitadas, sem folgas.
Use capacitores de 470nF, $R_3 = R_5 = R_6 = 15k$ e outros componentes e valores, conforme o necessário. Calcule todos os parâmetros deste filtro e esboce o conjunto de curvas de resposta no mesmo gráfico. Documente cada etapa com textos, equações e diagramas.
Componentes ideais, arredondamento em 3 dígitos significativos.



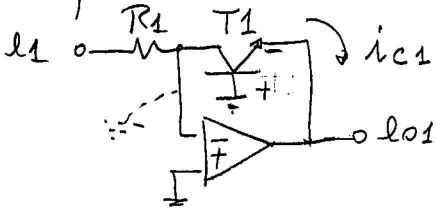
$$\left.\frac{V_{PA}(s)}{V_i(s)}\right| = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \qquad \frac{V_{PA}(s)}{V_i(s)} = \frac{s^2 \cdot \frac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{S^2 + S\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \frac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

Examine o circuito, separe em blocos, descreva e equacione cada um em formato literal. Junte os blocos (equações) para obter a expressão de saída em função das entradas. Comente. Aplique os valores do circuito e determine R_o para obter uma função com constante unitária. Operacionais ideais.
$R_1 = R_2 = R_3 = R = 18k$. $V_{BE} = 0,6$ típico. casados e mesma temperatura



P1_2014-1

Equacionando os blocos:



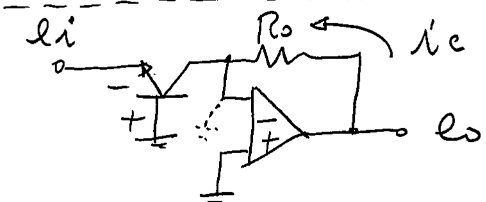
$$i_{c1} = \frac{e_1}{R_1}$$

$$e_{01} = -V_{BE1} = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right)$$

Então: $$e_{01} = \frac{-k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{e_1}{R_1 \cdot I_o}\right) \quad (1)$$

Amplificador logarítmico inversor de um quadrante

Igualmente para os blocos e_2 e e_3.



$$i_c = \frac{e_o - 0}{R_o}$$

$$e_i = -V_{BE} = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$e_i = -\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{e_o}{R_o \cdot I_o}\right)$$

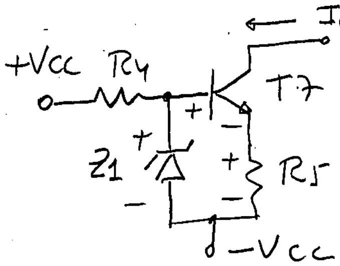
$$-\frac{e_i \cdot q}{k \cdot T} = \ln\left(\frac{e_o}{R_o \cdot I_o}\right)$$

Exponenciando em e:

$$e^{-\frac{e_i \cdot q}{k \cdot T}} = \exp\left[\ln\left(\frac{e_o}{R_o I_o}\right)\right]$$

Isolando e_o:

$$e_o = R_o \cdot I_o \cdot e^{-\frac{e_i \cdot q}{k \cdot T}} \quad (2)$$



Aplicando KVL na malha:

$$-V_Z + V_{BE7} + I_{c7} \cdot R_5 = 0$$

Então:

$$i_{c7} = \frac{V_Z - V_{BE7}}{R_5} \quad (3)$$

Juntando os blocos e aplicando o método para esta classe de circuitos:
Domínio dos logs é o nó X.
KVL de X até a massa pelos dois lados:

$$V_X = -V_{BE3} - V_{BE2} - V_{BE1}$$

$$V_X = -V_{BE4} - V_{BE5} - V_{BE6}$$

Igualando e aplicando as equações (1), (2) e (3):

$$-\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_0}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_2}{R_2\cdot I_0}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_3}{R_3\cdot I_0}\right) = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{e_0}{R_0\cdot I_0}\right) -$$

$$-2\cdot\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_{C7}}{I_0}\right)$$

Simplificando $-\frac{kT}{q}$ e usando $\ln a + \ln b = \ln(a\cdot b)$ etc.

$$\ln\left(\frac{e_1\cdot e_2\cdot e_3}{R_1\cdot R_2\cdot R_3\cdot I_0^3}\right) = \ln\left(\frac{e_0\cdot i_{C7}^2}{R_0\cdot I_0\cdot I_0^2}\right)$$ Simplificando I_0 e $\ln$:

$$\frac{e_1\cdot e_2\cdot e_3}{R_1\cdot R_2\cdot R_3} = \frac{e_0\cdot i_{C7}^2}{R_0}$$

Então:

$$e_0 = \frac{e_1\cdot e_2\cdot e_3\cdot R_0}{R_1\cdot R_2\cdot R_3\cdot I_{C7}^2} \quad //$$

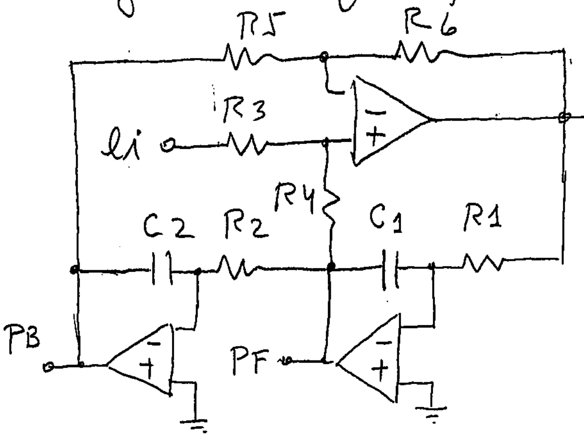
cálculo de R_0 para ter constante unitária:

$$\frac{R_0}{R_1\cdot R_2\cdot R_3\cdot I_{C7}^2} = 1$$

$$\frac{R_0}{18k\cdot 18k\cdot 18k\cdot\left(\frac{9-0{,}6}{5k6}\right)^2} = 1$$

Então $R_0 = 13{,}1M\Omega$ // Fica então: $e_0 = e_1\cdot e_2\cdot e_3$ //

A topologia a seguir é um filtro de segunda ordem do tipo Variáveis de Estado. Equacione a sua saída PA e obtenha os parâmetros W_0, φ e H_0. Personalize esta saída para bloquear baixa frequência entre 11 Hz e 35 Hz, ajustável por potenciômetro. (1k, 4k7, 10k, 20k, 50k, 100k), com $\varphi = 1{,}4$. Use capacitores de 470 nF e resistores de 15 K, exceto R4, e outros valores conforme necessário. Componentes ideais, arredondamento em 3 dígitos significativos. Documente cada etapa.



$$\frac{V_{PA}(s)}{ei(s)} = \frac{s^2 \cdot \dfrac{1 + R_6/R_5}{1 + R_3/R_4}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1 + R_6/R_5}{1 + R_4/R_3} + \dfrac{R_6}{R_5} \cdot \dfrac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\frac{V_{PA}(s)}{ei(s)} = \frac{s^2 \cdot H_0}{s^2 + \frac{W_0}{\varphi} s + W_0^2}$$

P2 2009-2

Escolhendo: $C1 = C2 = C = 470\,nF$

$R_1 = R_2 = R_V$ = potenciômetro duplo

$R_3 = R_5 = R_6 = R = 15K$

Fica então:

$$\frac{V_{PA}(s)}{ei(s)} = \frac{s^2 \quad \dfrac{1+1}{1 + R/R_4}}{s^2 + s\dfrac{1}{R_V \cdot C} \cdot \dfrac{1+1}{1 + R_4/R} + \dfrac{1}{R_V^2 \cdot C^2}}$$

comparando os termos:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_V^2 \cdot C^2} \rightarrow W_0 = \frac{1}{R_V \cdot C} \quad // \quad (1)$$

$$H_0 = \frac{2}{1 + R/R_4} \rightarrow H_0 = \frac{2 \cdot R_4}{R + R_4} \quad // \quad (2)$$

$$\frac{W_0}{\varphi} = \frac{1}{R_V \cdot C} \cdot \frac{2}{1 + R_4/R}$$

$$\frac{1}{\cancel{R_V \cdot C}} \cdot \frac{2}{\frac{R + R_4}{R}} = \underbrace{\frac{1}{\varphi \cdot \cancel{R_V \cdot C}}}_{\frac{W_0}{\varphi}}$$

$$\varphi = \frac{R + R_4}{2 \cdot R} \quad // \quad (3)$$

como Rv e C só influem na freq. de corte, vamos calcular os outros componentes. Para $\varphi = 1{,}4$ em (3):

$$1{,}4 = \frac{15k + R_4}{2 \cdot 15k} \rightarrow R_4 = 27k \quad //$$

O ganho na faixa de passagem (2) vale então:

$$H_0 = \frac{2 \cdot 27k}{15k + 27k} \rightarrow H_0 = 1{,}29 \quad //$$

Cálculo dos limites de Rv:

$f_{min} = 11\,Hz = 2 \cdot \pi \cdot 11 = 69{,}1\ rad/s$

$f_{max} = 35\,Hz = 2 \cdot \pi \cdot 35 = 220\ rad/s$

Aplicando em ①:

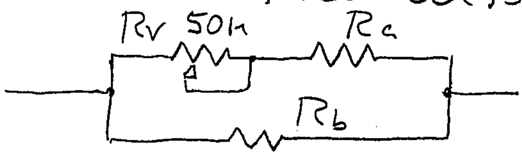
$$R_V = \frac{1}{W_0 \cdot C}$$

$$R_{V\,min} = \frac{1}{220\ \frac{rad}{s} \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 9{,}67\,K$$

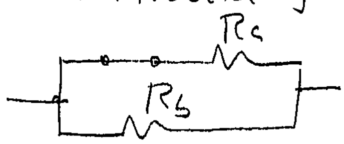
$$R_{V\,max} = \frac{1}{69{,}1\ \frac{rad}{s} \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 30{,}8\,K$$

Escolhemos $R_V = 50\,K$

Precisa usar resistores limitadores de curso:



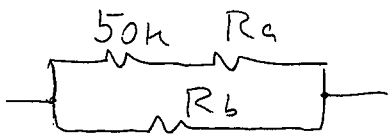
com $R_{V\,min}$ fica:



$$R_{V\,min} = R_a // R_b = 9{,}67\,k$$

$$\frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = 9{,}67\,k \ //$$

com $R_{V\,max}$ fica:



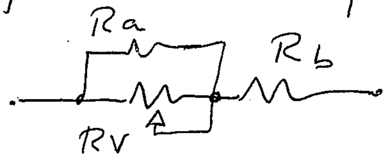
$$R_{V\,max} = (50\,k + R_a) // R_b = 30{,}8\,k$$

$$\frac{(50\,k + R_a) \cdot R_b}{50\,K + R_a + R_b} = 30{,}8\,k \ //$$

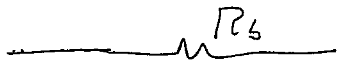
Resolvendo o sistema:

⋮

Outra topologia, mais fácil de equacionar:

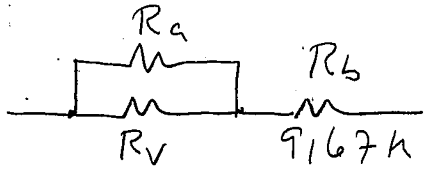


Com $R_{V\,min}$ fica:



Então $R_b = 9{,}67\,k \ //$

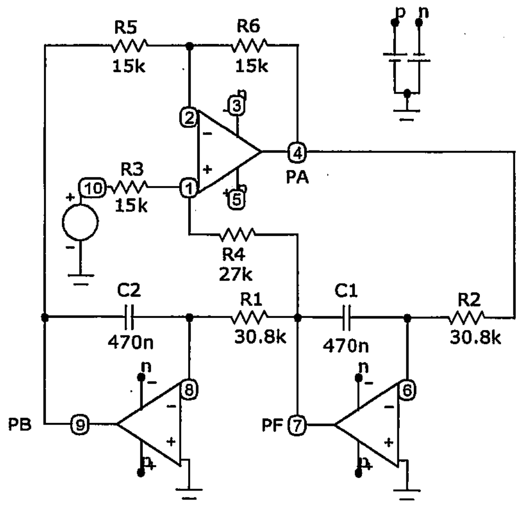
Com $R_{V\,max}$ fica:

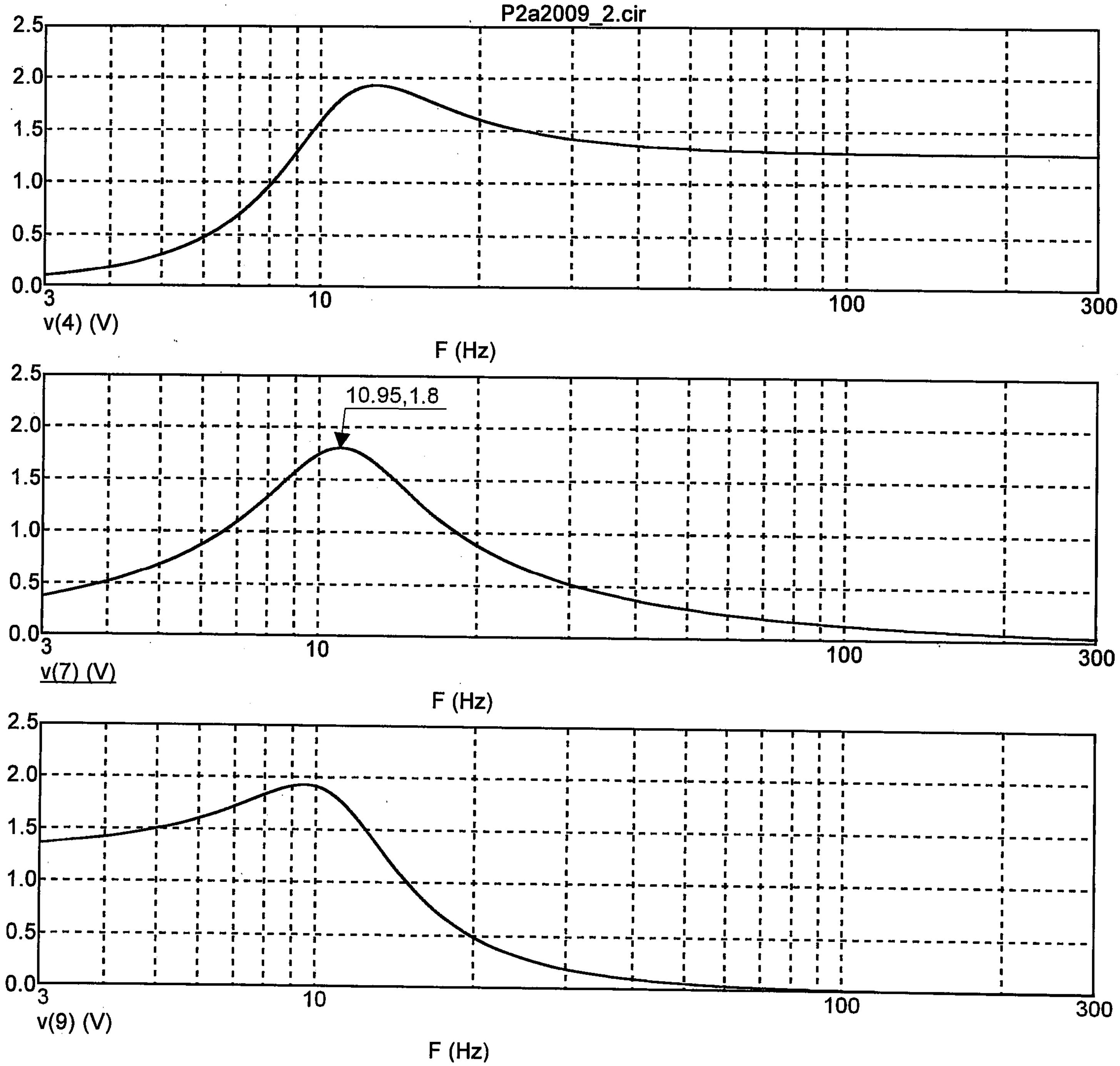


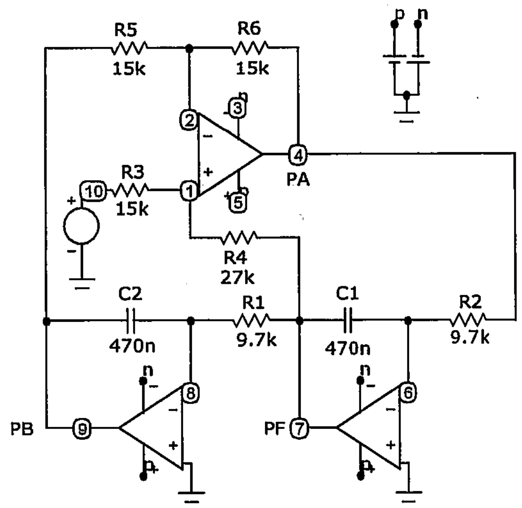
$$(R_a // R_V) + R_b = 30{,}8\,k$$

$$\frac{R_a \cdot 50}{R_a + 50} = 30{,}8 - 9{,}67$$

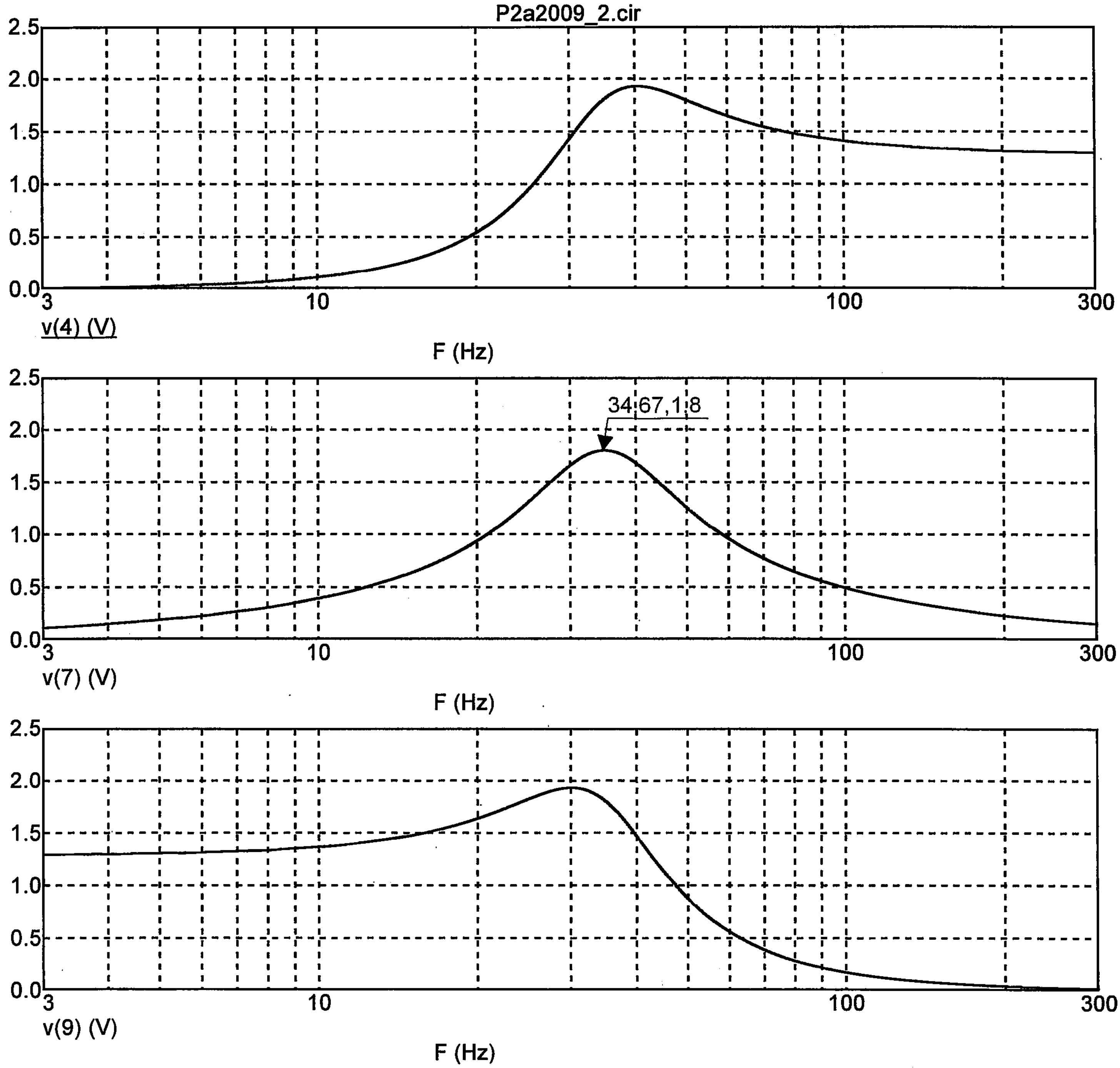
$$R_a = 36{,}6\,k \ //$$


R5
15k
R6
15k
R3
15k
R4
27k
C2
470n
R1
30.8k
C1
470n
R2
30.8k
PA
PB
PF
p
n


P2a2009_2.cir
v(4) (V)
F (Hz)
10.95,1.8
v(7) (V)
F (Hz)
v(9) (V)
F (Hz)



R5
15k
R6
15k
p
n
R3
15k
PA
R4
27k
C2
470n
R1
9.7k
C1
470n
R2
9.7k
9.7k
PB
PF



P2a2009_2.cir
v(4) (V)
F (Hz)
v(7) (V)
34.67,1.8
F (Hz)
v(9) (V)
F (Hz)

Versão P2 2014-1

$f_{min} = 11\ Hz$

$f_{máx} = 28\ Hz$

$\varphi = 0{,}9$

Potenc. $R_p = 47k$ ou $100k$

$R_3 = R_5 = R_6 = R = 15k$

$C_1 = C_2 = C = 470\ \mu F$

$R_1 = R_2 = R_x$

Equacionando dá:

$$W_0 = \frac{1}{R_x \cdot C} \qquad (1)$$

$$H_0 = \frac{2 \cdot R_4}{R + R_4} \qquad (2)$$

$$\varphi = \frac{R + R_4}{2 \cdot R} \qquad (3)$$

Cálculos:

Aplicando (3):

$$0{,}9 = \frac{15k + R_4}{2 \cdot 15k} \rightarrow R_4 = 12k //$$

Aplicando (2):

$$H_0 = \frac{2 \cdot 12k}{15k + 12k} \rightarrow H_0 = 0{,}885 //$$

Limites de R_x:

$$W_{min} = 2 \cdot \pi \cdot f_{min} = 2 \cdot \pi \cdot 11 = 69{,}1\ \frac{rad}{s}$$

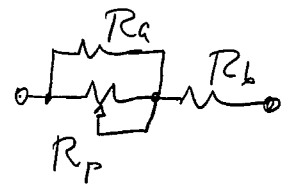
$$W_{máx} = 2 \cdot \pi \cdot f_{máx} = 2 \cdot \pi \cdot 28 = 175{,}9\ \frac{rad}{s}$$

Limites de R_x, usando (1):

$$R_{x\,min} = \frac{1}{W_{máx} \cdot C} = \frac{1}{175{,}9 \cdot 470 \cdot 10^{-6}} = 12k //$$

$$R_{x\,máx} = \frac{1}{W_{min} \cdot C} = \frac{1}{69{,}1 \cdot 470 \cdot 10^{-6}} = 30{,}8k //$$

Para obter estes valores usamos a topologia:



$= R_x$

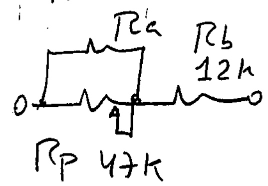
Escolhemos $R_p = 47k$

Para $R_{x\,min} = 12k$ fica:

$R_p = 0$ e $R_b = 12k //$

Para $R_{x\,máx} = 30{,}8k$ fica:

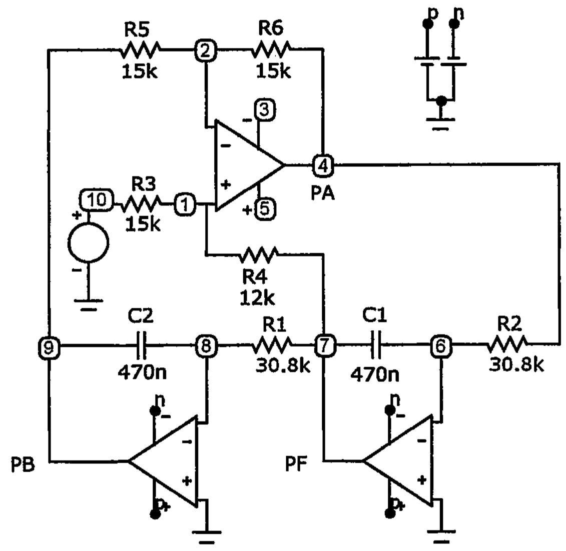
$R_p = 47k$

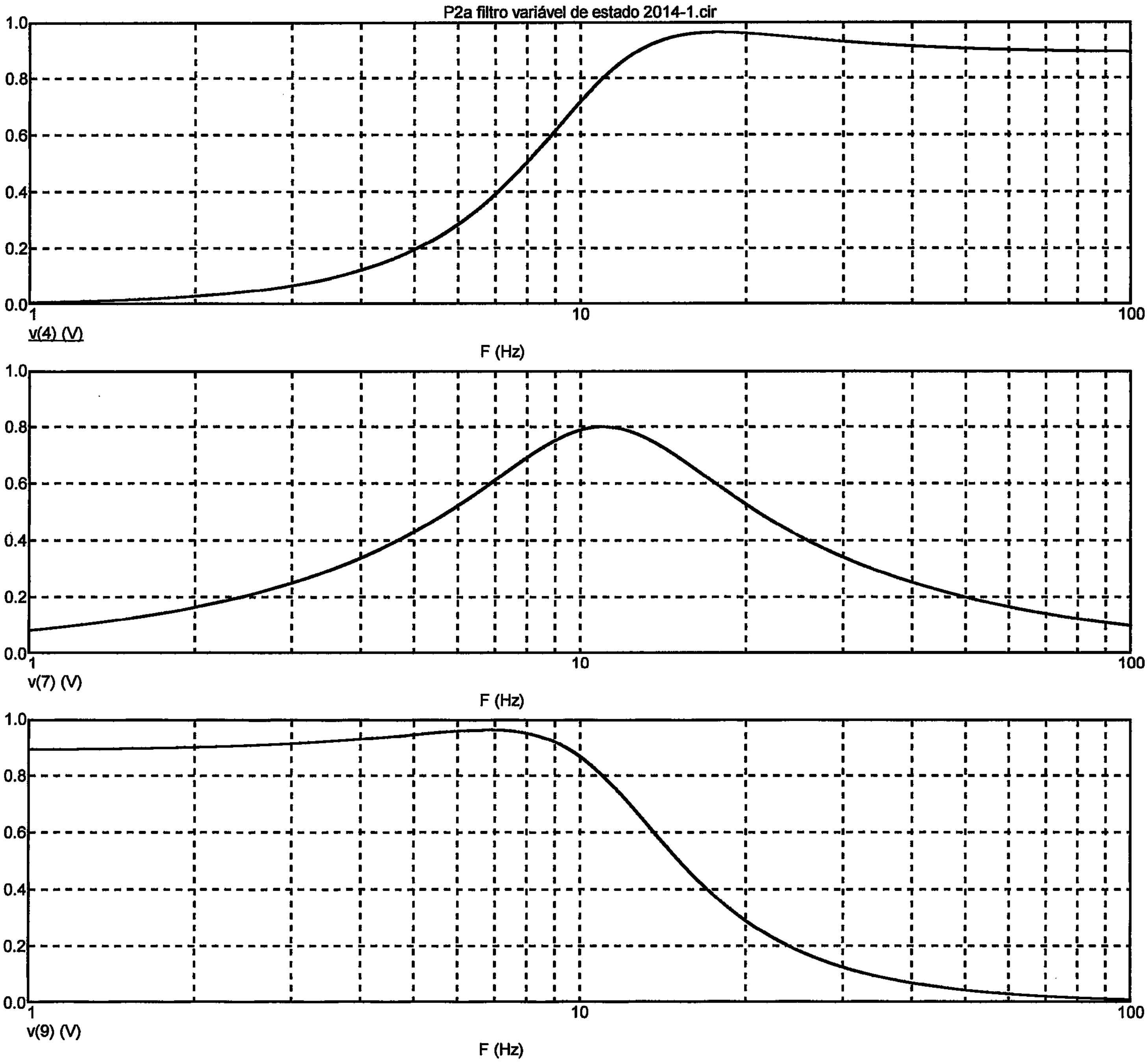


$R_x = R_a // R_p + R_b = 30{,}8k$

$$\frac{R_a \cdot 47k}{R_a + 47k} + 12k = R_b$$

Então $R_b = 31{,}3k //$


R5
15k
R6
15k
R3
15k
R4
12k
C2
470n
R1
30.8k
C1
470n
R2
30.8k
PA
PB
PF
p
n


P2a filtro variável de estado 2014-1.cir
v(4) (V)
F (Hz)
v(7) (V)
F (Hz)
v(9) (V)
F (Hz)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2014/2

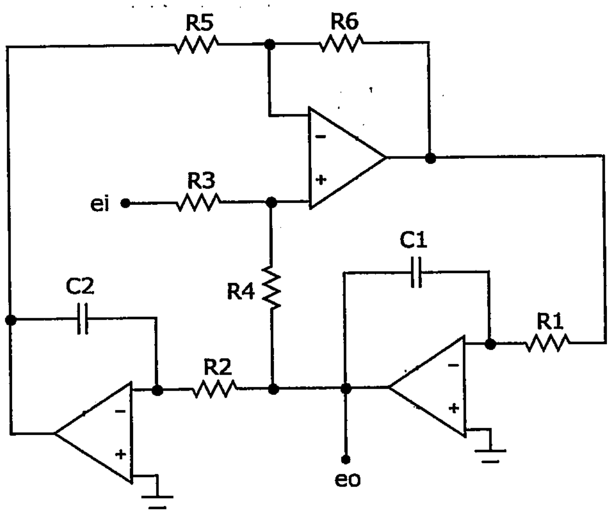
Prova 2 9/12/2014

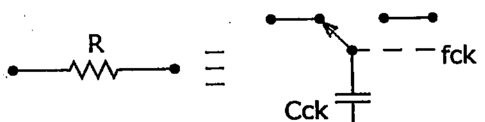
Nome: GABARITO **Turma:** ______

Sempre equacione o circuito em formato literal e depois aplique os valores numéricos.

1. A saúde de uma máquina rotativa pode ser avaliada dinamicamente pelo conjunto de ruídos produzidos mas é uma tarefa de difícil interpretação, agravada pelas variações de velocidade. Para isolar os ruídos de interesse aplicam-se filtros de diversos tipos, centrados na frequência de rotação da máquina e em algumas harmônicas.
Estude a topologia do filtro tipo Variáveis de Estado, do qual temos interesse em sua saída Passa-Faixa. Manipule a equação em formato literal e separe totalmente os três parâmetros, aplicando logo a seguir a simplificação de usar capacitores iguais a 100nF e resistores iguais a 18k, exceto R4 e os responsáveis pelo ajuste da frequência central.
Determine e justifique o cálculo dos componentes para compor um filtro ajustável entre 43Hz e 318Hz (nesta etapa calcule os limites apenas) com fator de qualidade 16.
Para sincronizar e acompanhar as variações de velocidade da máquina, aplique a estrutura de Capacitores Chaveados neste filtro (projete e justifique), usando uma frequência de controle 16 vezes maior do que a do filtro e calcule os componentes para isso. Arredonde os valores.
Desenhe o circuito completo com todos os valores. Componentes ideais.

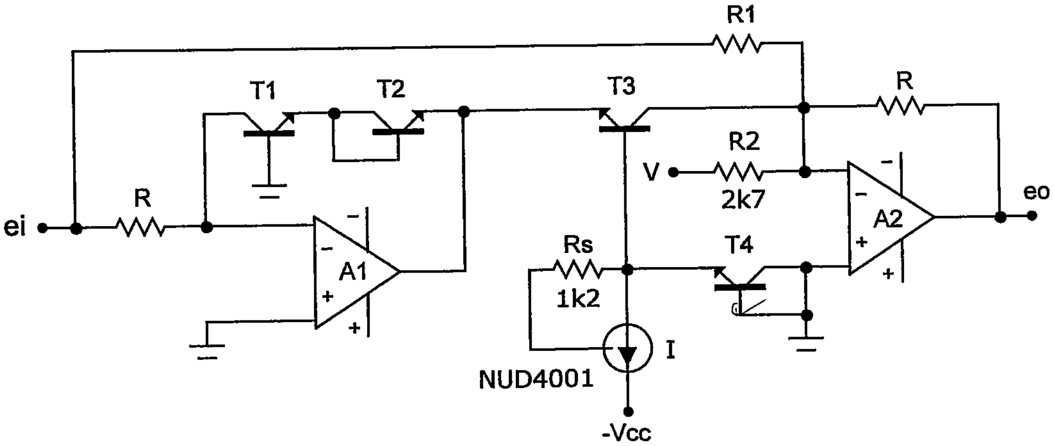
$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PF} = \frac{-s\dfrac{1}{R_1\cdot C_1}\cdot\dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{s^2+s\dfrac{1}{R_1\cdot C_1}\cdot\dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3}+\dfrac{R_6}{R_5}\cdot\dfrac{1}{R_1\cdot R_2\cdot C_1\cdot C_2}} = \frac{H_0\cdot\dfrac{\omega_0}{Q}\cdot s}{s^2+\dfrac{\omega_0}{Q}s+\omega_0^2}$$



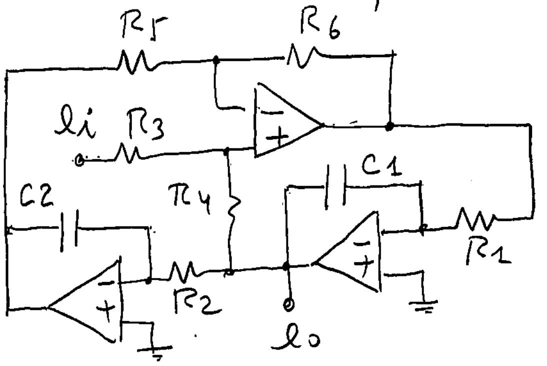


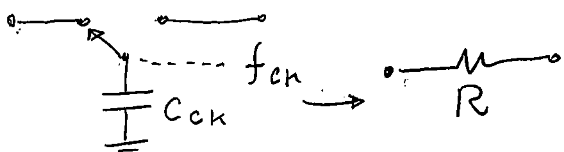
R = 1 / Cck·fck

2. Examine a topologia a seguir, entenda o funcionamento e equacione sua função de transferência em formato literal, descrevendo cada passo com textos, equações e diagramas. Dimensione os componentes para resolver com precisão a equação: $e_o = e_i^2 - 2e_i + 3,5$
$V_{be} = (k\cdot T / q)\cdot\ln(I_c / I_o)$. Fonte de corrente NUD4001: $R_s = V_{ref} / I$ onde $V_{ref} = 0,8$ e $I_{Rs} = 0$.



A saída de uma máquina rotativa pode ser avaliada dinamicamente pelo conjunto de ruídos produzidos mas é uma tarefa de difícil interpretação, agravada pelas variações de velocidade. Para isolar os ruídos de interesse aplica-se filtros Passa-Faixas centrados na frequência de rotação da máquina e em suas harmônicas.
Estude a topologia do filtro PF tipo Variáveis de Estado, equacione em formato literal cada parâmetro, aplicando logo a seguir a simplificação de usar capacitores iguais a 100nF e os resistores iguais a 18k, exceto R4 e os responsáveis pelo ajuste da frequência central. Determine e justifique o cálculo dos componentes para compor um PF ajustável entre 43Hz e 318Hz (calcule os limites) com fator de qualidade 16.
Para sincronizar e acompanhar as variações de velocidade da máquina, aplique a estrutura de Capacitores Chaveados, usando uma frequência de controle 16 vezes maior que a da máquina.
Desenhe o circuito completo com todos os valores calculados. Componentes ideais. Arredonde os valores.





$$R = \frac{1}{C_{ch} \cdot f_{ch}}$$

$$\frac{V_{PF}}{V_i} = \frac{-s \dfrac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_3/R_4}}{s^2 + s \dfrac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \dfrac{1+R_6/R_5}{1+R_4/R_3} + \dfrac{R_6}{R_5} \cdot \dfrac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} = \frac{H_0 \dfrac{W_0}{\varphi} s}{s^2 + \dfrac{W_0}{\varphi} s + W_0^2}$$

---

comparando as duas equações:

$$W_o^2 = \frac{R_6/R_5}{R_1 C_1 R_2 C_2} \rightarrow W_o = \sqrt{\frac{R_6/R_5}{R_1 C_1 R_2 C_2}}$$

Simplificando:

$$R = R_1 = R_2 \quad C = C_1 = C_2 \quad R_5 = R_6$$

$$W_o = \frac{1}{\sqrt{R^2 \cdot C^2}} \longrightarrow W_o = \frac{1}{R \cdot C} \ //$$

$$\frac{W_o}{Q} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \frac{1 + R_6/R_5}{1 + R_4/R_3}$$

$$Q = \frac{\sqrt{\frac{R_6/R_5}{R_1 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot C_2}}}{\frac{1}{R_1 \cdot C_1} \cdot \frac{1 + R_6/R_5}{1 + R_4/R_3}}$$

$$Q = \frac{1}{\frac{\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}{R_1 \cdot C_1} \cdot \frac{1 + R_6/R_5}{1 + R_4/R_3}} \ //$$

Simplificando:

$$R_a = R_3 = R_5 = R_6$$

$$Q = \frac{1}{\frac{R \cdot C}{R \cdot C} \cdot \frac{1 + R_a/R_a}{1 + R_4/R_a}}$$

$$Q = \frac{1}{\frac{2}{1 + R_4/R_a}} = \frac{1 + \frac{R_4}{R_a}}{2}$$

$$Q = \frac{R_4 + R_a}{2 \cdot R_a} \ //$$

$$H_o \cdot \frac{W_o}{Q} = -\frac{1}{R_1 C_1} \cdot \frac{1 + R_6/R_5}{1 + R_3/R_4}$$

$$H_o \cdot \frac{1}{\cancel{R_1} C_1} \cdot \frac{\cancel{1 + R_6/R_5}}{1 + R_4/R_3} = -\frac{1}{R_1 \cancel{C_1}} \cdot \frac{\cancel{1 + R_6/R_5}}{1 + R_3/R_4}$$

$$H_o = -\frac{1 + R_4/R_3}{1 + R_3/R_4} = -\frac{\frac{\cancel{R_3 + R_4}}{R_3}}{\frac{\cancel{R_3 + R_4}}{R_4}}$$

$$H_o = -\frac{R_4}{R_3} \longrightarrow H_o = -\frac{R_4}{R_a}$$

Personalizando com $C = 100 \text{mF}$:

Limite de W_o:

$$R_{Low} = \frac{1}{W_{Low} \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 43 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$

$$R_{Low} = 37k \ //$$

$$R_{High} = \frac{1}{W_{High} \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 318 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$$

$$R_{High} = 5k \ //$$

$$Q = \frac{R_4 + R_a}{2 \cdot R_a} = 16 = \frac{R_4 + 18 \cdot 10^3}{2 \cdot 18 \cdot 10^3}$$

$$R_4 = 558k \cong 560k \ //$$

$$H_o = -\frac{R_4}{R_a} = -\frac{558}{18k} \longrightarrow H_o = -31 \ //$$

Equivalente em dBs:

$$|H_o\ (dB)| = 20 \cdot \log 31$$

$$|H_o\ (dB)| = 29{,}8\ dB \ //$$

- - - - - - - - - - - -

Transformando $R_1 = R_2 = R$ em capacitores chaveados:

$$R = \frac{1}{C_{ch} \cdot f_{ch}} \quad e \quad f_{ch} = 16 \cdot f$$

$$R_{Low} = 37k = \frac{1}{C_{ch} \cdot 16 \cdot 43}$$

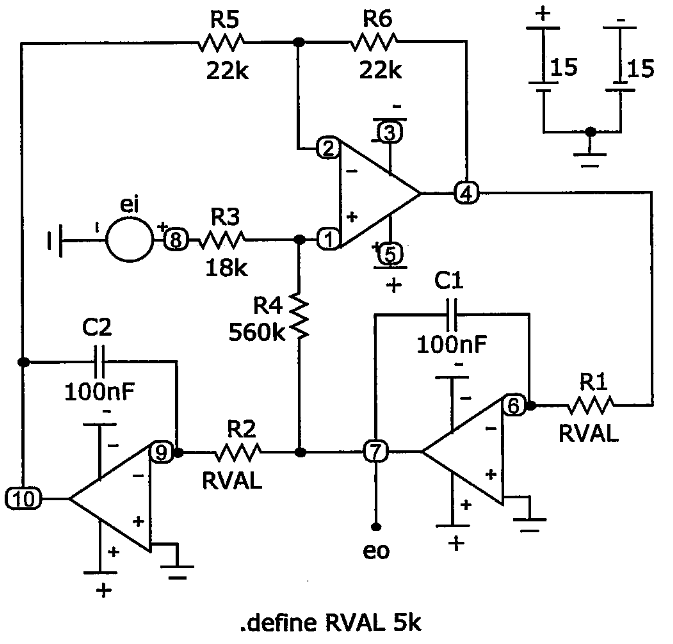
$$C_{ch} = 39 \text{ mF} \ //$$

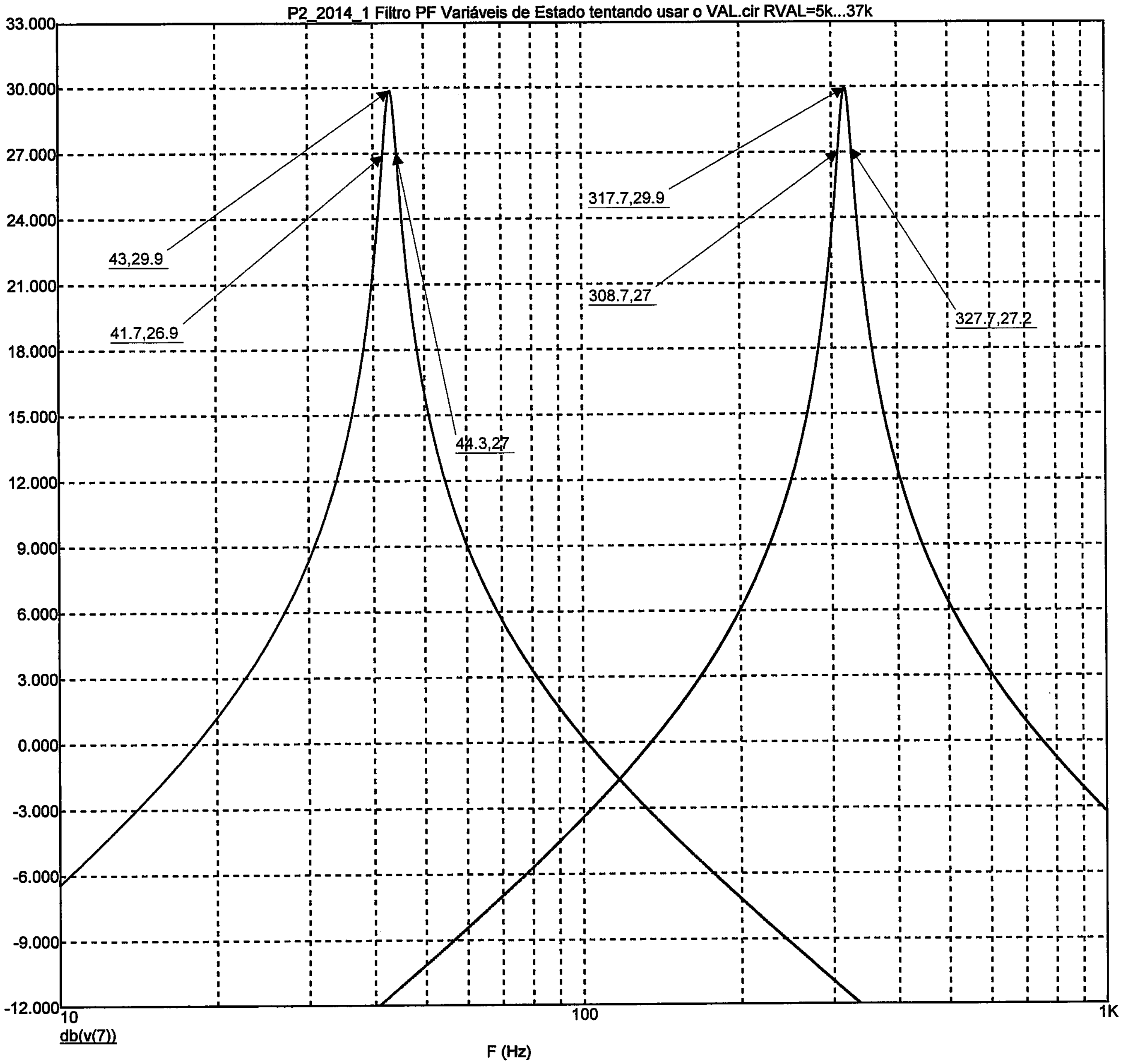
Confirmando:

$$R_{High} = 5k = \frac{1}{C_{ck} \cdot 16 \cdot 318}$$

$$C_{ch} = 39 \text{ mF} \ //$$

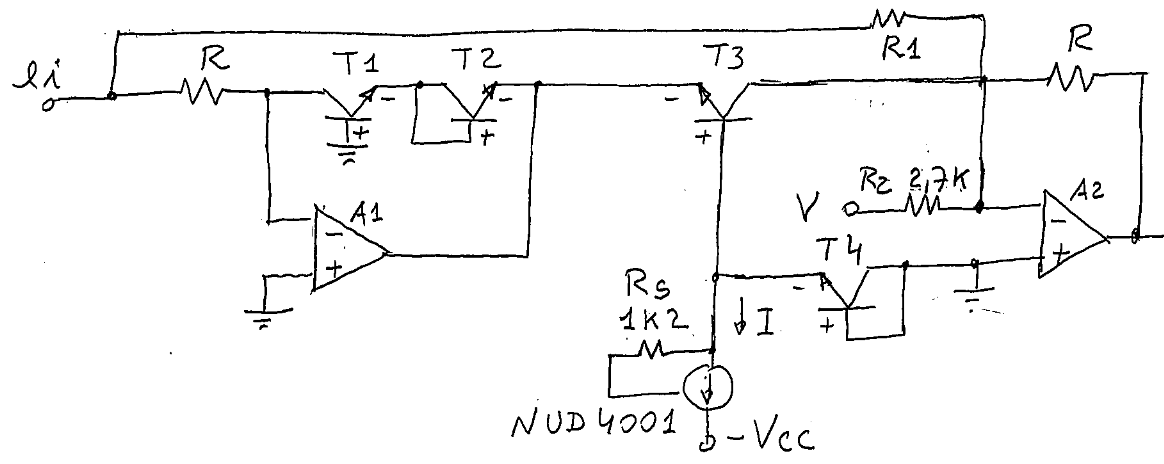
mesmo valor.


R5
22k
R6
22k
15
15
ei
R3
18k
R4
560k
C1
100nF
C2
100nF
R2
RVAL
R1
RVAL
eo
.define RVAL 5k


P2_2014_1 Filtro PF Variáveis de Estado tentando usar o VAL.cir RVAL=5k...37k
33.000
30.000
27.000
24.000
21.000
18.000
15.000
12.000
9.000
6.000
3.000
0.000
-3.000
-6.000
-9.000
-12.000
10
100
1K
43,29.9
41.7,26.9
44.3,27
317.7,29.9
308.7,27
327.7,27.2
db(v(7))
F (Hz)

Examine o circuito, entenda o funcionamento e equacione sua função de transferência em formato literal. Dimensione os componentes para resolver a equação $l_o = l_i^2 - 2 \cdot l_i + 3{,}5$

Fonte de corrente NUD4001: $R_S = \frac{V_{ref}}{I}$ e $V_{ref} = 0{,}8$.



Transistores casados e na mesma temperatura.

A1: Conversor log com uma junção adicional.

A2: conversor antilog e somador: soma as correntes na massa virtual.

Fonte de corrente I para $-V_{cc}$. Fonte de tensão V.

Método: Aplicar KVL para os dois lados, no nó que é o domínio dos logs, no caso, a saída de A1 → V_x:

$V_x = -V_{BE2} - V_{BE1}$

$V_x = -V_{BE3} - V_{BE4}$

A igualdade no nº de V_{BE}s mostra que o circuito é estável com a temperatura.

Igualando as equações acima e lembrando que $V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_0}\right)$:

$$-\frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{c3}}{I_o}\right) - \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right)$$

Simplificando: mesma temperatura e mesmo I_o:

$$\ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) + \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) = \ln\left(\frac{I_{c3}}{I_o}\right) + \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right)$$

Examinando o circuito:

$I_{c2} = I_{c1} = \frac{l_i}{R}$ (massa virtual de A1)

KCL na massa virtual de A2:

$$\frac{l_o}{R} + \frac{l_i}{R_1} + \frac{V}{R_2} = I_{c3}$$

$I_{c4} = I$ sendo $I = \frac{V_{ref}}{R_S}$

Simplificando: $\ln(a) + \ln(b) = \ln(a \cdot b)$ e isolando a saída:

$$\cancel{\ln}\left(\frac{e_i \cdot e_i}{R \cdot R \cdot I_o \cdot \cancel{I_o}}\right) = \cancel{\ln}\left(\frac{\left(\frac{e_o}{R} + \frac{e_i}{R_1} + \frac{V}{R_2}\right) \cdot I}{I_o \cdot \cancel{I_o}}\right)$$

$$\frac{e_i^2}{R^2} = \frac{e_o \cdot I}{R} + \left(\frac{e_i}{R_1} + \frac{V}{R_2}\right) \cdot I$$

$$e_o = \frac{R}{I}\left[\frac{e_i^2}{R^2} - \left(\frac{e_i}{R_1} - \frac{V}{R_2}\right) \cdot I\right]$$

$$e_o = \frac{e_i^2}{R \cdot I} - \frac{e_i \cdot R}{R_1} - \frac{V \cdot R}{R_2} \quad e \quad I = \frac{V_{ref}}{R_S} \quad //$$

Personalização comparando com a função desejada:

$$\frac{e_i^2}{R \cdot I} = e_i^2 \rightarrow R \cdot I = 1$$

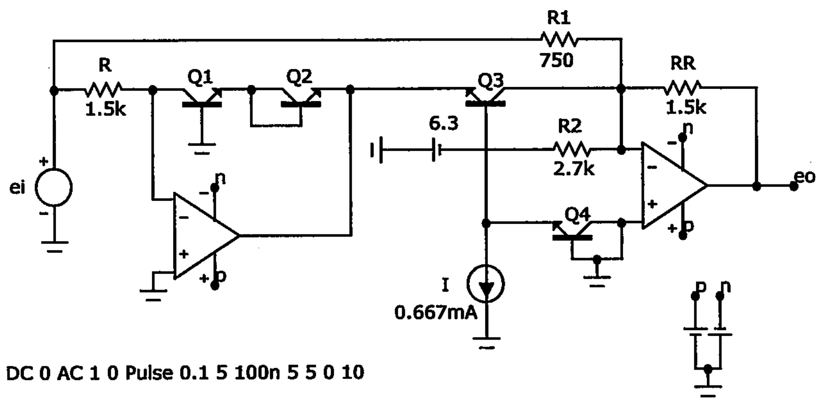
$$\frac{R \cdot V_{ref}}{R_S} = 1$$

$$\frac{R \cdot 0{,}8}{1{,}2k} = 1 \rightarrow R = 1{,}5\,k \,//$$

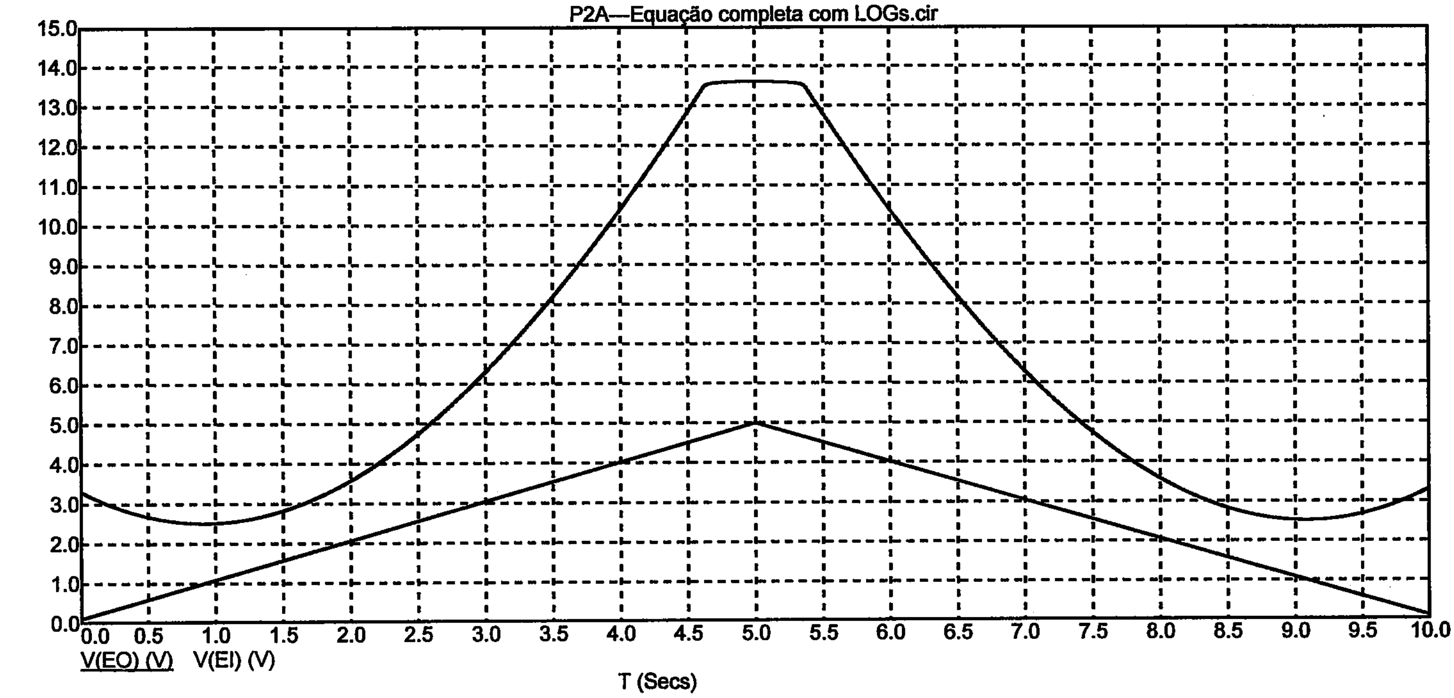
$$-\frac{e_i \cdot R}{R_1} = -2 \cdot e_i \rightarrow R_1 = \frac{R}{2} = \frac{1k5}{2} \rightarrow R_1 = 750\,\Omega \,//$$

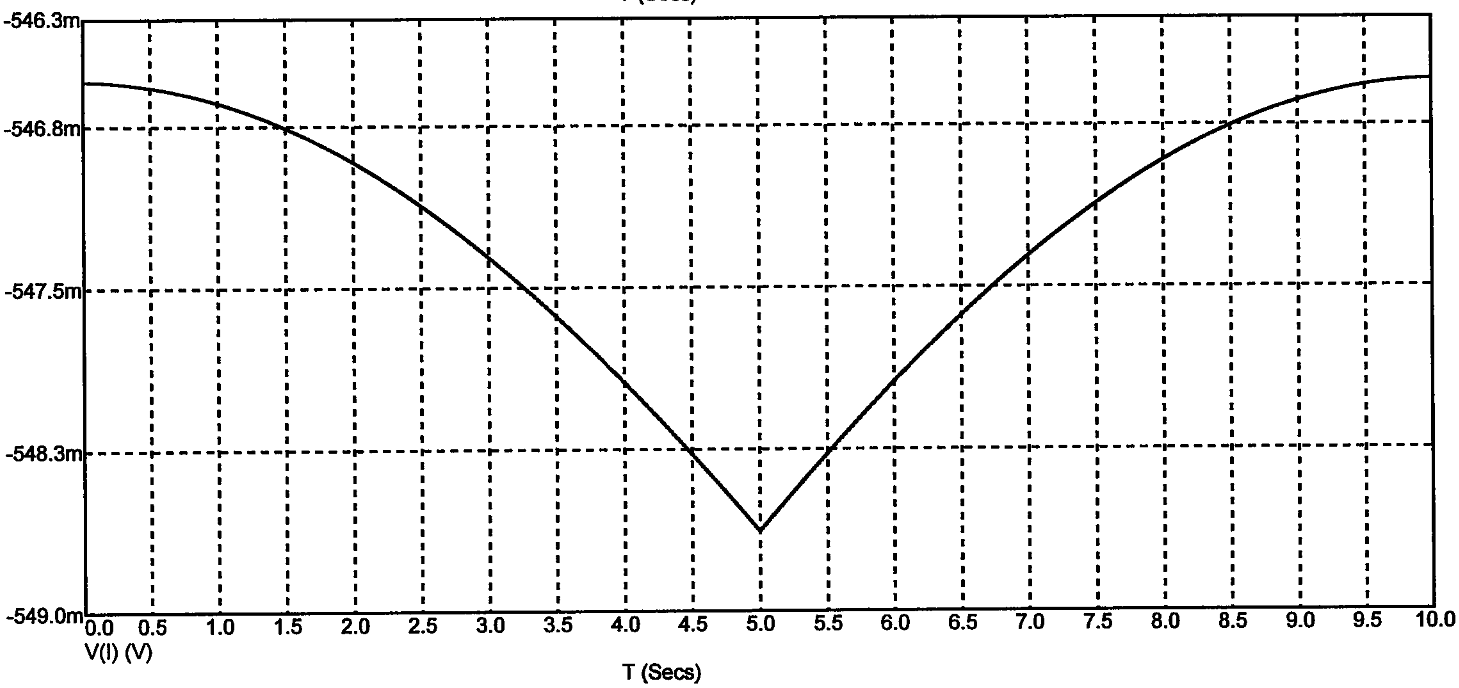
$$-\frac{V \cdot R}{R_2} = +3{,}5 \rightarrow V = -\frac{3{,}5 \cdot R_2}{R} = -\frac{3{,}5 \cdot 2{,}7k}{1{,}5\,k} \rightarrow V = -6{,}3 \text{ Volts} \,//$$

P2 2014-2: Resolve equação eo = ei**2 - 2*ei + 3,5



DC 0 AC 1 0 Pulse 0.1 5 100n 5 5 0 10



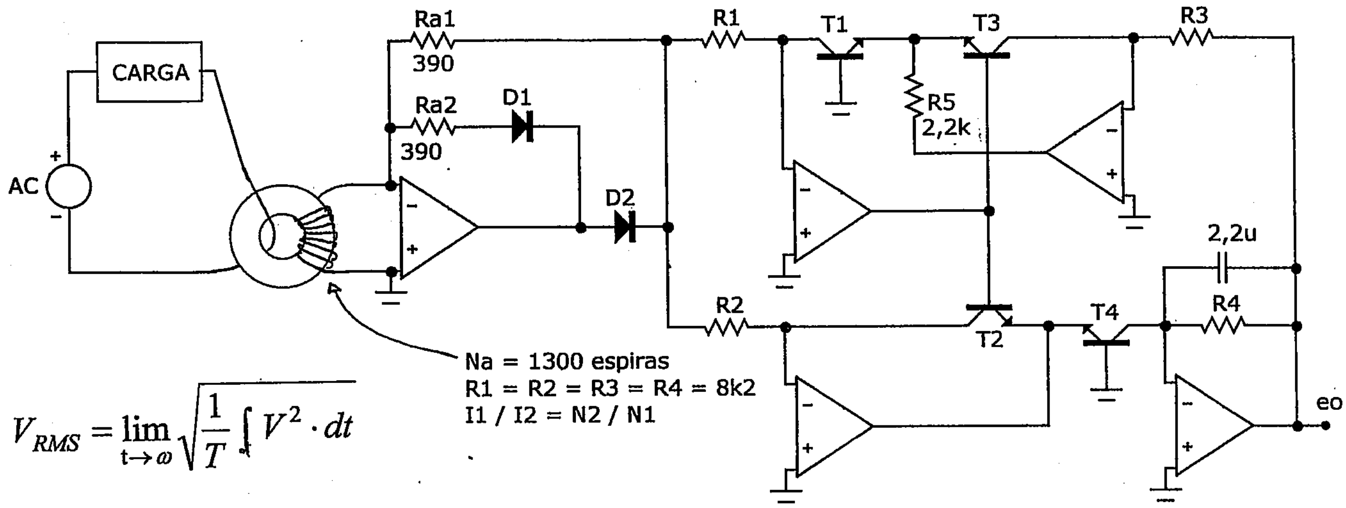


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2015/1

Prova 2 30/6/2015

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1) O circuito a seguir calcula o valor RMS da corrente drenada por cargas ligadas na rede elétrica.
a) Examine em detalhes cada bloco deste aparelho, entenda o funcionamento e descreva amplamente agora (será avaliado).
b) Separe em blocos, equacione cada bloco até o fim, em formato literal, documentando com textos, equações e diagramas. Por enquanto, esqueça C_0. Aplique então os valores de circuito.
c) Junte os blocos para obter a equação literal de todo o circuito, sem variáveis internas.
d) Descreva a ação de C_0 na equação e confirme se o circuito atende às especificações.
e) Aplique os valores e determine o máximo pico de corrente na carga que pode ser medido.
Alimentação simétrica de 9V, operacionais ideais, transistores na mesma temperatura.



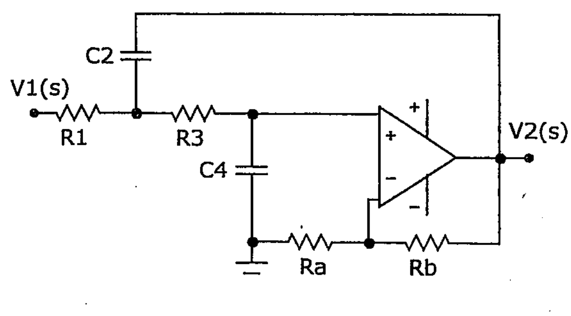
$$V_{RMS} = \lim_{t \to \infty} \sqrt{\frac{1}{T} \int V^2 \cdot dt}$$

2) Encadear filtros de 2^a ordem para obter um filtro mais seletivo causa dois inconvenientes: ganho excessivo (produto dos ganhos individuais) e incerteza nos parâmetros H_0, ω_0 e $1/Q$ devido ao acúmulo das tolerâncias dos componentes. Para minimizar estes efeitos, estude as vantagens de utilizar células PB Salen-Key de 2^a ordem com ganho unitário e qualquer $1/Q$.
a) Extraia os parâmetros acima em formato literal, em função dos componentes apenas e aplique a seguir o ganho unitário.
b) Personalize as equações das sensibilidades até obter todas em função dos componentes apenas. Aplique agora o ganho unitário o comente se houve vantagens.
c) Estude agora se é vantajoso fazer os resistores iguais e escreva as novas equações de sensibilidade. Comente os resultados.
d) Informe as equações finais para o cálculo do filtro e facilite o dimensionamento dos capacitores representando-os por equações onde não aparece o outro capacitor.

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{K}{s^2(R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4) + s(R_3 \cdot C_4 + R_1 \cdot C_4 + (1-K) \cdot R_1 \cdot C_2) + 1} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^{\,2}}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^{\,2}}$$

$$S_{R1}^{Q} = -S_{R3}^{Q} = -\frac{1}{2} + Q \cdot \sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 \cdot C_2}}$$

$$S_{Ra}^{Q} = -S_{Rb}^{Q} = -Q \cdot (K-1) \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_2}{R_3 \cdot C_4}} - Q \cdot \frac{R_b}{R_a} \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_2}{R_3 \cdot C_4}}$$



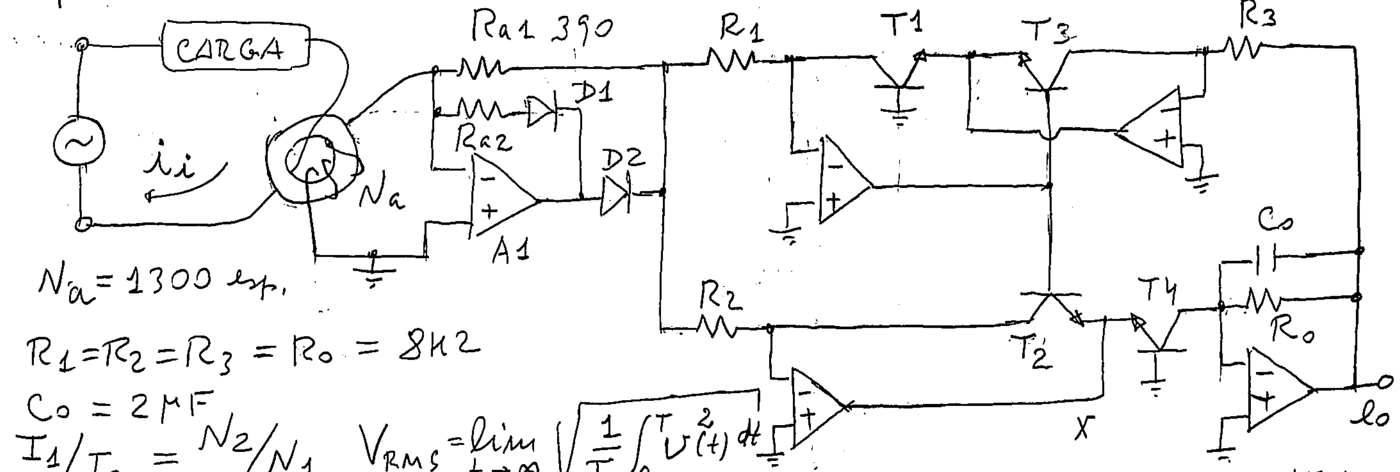
O circuito a seguir calcula o valor RMS da corrente em cargas ligadas na rede elétrica.

a) Examine em detalhes cada bloco deste aparelho, entenda o funcionamento e descreva amplamente (será avaliado).

b) Separe em blocos e equacione cada um até o fim em formato literal, documentando com textos, equações e diagramas. Aplique então os valores do circuito.

c) Junte os blocos (equações) para obter a equação literal da função de transferência do circuito sem variáveis internas.

d) Aplique os valores e determine o máximo pico de corrente que pode ser medido. $V_{cc} = \pm 9V$. Operacionais ideais.



$N_a = 1300$ esp.

$R_1 = R_2 = R_3 = R_o = 8K2$

$C_o = 2\mu F$

$I_1/I_2 = N_2/N_1 \quad V_{RMS} = \lim_{t \to \infty} \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt}$

P2 2015-1

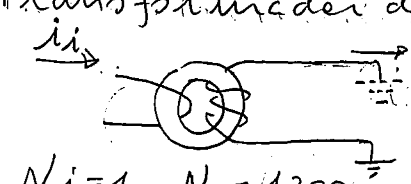
---

a) Corrente na carga passa por um transformador de corrente que promove a isolação da rede e vai para A1 que tem massa virtual → Secundário está em curto entre massa e massa virtual.

A1 é um conversor tipo corrente-tensão inversor acrescido de D2 que elimina tensões negativas e D1 que garante a continuidade da massa virtual.

O bloco seguinte, com 4 operacionais é um conversor log e será equacionado pelo Método específico para esta classe de circuitos. Só então será possível descobrir os detalhes de sua função de conversor RMS.

Transformador de corrente:

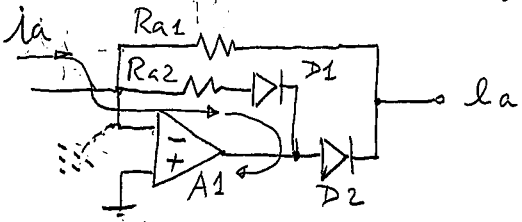


$N_i = 1$ $\quad N_a = 1300$

como $\frac{i_i}{i_a} = \frac{N_a}{N_i} \rightarrow i_a = i_i \cdot \frac{N_i}{N_a}$ //

$i_a = i_i \cdot \frac{1}{1300} \rightarrow i_a = \frac{i_i}{1300}$ //

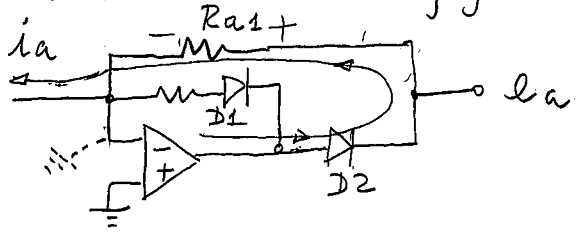
Conversor $I \rightarrow V$ retificador:



Hipótese: sentido da corrente como na figura:

A_1 é inversor e $e_+ = e_-$ logo D1 conduz e D2 corta. $e_a = 0$ com impedância R_{a1} para a massa.

Hipótese: i_i em sentido contrário ao da figura:



Agora D2 conduz e D1 corta.
Lembrando a massa virtual:

$e_a = i_a \cdot R_{a1}$ //

$e_a = 390 \cdot i_a$ //

Juntando com o bloco anterior:

$e_a = 390 \frac{i_i}{1300} \rightarrow e_a = 0{,}3 \cdot i_i$ Volts //

Bloco do conversor log:
Método: Encontrar o nó X de domínio dos logs e aplicar KVL até a massa.
X é a junção dos emissores de T2 e T4, entrada do antilog.

KVL: $-V_{BE2} + V_{BE3} - V_{BE1} = -V_{BE4}$

como $V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$, fazendo $\frac{k \cdot T}{q} = V_T$ e supondo inicialmente que I_o seja um valor constante de modo que I_o não participe:

$$-V_T \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right) + V_T \ln\left(\frac{I_{c3}}{I_o}\right) - V_T \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_o}\right) = -V_T \ln\left(\frac{I_{c4}}{I_o}\right)$$

Lembrando da massa virtual:

$$-V_T \ln\left(\frac{e_a}{R_2 \cdot I_o}\right) + V_T \ln\left(\frac{e_o}{R_3 \cdot I_o}\right) - V_T \ln\left(\frac{e_a}{R_1 \cdot I_o}\right) = -V_T \ln\left(\frac{e_o}{R_o \cdot I_o}\right)$$

Simplificando V_T e isolando a saída e_o:

$$\ln\left(\frac{e_a}{R_2 I_o}\right) + \ln\left(\frac{e_a}{R_1 I_o}\right) = \ln\left(\frac{e_o}{R_3 I_o}\right) + \ln\left(\frac{e_o}{R_o I_o}\right)$$

$$\cancel{\ln}\left(\frac{e_a \cdot e_a}{R_2 \cdot R_1 \cdot \cancel{I_o \cdot I_o}}\right) = \cancel{\ln}\left(\frac{e_o \cdot e_o}{R_3 \cdot R_o \cdot \cancel{I_o \cdot I_o}}\right)$$

$$\frac{e_a^2}{R_2 \cdot R_1} = \frac{e_o^2}{R_3 \cdot R_o}$$

$$e_o = \sqrt{\frac{R_3 \cdot R_o}{R_1 \cdot R_2} \cdot e_a^2} \quad //$$

O operacional com C_o e R_o é um filtro passa-baixas que atenua as variações ou seja, faz a média do sinal, compondo a média de e_a ao quadrado.

Aplicando os valores:
como os resistores são iguais:

$$e_o = \sqrt{(0{,}3 \cdot i_i)^2}$$

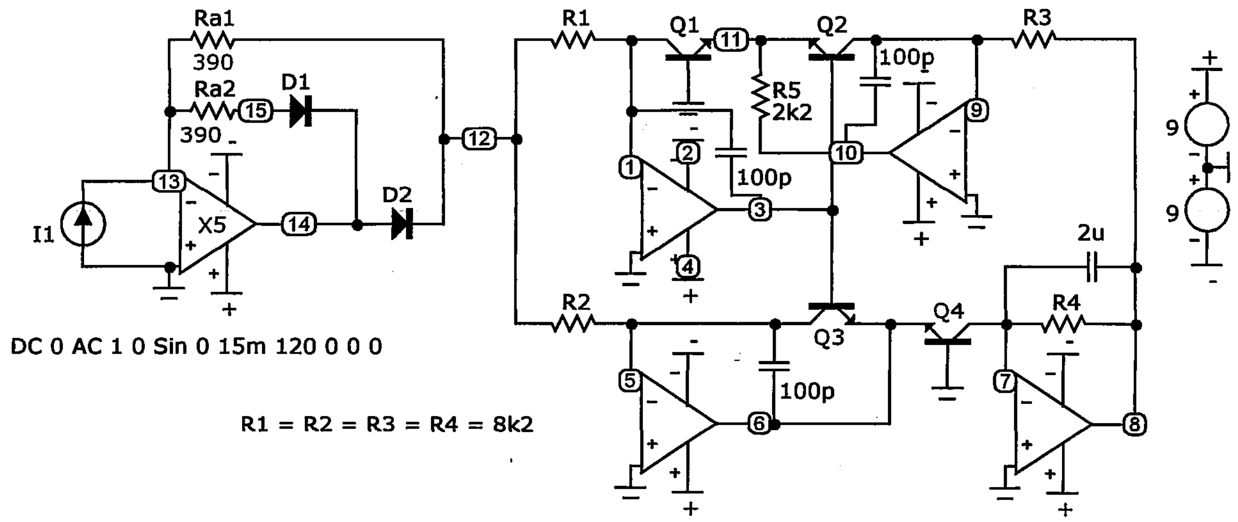
$$e_o = 0{,}3\sqrt{i_i^2} \quad //$$

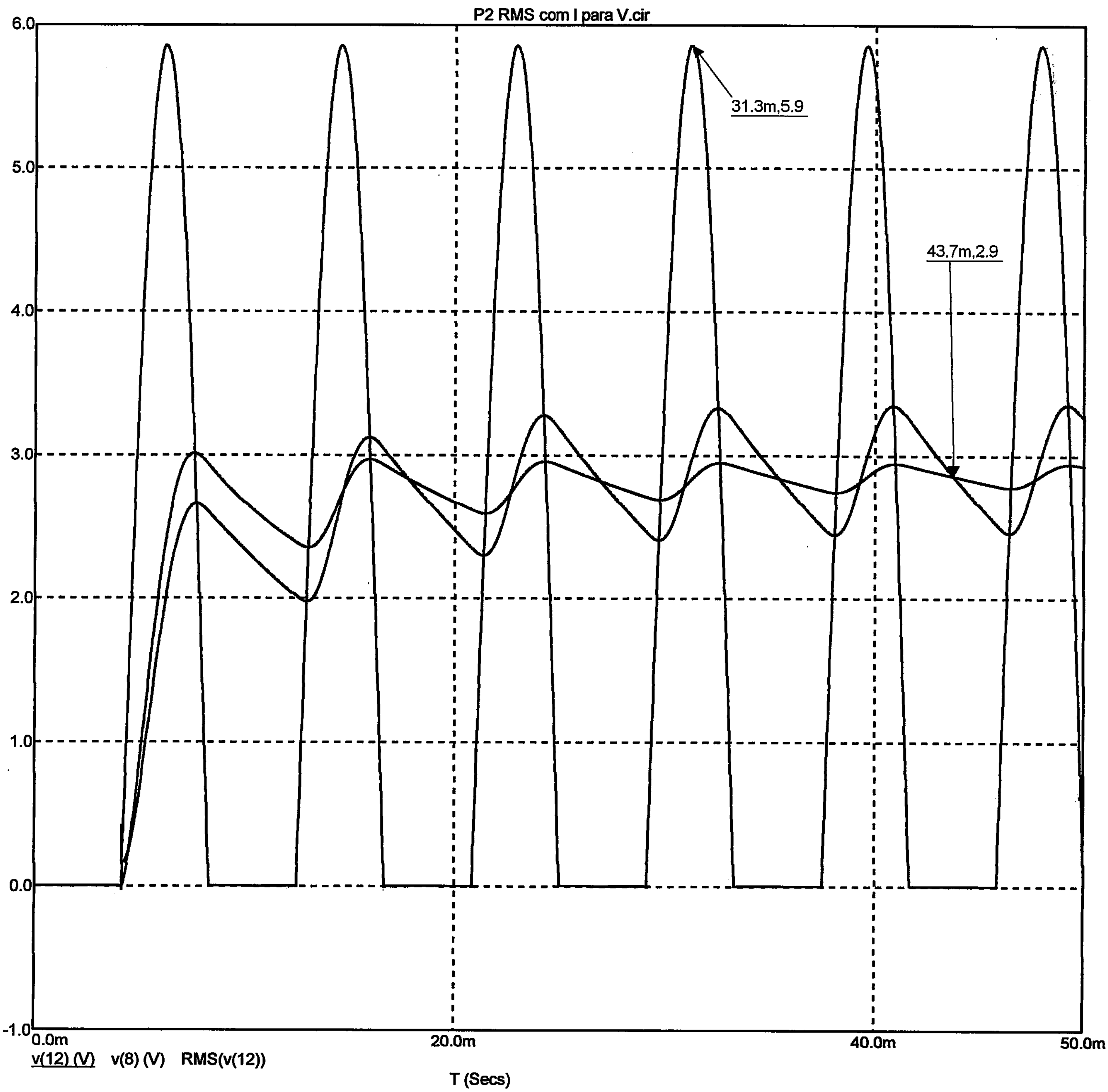
d) Para não saturar,

$$e_a \leq V_{cc}$$

$$e_a = 9 = 0{,}3 \cdot i_i$$

$i_i = 30$ Amperes máximo //


Ra1
390
Ra2
390
D1
D2
I1
X5
R1
R2
R3
R4
R5
2k2
Q1
Q2
Q3
Q4
100p
100p
100p
2u
9
9
DC 0 AC 1 0 Sin 0 15m 120 0 0 0
R1 = R2 = R3 = R4 = 8k2


P2 RMS com I para V.cir
31.3m,5.9
43.7m,2.9
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
0.0m
20.0m
40.0m
50.0m
v(12) (V) v(8) (V) RMS(v(12))
T (Secs)

Encadear filtros de 2ª ordem para obter um filtro mais seletivo causa dois inconvenientes: ganho excessivo (produto dos ganhos individuais) e maior incerteza nos parâmetros H_0, W_0 e $\frac{1}{\varphi}$ (acúmulo das tolerâncias no valor dos componentes).
Para minimizar estes inconvenientes, estude as vantagens de utilizar uma célula PB Salen-Key de 2ª ordem com ganho unitário e qualquer φ.

a) Extraia os parâmetros W_0 e $1/\varphi$ em função dos componentes apenas. Aplique agora o ganho unitário.

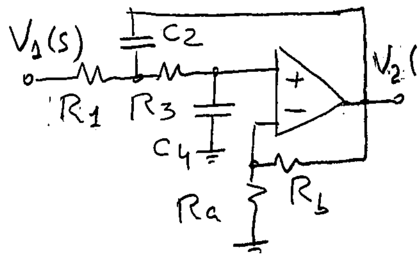
b) Personalize as equações de sensibilidade abaixo até obter todas em função dos componentes apenas. Aplique agora o ganho unitário e comente se houve vantagens.

c) Estude agora se é vantajoso fazer os resistores iguais e escreva as novas equações de sensibilidade.

d) Informe as equações finais para o cálculo do filtro, e facilite o dimensionamento dos capacitores representando-os por equações onde não aparece o outro capacitor.

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K}{s^2(R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4) + s\left(R_3 \cdot C_4 + R_1 \cdot C_4 + (1-K)R_1 \cdot C_2\right) + 1} = \frac{H_0 \cdot W_0^2}{s^2 + \frac{W_0}{\varphi} s + W_0^2}$$

$$S_{R_1}^{\varphi} = -S_{R_3}^{\varphi} = -\frac{1}{2} + \varphi\sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 \cdot C_2}}$$



Não

$$S_{C_2}^{\varphi} = -S_{C_4}^{\varphi} = -\frac{1}{2} + \varphi\left(\sqrt{\frac{R_1 \cdot C_4}{R_3 \cdot C_2}} + \sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 \cdot C_3}}\right)$$

$$S_{R_a}^{\varphi} = -S_{R_b}^{\varphi} = -\varphi(K-1)\sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_3 C_4}} - \varphi\frac{R_b}{R_a}\sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_3 C_4}}$$

P2 2015-1

---

a) comparando as duas formas da equação da função de transferência: Para facilitar a comparação:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_0 W_0^2}{s^2 + \frac{W_0}{\varphi}s + W_0^2} = \frac{H_0}{\frac{s^2}{W_0^2} + \frac{W_0}{\varphi \cdot W_0^2}s + \frac{W_0^2}{W_0^2}} = \frac{H_0}{\frac{s^2}{W_0^2} + \frac{1}{\varphi \cdot W_0}s + 1}$$

comparando agora:

$H_0 = K =$ ganho do filtro //

$$\cancel{S^2}(R_1 R_3 C_2 C_4) = \frac{\cancel{S^2}}{W_0^2}$$

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}} = \text{freq. de corte} \quad // (1)$$

$$\cancel{S}(R_3 C_4 + R_1 \cdot C_4 + (1-K) R_1 \cdot C_2) = \frac{\cancel{S}}{\varphi \cdot W_0}$$

Isolando $\frac{1}{\varphi}$ e aplicando (1):

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{R_3 \cdot C_4}{\sqrt{\cdots}} + \frac{R_1 \cdot C_4}{\sqrt{\cdots}} + \frac{(1-K) \cdot R_1 \cdot C_2}{\sqrt{\cdots}}$$

$$\frac{1}{\varphi} = \sqrt{\frac{R_3^2 C_4^2}{R_1 R_3 C_2 C_4}} + \sqrt{\frac{R_1^2 C_4^2}{R_1 R_3 C_2 C_4}} + (1-K)\sqrt{\frac{R_1^2 \cdot C_2^2}{R_1 R_3 C_2 C_4}}$$

$$\frac{1}{\varphi} = \sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 \cdot C_2}} + \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_4}{R_3 \cdot C_2}} + (1-K)\sqrt{\frac{R_1 \cdot C_2}{R_3 \cdot C_4}} \quad //$$

Adotando ganho unitário: $K=1$

$H_0 = K = 1$ //

$$\frac{1}{\varphi} = \sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 \cdot C_2}} + \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_4}{R_3 \cdot C_2}} \quad // (2)$$

b) Sensibilidades com $k=1$, em função dos componentes:

Aplicando (2) nas equações:

$$S^{\varphi}_{R1} = -S^{\varphi}_{R3} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 \cdot C_2}}}{\sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 C_2}} + \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_4}{R_3 \cdot C_2}}}$$

$$S^{\varphi}_{R1} = -S^{\varphi}_{R3} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{\dfrac{\sqrt{\frac{R_3 C_4}{R_1 C_2}} + \sqrt{\frac{R_1 C_4}{R_3 C_2}}}{\sqrt{\frac{R_3 \cdot C_4}{R_1 C_2}}}}$$

$$S^{\varphi}_{R1} = -S^{\varphi}_{R3} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{R_1 \cdot C_4}{R_3 \cdot C_2} \cdot \frac{R_1 C_2}{R_3 C_4}}}$$

$$S^{\varphi}_{R1} = -S^{\varphi}_{R3} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{1 + R_1/R_3} \quad //$$

$S^{\varphi}_{Ra} = -S^{\varphi}_{Rb} =$ Não existe mais pois para $H_0 = 1$ desaparecem R_a e R_b.

Conclusão: com $H_0 = K = 1$ as sensibilidades diminuiram.

c) Adotando agora $R_1 = R_3$ as sensibilidades ficam:

$$S^{\varphi}_{R1} = -S^{\varphi}_{R3} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{1+1} = \text{zero} //$$

Conclusão: com $R_1 = R_3$ diminuiu ainda mais as sensibilidades mas precisa selecionar dois valores iguais, medindo os resistores.

d) Equações finais com $K=1$ e $R_1 = R_3 = R$:

$H_0 = K = 1$ // Usando (1) e (2):

$$W_0 = \frac{1}{R \cdot \sqrt{C_2 \cdot C_4}} \quad // (3)$$

$$\frac{1}{\varphi} = 2 \cdot \sqrt{C_4/C_2} \quad // (4)$$

Isolando os capacitores:

Elevando (4) ao quadrado:

$$\frac{1^2}{\varphi^2} = 2^2 \frac{C_4}{C_2} \quad \text{Isolando } C_2:$$

$$C_2 = 4 \cdot C_4 \cdot \varphi^2 \quad \text{Aplicando (3):}$$

$$W_0 = \frac{1}{R\sqrt{4 C_4 \varphi^2 C_4}} \quad \text{então:}$$

$$C_4 = \frac{1}{2 \cdot \varphi \cdot R \cdot W_0} \quad // (5)$$

Levando (5) na expressão de C_2:

$$C_2 = 4 \cdot \frac{1}{2 \cdot \varphi \cdot R \cdot W_0} \varphi^2$$

$$C_2 = \frac{2\varphi}{R \cdot W_0} //$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada

Exame **2001/2** **6/5/2002**

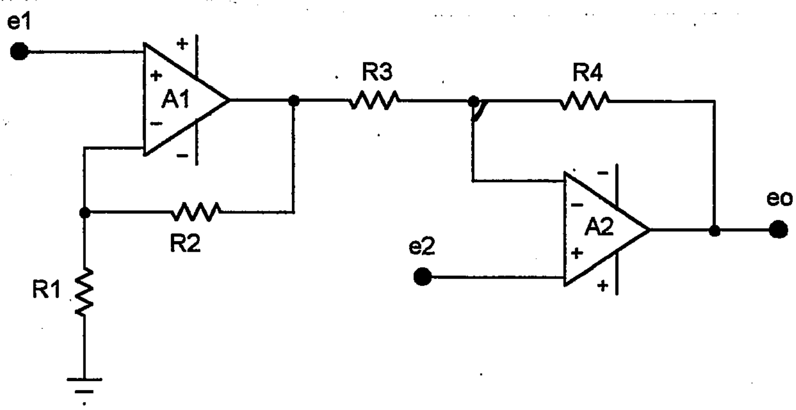
Nome: GABARITO **Turma:** _____

1. (4,5 pontos)

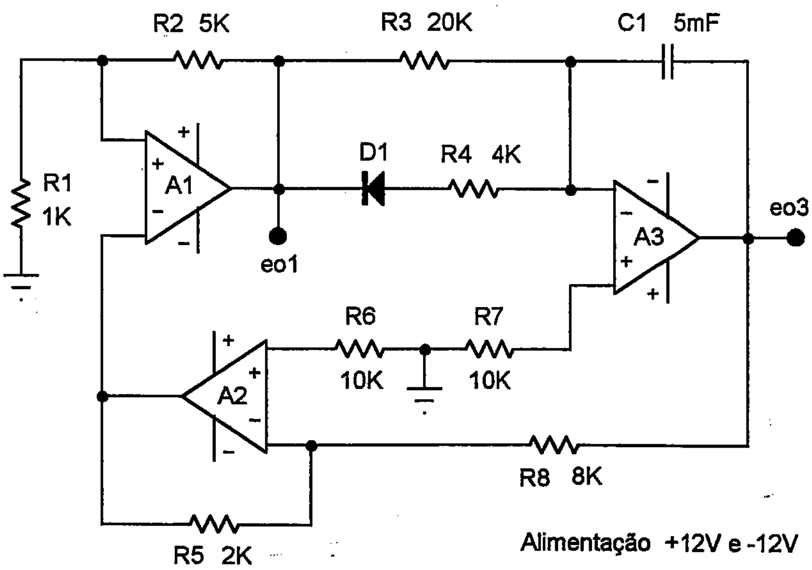
a) Equacione o circuito abaixo com o objetivo de obter sua função de transferência, descrevendo completamente cada etapa

b) Estabeleça relações entre os resistores de modo a obter uma equação mais simples

c) Explique a função e vantagens do circuito ao ser comparado com outros que são conhecidos.



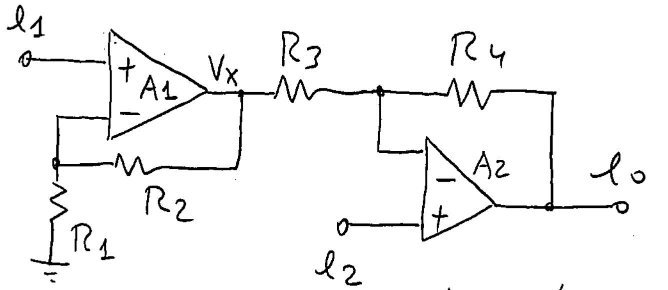
2. (5,5 pontos) Desenhe, com precisão, os gráficos de e_{01} e e_{03} ao longo do tempo.
Analise, descreva e equacione cada bloco separadamente.
Documente cada passo da solução.
Alimentação = ± 12 Volts.



a) Equacione o circuito abaixo para obter a função de transferência, descrevendo cada etapa.

b) Estabeleça relações entre os resistores de modo a obter uma equação mais simples e então configure os resistores para obter ganho de 16 vezes.

c) Explique a função do circuito.



Ex 2001/2

Equacionando A_1:

$$e_+ = e_1 \qquad e_- = V_x \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Operação linear: $e_+ = e_-$

Igualando e isolando V_x:

$$V_x = \frac{e_1 \cdot (R_1+R_2)}{R_1}$$

Equacionando A_2:

$e_+ = e_2$ Por superposição:

$$e_- = V_x \frac{R_4}{R_3+R_4} + e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

Igualando $e_+ = e_-$, substituindo V_x e isolando e_o:

$$e_o \frac{R_3}{(R_3+R_4)} = e_2 - V_x \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

Multiplicando e_2 por $\frac{R_3+R_4}{R_3+R_4}$ cancelamos o denominador:

$$e_o R_3 = e_2(R_3+R_4) - V_x \cdot R_4$$

Isolando e_o e substit. V_x:

$$e_o = \frac{e_2(R_3+R_4)}{R_3} - \frac{e_1(R_1+R_2)R_4}{R_1 \cdot R_3} \quad //$$

b)

Obtendo a proporção entre os resistores:

Na segunda parcela, se $R_1 = R_4$ é possível simplificar e obter o mesmo denominador R_3.

$$e_o = \frac{e_2(R_3+R_1)}{R_3} - \frac{e_1(R_1+R_2)}{R_3}$$

Fazendo $R_2 = R_3$ fica:

$$e_o = (e_2 - e_1)\,\frac{R_1+R_2}{R_2} \quad //$$

c)

Amplificador subtrator //

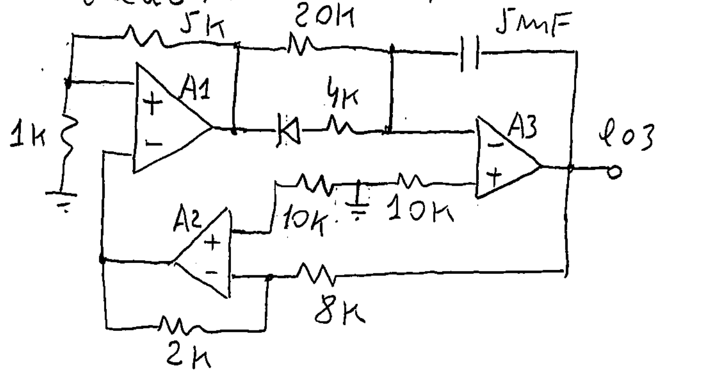
Vantagem: as duas entradas são de alta impedância $= \infty$.

Configure os resistores para obter um ganho de 16 vezes.

$$\frac{R_1+R_2}{R_2} = 16 \qquad \frac{R_1}{R_2} = 15$$

$$\frac{R_1}{R_2} + 1 = 16 \qquad \text{com } R_1 = 1k, \; R_2 = 15k \; //$$

Desenhe com precisão o gráfico de e_{o1} e e_{o2} ao longo do tempo. Analise, descreva e equacione cada bloco separadamente. Cada passo da solução deve ser documentado. Alimentação 12 Volts.



Ex 2001/2

Bloco A1: Comparador com histerese inversor.

$$e_{1+} = \pm e_{o1}\,\frac{1k}{1k+5k} = \pm\frac{12}{6} = \pm 2$$

Bloco A2: Amplif. inversor

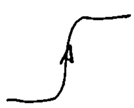
$$e_{o2} = -\frac{8K}{2K}\cdot e_{o3} = -\frac{e_{o3}}{4}$$

Bloco A3: Integrador inversor.

$$e_{o3} = \frac{-1}{RC}\int_0^T e_{o1} + V_c(t{=}0)\,dt$$

$$= \frac{-1}{RC}\left(e_{o1}\cdot t + V_c(t{=}0)\right)$$

Condição inicial: Supondo que neste momento A1 mudou de $-12V$ para $+12V$



Para isso acontecer, e_{o2} deve ter descido até -2 Volts. Então, $e_{o3} = -(4\cdot e_{o2}) = +8$ Volts neste momento. Devido a massa virtual: $V_C(t{=}0) = e_{o3} = 8V$. Como $e_{o1} = 12$ Volts, o diodo está cortado e $R = 20K$.

e_{o3} parte de $8V$ e começa a diminuir linearmente com o tempo até ser alcançado o outro limite do comparador:

$$e_{o2} = -2V \rightarrow e_{o3} = -(4\cdot e_{o2}) = -8V$$

Na equação do integrador:

$$\underbrace{-8}_{\text{final}} = \frac{-1}{20K\cdot 5MF}\left(\underbrace{e_{o1}}_{+12}\cdot t + \underbrace{8}_{\text{inicial}}\right)$$

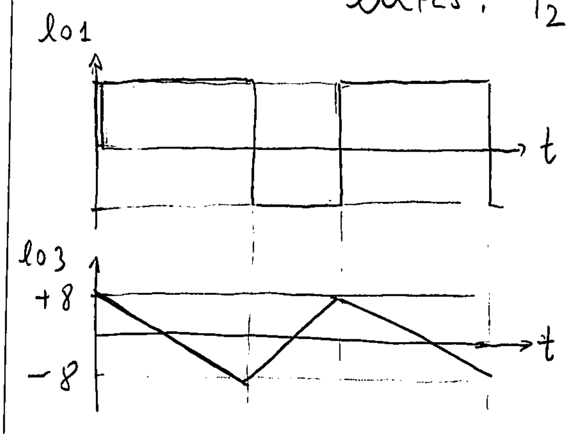
$$-8 = 0{,}01\,(12\cdot T_1 + 8)$$

então: $T_1 = 66$ seg. //

Neste momento, $e_{o1} \rightarrow -12$, o diodo conduz e e_{o3} começa a subir linearmente até $+8V$:

$$+8 = \frac{-1}{(20K \,//\, 4K)\cdot 5MF}\left(-12\,T_2 + (-8)\right)$$

então: $T_2 = 10{,}4$ seg //

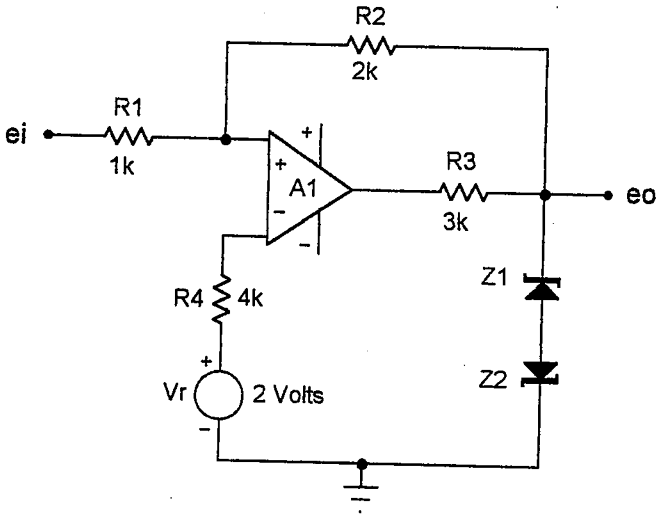


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2002/1

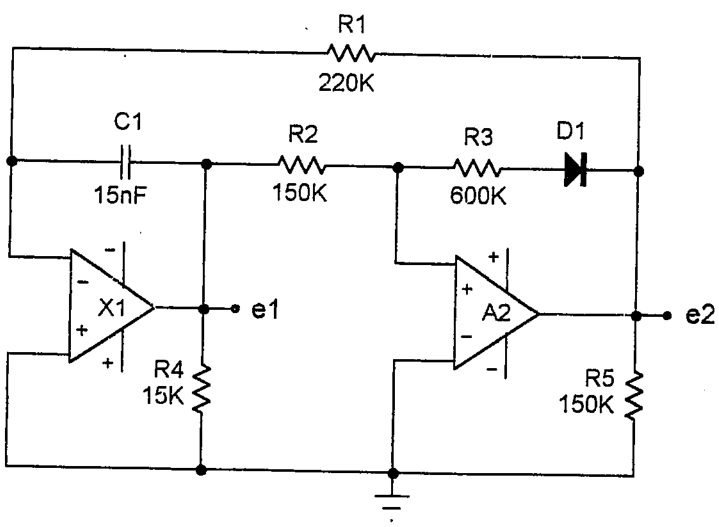
Exame **7/10/2002**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (4,5 pontos) Determine o comportamento de e_o ao ser aplicada uma tensão linearmente crescente de –20 a +20 Volts na entrada e_i. Indique todos os valores em um gráfico e_o x e_i, detalhando cada passo da solução. Operacional ideal, diodos: V_z=9,4 e V_d=0,6 Volts.

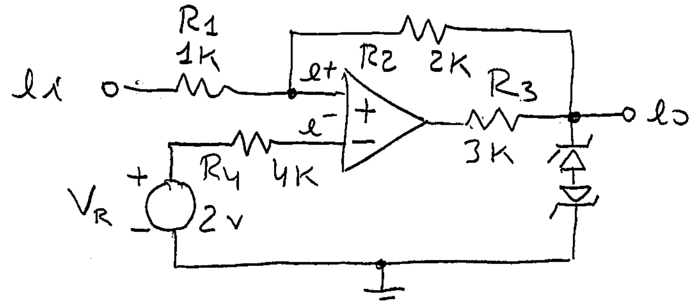


2. (5,5 pontos) Desenhe, com todos os valores, os gráficos de e_1 e e_2 ao longo do tempo. Descreva cada passo do seu trabalho. Componentes ideais e alimentação simétrica de ±10 Volts.



Determine o comportamento de eo ao ser aplicada uma tensão linearmente crescente de −20 a +20 V na entrada ei. Indique todos os valores em um gráfico eo x ei, detalhando cada passo da solução.

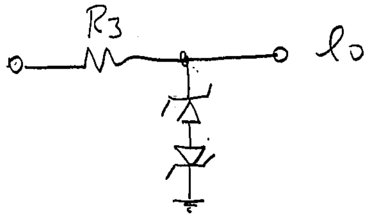
Operacional ideal, diodos $V_Z = 9{,}4$ $V_D = 06$



Ex 2002/1

Análise do circuito:
comparador de nível, não inversor e com histerese e limitador na saída.

Limitador:



eo é limitado em

$e_o = \pm V_Z + V_D = 9{,}4 + 0{,}6 = \pm 10V$

Comparador:

Por superposição,

$$e_+ = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$e_- = V_R$ Não existe queda de tensão em R4.

O ponto de virada ocorre em $e_+ = e_-$:

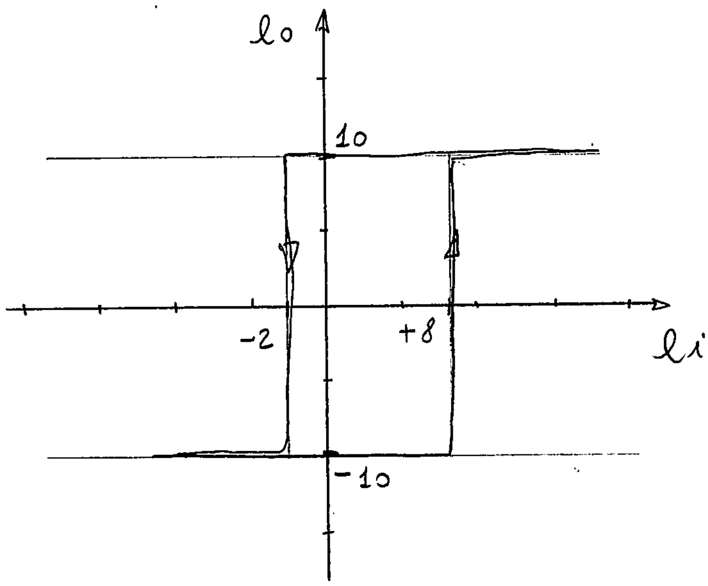
Substituindo $e_o = \pm 10V$ e igualando:

$$V_R = e_i \frac{2}{1+2} \pm 10 \frac{1}{1+2}$$

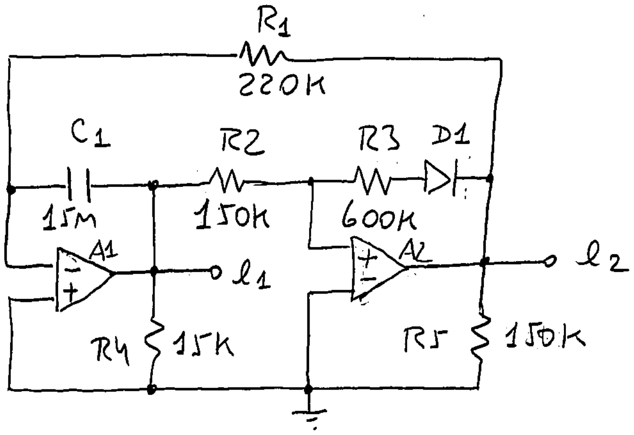
$$2 = 2\frac{e_i}{3} \pm \frac{10}{3}$$

Então: $e_i =$ 8 Volts / −2 Volts

Fica então:



Desenhe, com todos os valores, os gráficos de e_1 e e_2 ao longo do tempo. Descreva cada passo do seu trabalho. Componentes ideais e alimentação simétrica de ± 10 Volts.

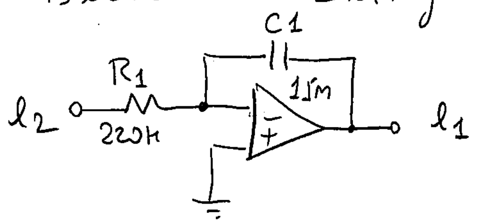


EX2002/1

Simplificando: R4 e R5 estão em paralelo com as saídas (fontes de tensão)

Analisando: Integrador e comparador com histerese formam um oscilador.

Bloco A1: Integrador inversor:

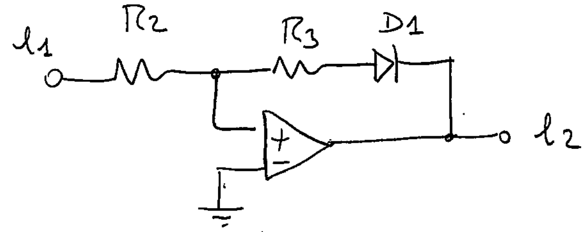


$$e_1(t) = \frac{1}{C_1}\int_0^t i_c \cdot dt$$

como $i_C = -\frac{e_2}{R_1}$ e a carga é linear:

$$e_1(t) = \frac{-e_2}{R_1 \cdot C_1} t + e_1(t=0)$$

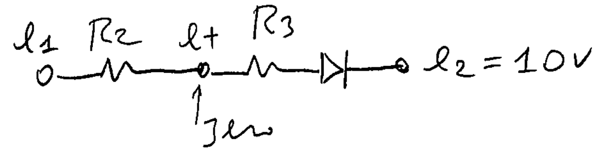
BLOCO A2: Comparador com histerese, não-inversor:



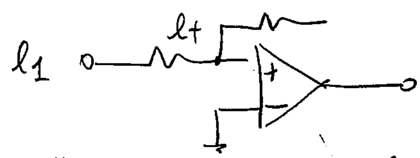
Devido à realimentação positiva e operacional ideal,

$$e_2 = \pm V_{cc} = \pm 10 \text{ Volts}$$

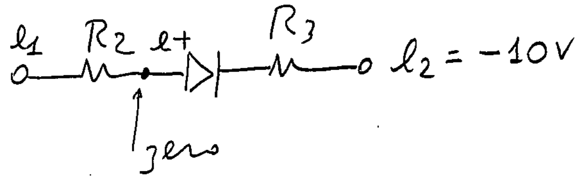
Pontos de virada ocorrem quando $e+ = e- = 0$:



Com $e_2 = +10$, o diodo está cortado e o circuito é um comparador simples sem histerese.



Vira com $e+ = e_1 = 0$ //



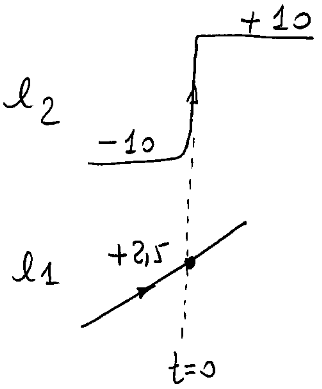
Com $e_2 = -10$ o diodo está conduzindo ⇒ curto.
Vira com: (superposição)

$$e+ = 0 = e_1 \frac{R_3}{R_2+R_3} + e_2 \frac{R_2}{R_2+R_3}$$

$$0 = e_1 \frac{600}{150+600} + (-10)\frac{150}{150+600}$$

$e_1 = +2,5$ Volts //

Análise temporal:
Ponto de partida: o comparador sofreu uma transição neste momento:



Com $e_2 = 10V$ na entrada do integrador, a tensão de saída e_1 começa a decrescer até alcançar $e_1 = 0$ que é o limite do comparador. Então:

$$e_{1\,final} = \frac{-e_2}{R_1 \cdot C_1} \cdot T_1 + e_{1\,inicial}$$

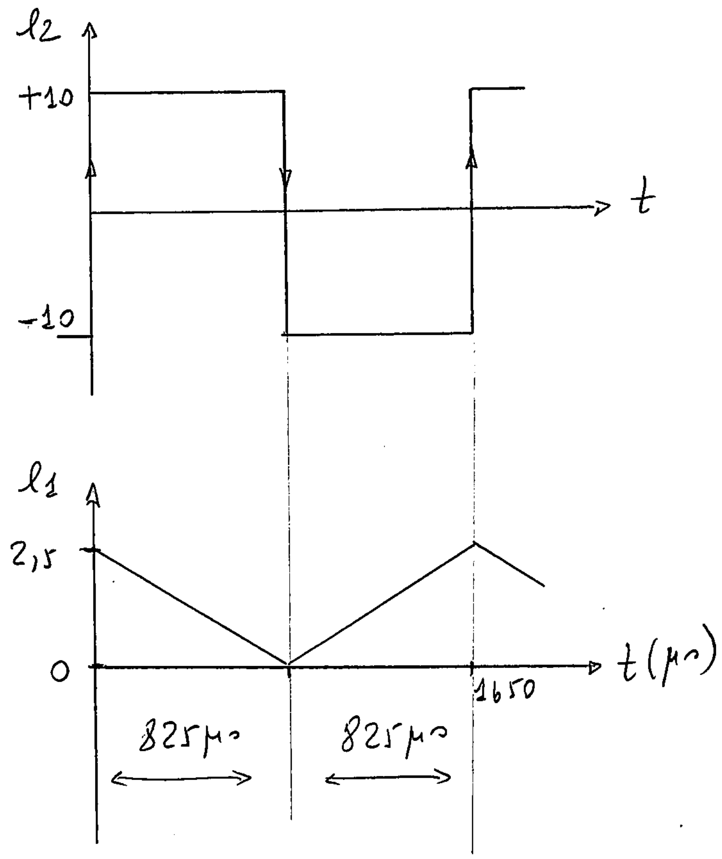
$$0 = \frac{-10}{220 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-9}} \cdot T_1 + 2,5$$

$T_1 = 825\,\mu s$ //

Neste momento, o comparador vira para $e_2 = -10$ e e_1 começa a subir até alcançar 2,5 Volts.

$$2,5 = \frac{-(-10)}{220 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-9}} \cdot T_2 + 0$$

$T_2 = 825\,\mu s$ //

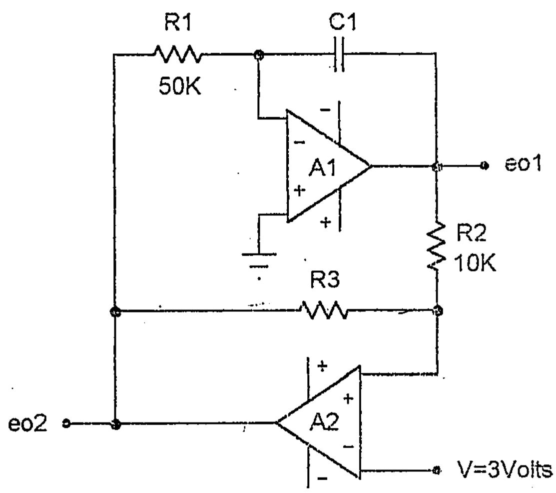


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2002/2

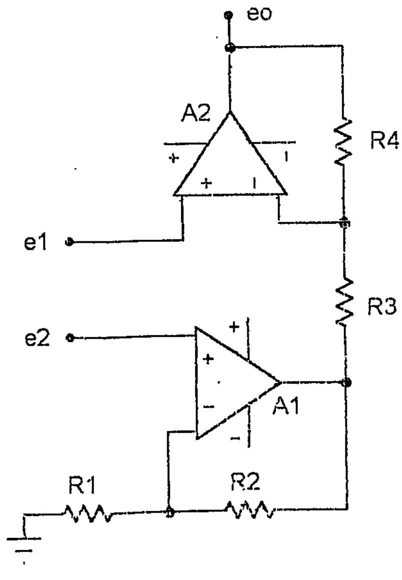
Exame 17/3/2003

Nome: GABARITO **Turma:** ______

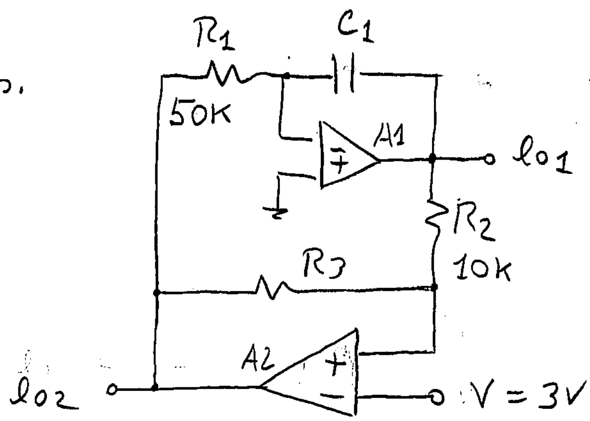
1. (6 pontos) Determine R3 para que e_{o1} excursione entre 0 e 8 Volts somente.
   Calcule C1 para que a frequência de e_{o2} seja 2kHz.
   Desenhe a resposta temporal das duas saídas, com os valores de tensão e tempo.
   Descreva detalhadamente o seu trabalho; use figuras, equações e anotações para isso.
   Alimentação ± 12V. Componentes ideais.



2. (4 pontos) Examine o circuito abaixo procurando entender o seu funcionamento.
   Equacione a tensão de saída em função das entradas, descrevendo claramente cada passo da solução.
   Examine o resultado e estabeleça relações entre os resistores de modo a obter uma equação mais simples para e_o.
   Por último, explique a função do circuito e a sua vantagem em relação a outra versão já conhecida.



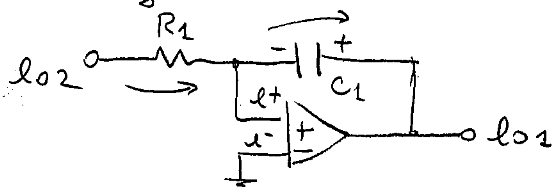
a) Determine R_3 para que e_{o1} excursione entre 0 e 8 Volts.
b) Calcule C_1 para que a frequência de e_{o2} seja 2 kHz.
Alimentação $\pm 12V$
componentes ideais.
Explique cada passo da solução.



APLICADA ENG456 — EX 2002/2

Bloco A1

Integrador inversor



$$e^+ = e^-$$

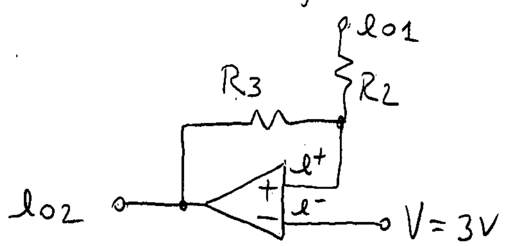
$$\frac{e_{o2}-0}{R_1} = -C\,\frac{de_{o1}}{dt}$$

Integrando;

$$e_{o1} = -\frac{1}{R_1 C_1}\, e_{o2}\cdot t + e_{o1}(t=0)$$

Bloco A2

comparador com histerese e tensão de referência.



Ponto de virada quando $e^+ = e^-$

$$e_{o1}\frac{R_3}{R_2+R_3} + e_{o2}\frac{R_2}{R_2+R_3} = V$$

como $e_{o2} = \pm 12$ Volts

$$e_{o1} = \frac{R_2+R_3}{R_3}\left(V - e_{o2}\frac{R_2}{R_2+R_3}\right)$$

$$e_{o1} = \frac{V(R_2+R_3)}{R_3} - \frac{e_{o2}\cdot R_2}{R_3}$$

Funcionamento:

Aplicando $e_{o2} = +12$ Volts, a saída e_{o1} deve decrescer até 0 Volt:

$$0 = \frac{3\,(10+R_3)}{R_3} - (+12)\frac{10}{R_3}$$

Então $R_3 = 30k$ //.

Ou então, aplicando $e_{o2} = -12$, a saída e_{o1} deve subir até 8V:

$$8 = \frac{3\,(10+R_3)}{R_3} - (-12)\frac{10}{R_3}$$

Então $R_3 = 30k$ confirma.

b) como o circuito é simétrico

$$T_1 = T_2 \quad e \quad f = \frac{1}{T_1+T_2}$$

O período deve ser:

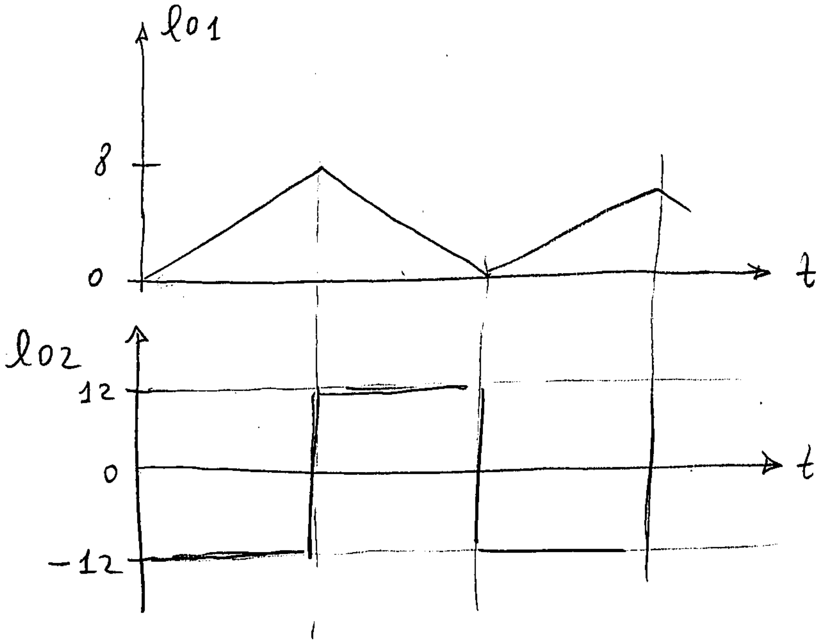
$$2\cdot 10^3 = \frac{1}{T_1+T_1}$$

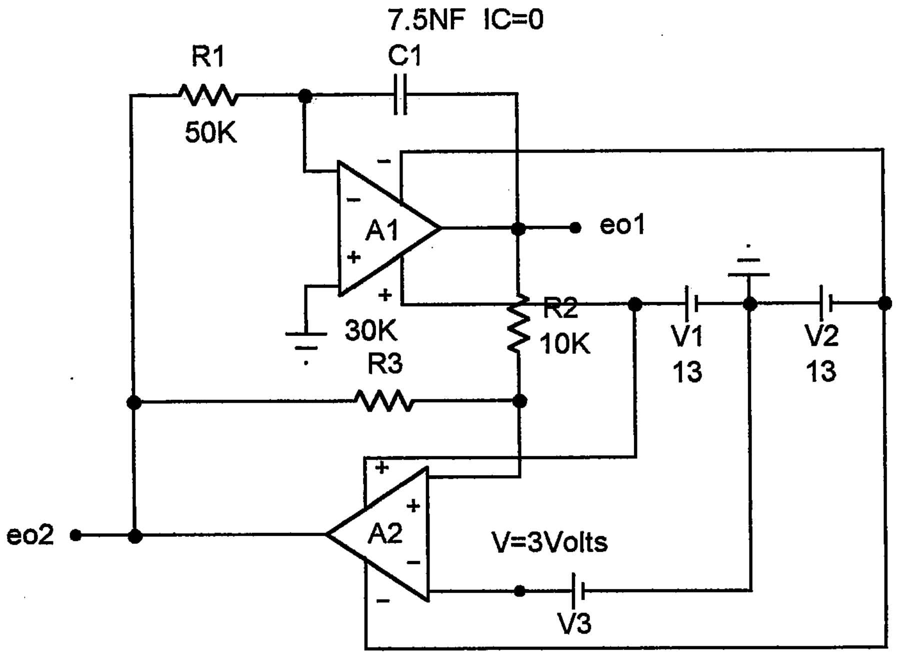
$$T_1 = 0{,}25\ ms \ //$$

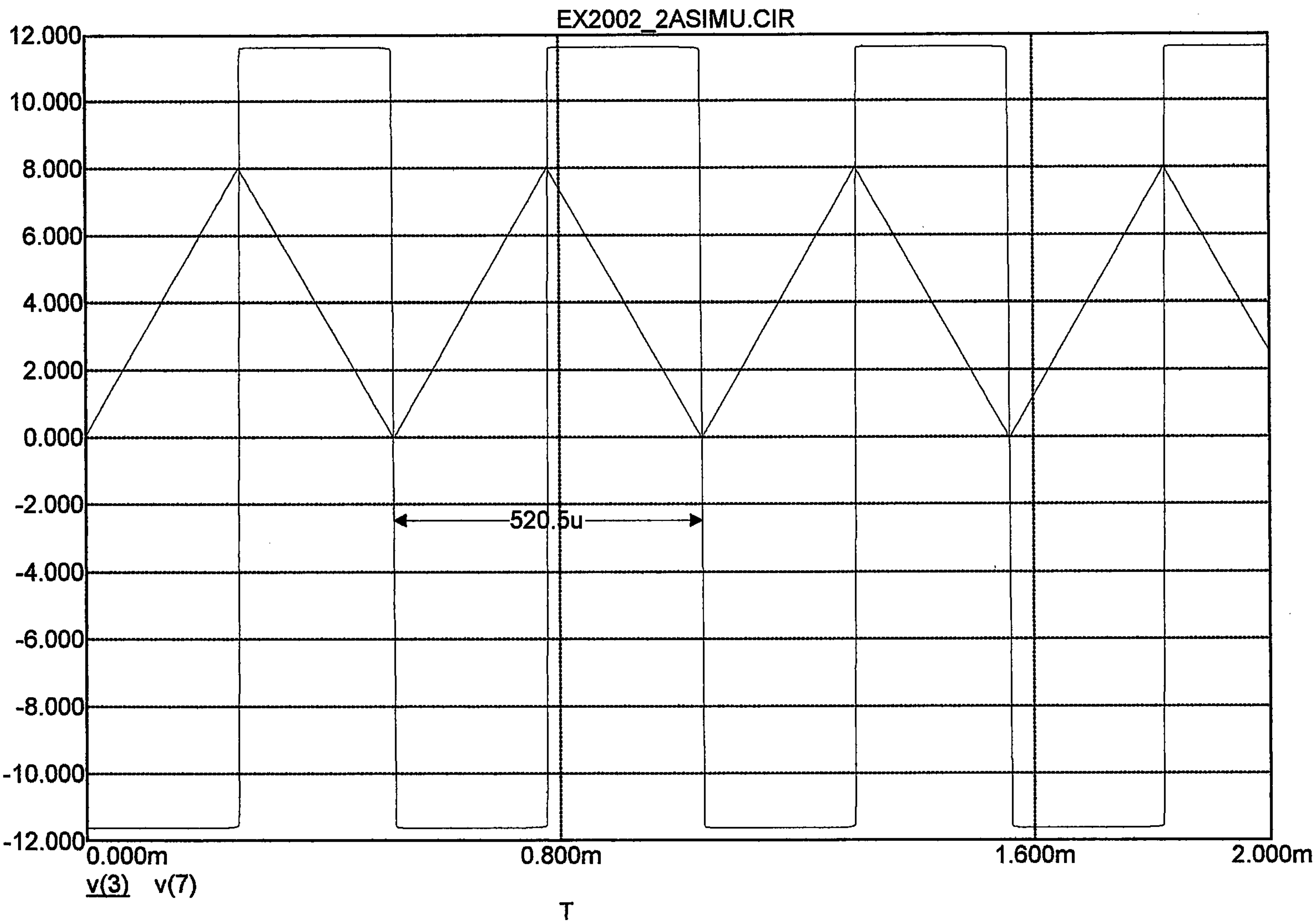
Supondo uma variação de vo_1 de 0 para 8 volts:

$$\underset{\text{final}}{8} = -\frac{1}{50\cdot10^{3}\cdot C_1}(-12)\cdot 0{,}25\cdot10^{-3} + \underset{\text{inicial}}{0}$$

$C_1 = 7{,}5\ mF$ //




7.5NF IC=0
R1
C1
50K
eo1
A1
30K
R2
10K
V1
13
V2
13
R3
eo2
A2
V=3Volts
V3

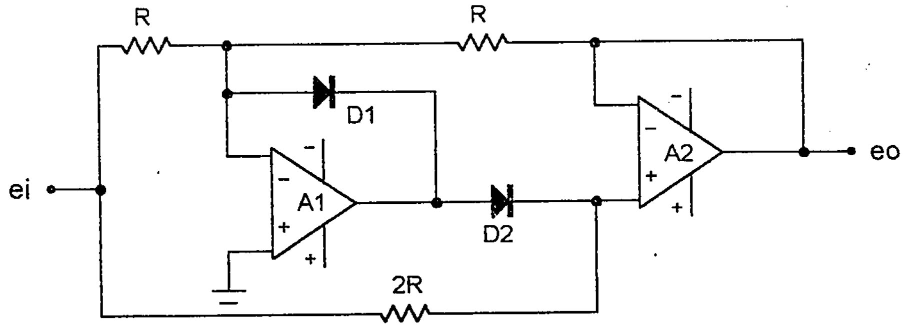

EX2002_2ASIMU.CIR
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0.000
-2.000
-4.000
-6.000
-8.000
-10.000
-12.000
520.5u
0.000m
0.800m
1.600m
2.000m
v(3) v(7)
T

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04456 – Eletrônica Aplicada 2003/1
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2003/1

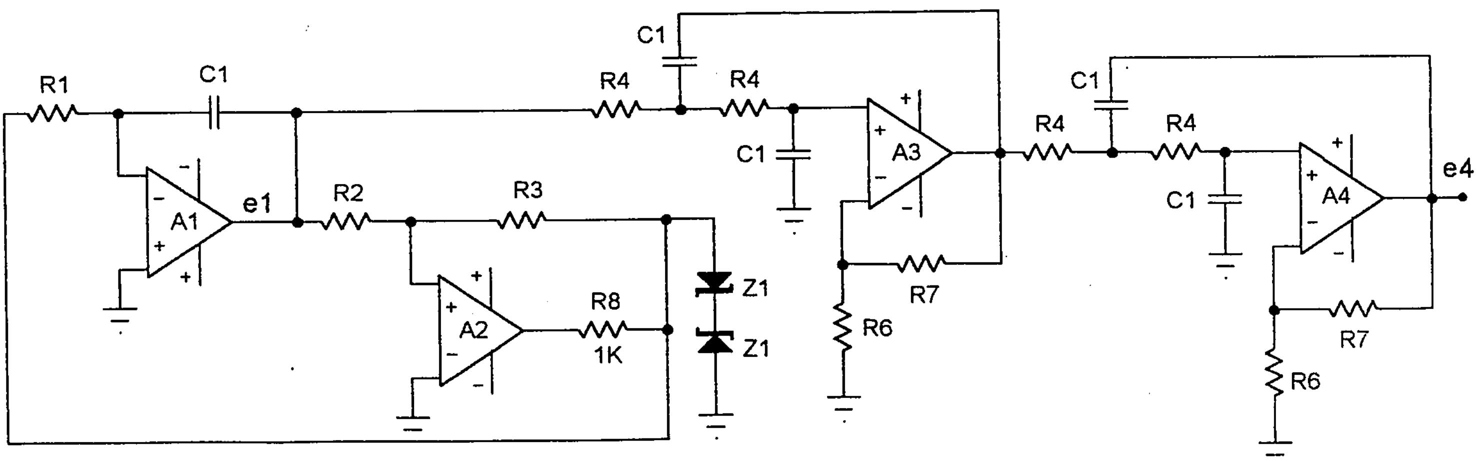
Exame 26/8/2003

Nome: GABARITO **Turma:** ______

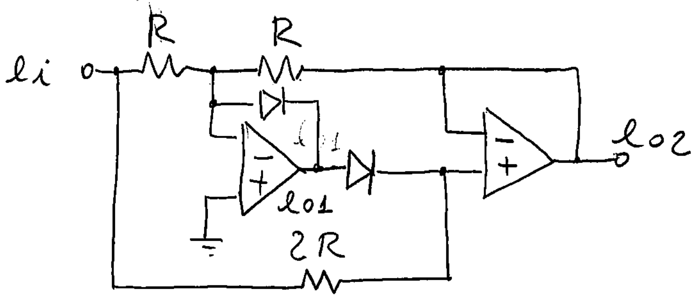
1. (3 pontos) Examine o circuito e descreva o seu funcionamento com o objetivo de equacionar e_{o2} em função de e_i e a impedância de entrada em todas as situações, descrevendo todos os passos da solução.



2. (7 pontos) O circuito abaixo é um gerador senoidal com baixa distorção que deve cobrir a faixa de f_{ger} = 0,1Hz a 100Hz. O ajuste de frequência é feito simultaneamente por R_1, R_4 e $\cancel{R_5}$ que são capacitores chaveados por $f_{ck} = 20 \cdot f_{ger}$.
Analise o circuito procurando entender perfeitamente o princípio de funcionamento e como os blocos funcionais interagem entre sí.
Calcule todos os componentes que faltam, documentando cada passo do trabalho.
A frequência de corte do filtro deve ser $1{,}2 \cdot f_{ger}$ e o fator de qualidade $1/\sqrt{2}$ para evitar overshoot.
É importante que a saída e_4 seja a máxima possível, sem saturar.
Componentes ideais, alimentação ±16V regulados. Arredondamento em 3 dígitos significativos.
C1 = 1μF Zener = 3V3 / 0,7 Volts.



Determine eo e a impedância de entrada:



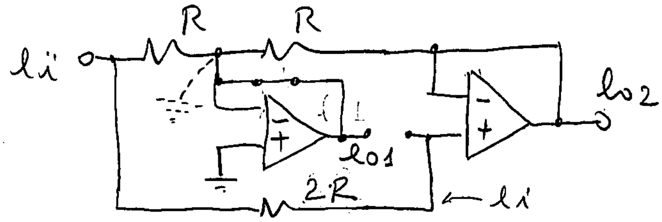
Examinando os blocos:

e_{o2} → seguidor de tensão

$e_{o2} = e_{2+}$

e_{o1} → parece amplif. ou comparador inversor.

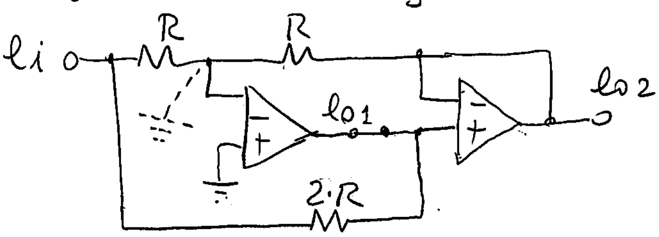
Hipótese: ei positivo.
Então eo1 é negativo e o diodo está cortado:



$e_{o2} = e_i$ //

Impedância: $Z_i = R$

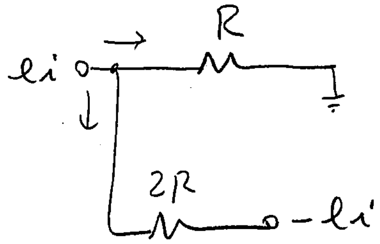
Hipótese: ei negativo:
Então eo1 é posit. e o diodo conduz:



$$e_{o1} = -\frac{R}{R} e_i = -e_i = e_{o2} //$$

É um retificador de onda completa.

Impedância:



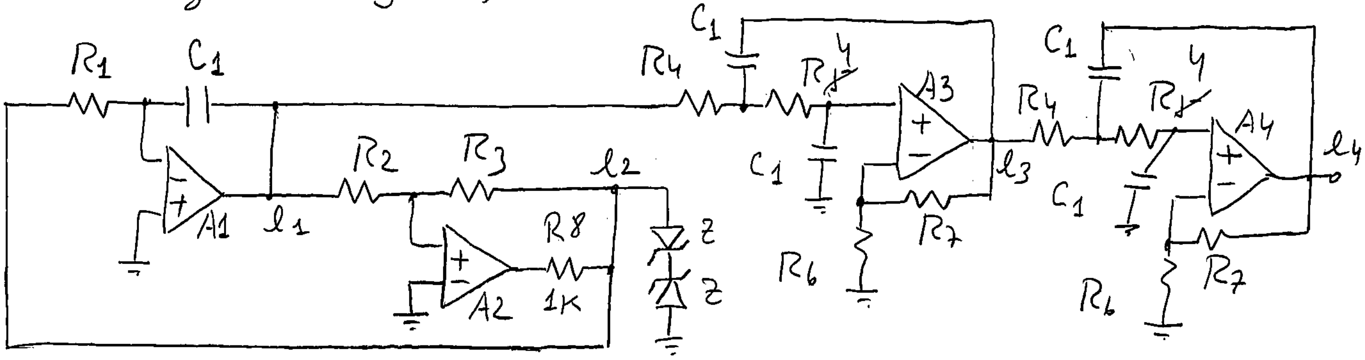
$$i_i = \frac{e_i}{R} + \frac{e_i - (-e_i)}{2R} = \frac{2 \cdot e_i}{R}$$

$$Z_i = \frac{e_i}{i_i} = \frac{e_i}{\frac{2e_i}{R}} \rightarrow Z_i = R/2 //$$

com D2 conduzindo

$Z_i = R$ com D2 cortado

O circuito abaixo é um gerador senoidal com baixa distorção que deve cobrir a faixa de 0,1 Hz a 100Hz. O ajuste de frequência é feito simultâneamente por R1 e R4 que são capacitores chaveados por $f_{CH} = 20 \cdot f_{GER}$. Analise o circuito procurando entender perfeitamente o seu funcionamento. Calcule todos os componentes detalhando cada passo do trabalho.
A frequência de corte do filtro deve ser $1,2 \cdot f_{GER}$ e o fator de qualidade $1/\sqrt{2}$ para evitar overshoot. É importante que a saída e_4 seja a máxima possível, sem saturar. Componentes ideais, alimentação ± 16 V regulados. Arredondamento em 3 dígitos significativos. $C_1 = 1\mu F$ Zener= 3V3/0,7V



Funcionamento:
A1 integrador, A2 comparador com histerese e limitador, formando um oscilador f_{GER}.
A3, A4 filtros PB VCVS com componentes iguais: 4ª ordem.
O sinal triangular de A1 é filtrado por A3 e A4, passando apenas a frequência de fundamental ⇒ senoide.
A freq. de corte do filtro acompanha a do gerador pois R1, R4 e R5 variam simultâneamente.

Para obter $e_4 = \pm 16$ V pico, é preciso calcular o ganho dos filtros para determinar $e_{1\,máx}$ que é definido pelo comparador.

Filtros:

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C}$$

$$\frac{1}{Q} = 3 - K$$

$$H_0 = K = 1 + \frac{R_7}{R_6}$$

Ganho de cada filtro:

$$K = 3 - \frac{1}{\varphi} = 3 - \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}} \to K = 1,586$$

Para não saturar e_4,

$$e_{1máx} = \frac{e_{4\,máx}}{K \cdot K} = \frac{16}{1,586^2} = 6,36V$$

Então: $1,586 = 1 + \frac{R_7}{R_6}$

$R_7 = 0,586 \cdot R_6$

Escolhendo $R_7 = 100k$
então $R_6 = 58,6k$

Gerador:

A excursão máxima de e_1 é definida pela histerese do comparador:
Ponto de virada: $e^+ = e^-$

$$e_1 \frac{R_3}{R_2+R_3} + e_2 \frac{R_2}{R_2+R_3} = 0$$

como $e_{02} = \pm V_Z + V_D = \pm 4$ volts

$$\frac{e_1 \cdot R_3}{R_2+R_3} = -4 \cdot \frac{R_2}{R_2+R_3}$$

$$e_1 = -4 \cdot \frac{R_2}{R_3}$$

$\frac{6,36}{4} = -\frac{R_2}{R_3}$ sinal é a fase.

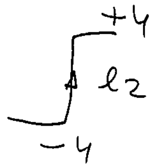
$R_2 = 1,59 \cdot R_3$

Fazendo: $R_2 = 100k$
então $R_3 = 159k$

No integrador:

$$e_1 = \frac{-1}{RC}\int_0^T e_2(t)\cdot dt + e_1(t=0)$$

No instante:



e_1 excursiona de +6,36 até -6,36:

$$-6,36 = \frac{-1}{RC}\int_0^{T_1} 4 \cdot dt + 6,36$$

$T_1 = T_2 = 1,59 \cdot R \cdot C \to T = 3,18 \cdot R \cdot C$

$$f_{GER} = \frac{1}{3,18 \cdot R_1 \cdot C_1}$$

Para $f_{GER} = 0,1Hz \to R_{1a} = 3,14 M\Omega$

Para $f_{GER} = 100Hz \to R_{1b} = 3,14 k\Omega$

No filtro:

$$W_{oa} = 2 \cdot \pi \cdot 0,1Hz \cdot 1,2 = \frac{1}{R_{4a} \cdot C_1}$$

$R_{4a} = 1,33 M\Omega$

$$W_{ob} = 2\pi \cdot 100 \cdot 1,2 = \frac{1}{R_{4b} \cdot C_1}$$

$R_{4b} = 1,33k$

Capacitores chaveados:

Para $f_{CHa} = 20 \cdot 0,1 = 2Hz$:

$$R_{1a} = 3,14 \cdot 10^6 = \frac{1}{C_{1a} \cdot f_{CHa}}$$

$C_{1a} = 159\, mF$

Obviamente,

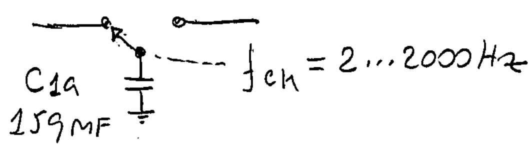
$$C_{1b} = 3,14 \cdot 10^3 = \frac{1}{C_{1b} \cdot 20 \cdot 100}$$

$\to C_{1b} = C_{1a}$ como esperado.

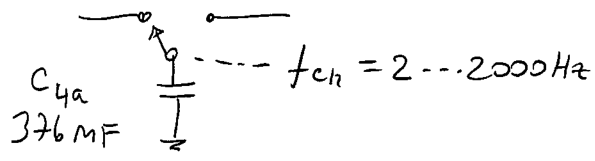
$$R_{4a} = 1,33 \cdot 10^6 = \frac{1}{C_{4a} \cdot f_{CHa}}$$

$C_{4a} = 376\, mF$

$R_1 =$



$R_4 =$

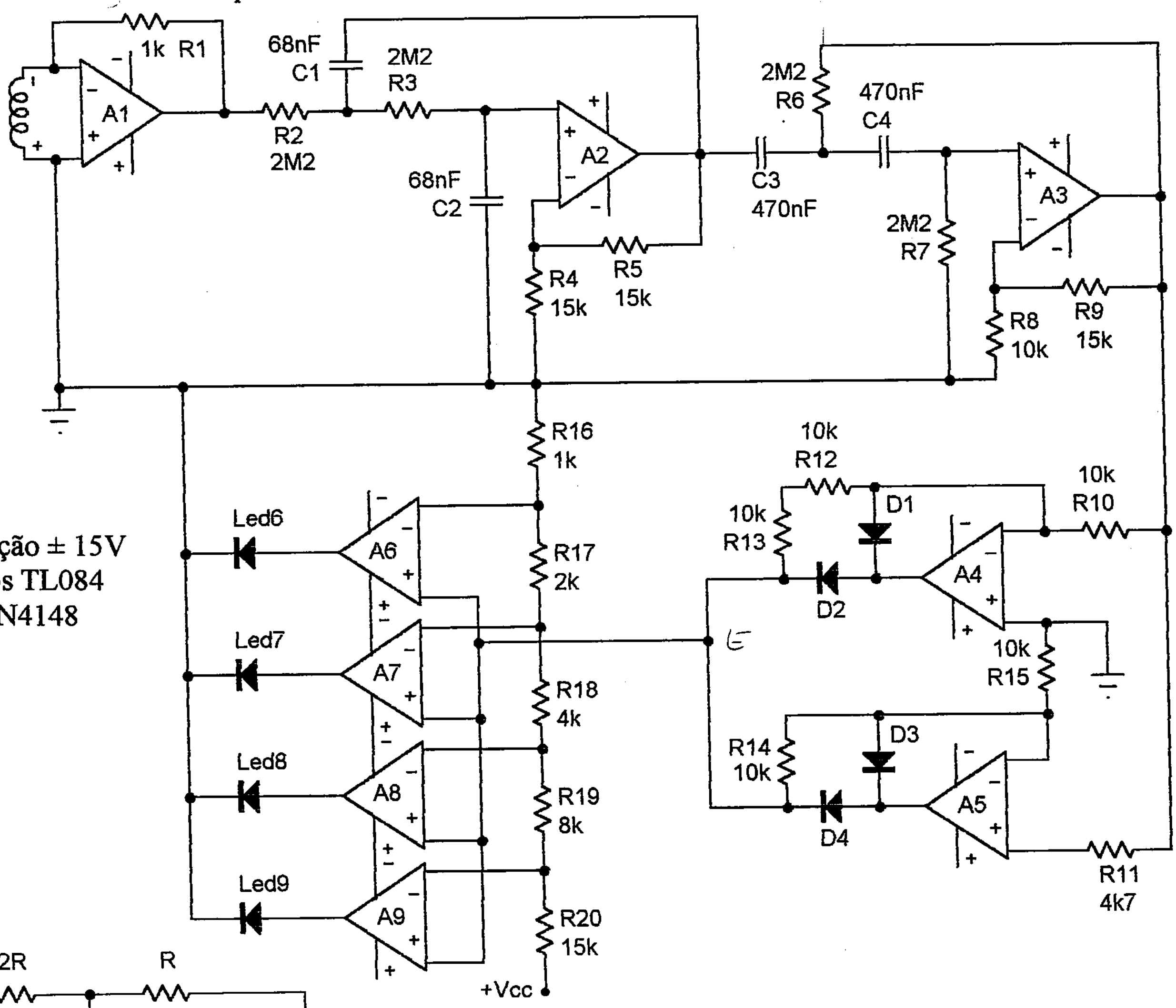


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2003/2

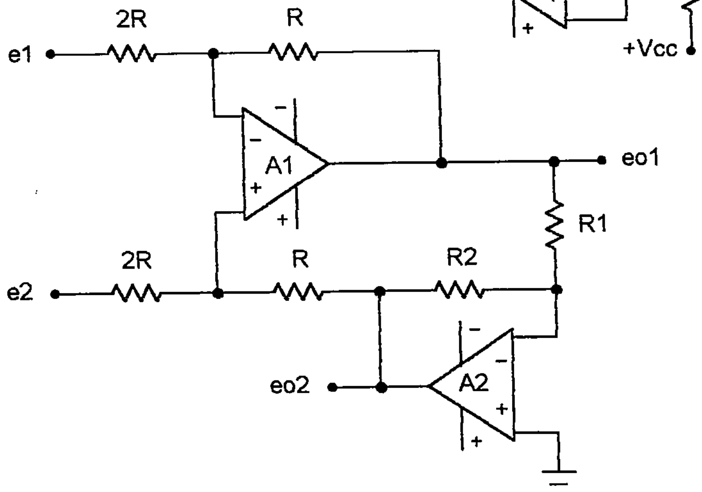
Exame 3/2/2004

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (7,0) circuito a seguir é um detetor de vibrações. O íman dentro da bobina está suportado por molas e pode se deslocar livremente, transformando as vibrações em tensão e corrente.
   Separe o circuito em blocos funcionais, identifique cada um e procure entender o funcionamento qualitativo de todo o conjunto. Descreva esta etapa.
   Após entender perfeitamente, calcule os seguintes valores, descrevendo todos os passos:
   - Faixa de operação, em Hertz
   - Ganho de cada bloco e ganho global, conforme for possível
   - Valor da entrada que aciona cada Led.



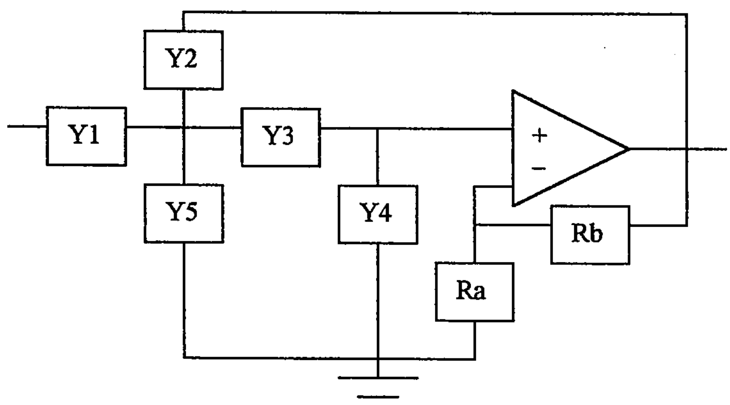
Alimentação ± 15V
Integrados TL084
Diodos 1N4148



2. (3,0) Examine o circuito ao lado e determine a equação de e_{o1} em função das entradas, documentando convenientemente o seu trabalho.

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}}{s^2 + s\left[\dfrac{1}{R_1 \cdot C_2} + \dfrac{1}{R_3 \cdot C_2} + \dfrac{1-K}{R_3 \cdot C_4}\right] + \dfrac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot \omega_0{}^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0{}^2}$$

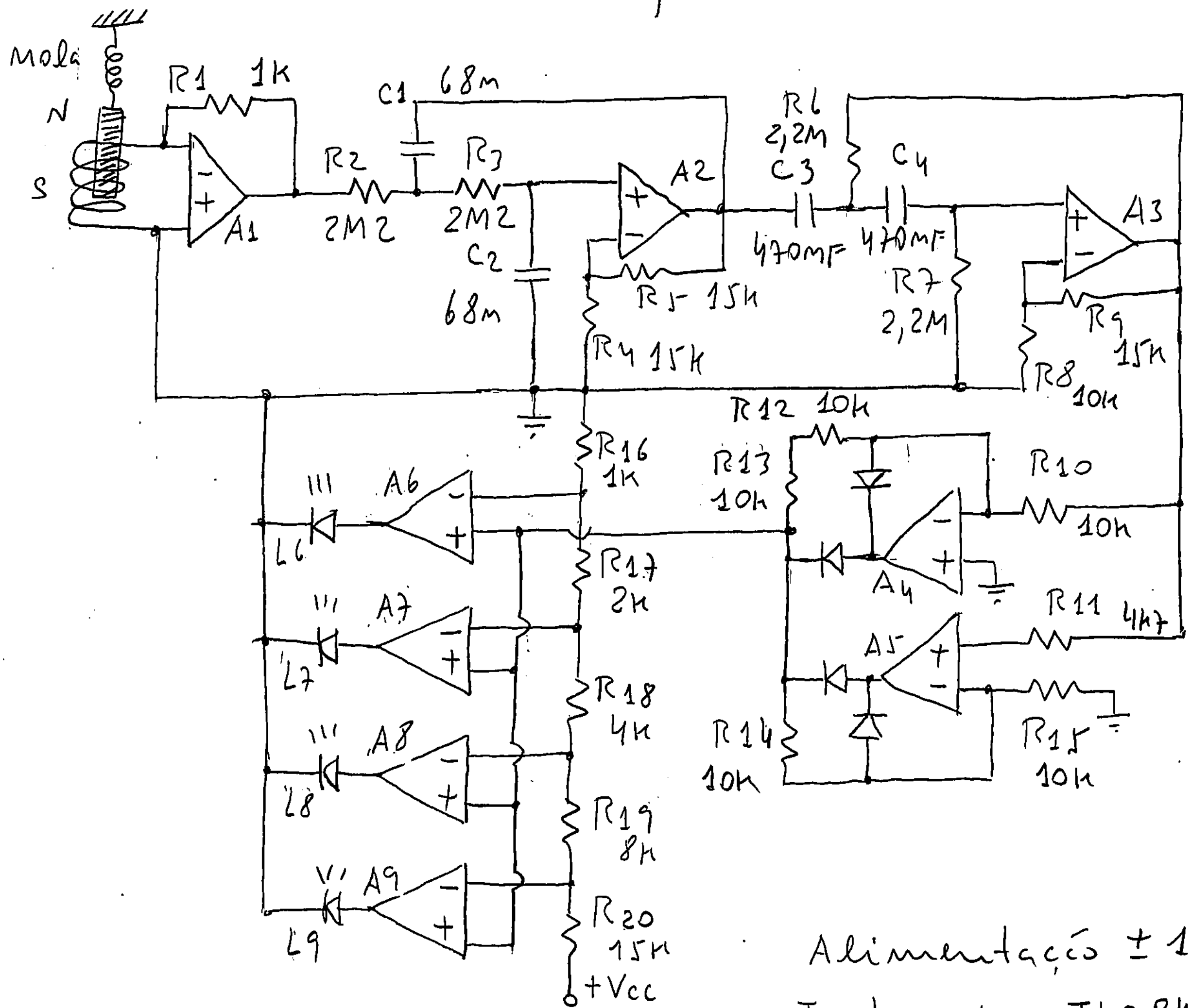
$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{K \cdot s^2}{s^2 + s\left[\dfrac{1}{R_4 \cdot C_1} + \dfrac{1}{R_4 \cdot C_3} + \dfrac{1-K}{R_2 \cdot C_1}\right] + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_3}} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0{}^2}$$



O circuito abaixo é um detetor de vibrações. O ímã dentro da bobina está suspenso por mola e pode se deslocar livremente, transformando as vibrações em tensão e corrente.

Separe o circuito em blocos funcionais, identifique a função de cada um e procure entender o funcionamento qualitativo de todo o conjunto. Descreva esta etapa. Após entender perfeitamente, calcule os seguintes valores, descrevendo todos os passos dos cálculos:

- Faixa de operação em Hz.
- Ganho de cada bloco e ganho global
- Valor de entrada que aciona cada led.



Alimentação ± 15V

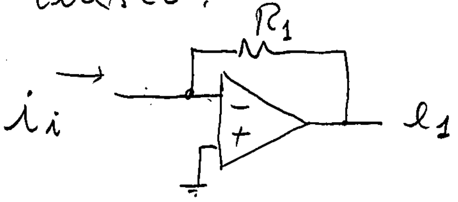
Integrado TL084

Diodo 1N4148

Ex 2003/2

Separando os blocos:

A1: Conversor corrente-tensão:



Devido à massa virtual,

$$e_1 = -R_1 \cdot i_i \quad //$$

A2: Filtro PB Salen-Key de 2ª ordem.

A3: Filtro PA Salen-Key de 2ª ordem

A4, A5: Retificador de onda completa com ganho.

A6...A9: Comparadores sem histerese, não-inversores. As tensões de referência são definidas por Vcc e $R_{15} \ldots R_{19}$.

Funcionamento:

Qualquer vibração faz com que o ímã se desloque em relação à bobina, que transforma a energia mecânica em elétrica. Como a bobina opera em curto-circuito devido à massa virtual, existe o freio eletro-mecânico e o ímã não fica oscilando devido ao sistema massa-mola.

A tensão e_1 resultante atravessa os filtros que determinam a faixa de frequências de interesse. O sinal AC é retificado e aciona um conjunto de Leds, conforme a intensidade e a forma da vibração.

Cálculos:

Filtro PB: Conforme equações:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2} \quad e \quad f = \frac{w}{2\pi}$$

$$W_0 = \frac{1}{2{,}2 \cdot 10^6 \cdot 68 \cdot 10^{-9}} = 6{,}684 \ \frac{rad}{s}$$

$$f_{PB} = 1{,}064 \ Hz \quad //$$

Ganho: $K_{PB} = 1 + \frac{R_5}{R_4} = 1 + \frac{15k}{15k} = 2$ //

Filtro PA:

$$W_0^2 = \frac{1}{R_6 \cdot R_7 \cdot C_3 \cdot C_4}$$

$$W_0 = \frac{1}{2{,}2 \cdot 10^6 \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 0{,}967 \ \frac{rad}{s}$$
$(2{,}2 \cdot 10^{-6})$ $(0{,}2066)$

$f_{PA} = 0{,}154 \ Hz$ // $(3{,}2899 \cdot 10^{-2} = 33 \ mHz)$

Ganho: $K_{PA} = 1 + \frac{R_9}{R_8} = 1 + \frac{15}{10} = 2{,}5$ //

Retificador:

A4 → retificador 1/2 onda inversor com ganho:

$$-\frac{R_{12}+R_{13}}{R_{10}} = -\frac{10+10}{10} = -2$$

A5 → retificador 1/2 onda não inversor com ganho:

$$1 + \frac{R_{14}}{R_{15}} = 1 + \frac{10}{10} = 2$$

Portanto o ganho é $K_R = 2$ independente da polaridade do sinal.

<u>Comparadores:</u>

O divisor de tensão R16...R20 define o ponto de virada de cada comparador, quando $e_- = e_+$:

$$A6 \rightarrow e_-(6) = V_{cc} \frac{R_{16}}{\sum R_{16}...R_{20}} = 15 \cdot \frac{1}{1+2+4+8+15} = 0,5 \text{ Volts}$$

$$A7 \rightarrow e_-(7) = V_{cc} \frac{R_{16}+R_{17}}{\sum R_{16}...R_{20}} = 15 \cdot \frac{1+2}{30} = 1,5 \text{ Volts}$$

$$A8 \rightarrow e_-(8) = V_{cc} \frac{R_{16}+R_{17}+R_{18}}{\sum R_{16}...R_{20}} = 15 \cdot \frac{1+2+4}{30} = 3,5 \text{ Volts}$$

$$A9 \rightarrow e_-(9) = V_{cc} \frac{R_{16}+R_{17}+R_{18}+R_{19}}{\sum R_{16}...R_{20}} = 15 \cdot \frac{1+2+4+8}{30} = 7,5 \text{ Volts}$$

O respectivo Led acende quando a entrada e_+ alcançar este valor.

<u>Valor de entrada que aciona cada Led:</u>

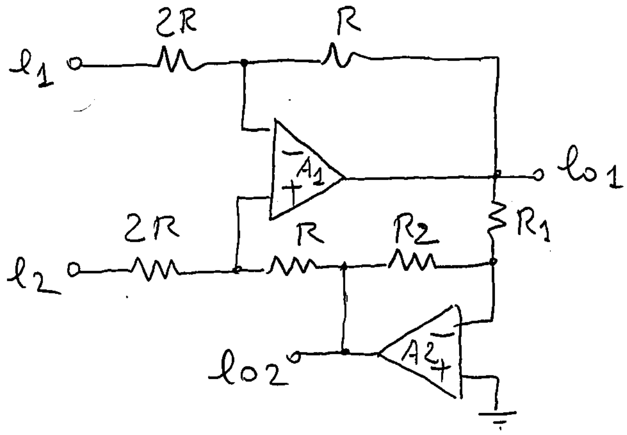
O ganho global da saída de A1 até a entrada e_+ dos comparadores vale:

$$K_{global} = K_{PB} \cdot K_{PA} \cdot K_R = 2 \cdot 2,5 \cdot 2 = 10$$

Como $i_i = -\frac{e_1}{R_1}$ (sinal negativo não importa devido ao retificador)

LED	Entrada dos comparadores	e_1	i_i (mA)
1	0,5	0,05	0,05
2	1,5	0,15	0,15
3	3,5	0,35	0,35
4	7,5	0,75	0,75

Examine o circuito ao lado e determine a equação de e_{o1} em função das entradas.



Ex 2003/2

A2: Amplificador inversor:

$$e_{o2} = -e_{o1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

A1: Realimentação positiva e negativa. Devido a inversão de e_{o2}, a realimentação negativa predomina. Deste modo, $e_- = e_+$;

Por superposição:

$$e_- = e_1 \frac{R}{R+2R} + e_{o1} \frac{2R}{R+2R} = \frac{e_1 + 2e_{o1}}{3}$$

$$e_+ = e_2 \frac{R}{R+2R} + e_{o2} \frac{2R}{R+2R} = \frac{e_2 + 2e_{o2}}{3}$$

Igualando:

$$e_1 + 2 \cdot e_{o1} = e_2 + 2 \cdot e_{o2} = e_2 + 2 \cdot \left(-e_{o1} \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Isolando e_{o1};

$$e_{o1}\left(2 + 2\frac{R_2}{R_1}\right) = e_2 - e_1$$

$$e_{o1} = \frac{e_2 - e_1}{2 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} \quad //$$

Amplif. subtrator

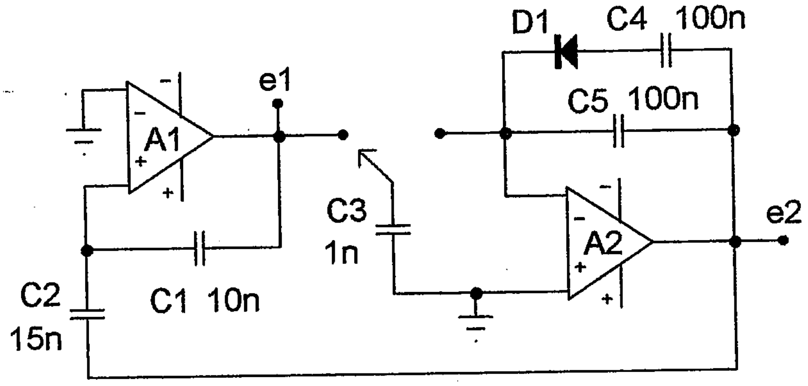
R1 ou R2 podem ser usados para acertar o ganho. No subtrator comum precisa variar dois resistores simultaneamente.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2004/2

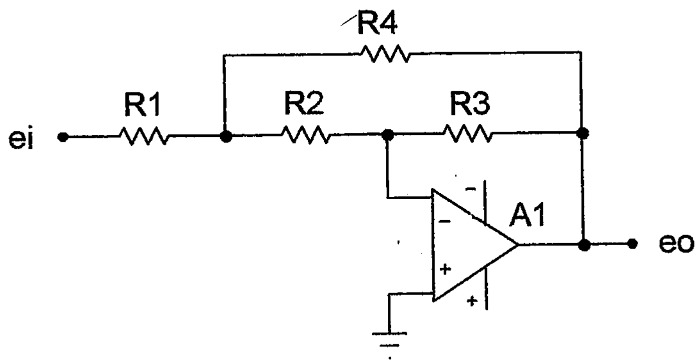
Exame 11/1/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ______

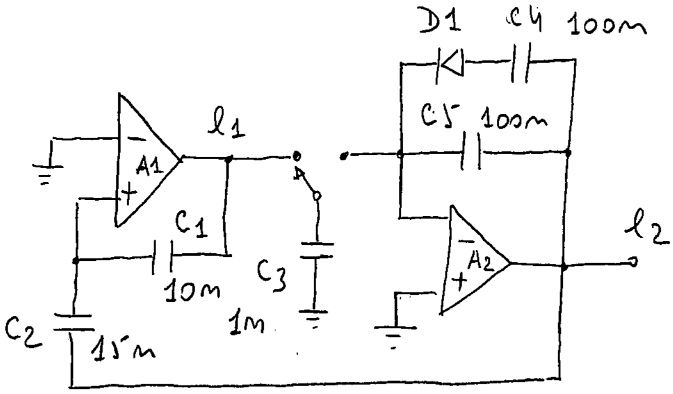
1. Examine o circuito e descreva amplamente o seu funcionamento. Equacione as saídas e_1 e e_2 em função do tempo e esboce as curvas. Para isso, divida o circuito em blocos e equacione cada um, documentando cada etapa. Calcule a frequência f_c de acionamento da chave, para que o período do sinal em e_1 seja de 4ms.
Alimentação ± 15 Volts. Componentes ideais.



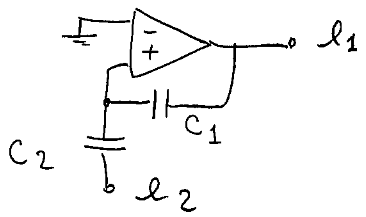
2. Equacione o circuito com o objetivo de determinar a sua função de transferência e a impedância de entrada, tomando o cuidado de documentar cada etapa.
Suponha agora que a corrente de polarização nas entradas do operacional seja elevada. Qual o efeito (qualitativo) na saída? Determine o procedimento corretivo e a respectiva equação, tomando $I_{b+}=I_{b-}$. Não é necessário manipular a equação para obter uma forma mais simplificada.
Teste o circuito calculando os ítens acima quando todos os resistores forem de 220k.
Qual a tensão offset e polaridade na saída com e sem o procedimento corretivo, quando $I_{b+}=I_{b-}=1\mu A$? Desenhe o circuito equivalente, para facilitar o entendimento. Os transistores de entrada são NPN.



Equacione as saídas e_1 e e_2 em função do tempo e esboce as curvas. Divida em blocos equacione, documente cada etapa.
Calcule a frequência f_c de acionamento da chave para que o período do sinal em e_1 seja 4 ms.
Alimentação ± 15V. comp. ideais.



Bloco A1: comparador com histerese não inv.



Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = e_1 \frac{X_2}{X_1 + X_2} + e_2 \frac{X_1}{X_1 + X_2}$$

$e_- = 0$ Igualando:

$$\frac{e_1 X_2 + e_2 X_1}{X_1 + X_2} = 0$$

$$e_2 = -e_1 \frac{X_2}{X_1}$$

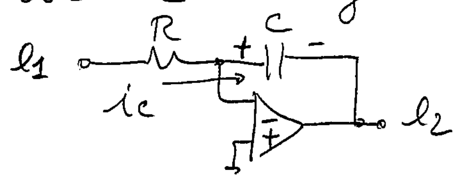
$$e_2 = -e_1 \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_1}}$$

$$e_2 = -e_1 \frac{C_1}{C_2}$$

como $e_1 = \pm V_{cc} = \pm 15$V

$$e_2 = \mp 15 \frac{10n}{15n} \rightarrow e_2 = \mp 10\text{V}$$

Bloco A2: Integrador inversor



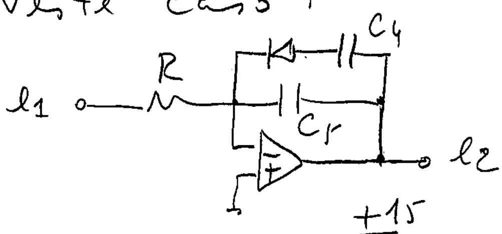
$$e_2 = -V_c$$

$$e_2 = -\frac{1}{C}\int i_c \, dt$$

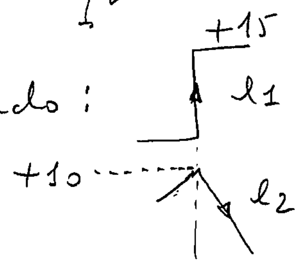
$$e_2 = -\frac{1}{C}\int \frac{e_1}{R} dt$$

$$e_2 = \frac{-1}{RC} e_1 \cdot T + e_2(t=0)$$

Neste caso:



Supondo:



Diodo está cortado.
e_2 inicia em 10V e desce até -10V durante um tempo T1:

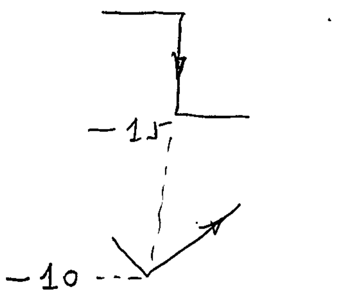
$$l_2(T1) = -\frac{1}{R\cdot C_5}\cdot l_1\cdot T_1 + l_2(t=0)$$

$$-10 = \frac{-1}{R\cdot 100\cdot 10^{-9}}\cdot 15\cdot T_1 + 10$$

$$T_1 = \frac{R\cdot 100\cdot 10^{-9}\cdot 20}{15}$$

$$T_1 = R\cdot 1{,}33\cdot 10^{-7}\ \text{s} \quad //$$

Supondo:



Diodo conduz.
l_2 inicia em -10 e sobe até $+10$:

$$l_2(T2) = -\frac{1}{R(C_4+C_5)}\cdot l_1\cdot T_2 + l_2(t=0)$$

$$10 = \frac{-1}{R\cdot 2\cdot 100\cdot 10^{-9}}\cdot(-15) + (-10)$$

$$T_2 = \frac{R\cdot 100\cdot 10^{-9}\cdot 40}{15}$$

$$T_2 = R\cdot 2{,}66\cdot 10^{-7}\ \text{s} \quad //$$

Para obter $T1+T2 = 4\ \text{ms}$:

$$4\cdot 10^{-3} = R(1{,}33+2{,}66)\cdot 10^{-7}$$

Então:

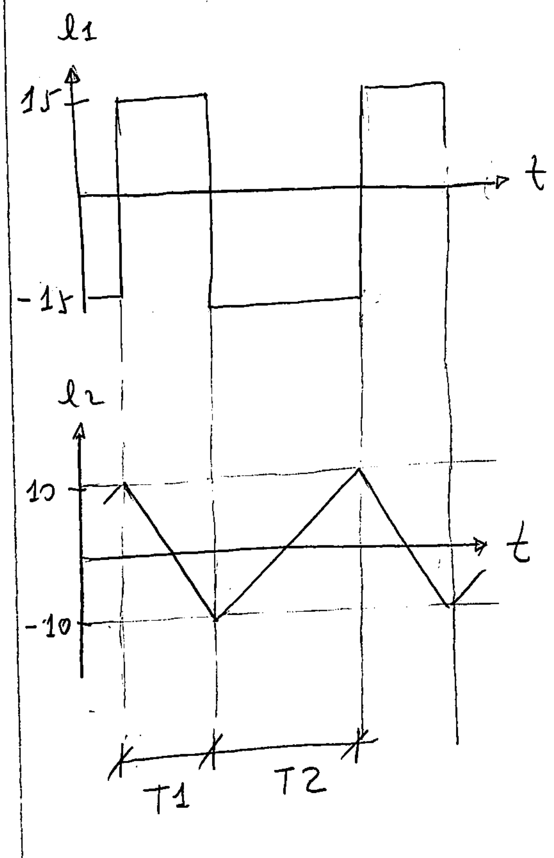
$$R = 10^4\ \Omega \rightarrow 10\text{k}\Omega \quad //$$

Capacitor chamado:

$$R = \frac{1}{C\cdot f_c}$$

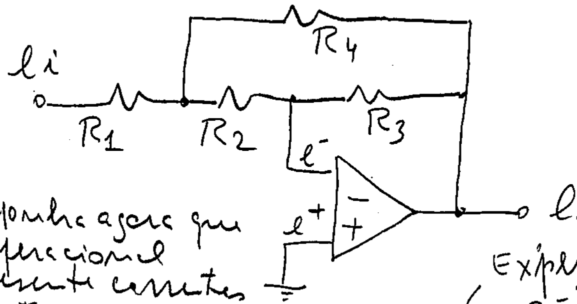
$$f_c = \frac{1}{10^4\cdot 10^{-9}}$$

$$f_c = 10^5\ \text{Hz} \quad //$$



Frequência 250 Hz

Equacione o circuito e obtenha a função de transferência V_o/V_i e a impedância de entrada, descrevendo cada passo da solução. Por último, teste com todos os R's iguais.



Suponha agora que o operacional apresente correntes I_{b+} e I_{b-} elevadas. Como compensar este efeito? Apresente uma equação.

Experimente com $R = 220\,k$, $I_{b+} = I_{b-} = 1\,\mu A$

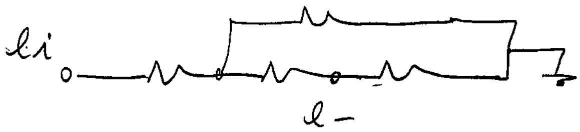
SCHAUM P. 396

Apenas realim. negativa: circuito é linear.

$e_o = A_d(e_+ - e_-)$ como $A_d = \infty$:

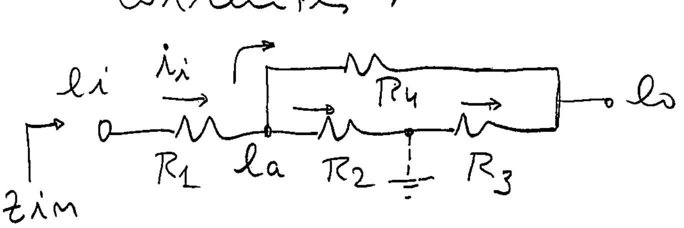
$e_+ = e_-$

Superposição; com $e_o = 0$:



Precisa transformar $Y \rightarrow \Delta$

Outra maneira: por correntes:



Devido a massa virtual:

$$\frac{e_a - 0}{R_2} = \frac{0 - e_o}{R_3} \rightarrow e_a = -\frac{e_o \cdot R_2}{R_3} \quad (1)$$

KCL em e_a:

$$-\frac{e_i - e_a}{R_1} + \frac{e_a - 0}{R_2} + \frac{e_a - e_o}{R_4} = 0$$

$$-\frac{e_i}{R_1} + \frac{e_a}{R_1} + \frac{e_a}{R_2} + \frac{e_a}{R_4} - \frac{e_o}{R_4} = 0$$

$$e_a\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right) - \frac{e_o}{R_4} = \frac{e_i}{R_1}$$

Aplicando (1):

$$-e_o\left(\frac{R_2 \cdot R_4 + R_1 \cdot R_2 + R_1 R_4 + R_1 \cdot R_3}{\cancel{R_1} \cdot R_3 \cdot R_4}\right) = -\frac{e_i}{\cancel{R_1}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_3 \cdot R_4}{R_1(R_2+R_3) + R_4(R_1+R_2)} \quad //$$

Cálculo de Z_{in}:

$$Z_{in} = \frac{e_i}{i_i} \rightarrow Z_{in} = \frac{e_i}{\frac{e_i - e_a}{R_1}}$$

Substituindo e_a: equação (1)

$$Z_{in} = \frac{e_i \cdot R_1}{e_i + e_o \frac{R_2}{R_3}}$$

ou então:

$$Z_{in} = \frac{R_1}{\frac{e_i + e_o R_2/R_3}{e_i}}$$

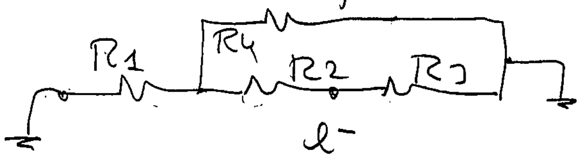
$$Z_{in} = \frac{R_1}{1 + \frac{e_o}{e_i} \cdot \frac{R_2}{R_3}} \quad //$$

com R iguais:

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{1}{4} \quad // \qquad Z_{in} = \frac{4}{3}R \quad //$$

Para compensar a corrente de polarização nas entradas, é preciso mesma impedância para massa nas duas entradas:

Matando as fontes:



$$R_- = R_3 // (R_2 + R_1 // R_4)$$

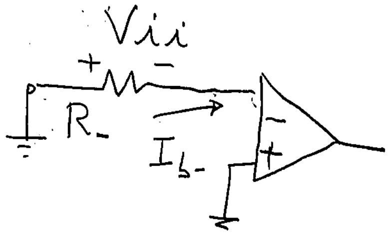
Adicionar em $e+$ um resistor com este valor.

No caso de resistores iguais e $I_{b+} = I_{b-} = 1\mu A$:

$$R_+ = R_- = \frac{R \cdot \left(R + \frac{R \cdot R}{R+R}\right)}{R + \left(R + \frac{R \cdot R}{R+R}\right)} = \frac{R \cdot \left(R + \frac{R}{2}\right)}{R + \left(R + \frac{R}{2}\right)} = \frac{R \cdot \frac{3R}{2}}{R + \frac{3R}{2}}$$

$$R_+ = \frac{\frac{3}{2} R^2}{\frac{5R}{2}} \rightarrow R_+ = \frac{3}{5} R = R_- //$$

Sem R_+:



$$V_{oi} = I_{b-} \cdot R_- \cdot \frac{e_o}{e_i}$$

$$V_{oi} = -10^{-6} \cdot \frac{3}{5} \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot \left(-\frac{1}{4}\right)$$

$$V_{oi} = 33\, mV //$$

Com R_+: $V_{oi} =$ zero. //

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2005/1

Exame 19/7/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ______

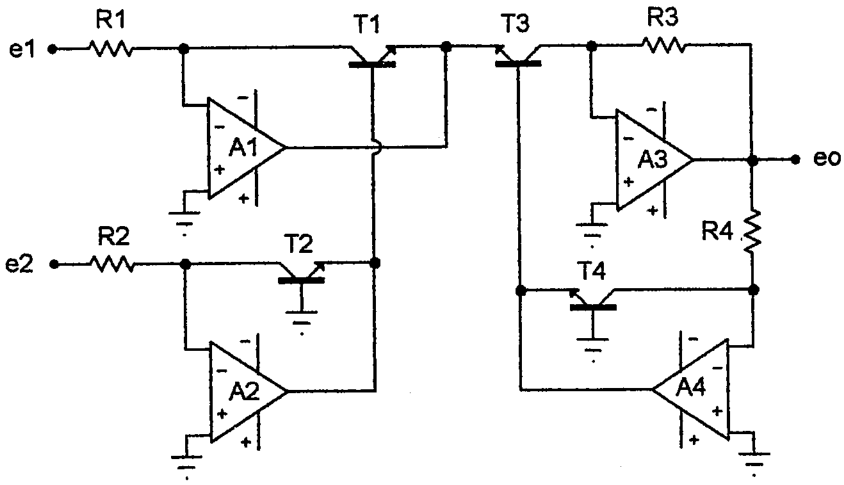
1. Examine o circuito a seguir.

a) Divida em blocos funcionais e equacione cada um.

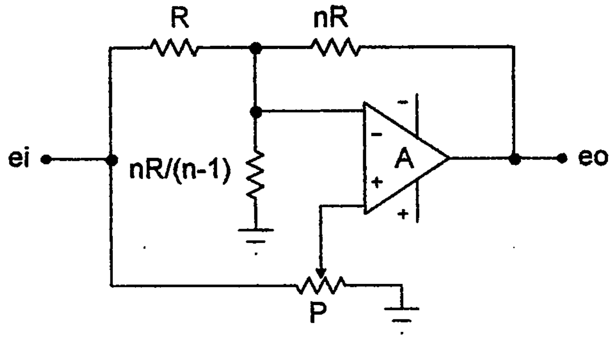
b) Junte os resultados com o objetivo de obter a expressão de e_o em função de e_1 e e_2.

c) Atribua valores para os resistores de modo a alcançar as seguintes condições:
- Ganho de 0,001 com as entradas em um valor neutro.
- Corrente máxima de 1mA em qualquer transistor, com saída máxima e entradas iguais.

d) Desenhe agora o diagrama em blocos do circuito, mostrando os limites máximos e mínimos de e_1, e_2 e e_o.



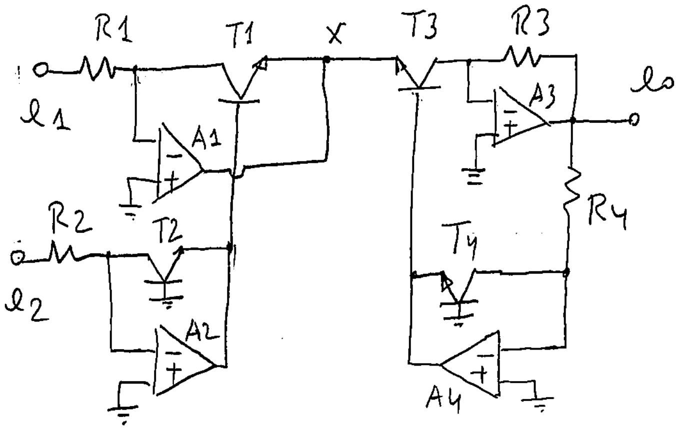
2. Equacione o circuito a seguir e determine os limites do ganho entre entrada e saída.
Equacione e calcule a impedância de entrada nos limites.
Dimensione os componentes para obter ganho máximo de 3 e impedância de entrada mínima de 60kΩ. Potenciômetros disponíveis: 47k e 100k.
Determine o efeito na saída de uma tensão offset de V_{io}=2mV, conforme o modelo. Equacione V_{oo} para as condições extremas.



Examine o circuito e:

a) Divida em blocos funcionais e equacione.

b) Junte os resultados com o objetivo de obter a expressão de eo em função de e_1 e e_2.



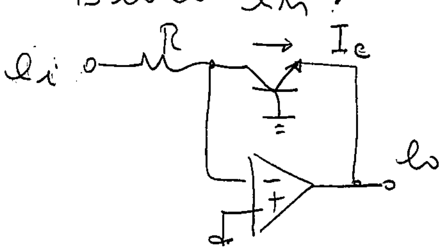
c) Atribua valores para os resistores de modo a atender as seguintes condições:

— Impedância mínima de entrada: 47k

— Ganho de 4 com $e_1 = e_2 =$ neutro.

Descreva cada etapa de seu trabalho. Alimentação ±15V

Bloco ln:

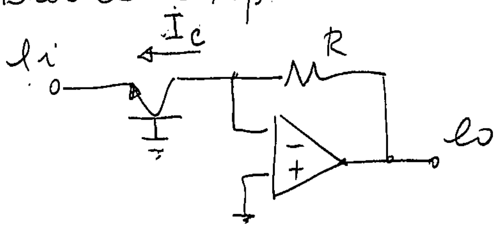


$$e_o = -V_{BE}$$

$$e_o = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$e_o = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_i}{R\cdot I_o}\right) //$$

Bloco exp:



$$e_i = -V_{BE}$$

$$e_i = -\frac{k\cdot T}{q}\ln\left(\frac{I_c}{I_o}\right)$$

$$e_i = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_o}{R\cdot I_o}\right)$$

$$-e_i\frac{q}{kT} = \ln\left(\frac{e_o}{R\cdot I_o}\right)$$

$$e^{\frac{-e_i\cdot q}{k\cdot T}} = \frac{e_o}{R\cdot I_o}$$

$$e_o = R\cdot I_o\cdot e^{\frac{-e_i\cdot q}{k\cdot T}} //$$

KVL no ponto X:

$$-V_{BE1} - V_{BE2} = -V_{BE3} - V_{BE4}$$

$$-\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_1}{R_1\cdot I_o}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_2}{R_2 I_o}\right) = -\frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_o}{R_3 I_o}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{e_o}{R_4\cdot I_o}\right).$$

$$\ln\left(\frac{e_1}{R_1 I_o}\cdot\frac{e_2}{R_2 I_o}\right) = \ln\left(\frac{e_o}{R_3 I_o}\cdot\frac{e_o}{R_4 I_o}\right)$$

$$\frac{e_1\cdot e_2}{R_1\cdot R_2} = \frac{e_o\cdot e_o}{R_3\cdot R_4} \rightarrow e_o = \sqrt{\frac{R_3\cdot R_4}{R_1\cdot R_2}}\cdot\sqrt{e_1\cdot e_2} //$$

Aplicando as restrições:

$$R_1 = R_2 = 47k //$$

$$\sqrt{\frac{R_3\cdot R_4}{R_1\cdot R_2}} = 4 \rightarrow \frac{\sqrt{R_3\cdot R_4}}{47k} = 4$$

$$\sqrt{R_3\cdot R_4} = 188k$$

Fazendo $R_3 = R_4$ então:

$$R_3 = R_4 = 188k //$$

VERSÃO DA PROVA:

- Ganho de 0,001 com as entradas em um valor neutro.
- Máxima corrente em qualquer transistor: 1mA, na condição de entradas iguais e máxima saída.

$$e_o = \sqrt{\frac{R_3 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_2}} \sqrt{e_1 \cdot e_2}$$

Aplicando as restrições:

$$\sqrt{\frac{R_3 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_2}} = 0{,}001$$

$$e_{o\,máx} = 15 = 0{,}001 \sqrt{e_1 \cdot e_2}$$

Então $e_{1\,máx} = e_{2\,máx} = 15\,kV$ //

$$R_1 = R_2 = \frac{e_{1\,máx}}{1mA} = \frac{15kV}{1mA} = 15M\Omega //$$

Então:

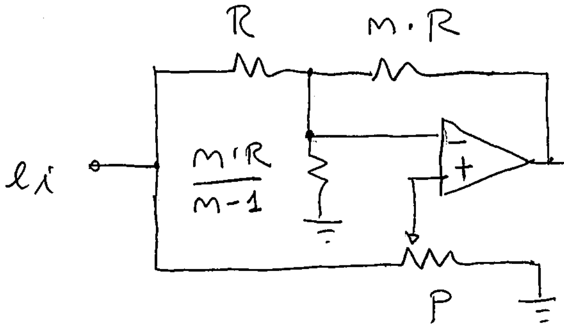
$$\sqrt{\frac{R_3 \cdot R_4}{15M \cdot 15M}} = 0{,}001$$

Fazendo $R_3 = R_4$

$$R_3 = R_4 = 15M \cdot 0{,}001 = 15K //$$

Em qualquer transistor ficou 1mA máx.

AMPLIFICADOR INVERSOR/NÃO-INVERSOR COM GANHO VARIÁVEL

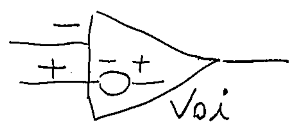


Equacione o circuito com o objetivo de determinar os limites do ganho de entrada para a saída.

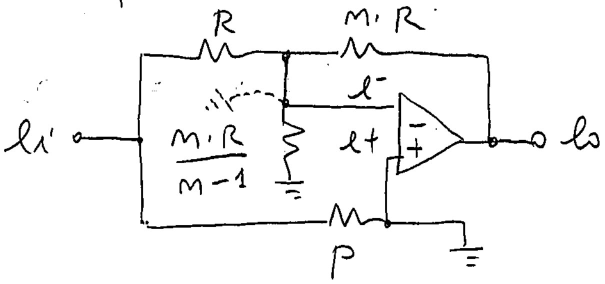
Calcule a impedância de entrada entre os mesmos limites.

Dimensione os componentes, para um ganho máximo de 3 e impedância de entrada de 60K, pelo menos. Potenciômetros 10K ou 100K.

Qual o efeito na saída de uma tensão Voi $=2mV$, conforme o modelo? Teste nas condições extremas.



Supondo cursor na massa:



$$e_- = e_i \frac{M \cdot R}{R + M \cdot R} + e_o \frac{R}{R + M \cdot R}$$

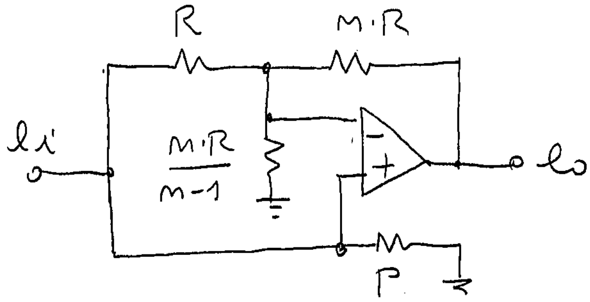
$e_+ = 0$

Fazendo $e_+ = e_-$

$$\frac{e_o R}{\cancel{R+MR}} = -\frac{e_i \cdot M \cdot R}{\cancel{R+M \cdot R}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -M \quad //$$

Supondo o cursor em ei:



$e_+ = e_i$

como no operacional $e_+ = e_-$ se ele está operando na região linear, então $e_- = e_i$ e não existe corrente em R. Podemos dizer então que $R=\infty$

$$e_- = \frac{e_o \frac{M\cdot R}{M-1}}{MR + \frac{M\cdot R}{M-1}}$$

Fazendo $e_+ = e_-$

$$e_i = e_o \frac{\frac{M\cdot R}{\cancel{M-1}}}{\frac{MR(M-1)+M\cdot R}{\cancel{M-1}}} \quad (2)$$

$$e_i = e_o \frac{\cancel{M\cdot R}}{\cancel{M\cdot R}(M-1+1)}$$

Então: $\frac{e_o}{e_i} = M$ //

Para ganho $=3 \Rightarrow M=3$:

Potenciômetro $\rightarrow$ 100K

Pior caso, $Z_i = R//P$ Então:

$$60K = \frac{R\cdot 100K}{R+100K} \rightarrow R = 150K \;//$$

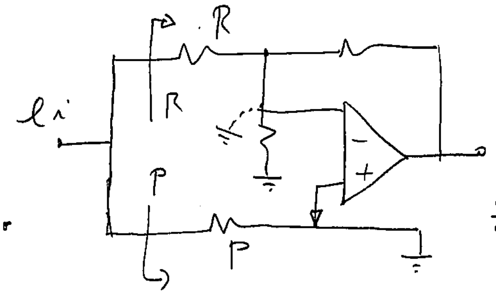
Então:

$$M\cdot R = 3\cdot 150K = 450K \;//$$

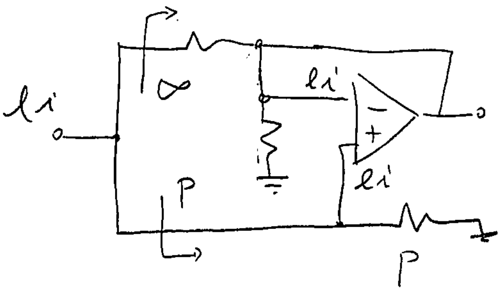
$$\frac{M\cdot R}{M-1} = \frac{3\cdot 150}{3-1} = 225K \;//$$

Ganho varia de $-M$ a $+M$, definido pela relação entre os dois resistores.

Impedância de entrada:



$Z_i = R//P$ //



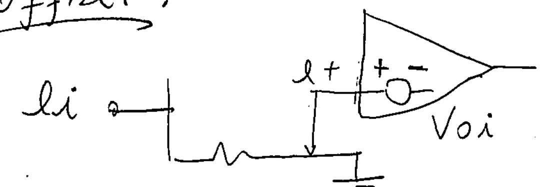
$Z_i = P$ //

Fazendo $e_i = 0$:

$$V_{00} = -(1+3)\,2\,mV = -8\,mV$$

$$V_{00} = -3\cdot 2\,mV = -6\,mV$$

Offset:



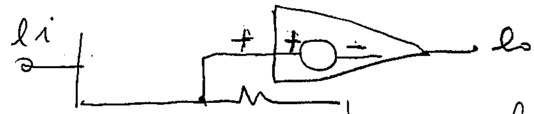
$$e_+ = -V_{oi}$$

$$e_i \frac{M\cdot R}{R+MR} + \frac{e_o R}{R+MR} = -V_{oi}$$

$$e_o = \frac{R+MR}{R}\left(\frac{-e_i\cdot M\cdot R}{R+MR} - V_{oi}\right)$$

$$e_o = -\left(e_i\cdot M + \frac{R+MR}{R}\cdot V_{oi}\right)$$

$$e_o = -\left(e_i\cdot M + (1+M)V_{oi}\right) \;//$$



$e_+ = e_i - V_{oi}$

Usando (2):

$$e_i - V_{oi} = e_o \frac{---}{---} = \frac{1}{M}$$

$$e_o = M\cdot e_i - M\cdot V_{oi} \;//$$

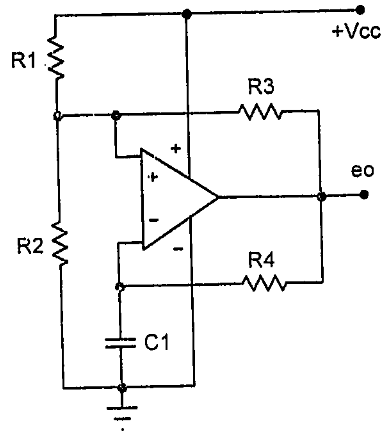
$$e_o = (e_i - V_{oi})\cdot M \;//$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental ?B 2005/2

Exame 20/12/2005

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5) Examine o circuito da figura ao lado, descreva o seu funcionamento e depois equacione o período e frequência do sinal de saída, descrevendo cada passo da solução, pois isso será valorizado.

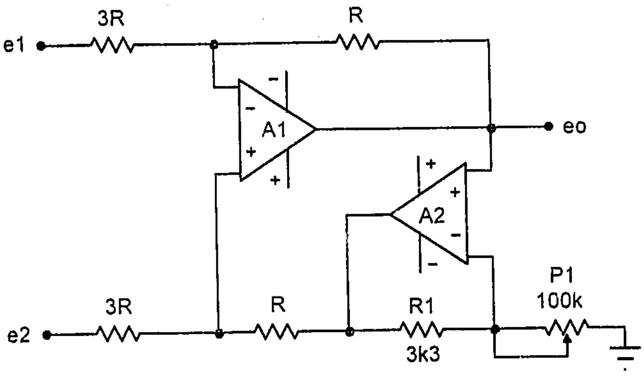


R1 = R2 = R3

R4 = 10k

C1 = 22nF

2. (3,5) Equacione o circuito a seguir, em forma literal, de modo a obter a saída e_0 em função das entradas. Coloque então os valores de circuito e calcule os limites da tensão de saída, documentando amplamente cada etapa.



$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{-1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_5}}{s^2 + \dfrac{s}{C_2}\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)+\dfrac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_2 \cdot C_5}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{H_0 \cdot \omega_0{}^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}s + \omega_0{}^2}$$

3. (3,0) Classifique o filtro da Figura 1, conforme o seu conhecimento. Determine os parâmetros H_0, ω_0 e Q, para o caso em que os capacitores são iguais e os resistores são iguais.
A seguir, descreva o efeito de introduzir um sinal e_2, conforme mostra a figura 2. Por último, calcule o ganho e_2/e_0 para DC. Descreva convenientemente cada etapa do seu trabalho.

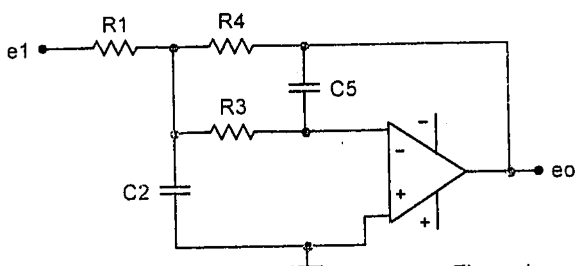


Figura 1

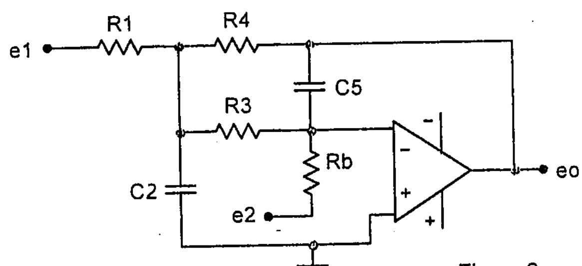
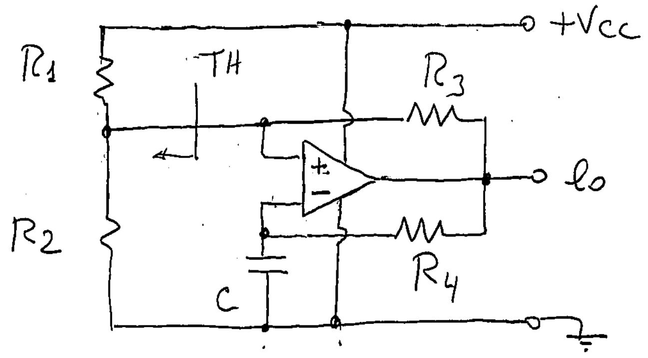


Figura 2

Examine o circuito, descreva o seu funcionamento e equacione período e frequênc. do sinal de saída e_o. Descreva cada passo da solução.



Dados: $R_1 = R_2 = R_3$

$R_4 = 10K$

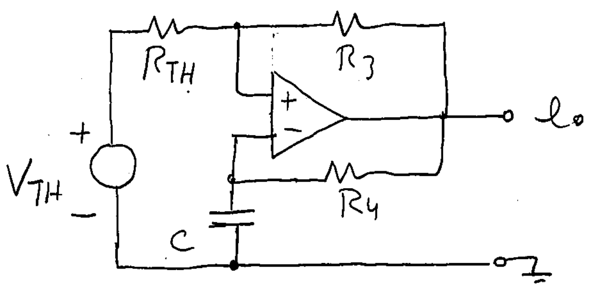
$C = 22nF$

Ponto de virada do comparador ocorre quando $e_+ = e_-$

Aplicando Thévenin na entrada:

$$V_{TH} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1+R_2} = V_{cc}/2$$

$$R_{TH} = R_1 // R_2 = R_1/2$$



$$e_+ = V_{TH} \cdot \frac{R_3}{R_{TH}+R_3} + e_o \frac{R_{TH}}{R_{TH}+R_3}$$

$$e_+ = \frac{V_{cc}}{2} \frac{R_1}{\frac{R_1}{2}+R_1} + e_o \frac{R_1/2}{R_1/2+R_1}$$

$$e_+ = \frac{V_{cc}}{3} + \frac{e_o}{3}$$

como $e_o < \begin{matrix} +V_{cc} \\ zero \end{matrix}$ vem:

$$e_+ (HIGH) = \frac{V_{cc}}{3} + \frac{V_{cc}}{3} = \frac{2}{3} V_{cc} //$$

$$e_+ (LOW) = \frac{V_{cc}}{3} + \frac{0}{3} = \frac{1}{3} V_{cc} //$$

Tempo para o capacitor excursionar de $1/3\,V_{cc}$ até $2/3\,V_{cc}$:

$$T_1 = -R_4 \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_\infty - V_{fim}}{V_\infty - V_{inic}}\right)$$

$$T_1 = -R_4 \cdot C \cdot \underbrace{\ln\left(\frac{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}}{V_{cc} - 1/3\,V_{cc}}\right)}_{\ln 0,5}$$

$$T_1 = 0,693 \cdot R_4 \cdot C //$$

Pela simetria, $T_2 = T_1$

Então: $T = T_1 + T_2$

$$T = 1,38 \cdot R_4 \cdot C$$

como:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{0,721}{R_4 \cdot C}$$

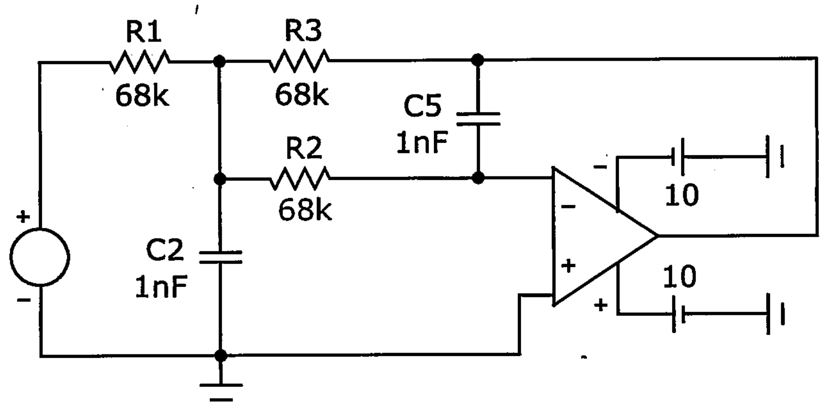
Aplicando os valores:

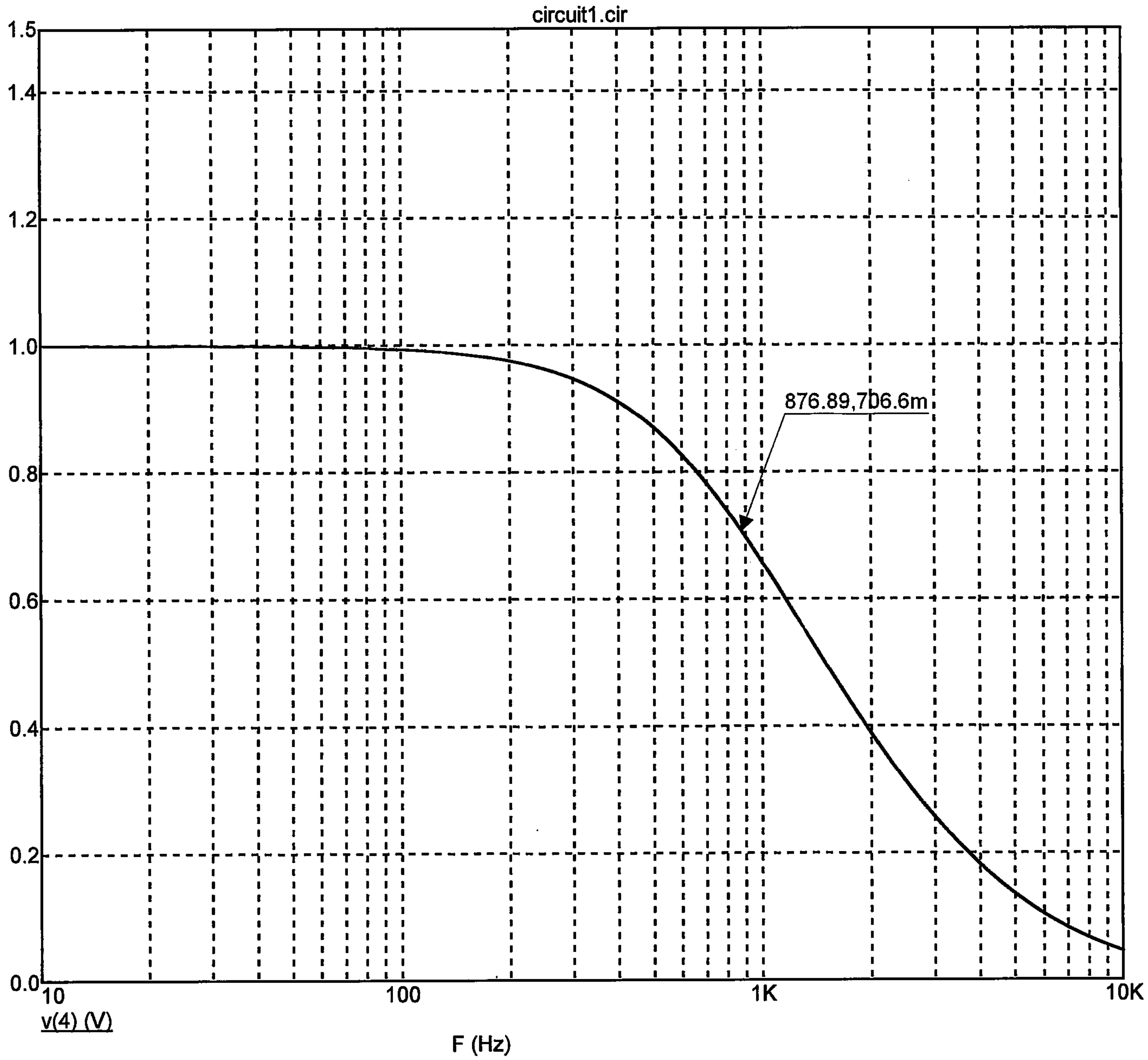
$$T = 1,38 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}$$

$$T = 304\ \mu s //$$

$$f = 3293\ Hz //$$

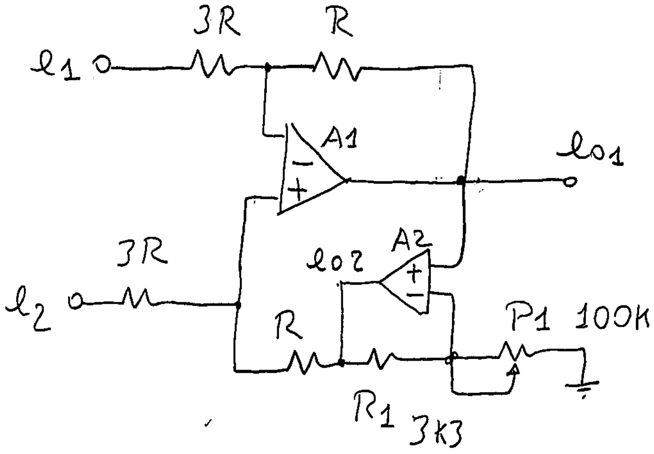
Com outros valores.





Cuidado: Red+ > red−   Veja Ex 2012-2

Equacione o circuito ao lado, em forma literal, de modo a obter a saída e_{o1} em função das entradas. Coloque então os valores do circuito e calcule os limites de saída. Descreva cada etapa.



A2: amplif. não-inversor:

$$e_{o2} = e_{o1}\left(1 + \frac{R_1}{P_1}\right)$$

A1: fazendo $e+ = e-$:

Por superposição:

$$e+ = e_2 \frac{R}{3R+R} + e_{o2}\frac{3R}{3R+R}$$

$$e+ = \frac{e_2}{4} + \frac{3 \cdot e_{o2}}{4}$$

$$e- = e_1 \frac{R}{3R+R} + e_{o1}\frac{3R}{3R+R}$$

$$e- = \frac{e_1}{4} + \frac{3 \cdot e_{o1}}{4}$$

igualando:

$$\frac{e_2}{4} + \frac{3e_{o2}}{4} = \frac{e_1}{4} + \frac{3e_{o1}}{4}$$

Isolando e_{o1} e substituindo e_{o2}:

$$3 \cdot e_{o1} - 3 \cdot e_{o1} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{P_1}\right) = e_2 - e_1$$

$$-3e_{o1}\frac{R_1}{P_1} = e_2 - e_1$$

$$e_{o1} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_1}{R_1} \cdot (e_1 - e_2)$$

Limites:

com $P_1 = 0$:

$$e_{o1} = \frac{1}{3}\,\frac{0}{3K3}\,(e_1 - e_2) = \text{zero}$$

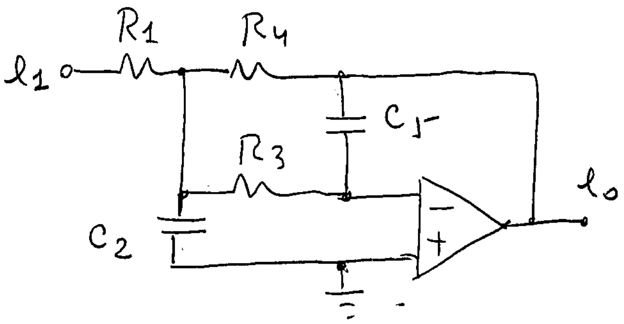
com $P_1 = 100K$:

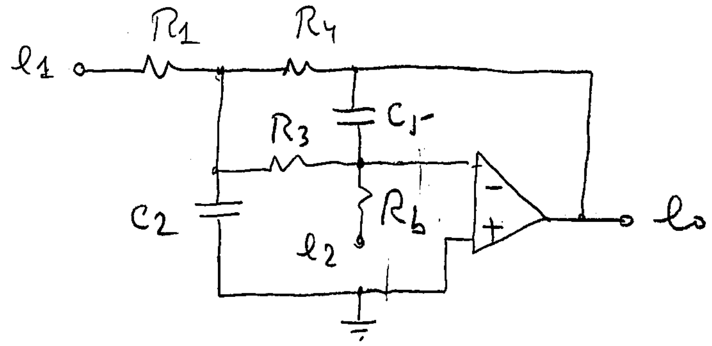
$$e_{o1} = \frac{1}{3}\,\frac{100K}{3K3}\,(e_1 - e_2)$$

$$e_{o1} = 10{,}1\,(e_1 - e_2)$$

Vantagem: ajuste do ganho do amplif. subtrator por um potenciômetro simples.

Examine o filtro da figura a, compare com os que são conhecidos e classifique. Para o caso em que os resistores são iguais e os capacitores são iguais, determine os parâmetros ω_0, φ e H_0.
A seguir, descreva o efeito de introduzir um sinal e_2, conforme mostra a figura 2. Por último, calcule o ganho e_2/e_0 para DC.





Filtro PB real. múltipla.
Das equações, fazendo
$R_1 = R_3 = R_4 = R$ e $C_2 = C_5 = C$

$$\frac{e_0}{e_1} = \frac{\dfrac{-1}{RRCC}}{s^2 + \dfrac{s}{C}\left(\dfrac{1}{R} + \dfrac{1}{R} + \dfrac{1}{R}\right) + \dfrac{1}{RRCC}}$$

$$= \frac{H_0 \omega_0^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{\varphi} s + \omega_0^2}$$

comparando:

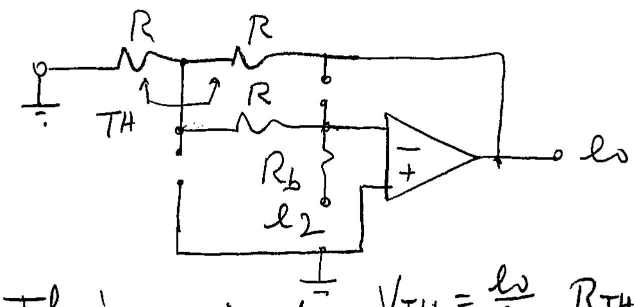
$$\omega_0^2 = \frac{1}{R^2 C^2} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC} \;//$$

$$H_0 = -1 \;//$$

$$\frac{\omega_0}{\varphi} = \frac{1}{C}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right)$$

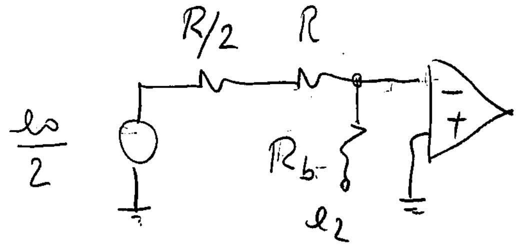
$$\frac{1}{RC\cdot\varphi} = \frac{1}{C}\cdot\frac{3}{R} \rightarrow \varphi = \frac{1}{3} \;//$$

Devido a massa virtual, o sinal e_2 não perturba o funcionamento do filtro. Forma-se um somador inversor e e_2 aparece na saída somado ao de e_1 que passou pelo filtro.
Para saber $\frac{e_0}{e_2}$, faz-se $e_1 = 0$, equaciona-se $e+ = e-$ para cada frequência.
No caso DC, o circuito fica:



Thévenin: $V_{TH} = \frac{e_0}{2}$ $R_{TH} = \frac{R}{2}$

O circuito fica:



Por superposição:

$$e_- = \frac{e_o}{2}\,\frac{R_b}{\frac{R}{2}+R+R_b} + e_2\,\frac{\frac{R}{2}+R}{\frac{R}{2}+R+R_b}$$

como $e_+ = 0$, igualando:

e simplificando os denominadores:

$$\frac{e_o}{2}\cdot R_b = -e_2\left(\frac{R}{2}+R\right)$$

$$\frac{e_o}{e_2} = -\frac{2}{R_b}\left(\frac{3R}{2}\right)$$

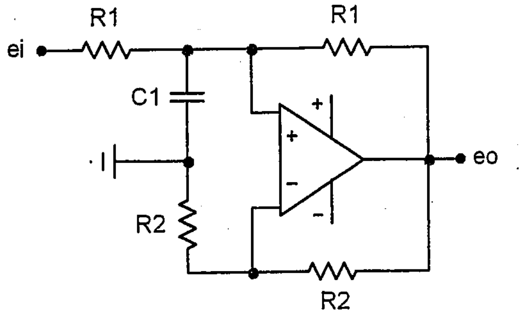
$$\frac{e_o}{e_2} = -\frac{3R}{R_b} \;//$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2006/1**

Exame 11/7/2006

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (2,5) Equacione o circuito ao lado, determine a função de transferência e_O / e_i e analise o resultado, descrevendo a função do circuito. Documente com textos e equações cada passo da solução. Dica: o circuito é linear.

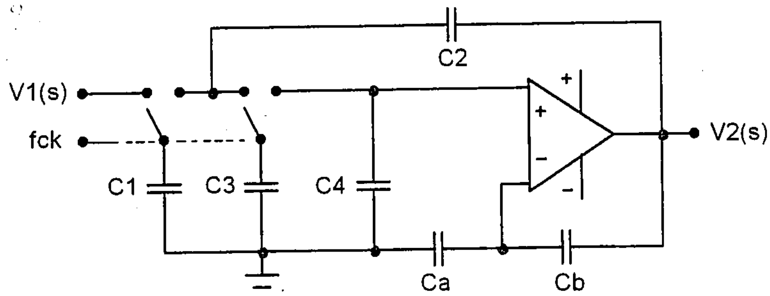


$$i_c = C\frac{dv_c}{dt} \quad v_c = \frac{1}{C}\int i_c dt$$

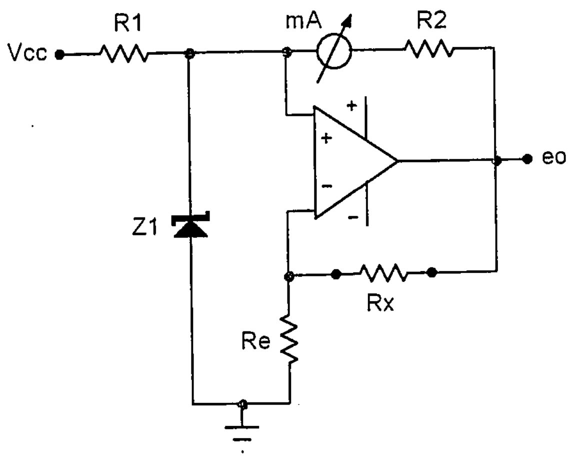
2. (4,0) Estude o circuito a seguir, classifique a sua função e determine os limites da variável controlada por f_{ck} quando esta variar de 0,3kHz até 9kHz. Cada etapa de cálculo deve ser amplamente descrita por textos, equações e diagramas. Agora, equacione e calcule C_a e C_b para obter um fator de qualidade de 1,25 ao longo da faixa de controle.

$C_1 = C_3 = 1\text{nF}$
$C_2 = C_4 = 2{,}2\text{nF}$

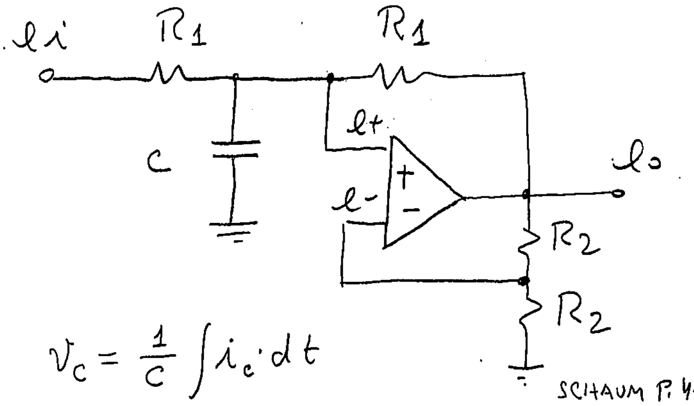
$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{\dfrac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}}{S^2 + \left(\dfrac{1}{R_1C_2} + \dfrac{1}{R_3C_2} + \dfrac{1-K}{R_3C_4}\right)S + \dfrac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^2}{S^2 + \dfrac{\omega_0}{Q}S + \omega_0^2}$$



3. (3,5) Equacione o medidor de resistências de modo a obter I_m em função de R_x e demais valores de circuito, descrevendo amplamente cada etapa do seu trabalho. O miliampermetro tem resistência interna R_m = 100Ω e alcança plena deflexão com I_m = 1mA na bobina. Completada esta etapa, faça $V_z = 3$ $R_e = 100k$ R_2 = 2k9 e teste a equação com R_x = zero, 50k, 100k e infinito, comentando os resultados.



Equacione o circuito, determine a função de transferência e_o/e_i e analise o resultado, descrevendo a função do circuito. Documente cada passo da solução. Dica: o circuito é linear.



$$v_C = \frac{1}{C}\int i_c\, dt$$

SCHAUM P. 417
EX 2006-1

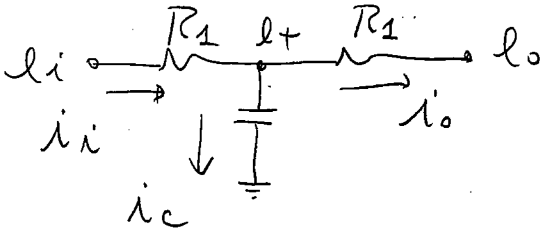
Se o circuito é linear, $e_+ = e_-$

$$e_- = e_o \frac{R_2}{R_2 + R_2} \quad \text{então:}$$

$$e_+ = e_- = \frac{e_o}{2} \quad //$$

como: $v_C = e_+ = \frac{1}{C}\int i_c\, dt \quad (1)$, é conveniente equacionar o circuito por correntes.

KCL em e_+:



$$-i_i + i_c + i_o = 0$$

$$i_c = i_i - i_o$$

$$i_c = \frac{e_i - e_+}{R_1} - \frac{e_+ - e_o}{R_1}$$

$$i_c = \frac{e_i - \frac{e_o}{2}}{R_1} - \left(\frac{\frac{e_o}{2} - e_o}{R_1}\right)$$

$$i_c = \frac{e_i - \frac{e_o}{2} - \frac{e_o}{2} + e_o}{R_1}$$

$$i_c = \frac{e_i}{R_1} \quad //$$

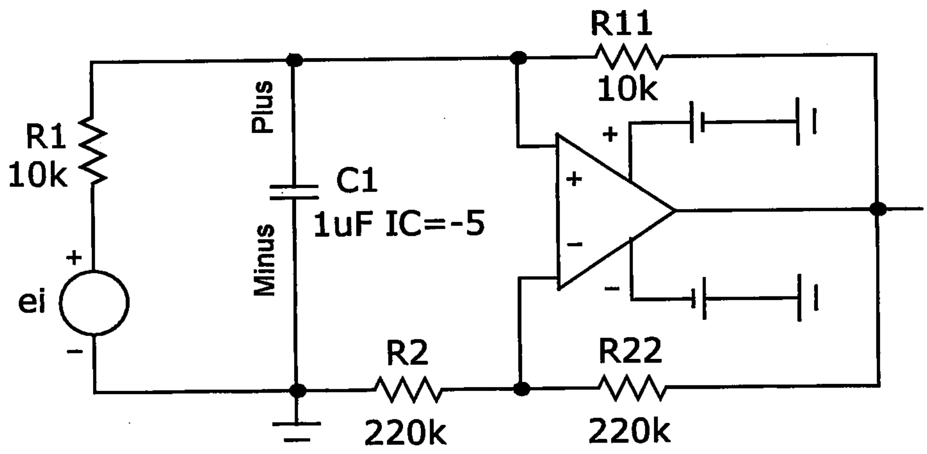
Substituindo em (1):

$$v_C = \frac{e_o}{2} = \frac{1}{C}\int \frac{e_i}{R_1}\, dt$$

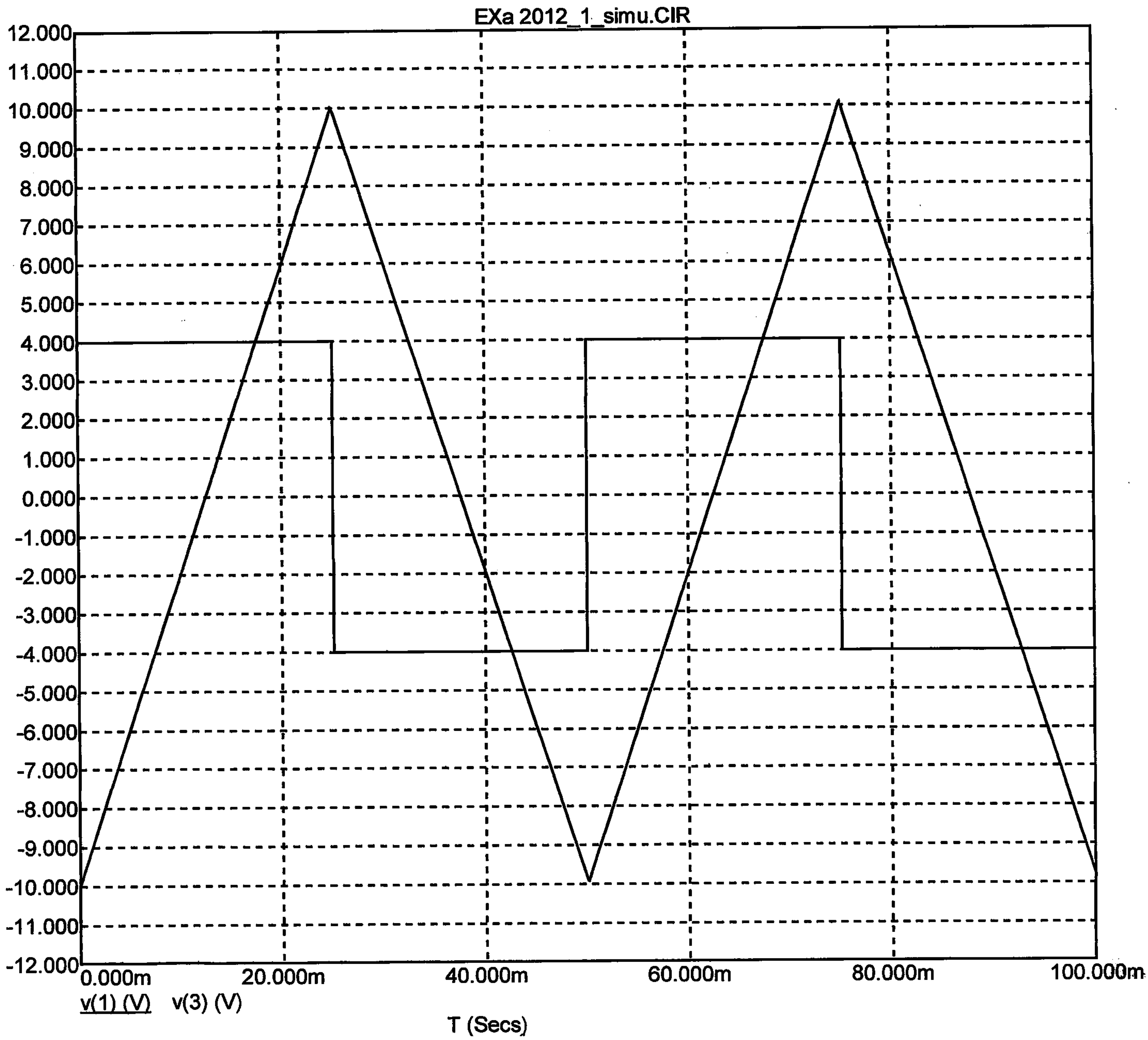
Portanto:

$$e_o = \frac{2}{R_1 \cdot C}\int e_i\, dt \quad //$$

Integrador não-inversor com ganho 2.

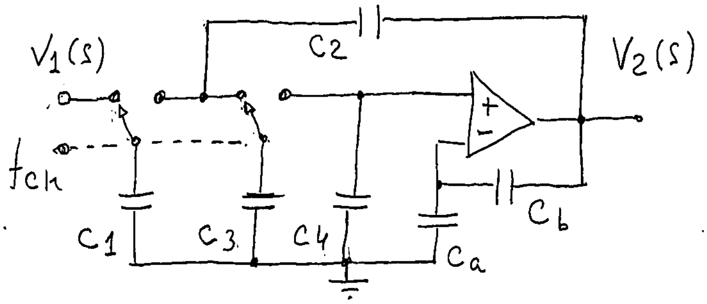


DC 0 AC 1 0 Pulse -4 4 0 0 0 25m 50m



Estude o circuito, classifique a sua função determine os limites de variável controlada por f_{ck} quando esta variar de 0,3 kHz a 9 kHz. Cada etapa de cálculo deve ser amplamente descrita por textos, equações e diagramas.
Equacione e calcule C_a e C_b para obter um fator de qualidade de 1,25 ao longo da faixa de controle.

$C_1 = C_3 =$
$C_2 = C_4 =$



$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{H_o W_o^2}{s^2 + \frac{W_o}{\varphi} s + W_o^2}$$

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K / R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}{s^2 + \left[\frac{1}{R_1 \cdot C_2} + \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1-K}{R_3 \cdot C_4}\right] s + 1/R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}$$

$R = 1/C \cdot f_{ck}$ ——— Ex 2006-1

Estudo: Filtro PB Salen-Key 2ª ordem com resistores implementados por capacitores chaveados.

$$R_1 = \frac{1}{C_1 \cdot f_{ck}} \quad e \quad R_3 = \frac{1}{C_3 \cdot f_{ck}}$$

No circuito notamos que:

$R_1 = R_3 = R$ e $C_2 = C_4 = C$

comparando a equação do filtro com a forma padrão:

$$W_o^2 = \frac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4} \rightarrow W_o = \frac{1}{RC}$$

$$H_o W_o^2 = \frac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4} \rightarrow H_o = K$$

$$\frac{W_o}{\varphi} = \frac{1}{R \cdot C} + \frac{1}{RC} + \frac{1-K}{RC} = \frac{3-K}{RC}$$

$$\varphi = \frac{W_o \cdot RC}{3-K} = \frac{\frac{1}{RC} \cdot RC}{3-K} \rightarrow \varphi = \frac{1}{3-K}$$

No amplificador não-inversor:

$$K = 1 + \frac{X_{cb}}{X_{ca}} = 1 + \frac{\frac{1}{j\omega C_b}}{\frac{1}{j\omega \cdot C_a}}$$

$$K = 1 + \frac{C_a}{C_b}$$

$$\text{Então:} \quad \varphi = \frac{1}{3 - 1 - \frac{C_a}{C_b}} = \frac{1}{\frac{2C_b - C_a}{C_b}}$$

$$\varphi = \frac{C_b}{2C_b - C_a}$$

Para $\varphi = 1,25$ ∴ $2,5 C_b - 1,25 C_a = C_b$

$1,5 C_b = 1,25 C_a \rightarrow C_a = 1,2 \cdot C_b$

Escolhendo $C_b = 1\,mF$ então $C_a = 1,2\,mF$

Pelas equações R atua em W_o apenas e os limites são:

$$R\,(0,3\,kHz) = \frac{1}{10^{-9} \cdot 0,3 \cdot 10^3} = 3,33\,M\Omega$$

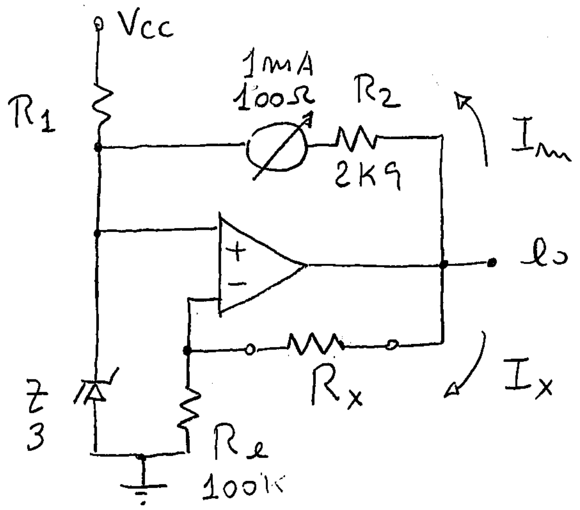
$$\text{Então } W_o\,(min) = \frac{1}{3,33 \cdot 10^6 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}}$$

W_o min = 136 rad/s → f_{min} = 21,7 Hz

$$W_o\,(máx) = \frac{1}{111 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}} = 4098\ \text{rad/s}$$

$R\,(9\,kHz) \rightarrow$ 651 Hz →

Equacione o medidor de resistências de modo a obter R_x em função de I_m, V_z, R_e, R_2 e R_m. O miliamperímetro tem resistência interna $R_m = 100\Omega$ e alcança plena deflexão com $I_m = 1\,mA$ na bobina. Comente os resultados obtidos e teste a equação com $R_x = 0$, $50k$, $100k$ e ∞. Componentes ideais. Qual a função de R_e?



Dica: Equacione I_m e isole R_x no final.

Só tem realim. negativa; Supondo operação linear e fazendo $V_+ = V_-$

$$V_z = V_o \frac{R_e}{R_e + R_x} \qquad (1)$$

Definindo as correntes I_m e I_x:

$$I_m = \frac{V_o - V_z}{R_2 + R_m} \qquad (2)$$

$$I_x = \frac{V_z}{R_e} \qquad I_x = \frac{V_o - V_z}{R_x}$$

Equacionando I_m: Como V_o é uma variável interna, vamos substituí-la usando a equação (1):

$$V_o = V_z \cdot \frac{R_e + R_x}{R_e}$$

Levando em (2):

$$I_m = \frac{V_z \frac{R_e + R_x}{R_e} - V_z}{R_2 + R_m}$$

$$I_m = \frac{V_z\left[\left(1 + \frac{R_x}{R_e}\right) - 1\right]}{R_2 + R_m}$$

$$I_m = \frac{V_z \cdot \frac{R_x}{R_e}}{R_2 + R_m} \quad //$$

Isolando R_x:

$$R_x = \frac{I_m (R_2 + R_m) \cdot R_e}{V_z}$$

Colocando os valores:

$$R_x = \frac{I_m (2K9 + 0{,}1K) \cdot 100K}{3}$$

$$R_x = I_m \cdot 10^8 \,\Omega \quad //$$

Testando:

$$I_m = R_x / 10^8$$

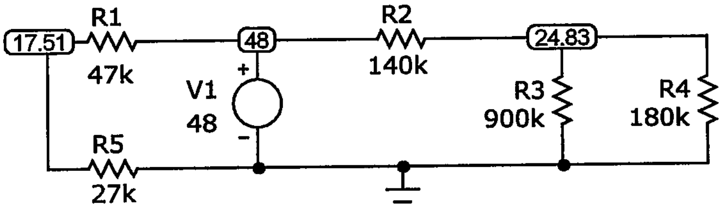
$R_x = 0$: $I_m = \frac{0}{10^8} = 0$

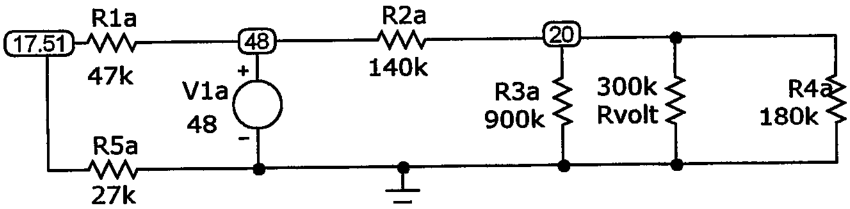
$R_x = 50K$: $I_m = \frac{50k}{10^8} = 0{,}5\,mA$

$R_x = 100k$: $I_m = \frac{100k}{10^8} = 1\,mA$

$R_x = \infty$: $I_m = \frac{\infty}{10^8} \Rightarrow$ corrente do medidor é grande: precisa de proteção. R_e = escala.

Ex 2014/2 Medida com voltmetro 10k Ohms/Volt



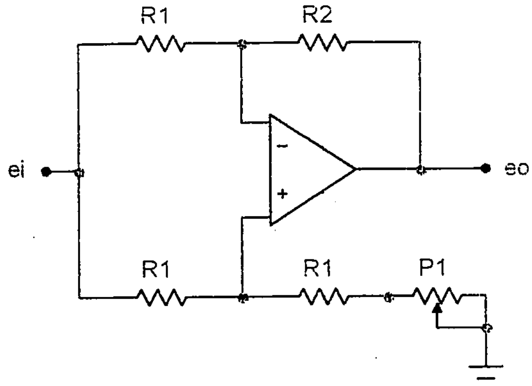


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2006/2

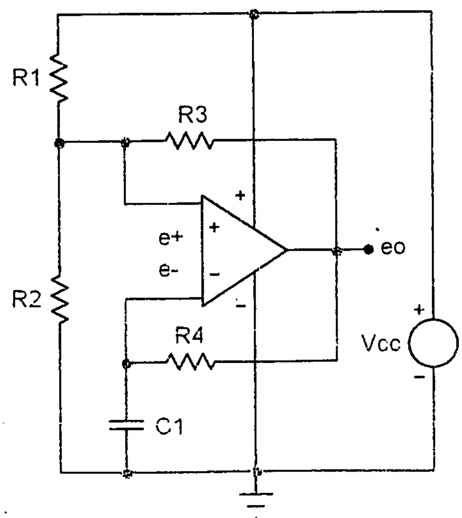
Exame 12/12/2006

Nome: GABARITO **Turma:** _____

1. No circuito a seguir, a) Equacione literalmente a tensão de saída em função da tensão de entrada. b) Particularize a equação para o cursor de P_1 nas posições extremas e no centro, usando $P = R_1 = R_2/2$. Cada etapa deve ser amplamente documentada com textos, diagramas e equações pois isso será avaliado. c) Desenhe o gráfico da função de transferência usando os dados obtidos acima. P_1 atua linearmente? Como provar isso? d) Substitua o ajuste por uma estrutura baseada em capacitores chaveados, sem alterar o funcionamento do circuito. Descreva a sua idéia e desenhe o novo circuito. Calcule todos os valores para este caso usando R_1 = 330k e um sinal de áudio em e_i.



2. Examine a topologia do circuito abaixo e a) Descreva qualitativamente o seu funcionamento, prevendo o que vai acontecer na saída. Este ítem deve ser respondido em primeiro lugar pois vai mostrar o caminho da solução. b) Equacione literalmente a saída e_0 na forma que for mais significativa, de acordo com a já deduzida função do circuito. c) Simplifique a equação usando $R = R_1 = R_2 = R_3$ e comente os resultados obtidos. d) Teste o circuito com C_1 = 330nF R = 680k R_4 = 68k e desenhe os gráficos de e_+ e e_- colocando os valores calculados. Note que é preciso pensar um pouco para encontrar a melhor maneira de mostrar os resultados, ou seja as variáveis mais significativas do circuito, inclusive para desenhar os gráficos. Componentes ideais, Vcc = 12V. Documente extensivamente cada etapa da solução.



com: ;

$P = R_1$

VERSÃO FINAL EXAME 2006-2

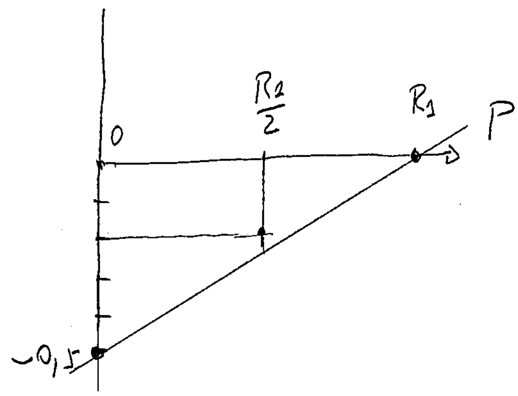
Equacionamento — 1,5
cálculo valores — 1,0
Gráfico — 1,0
Capichamento — 1,5

$R_2 = 2R_1$ $\quad \frac{e_o}{e_i} = \frac{R_1+R_2}{R_1}\left(\frac{R_1+P}{2R_1+P} - \frac{R_2}{R_1+R_2}\right)$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{R_1+2R_1}{R_1}\left(\frac{R_1+P}{2R_1+P} - \frac{2R_1}{R_1+2R_1}\right)$$

$$\frac{e_o}{e_i} = 3 \cdot \frac{R_1+P}{2R_1+P} - 3\,\frac{2R_1}{3R_1}$$

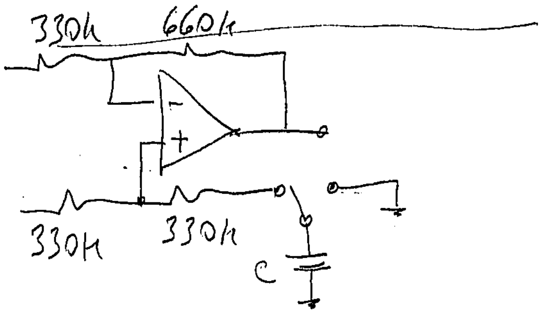
$$\frac{e_o}{e_i} = 3 \cdot \frac{R_1+P}{2R_1+P} - 2 \;//$$



$\underline{P=0}$ $\quad \frac{e_o}{e_i}(0) = \frac{3R_1}{2R_1} - 2 = -0,5$

$\underline{P=R_1}$ $\quad \frac{e_o}{e_i}(1) = 3 \cdot \frac{R_1+R_1}{2R_1+R_1} - 2 = 3 \cdot \frac{2}{3} - 2 = 0$

$P = R_1/2$ $\quad \frac{e_o}{e_i}(1/2) = 3\,\frac{R_1+\frac{R_1}{2}}{2R_1+\frac{R_1}{2}} - 2 = 3\,\frac{\frac{2R_1+R_1}{\cancel{2}}}{\frac{4R_1+R_1}{\cancel{2}}} = 3 \cdot \frac{3R_1}{5R_1} - 2 = -0,2$



$f_{ck\,min} = 50\text{ kHz} \rightarrow R_{sc\,max} \rightarrow P = R_1 \rightarrow R_{sc} = R_1 + P = 330k + 330k = 660k$

$$R_{sc} = \frac{1}{C \cdot f}$$

$$660k = \frac{1}{C \cdot 50 \cdot 10^3} \rightarrow C = 30,3 \cdot 10^{-12}\text{ F} \;//$$

com $P=0 \rightarrow R_{sc} = R_1 + 0 = 330k$

$$330k = \frac{1}{30,3 \cdot 10^{-12} \cdot f_{ck}} \rightarrow f_{ck} = \underline{\underline{100\text{ kHz}}}$$ maior que fmin

Ex 2006-2

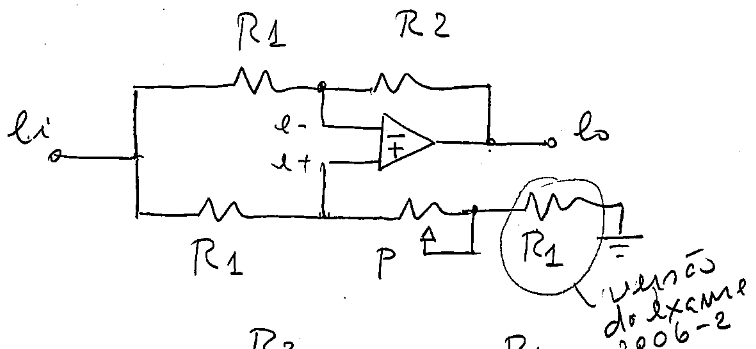
AMPLIFICADOR INVERSOR DE GANHO VARIÁVEL

a) Equacione literalmente a tensão de saída em função da entrada.

b) Particularize a equação para o cursor de P1 nas posições extremas e no centro, usando $P = R_1 = \frac{R_2}{2}$

c) Desenhe o gráfico de e_o com $e_i = 1$ Volt usando os dados acima. P1 atua linearmente? Como provar isso?

d) Substitua P por uma estrutura baseada a cap. chaveados sem alterar o funcionamento do circuito.
Dados: $R_1 = 330K$, e_i é um sinal de áudio
Descreva cada passo desta modificação



$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = e_i \frac{P}{R_1+P}$$

Fazendo $e_+ = e_-$;

$$e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = -e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_i \frac{P}{R_1+P}$$

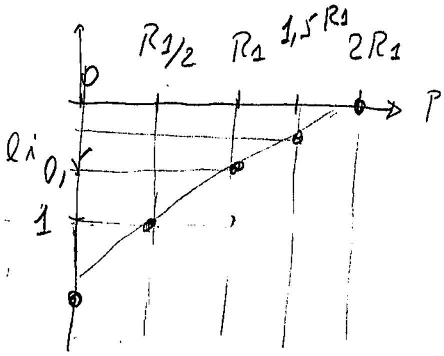
$$e_o = \frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot e_i \left(\frac{P}{R_1+P} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right) //$$

Fazendo $R_1 = R_2 = P$;

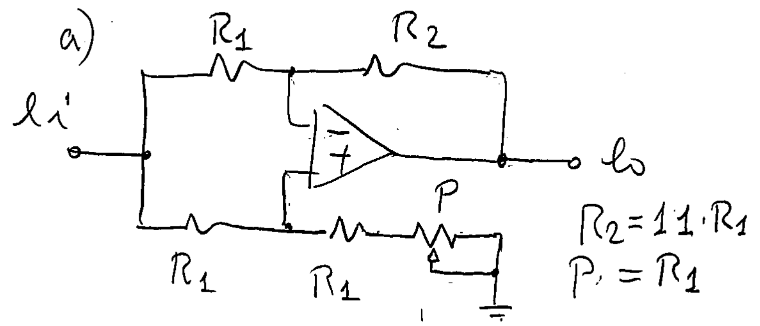
$$e_o = 2 \cdot e_i \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) \rightarrow e_o = 0$$ Ganho zero

Fazendo $R_1 = R_2$ e $P = 0$;

$$e_o = 2 \cdot e_i \left(0 - \frac{1}{2} \right) \rightarrow e_o = -e_i$$ Ganho inversor unitário



a)



$R_2 = 11 \cdot R_1$
$P = R_1$

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{e_o \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$e_+ = \frac{e_i (R_1 + P)}{R_1 + R_1 + P} = \frac{e_i (R_1 + P)}{2R_1 + P}$$

Igualando:

$$e_o = e_i \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left(\frac{R_1 + P}{2R_1 + P} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) //$$

b) Substituindo os valores e simplificando a equação:

$$e_o = 1 \cdot \frac{R_1 + 11 R_1}{R_1} \left(\frac{R_1 + P}{2R_1 + P} - \frac{11 R_1}{R_1 + 11 R_1} \right)$$

$$e_o = 12 \cdot \frac{R_1 + P}{2R_1 + P} - 11 //$$

com $P_1 = 0$ = mínimo:

$$e_o(0) = 12 \cdot \frac{R_1}{2 \cdot R_1} - 11 \rightarrow e_o(0) = -5 //$$

Com $P_1 = R_1$ = máximo:

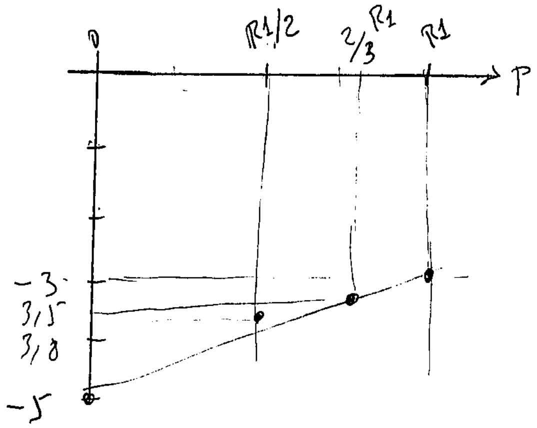
$$e_o(m) = 12 \cdot \frac{R_1 + R_1}{2R_1 + R_1} - 11 \rightarrow e_o(m) = -3 //$$

Com $P_1 = R_1/2$:

$$e_o = 12 \cdot \frac{1,5}{2,5} - 11 = -3,8 //$$

Com $P_1 = \frac{2}{3} R_1$:

$$12 \cdot \frac{1 + 2/3}{2 + 2/3} - 11 \simeq -3,5$$



com:

$$\begin{cases} R_2 = 5 \cdot R_1 \\ P_1 = R_1 \end{cases}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{R_1 + 5R_1}{R_1} \left(\frac{R_1 + P}{2R_1 + P} - \frac{5R_1}{R_1 + 5R_1} \right)$$

$$\frac{e_o}{e_i} = 6 \left(\frac{R_1 + P}{2R_1 + P} - \frac{5}{6} \right)$$

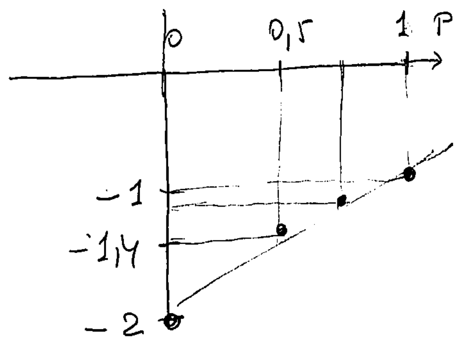
$$\frac{e_o}{e_i} = 6 \frac{R_1 + P}{2R_1 + P} - 5 //$$

$\underline{P = 0}$: $6 \cdot \frac{R_1}{2R_1} - 5 \rightarrow \frac{e_o}{e_i} = -2$

$\underline{P = R_1}$: $6 \frac{R_1 + R_1}{2R_1 + R_1} - 5 \rightarrow \frac{e_o}{e_i} = -1$

$\underline{P = \frac{R_1}{2}}$: $6 \frac{R_1 + R_1/2}{2R_1 + R_1/2} - 5 = -1,4$

$\underline{P = \frac{2}{3} R_1}$: $6 \frac{R_1 + \frac{2}{3} R_1}{2 R_1 + \frac{2}{3} R_1} - 5 = -1,25$



d) controle por capacitor chaveado:

Princípio de funcionamento: Substituir o ramo R_1+P por $R_{sc} = \dfrac{1}{C \cdot f_{CK}}$

Para boa operação na faixa de audio, $f_{CK} > 2 \cdot f_{\text{áudio}\,max}$

$f_{CK\,min} > 20\,KHz$. Usaremos $f_{CK\,min} = 50\,KHz$

Com $f_{CK\,min}$ R_{sc} é máximo, ou seja, quando o ganho do circuito é $\dfrac{e_o}{e_i} = -3$ que é o ganho mínimo.

Então, $R_{sc} = R_1 + P_1 = 330k + 330k = 660k$

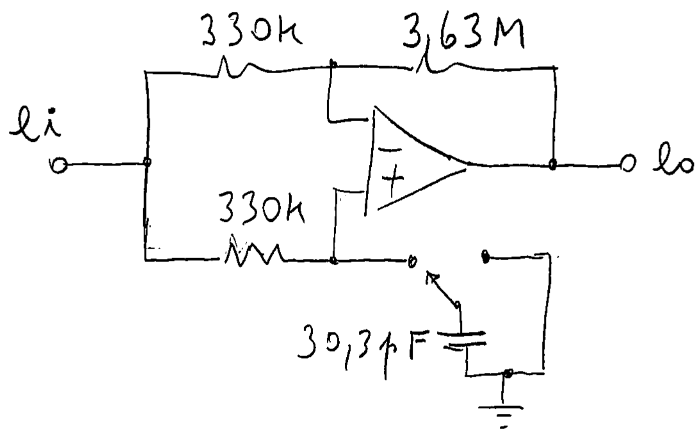
$$R_{sc} = 660 \cdot 10^3 = \frac{1}{C \cdot 50 \cdot 10^3} \rightarrow C = 30{,}3 \cdot 10^{-12} F$$

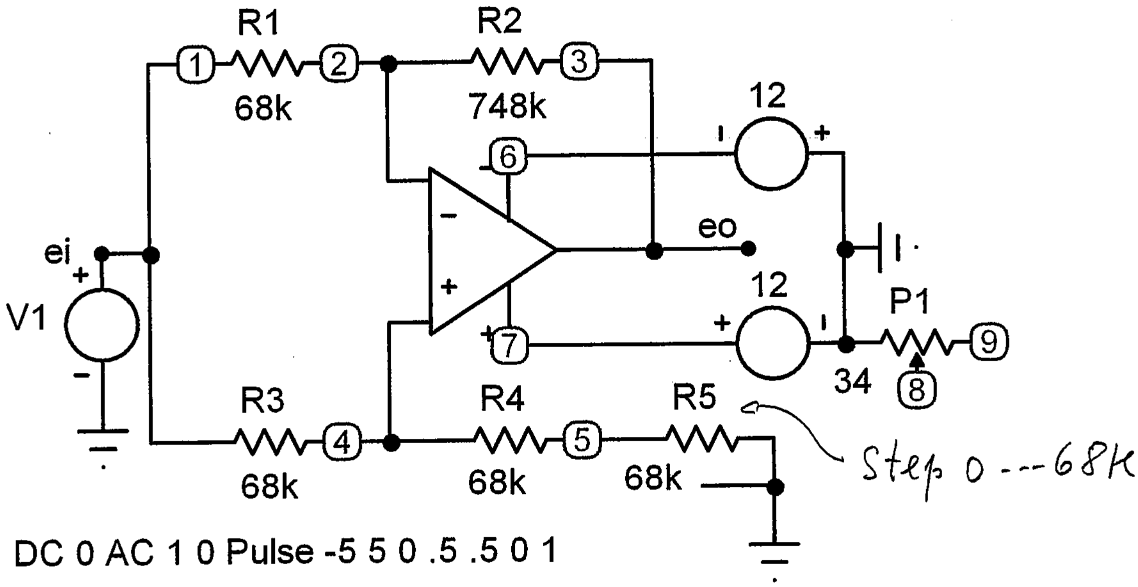
confirmando:
com R_{sc} no mínimo, $R_{sc} = 330K$ teremos:

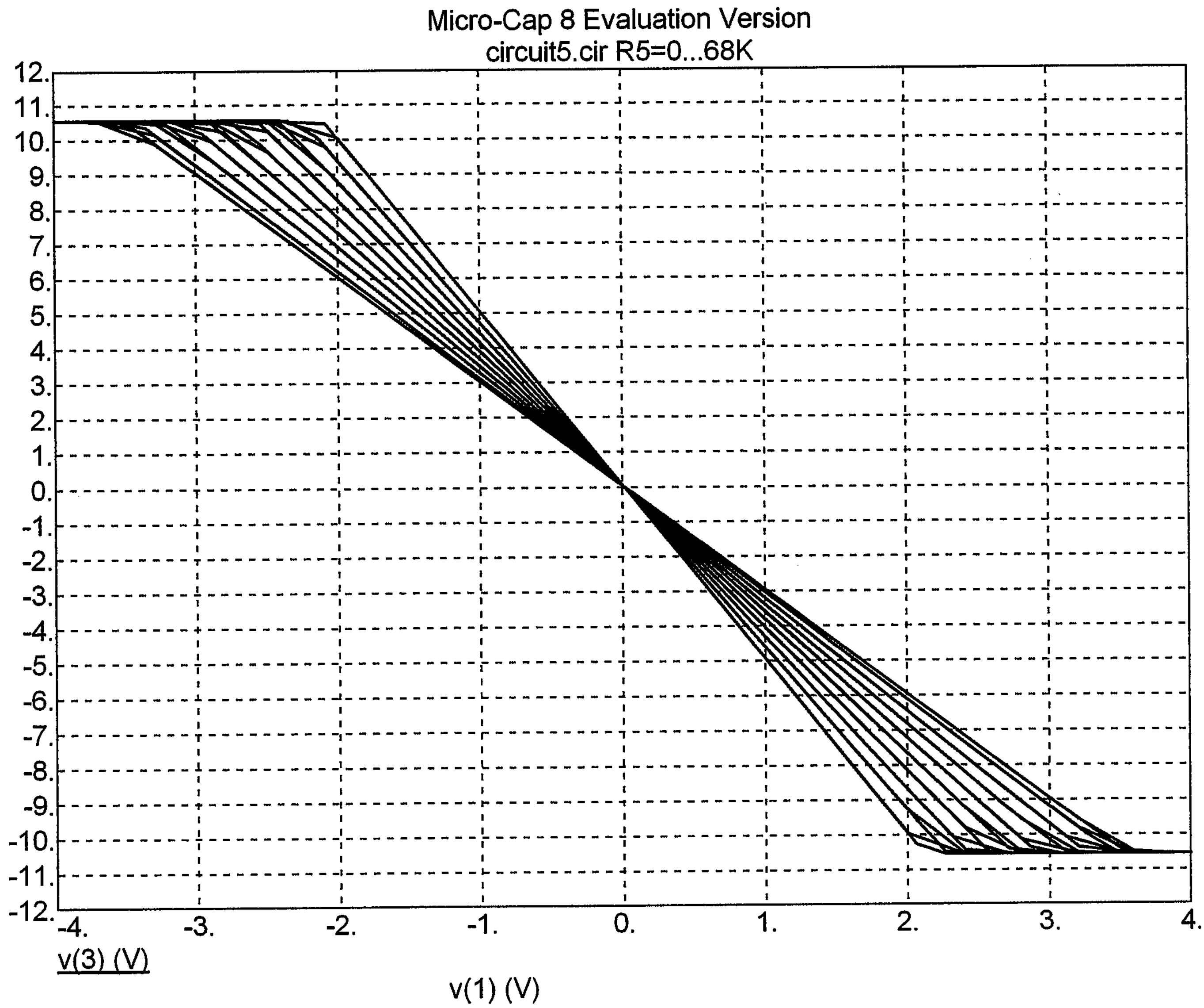
$$330k = \frac{1}{30{,}3 \cdot 10^{-12} \cdot f_{CK}} \rightarrow f_{CK} = 100\,KHz$$

bem acima da faixa de áudio

Circuito final:

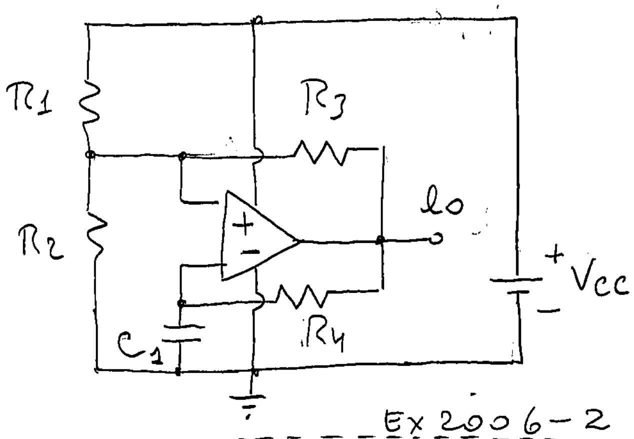



R1
68k
R2
748k
R3
68k
R4
68k
R5
68k
1
2
3
4
5
6
7
8
9
12
12
eo
ei
V1
P1
34
Step 0 ---68K
DC 0 AC 1 0 Pulse -5 5 0 .5 .5 0 1


Micro-Cap 8 Evaluation Version
circuit5.cir R5=0...68K
v(3) (V)
v(1) (V)

$V_c(t) = V(\infty) + [V(i) - V(\infty)] \cdot e^{-t/\tau}$

No circuito a seguir, a) Examine cuidadosamente a topologia e descreva qualitativamente o funcionamento, prevendo o que vai acontecer na saída. Este ítem deve ser respondido em primeiro lugar pois vai mostrar o caminho da solução. b) Equacione convenientemente a saída da forma que for mais significativa, de acordo com a função do circuito. Use $R_1 = R_2 = R_3 = R$. c) Comente os resultados obtidos. d) Teste o circuito com $C_1 = 330\,n$, $R = 680\,K$, $R_4 = 68\,K$ e desenhe os gráficos de e_+ e e_-.

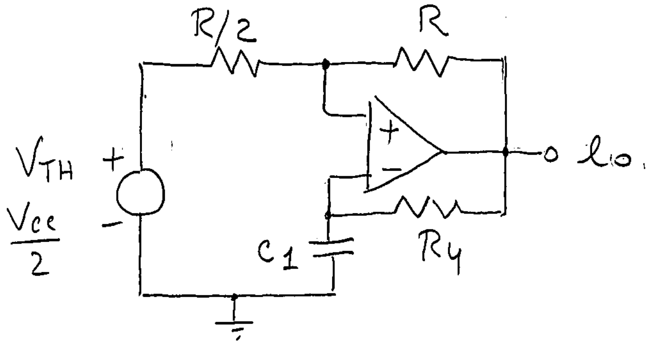


Ex 2006-2

Simplificando por Thévenin na entrada e_+ os R_1 e R_2:

$$V_{TH} = V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2} \rightarrow V_{TH} = \frac{V_{CC}}{2}$$

$$R_{TH} = R_1 /\!/ R_2 \rightarrow R_{TH} = R/2$$



comparador com histerese sem realim. negativa pois C_1 impede que a saída influa instantaneamente na entrada.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = \frac{V_{TH} \cdot R_3}{R_3 + R_{TH}} + \frac{e_0 \cdot R_{TH}}{R_3 + R_{TH}}$$

Como $e_0 < \begin{matrix} +V_{CC} \\ \perp \end{matrix}$

$$e_+\Big|_H = \frac{\frac{V_{CC}}{2} \cdot 680k}{680k + 34k} + \frac{V_{CC} \cdot 34k}{680k + 34k}$$

$$e_+\Big|_H = \frac{V_{CC}}{3} + \frac{V_{CC}}{3} = \frac{2}{3}V_{CC} \;/\!/$$

$$e_+\Big|_L = \frac{\frac{V_{CC}}{2} \cdot 680k}{680k + 34k} + \frac{0 \cdot 34k}{680k + 34k}$$

$$e_+\Big|_L = \frac{V_{CC}}{3} \;/\!/$$

O circuito é um gerador de ondas quadradas.
O capacitor inicialmente carrega de zero até 2/3 Vcc quando então o comparador vira e o cap. descarrega de 2/3 Vcc até 1/3 Vcc quando o comp. vira novamente e o cap. volta para 2/3 Vcc ...

Tempo para ir de $1/3 V_{cc}$ até $2/3 V_{cc}$:

$$t = -\tau \cdot \ln\left(\frac{V(\infty) - V(\text{fim})}{V(\infty) - V(\text{inic})}\right) \quad \text{onde } \tau = R \cdot C$$

$$t = -R_4 \cdot C_1 \cdot \ln\left(\frac{V_{cc} - \frac{2}{3} V_{cc}}{V_{cc} - 1/3\, V_{cc}}\right)$$

$$t = 0{,}693 \cdot R_4 \cdot C_1$$

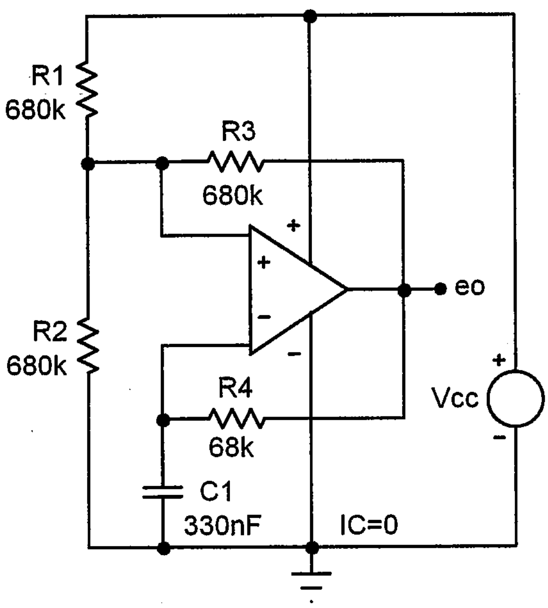
Período de oscilação:

$$T = t + t = 1{,}39 \cdot R_4 \cdot C_1 \,//$$ Independe da tensão de alimentação.

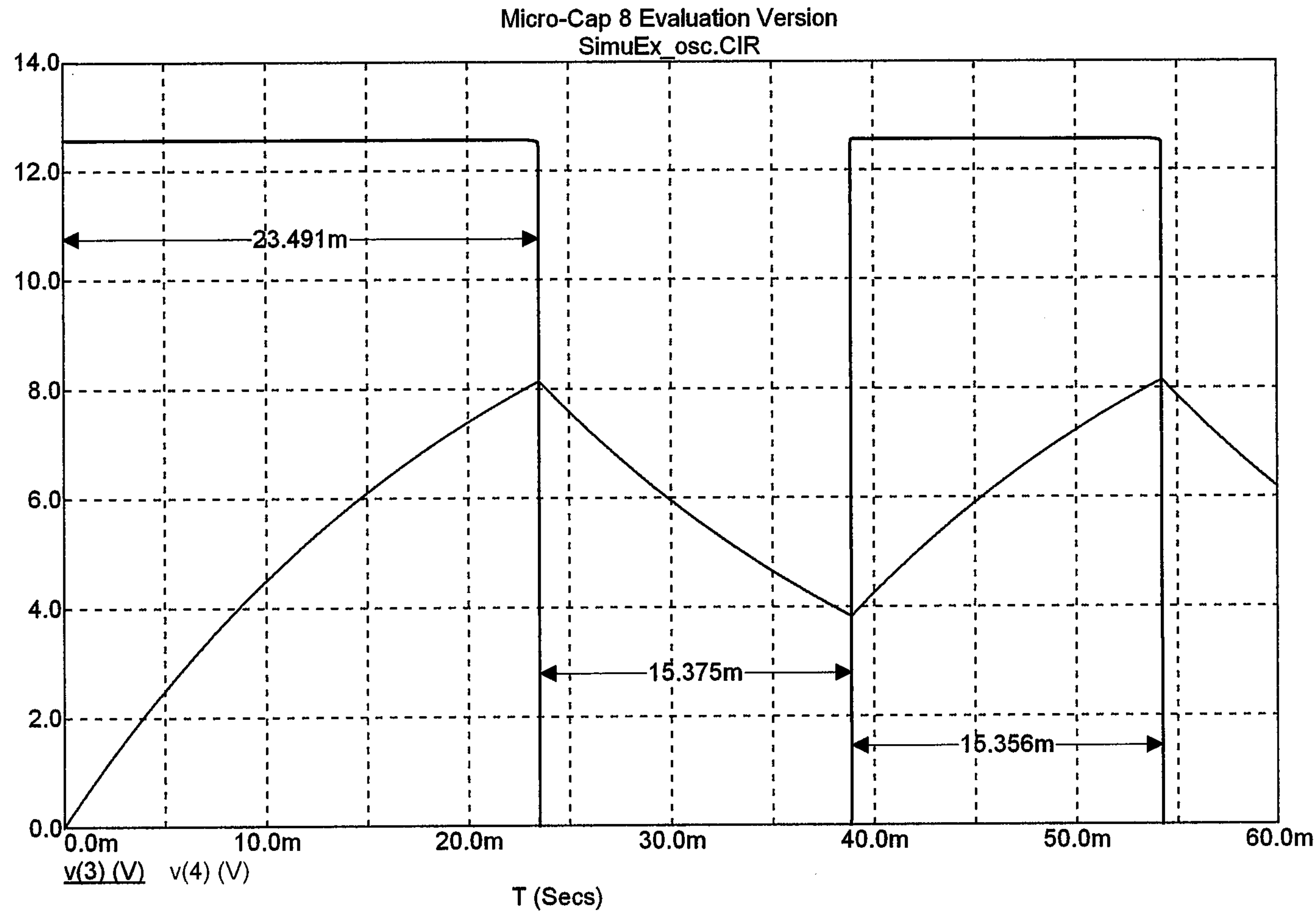
Frequência com $C = 330n$ e $R = 68k$:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}39 \cdot 68 \cdot 10^3 \cdot 330 \cdot 10^{-9}}$$

$$f = 32\ Hz \,//$$



R1
680k
R3
680k
R2
680k
R4
68k
C1
330nF
IC=0
eo
Vcc



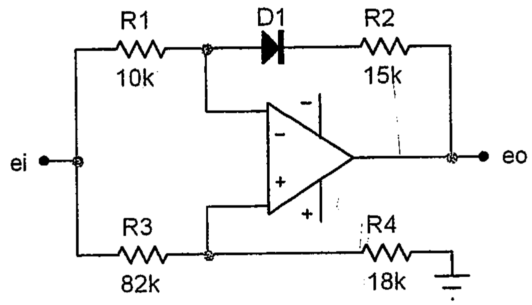
Micro-Cap 8 Evaluation Version
SimuEx_osc.CIR
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
23.491m
15.375m
15.356m
0.0m
10.0m
20.0m
30.0m
40.0m
50.0m
60.0m
v(3) (V)
v(4) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2007/1

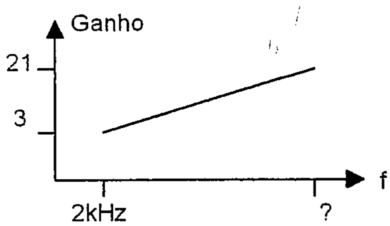
Exame 10/7/2007

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5) Examine o circuito, descreva qualitativamente o seu funcionamento e então equacione literalmente a sua função de transferência e_o x e_i, desenhando também o gráfico com todos os valores calculados. Descreva amplamente todas as etapas. Componentes ideais, alimentação $\pm V_{CC}$.

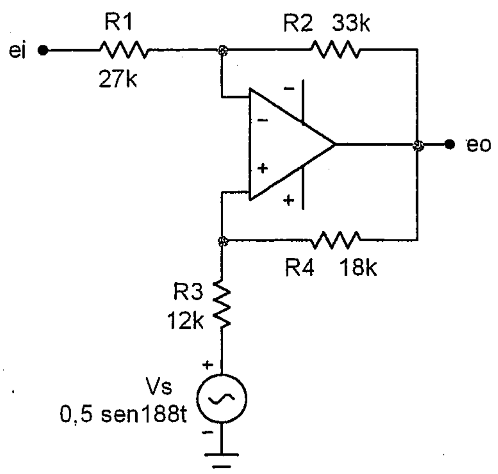


2. (3,5) Projete o circuito de um amplificador não-inversor de ganho controlado por um sinal digital de frequência variável. Este sinal aciona uma chave eletrônica de um polo e duas posições, que pode ser representada por uma chave comum. Dados: Curva de resposta descrita pelo gráfico a seguir. Componentes ideais. Calcule os limites da frequência do clock. e marque no gráfico. Descreva todas as etapas deste projeto.

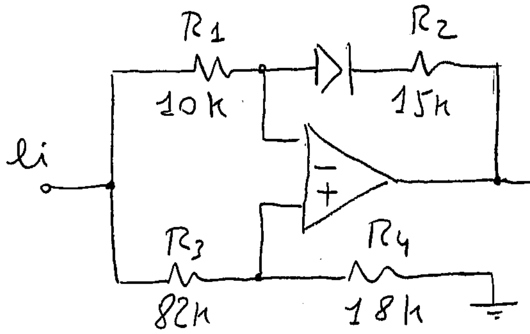


3,0

3. (~~4,0~~) Equacione de forma literal a tensão de saída em função das entradas do circuito abaixo, documentando cada etapa com textos, equações e desenhos. O circuito é linear? Desenhe então a resposta temporal $e_o(t)$, com todos os valores de tensão e de tempo que foram calculados. Componentes ideais.



Examine o circuito, descreva o seu funcionamento e calcule a sua função de transferência $e_i \times e_o$ desenhando também o gráfico com todos os valores calculados. Descreva todas as etapas.



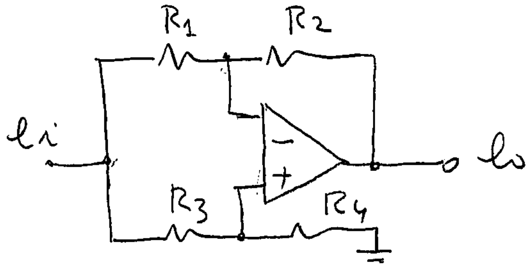
comp. ideais

Equacione literal

EX 2007/1

Somente realim. negativa logo é linear.
Sem realim. negativa se diodo cortar logo será comparador simples.

<u>Hipótese</u>: $e_i > 0 \Rightarrow D = ON$



$$e_+ = e_i \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_i \left(\frac{R_4}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right)$$

$$e_o = \frac{R_1+R_2}{R_1} \left(\frac{R_4}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right) e_i$$

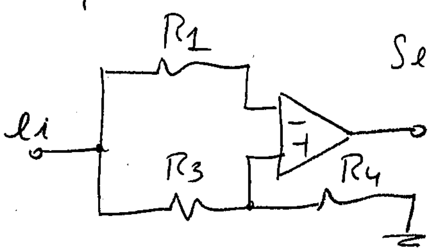
Colocando os valores:

$$e_o = \frac{10+15}{10} \left(\frac{18}{82+18} - \frac{15}{10+15} \right) \cdot e_i$$

$$e_o = 2,5 \left(0,18 - 0,6 \right) e_i$$

$$e_o = -1,05 \cdot e_i \;//$$

<u>Hipótese</u>: $e_i < 0 \Rightarrow D = OFF$



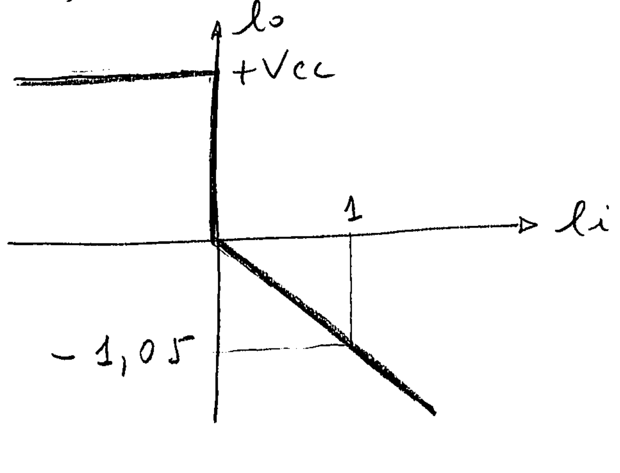
Sem realim.

$$e_- = e_i$$

$$e_+ = e_i \frac{R_4}{R_3+R_4} = 0,18\, e_i$$

como $e_- > e_+$ se e_i = negat. então e_o satura em $+V_{cc}$.

Gráfico:



$$l_o = \frac{l_1 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot R_0}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot (1{,}5 \cdot 10^{-3})^2}$$

$2{,}25 \cdot 10^{-6}$

$$0{,}8 = \frac{15k + R_4}{2 \cdot 15k} \to R_4 =$$

$24 = 15 + R_4$

$R_4 = 9k$ //

$$\frac{\cancel{R_0}}{\cancel{2} R^3 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-6}} = 1$$

2

$R^2 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-6} = 1$

$$R = \frac{1}{\sqrt{2{,}25 \cdot 10^{-6}}}$$

$R =$

$$0{,}9 = \frac{15 + R_4}{2 \cdot 15} \to R_4 = 12k$$

$$H_0 = \frac{2 \cdot 12}{15 + 12} = 0{,}89 \;//$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_0 = 15k$

$$0{,}71 = \frac{15 + R_4}{2 \cdot 15} \to R_4 = 6{,}3k$$

$$\frac{\cancel{R_0}}{\cancel{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3} \cdot I^2} = 1$$

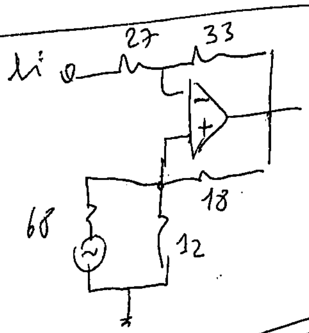
$$\frac{1}{R^2 \cdot I^2} = 1$$

$$R^2 = \frac{1}{I^2}$$

$$R = \frac{1}{I}$$

$$R = \frac{1}{1{,}5 \cdot 10^{-3}}$$

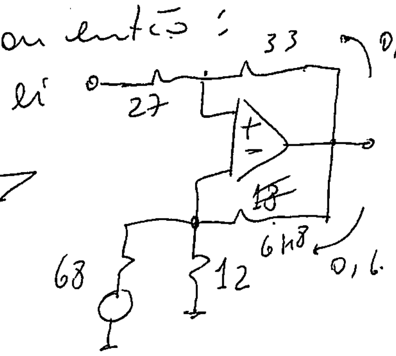
$R = 666\,\Omega$ // muito baixo



~~$l_+ = l_o$~~

$$\frac{27}{33+27} =$$

ou então:



Para EX.

Calcular Ro para constante unitária.

$$\frac{R_0}{R^3 \cdot I^2} = 1$$

$$R_0 = R^3 \cdot I^2$$

$$R_0 = (15 \cdot 10^3)^3 \cdot (1{,}5 \, 10^{-3})^2$$

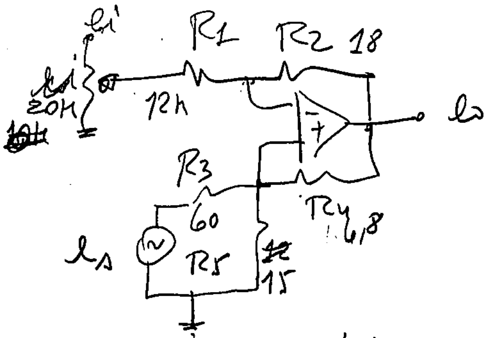
~~$R_0 = 33{,}75$~~ $R_0 = 11{,}39k$ // 22500

$$\frac{\cancel{10^{-3}} \cdot \cancel{10^{-3}} \cdot 10^{-3} \, R_0}{(1{,}5 \cdot \cancel{10^{-3}})^2} = 1$$

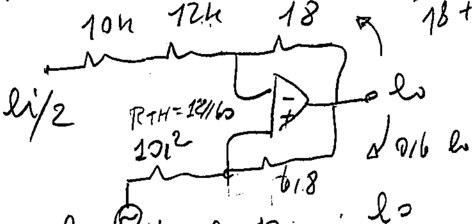
$1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot R_0 = 1$

$R_0 =$

$40{,}5k$



No centro do pot:

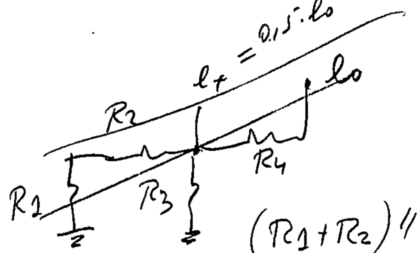


$V_{TH} = e_o \frac{12}{12+60} = \frac{e_o}{6}$

$\frac{22}{18+22} = 0,55$ pot. centro

$\frac{12}{12+18} = 0,4$ extremos

se retornar 0,5 para e+ então, qual a posição do pot. que fica comparador?



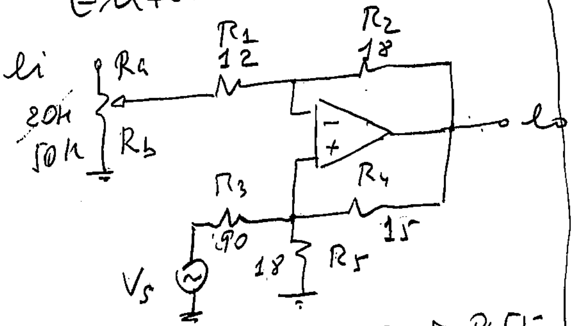
$(R_1+R_2) // R_3 = R$

$36 // 18 = 12$

$60 // 15 \neq 12$

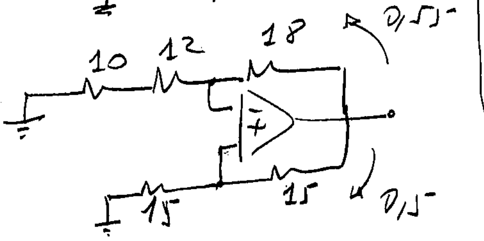
$(33+27)//15 = 12$

Então:



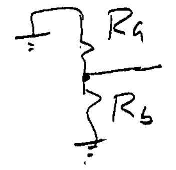
Stepping
what? X1, R1
0
20000
1000

Para P1
2014/2



para retornar 0,5 e e−:

$R_p + 12 = 18 \rightarrow R_p = 6$



$= 6$

com $R_p = 10$

$10 R_b - R_b^2 = 60$

$R_b^2 - 10 R_b + 60 = 0$

$R_b = +10 \pm \sqrt{100 - 4 \cdot 60}$

com $R_p = 50$

$R_b^2 - 50 R_b + 300 = 0$

$R_b = +50 \pm \sqrt{2500 - 4 \cdot 300}$

$R_b = 50 \pm \sqrt{}$

$R_b = 50 \pm 36,055$

$R_b = 14K$ //

$R_a + R_b = 20$

$R_a // R_b = 6$

$\frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = 6$

$\frac{(20 - R_b) R_b}{20 - \cancel{R_b} + \cancel{R_b}} = 6$

$20 R_b - R_b^2 = 120 \quad (-1)$

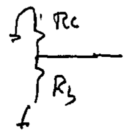
$R_b^2 - 20 R_b + 120 = 0$

$R_b = -20 \pm \sqrt{20^2 - 4 \cdot 120}$

$R_b = -20 \pm \sqrt{400 - 480}$ = imag.

Precisa um mínimo extremo, retorno para $e^- = 0,5$

Então:



sempre $R_p + R_1$ aumenta e β_- aumenta.

Precisa diminuir β_- então!

Projete o circuito de um amplificador não-inversor de ganho controlado por um sinal digital de frequência variável, acionando uma chave de 1 polo duas posições.

Dados:

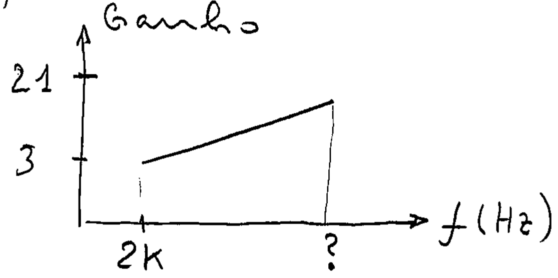
Resposta descrita pelo gráfico a seguir.

Componentes ideais.

Baixo consumo: use resistores de 100K pelo menos.

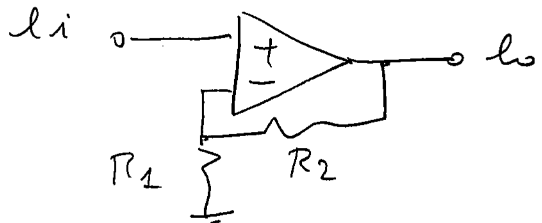
Descreva cada passo do equacionamento do projeto.

Calcule os limites de frequência do clock.



Ex_2007/1

Ponto de partida: amplif. não inversor:



$$e_- = e_i$$

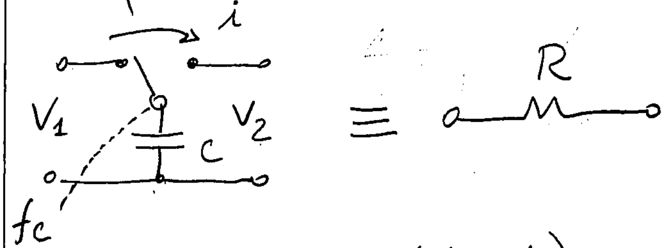
$$e_+ = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando:

$$e_i = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad //$$

capacitor chaveado:



$$\Delta q = C \cdot \Delta V = C\,(V_1 - V_2)$$

$$i_{médio} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad e \quad R = \frac{\Delta V}{i_{médio}}$$

$$R = \frac{V_1 - V_2}{\frac{C\,(V_1 - V_2)}{\Delta t}} \rightarrow R = \frac{T_c}{C} = \frac{1}{C \cdot f_c}$$

T_c = período do clock

f_c = freq. do clock

Então, como R diminui com a freq. e o ganho do amplif. é inversamente proporcional a R_1, fazemos

R_1 = cap. chaveado.

Equacionando:

Ganho mínimo:

$$3 = 1 + \frac{R_2}{R_{1LOW}}$$

Escolhendo $R_2 = 100k$, então

$$R_{1LOW} = 50K \; //$$

Ganho máximo:

$$21 = 1 + \frac{R_2}{R_{1HIGH}}$$

$$R_{1HIGH} = 5K \; //$$

Transformando R1 em um capacitor chaveado:

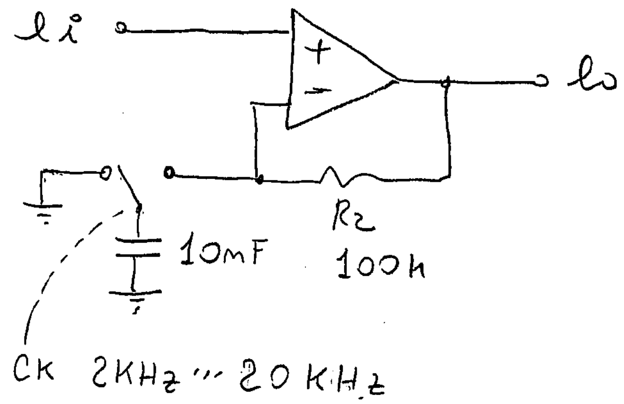
$$R_{1\,LOW} = \frac{1}{C \cdot 2\,KHz} = 5\,Oh$$

Então $C = 10\,mF$ //

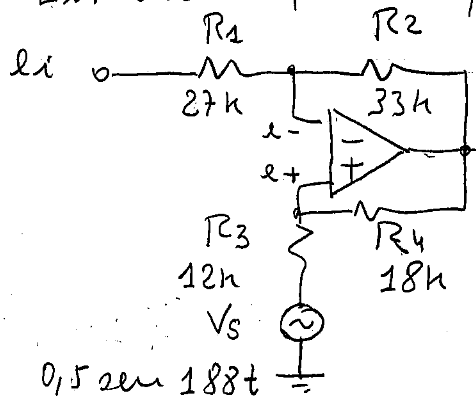
$$R_{1\,HIGH} = \frac{1}{C \cdot f_?} = 5K$$

Então $f_? = 20\,kHz$ //

circuito projetado:



Equacione a saída em função das entradas. Literal e depois coloque os valores.



Verifique se o circuito é linear.

Desenhe a curva eo x t com todos os valores de tensão e de tempo.

Fazendo e+ = e- obtemos: circuito linear → função de transferência eo/ei.
circuito não-linear → ponto de virada eo ⇉ +Vcc / −Vcc

Por superposição:

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{e_o \cdot R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = \frac{e_o \cdot R_3}{R_3+R_4} + \frac{V_s \cdot R_4}{R_3+R_4}$$

Igualando e isolando eo:

$$e_o\left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = \frac{V_s \cdot R_4}{R_3+R_4} - \frac{e_i \cdot R_2}{R_1+R_2}$$

$$e_o\left(\frac{R_1(R_3+R_4) - R_3(R_1+R_2)}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)}\right) = ---$$

$$e_o = \frac{\cancel{R_1 \cdot R_3} + R_1 \cdot R_4 - \cancel{R_1 \cdot R_3} - R_2 \cdot R_3}{(--)\cdot(---)}$$

$$e_o = \frac{R_4(R_1+R_2)\cdot V_s}{R_1 R_4 - R_2 \cdot R_3} - \frac{R_2(R_3+R_4)\cdot e_i}{R_1 R_4 - R_2 \cdot R_3}$$

$$e_o = \frac{R_4(R_1+R_2)\cdot V_s - R_2(R_3+R_4)\,e_i}{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3} \quad //$$

Colocando os valores do circuito:

$$e_o = \frac{18\cdot(27+33)\cdot V_s}{27\cdot 18 - 33\cdot 12} - \frac{33\,(12+18)\cdot e_i}{27\cdot 18 - 33\cdot 12}$$

$$e_o = 12\,V_s - 11\,e_i$$

$$e_o = 6 \,\text{sen}\, 188t - 11\,e_i \quad //$$

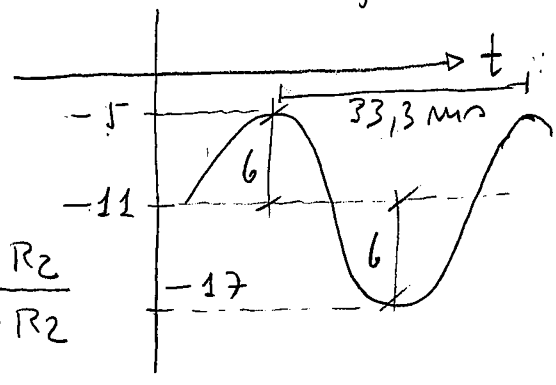
Note que o circuito é linear pois a realim. negativa é maior que a positiva:

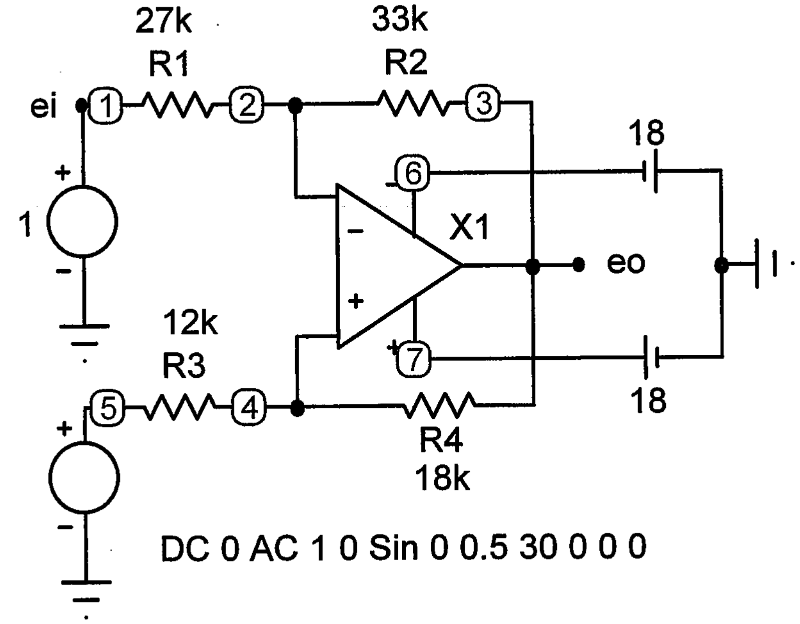
$$\frac{e_o R_1}{R_1+R_2} > \frac{e_o R_3}{R_3+R_4}$$

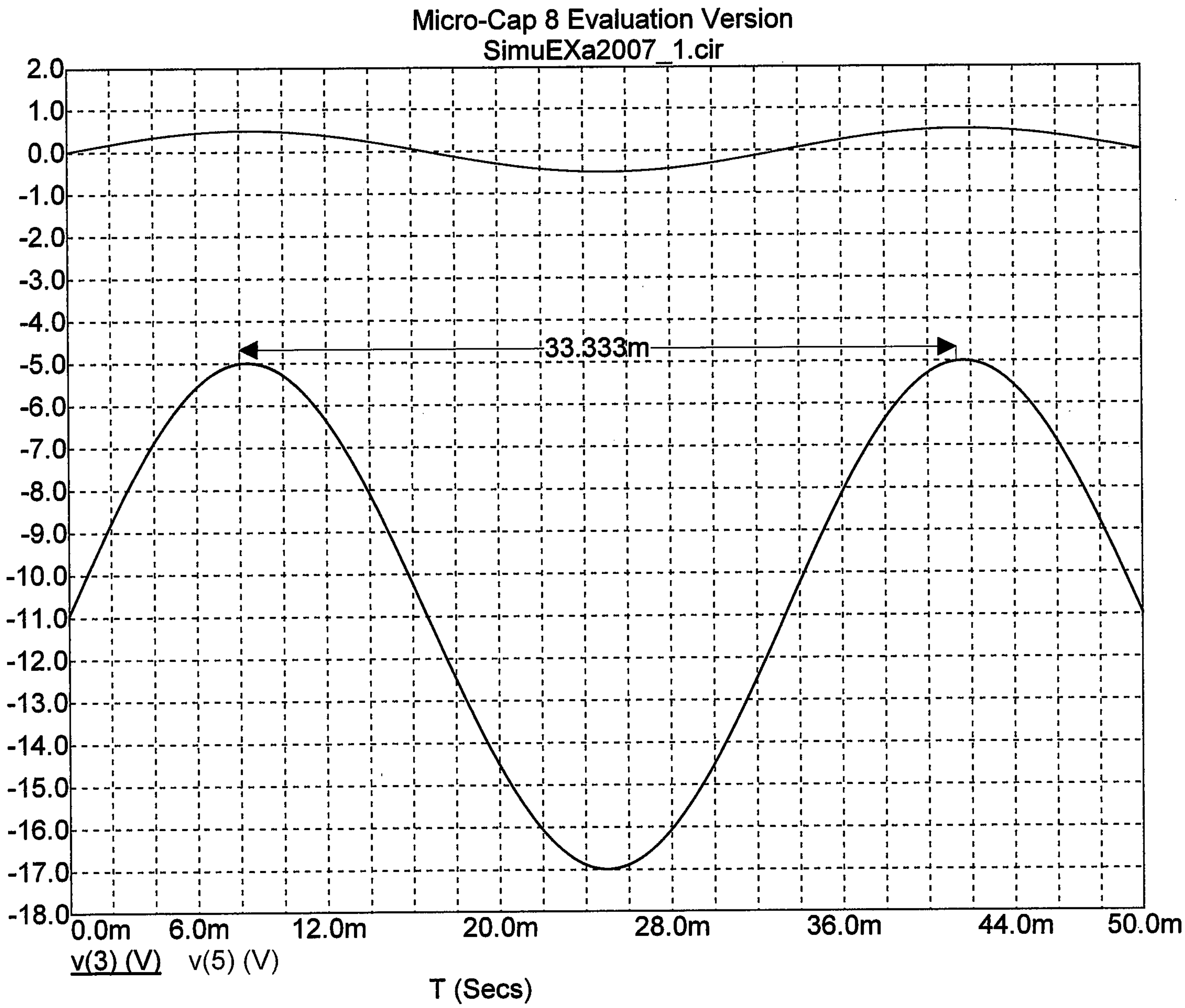
$$0{,}45 > 0{,}40$$

como $\omega = 188 = 2\pi f \rightarrow f = 30\,Hz$

e o período vale $T = \frac{1}{f} = 33{,}3\,ms$




27k
R1
33k
R2
ei
1
2
3
18
6
X1
eo
1
12k
R3
7
5
4
18
R4
18k
DC 0 AC 1 0 Sin 0 0.5 30 0 0 0

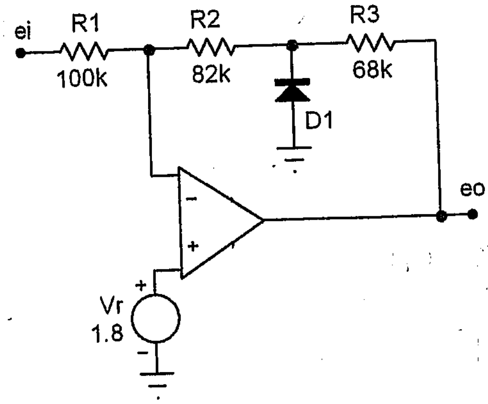

Micro-Cap 8 Evaluation Version
SimuEXa2007_1.cir
33.333m
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0
-9.0
-10.0
-11.0
-12.0
-13.0
-14.0
-15.0
-16.0
-17.0
-18.0
0.0m
6.0m
12.0m
20.0m
28.0m
36.0m
44.0m
50.0m
v(3) (V)
v(5) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2007/2**

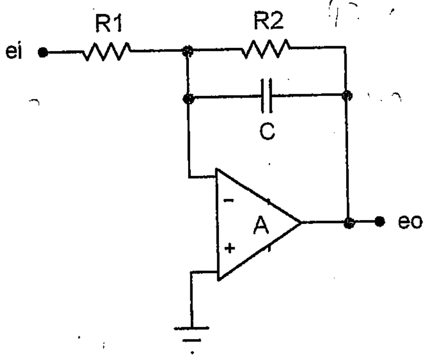
Exame **11/12/2007**

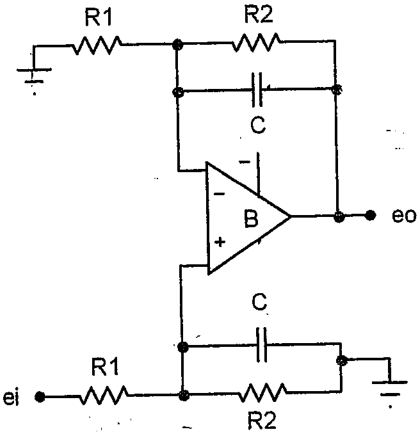
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5) Equacione o circuito ao lado e desenhe a sua curva de transferência e_O x e_i, com todos os valores calculados, descrevendo cada etapa da solução com textos, equações e diagramas. Componentes ideais. $V_{CC} = \pm$ 10V. Truncamento em 3 dígitos significativos.

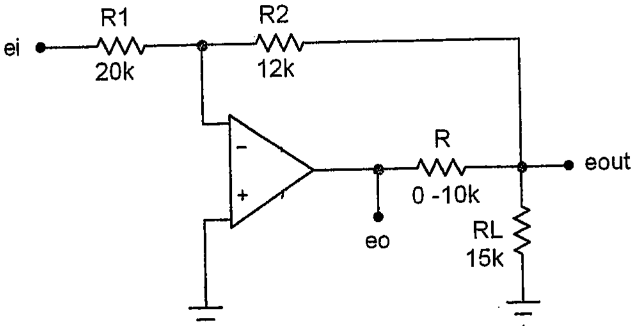


2. (3,0) Para cada topologia descrita a seguir:
a) Descreva a sua função, em termos gerais.
b) Equacione cada uma para obter a curva de transferência no domínio frequência.
c) compare os resultados e faça relacionamentos.
d) Aproveitando conhecimentos anteriores, esboce os gráficos da resposta em frequência (módulo) e da fase. Cada etapa deve ser extensivamente descrita e equacionada.

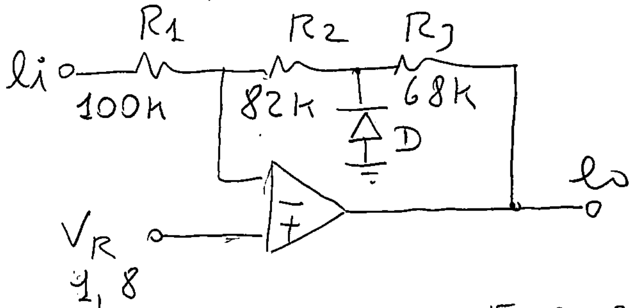




3. (3,5) No circuito a seguir, estude os efeitos do ganho interno e_o / e_i e do ganho externo e_{out} / e_i, com a variação do resistor R, descrevendo cada etapa do seu trabalho.
a) Inicialmente, examine o circuito e descreva o seu funcionamento qualitativo ao variar R. Faça isso em primeiro lugar.
b) Equacione, em termos literais, o ganho interno e externo.
c) Coloque os valores numéricos, considerando R = 0 e R = 10k.
d) Determine a máxima tensão de saída e_{out}, sem saturar o circuito para R = 0 e R = 10k.
R_L é a carga ligada na saída. Componentes ideais e $V_{cc} = \pm$ 10V.



Equacione o circuito e desenhe a sua curva de transferência $e_o \times e_i$ com todos os valores calculados, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas. Componentes ideais; $V_{cc} = \pm 10\,V$. Truncamento em 3 dígitos significativos.



Ex 2007/2

Hipótese: D = OFF

Amplif. inversor com tensão de ref. Circuito linear → $e_+ = e_-$

Superposição:

$$e_- = e_i \frac{R_2+R_3}{R_1+R_2+R_3} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$$

$$e_- = e_i \frac{82+68}{100+82+68} + e_o \frac{100}{100+82+68}$$

$$e_- = 0,6\, e_i + 0,4\, e_o$$

$e_+ = V_R = 1,8$ Igualando e isolando e_o:

$$e_o = \frac{1}{0,4}\left(V_R - 0,6\, e_i\right)$$

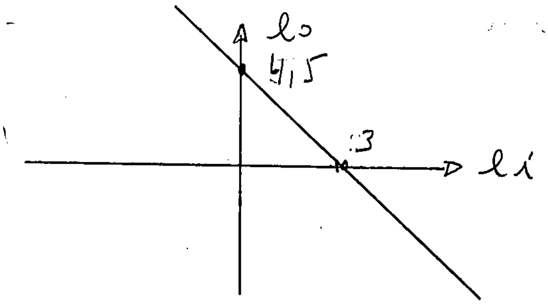
$$e_o = 2,5\, V_R - 1,5 \cdot e_i \quad //$$

$$e_o = 4,5 - 1,5 \cdot e_i \qquad (1)$$

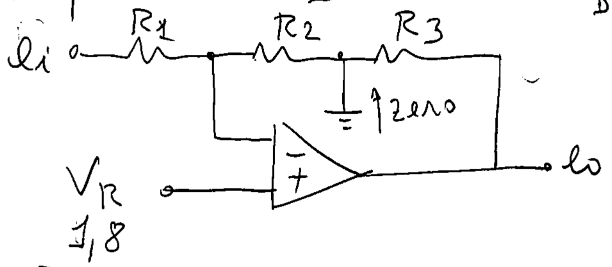
Curva para este caso:

Com $e_i = 0 \rightarrow e_o = 4,5$

Com $e_o = 0 \rightarrow e_i = 3$



Hipótese: D = ON e $I_D = 0$



Ficou comparador com referência, inversor e sem histerese.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} = e_i \frac{82}{100+82}$$

$$e_- = 0,45 \cdot e_i$$

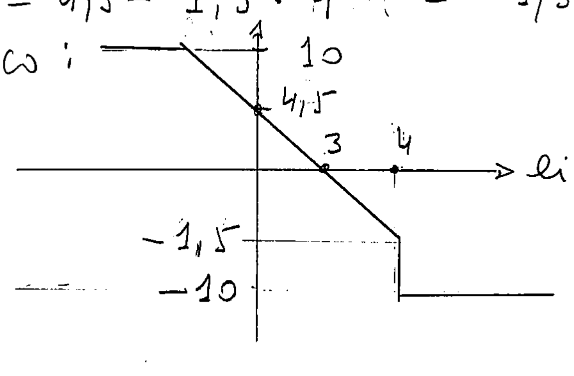
$e_+ = V_R$ igualando:

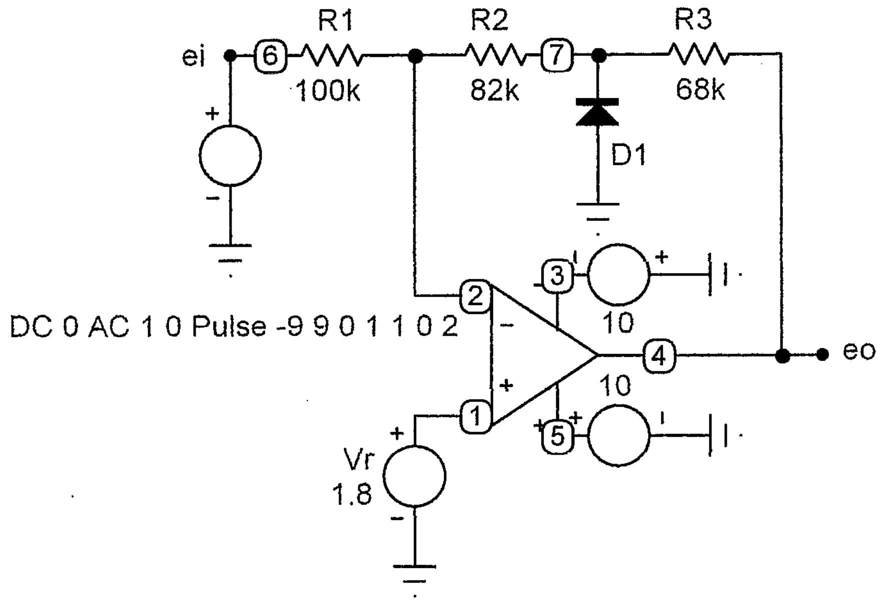
$$e_i = \frac{1,8}{0,45} \rightarrow e_i = 4 \quad //$$

Usando equação (1) pois D apenas iniciou a condução e $I_D = 0$ ainda:

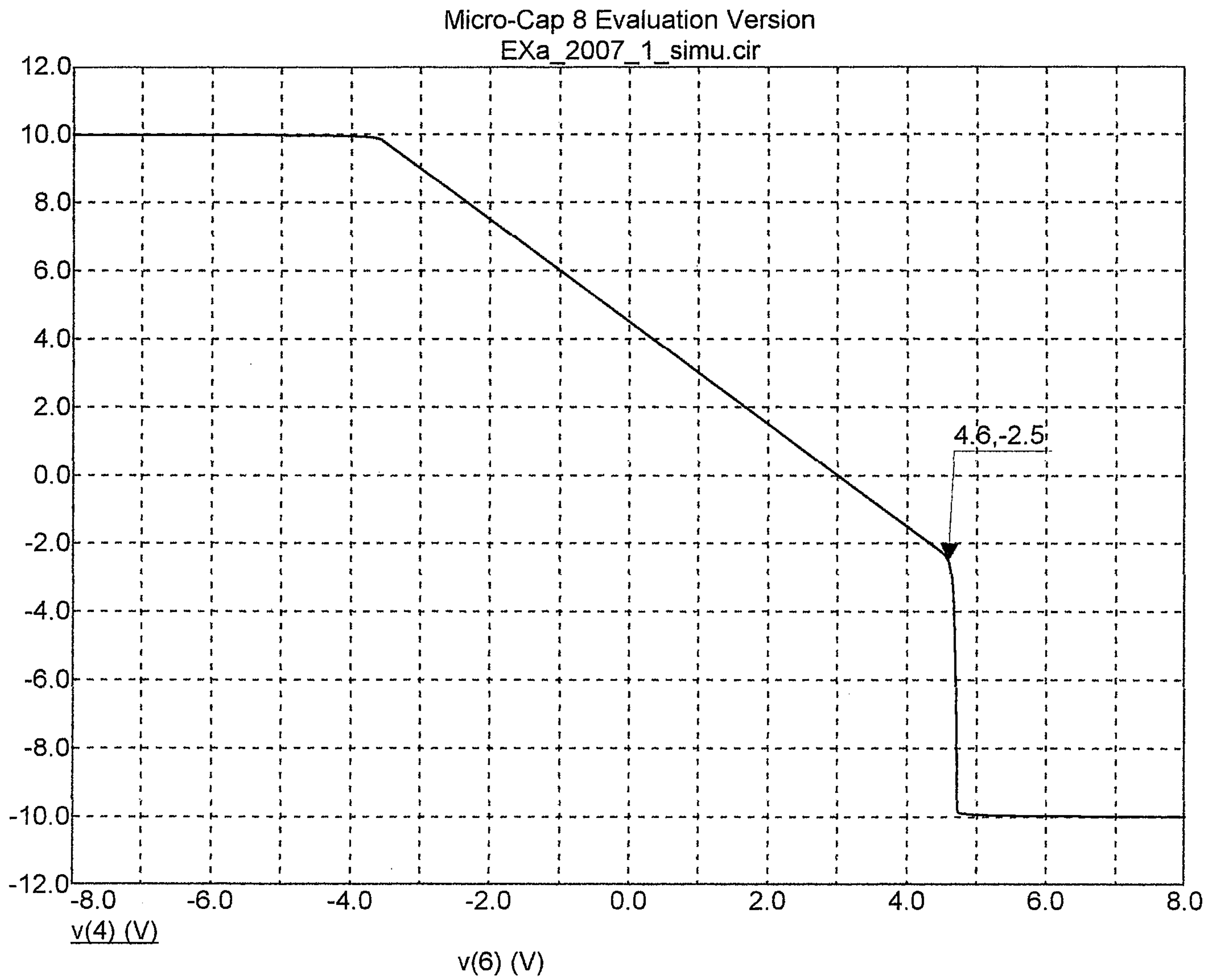
$$e_o = 4,5 - 1,5 \cdot 4 = -1,5 \quad //$$

Gráfico:





R1
R2
R3
ei
6
100k
7
82k
68k
D1
3
10
2
DC 0 AC 1 0 Pulse -9 9 0 1 1 0 2
4
eo
10
1
5
Vr
1.8



Micro-Cap 8 Evaluation Version
EXa_2007_1_simu.cir
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-12.0
-8.0
-6.0
-4.0
-2.0
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
4.6,-2.5
v(4) (V)
v(6) (V)

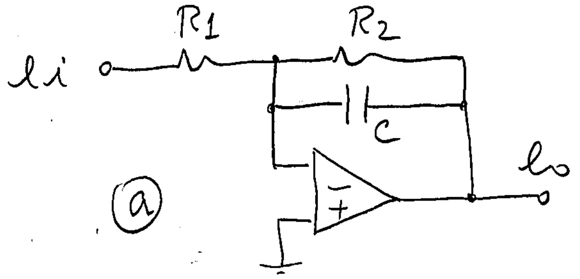
Para cada topologia descrita a seguir,

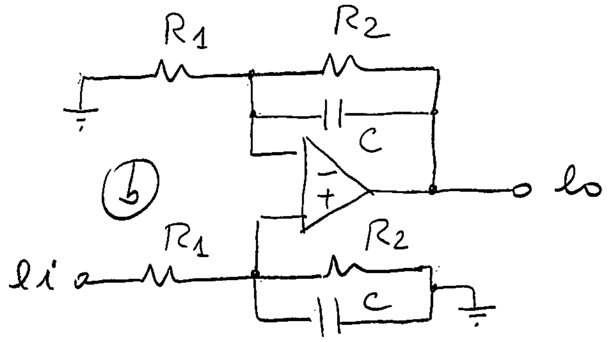
a) Descreva a sua função, em termos gerais

b) Equacione cada uma para obter a sua função de transferência no domínio freq.,

c) compare os resultados e faça relacionamentos.

d) Aproveitando conhecimentos anteriores, esboce os gráficos da resposta em freq. do ganho (módulo) e fase. Cada etapa deve ser extensivamente documentada.





$$X_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{s\cdot C}$$

(a) Circuito conhecido; integrador com perdas ou filtro passa-baixa de primeira ordem.

Circuito é linear → , $e_+ = e_-$

Seja $X = R_2 // C = \dfrac{R_2\cdot\frac{1}{j\omega C}}{R_2+\frac{1}{j\omega C}}$

$e_+ = 0$. Por superposição:

$$e_- = e_i\frac{X}{R_1+X} + e_o\frac{R_1}{R_1+X}$$

Igualando e isolando e_o:

$$\frac{e_i\cdot X}{R_1+X} = -e_o\frac{R_1}{R_1+X}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{X}{R_1} \quad (1)$$

Fazendo $j\omega = S$;

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-\frac{R_2}{s\cdot C}}{R_1\cdot\left(R_2+\frac{1}{s\cdot C}\right)} = \frac{-\frac{R_2}{\cancel{s\cdot C}}}{R_2\cdot\frac{s\cdot C\cdot R_2+1}{\cancel{s\cdot C}}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-R_2/R_1}{1+S\cdot R_2\cdot C}$$ // circuito (a) é inversor

(b) Circuito linear → $e_+ = e_-$

$$e_- = e_o\frac{R_1}{R_1+X}$$

$$e_+ = e_i\frac{X}{R_1+X}$$

Igualando e isolando e_o:

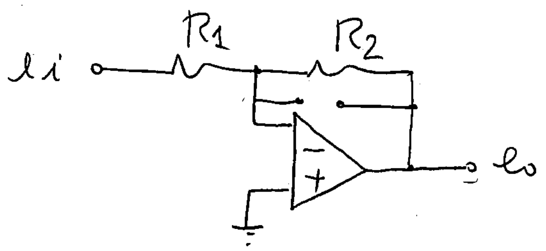
$$\frac{e_i X}{\cancel{R_1+X}} = \frac{e_o R_1}{\cancel{R_1+X}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = +\frac{X}{R_1}$$ Comparando com (1) e aproveitando (a):

$$\frac{e_o}{e_i} = +\frac{R_2/R_1}{1+S\cdot R_2\cdot C}$$ // circuito (b) é não-inversor

Curva de resposta em frequência de (a) e (b):

Em DC, o capacitor é um circuito aberto:



$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{DC} = -\frac{R_2}{R_1}$$

(a) — PB inversor

(b) — PB não-inversor

Polo do filtro ocorre quando $X_C = R_2$. A massa virtual isola R_1, logo:

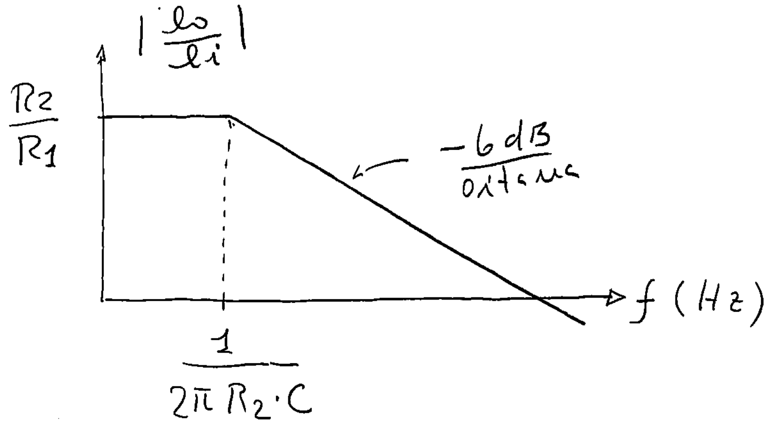
$$\frac{1}{j\omega C} = R_2$$

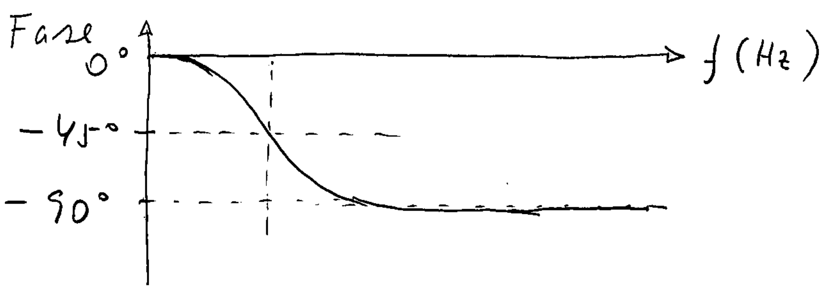
Em módulo:

$$W_0 = \frac{1}{R_2 C}$$

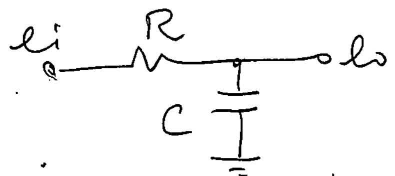
$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Fica então:





PB passivo:



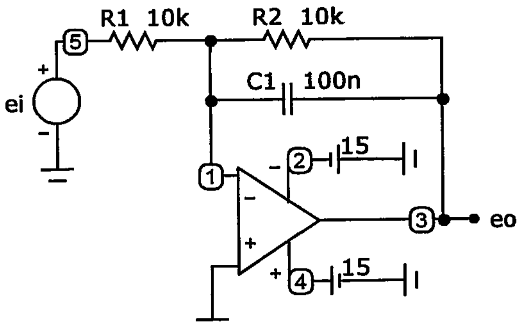
Divisor de tensão:

$$e_o = e_i \cdot \frac{X_C}{R + X_C}$$

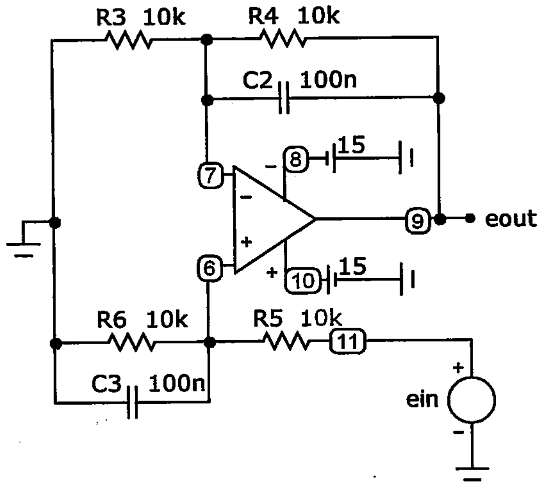
$$e_o = e_i \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

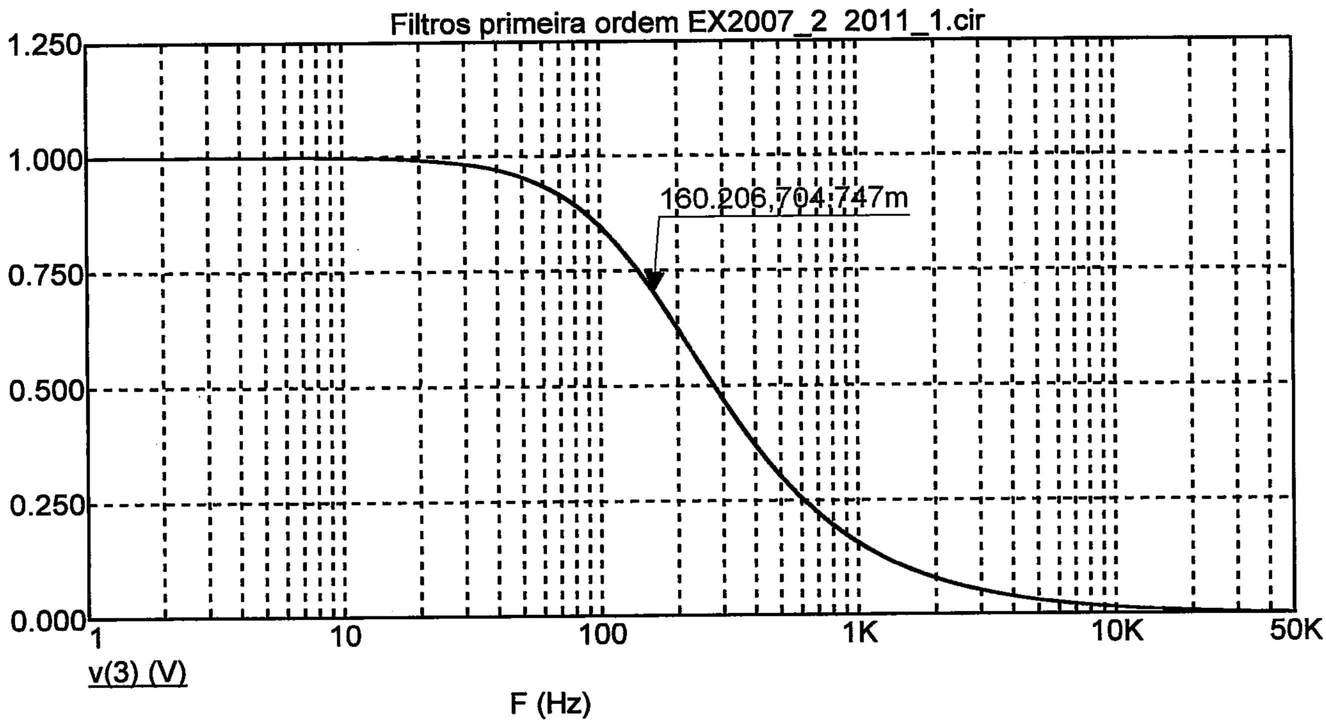
$$e_o = e_i \cdot \frac{\frac{1}{\cancel{j\omega C}}}{\frac{R\,j\omega C + 1}{\cancel{j\omega C}}}$$

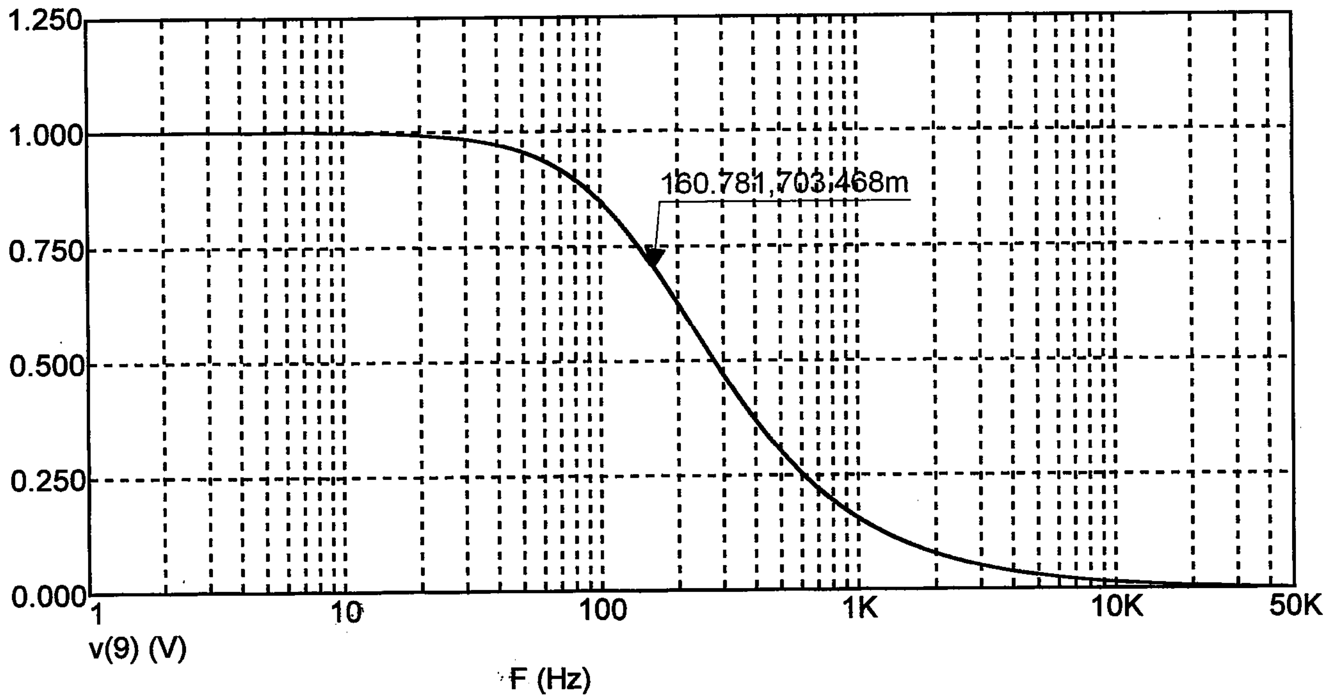
$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{1}{1 + s \cdot R \cdot C} \quad //$$



DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 100 0 0 0







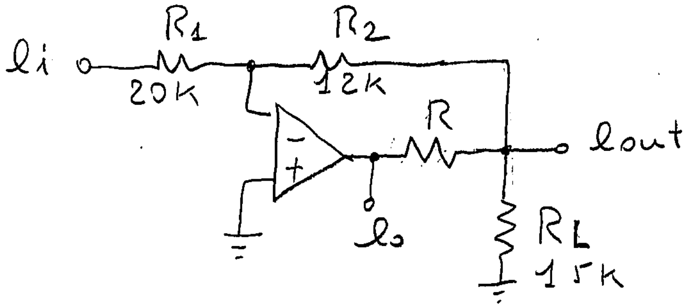
No circuito a seguir, estude os efeitos do ganho interno e_o/e_i e do ganho externo e_{out}/e_i, com a variação do resistor R. Inicialmente, examine o circuito e descreva seu funcionamento qualitativo ao variar R. Faça isso em primeiro lugar.

a) Equacione, em termos literais, o ganho interno e externo.

b) Coloque os valores numéricos considerando $R = 0$ e depois $R = 10k$.

c) determine a máxima tensão de saída e_{out}, sem saturar o circuito, para $R = 0$ e depois $R = 10k$.

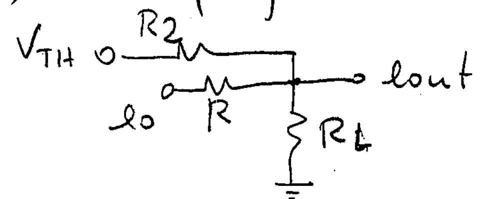
R_L é a carga do circuito. $V_{ee} = \pm 10V$ comp. ideais.



A corrente de carga vai causar uma queda de tensão em R, proporcional ao seu valor mas como R está dentro do laço de realimentação, o operacional aumenta e_o para compensar.

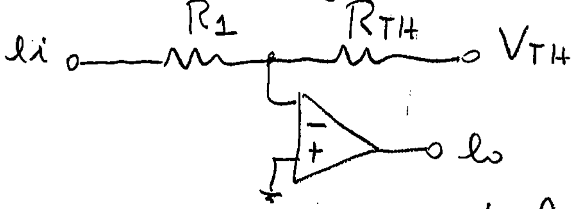
Se R for grande, e_o vai saturar tentando colocar o e_{out} que foi escolhido. Então a máxima tensão de e_{out} vai ser pequena nestas condições.

a) Simplificando: Thévenin:



$$V_{TH} = e_o \frac{R_L}{R+R_L} \qquad R_{TH} = R_2 + R//R_L$$

O circuito fica:



Fazendo $e_+ = e_-$ e isolando e_o:

$$e_i \frac{R_{TH}}{\cancel{R_1+R_{TH}}} + V_{TH} \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_{TH}}} = 0$$

$$e_o \frac{R_L}{R+R_L} \cdot R_1 = -e_i (R_2 + R//R_L)$$

$$e_o = -e_i \frac{(R+R_L)\cdot(R_2 + R//R_L)}{R_L \cdot R_1} \quad //$$

Como o circuito é linear, $e_- = 0$ de modo que:

$$e_{out} = e_o \frac{R_2//R_L}{R + R_2//R_L} \quad //$$

Testando: Se $R = 0$ fica:

$$e_o = -e_i \frac{R_L \cdot R_2}{R_L R_1} = -e_i \frac{R_2}{R_1} \text{ OK}$$

$$e_{out} = e_o \frac{R_2//R_L}{R_2//R_L} = e_o \text{ OK.}$$

Amplif. inversor comum.

b) Colocando os valores para R = 0:
Aproveitando os cálculos acima:

$$eo|_{R=0} = -ei \frac{15 \cdot 12}{15 \cdot 20} \rightarrow eo|_{R=0} = -0{,}6 \cdot ei //$$

$$eout|_{R=0} = eo = -0{,}6 \cdot ei //$$

Colocando os valores para R = 10k:

$$eo|_{R=10k} = -ei \frac{(10+15)\cdot(12 + \overbrace{10//15}^{6})}{15 \cdot 20}$$

$$eo|_{R=10k} = -1{,}5 \cdot ei //$$

$$eout|_{R=10k} = eo \cdot \frac{12//15}{10+12//15} = 0{,}4 \cdot eo$$

$$eout|_{R=10k} = 0{,}4 \cdot (-1{,}5\, ei) = -0{,}6\, ei //$$

Note que eout não muda com R variando.

Ganho externo:

$$\frac{eout}{ei} = \frac{eout}{eo} \cdot \frac{eo}{ei}$$

$$\frac{eout}{ei} = \frac{R_2//R_L}{R+R_2//R_L}\left(-\frac{(R+R_L)\cdot(R_2+R//R_4)}{R_2 \cdot R_1}\right)$$

Colocando os valores, tanto para R=0 como R=10k, o ganho permanece o mesmo:

$$\frac{eout}{ei} = -0{,}6 \cdot ei //$$

Ou use o cálculo

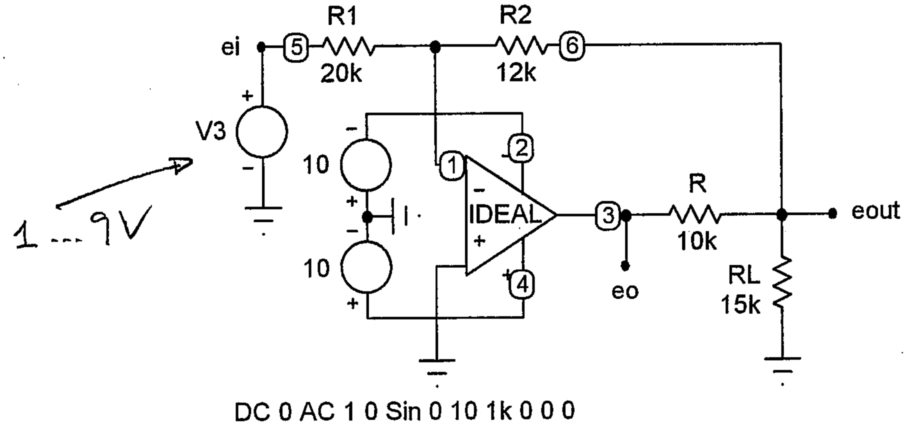
c) Máxima saída do operacional:

$$eo_{máx} = \pm V_{cc} = \pm 10 \text{ Volts}$$

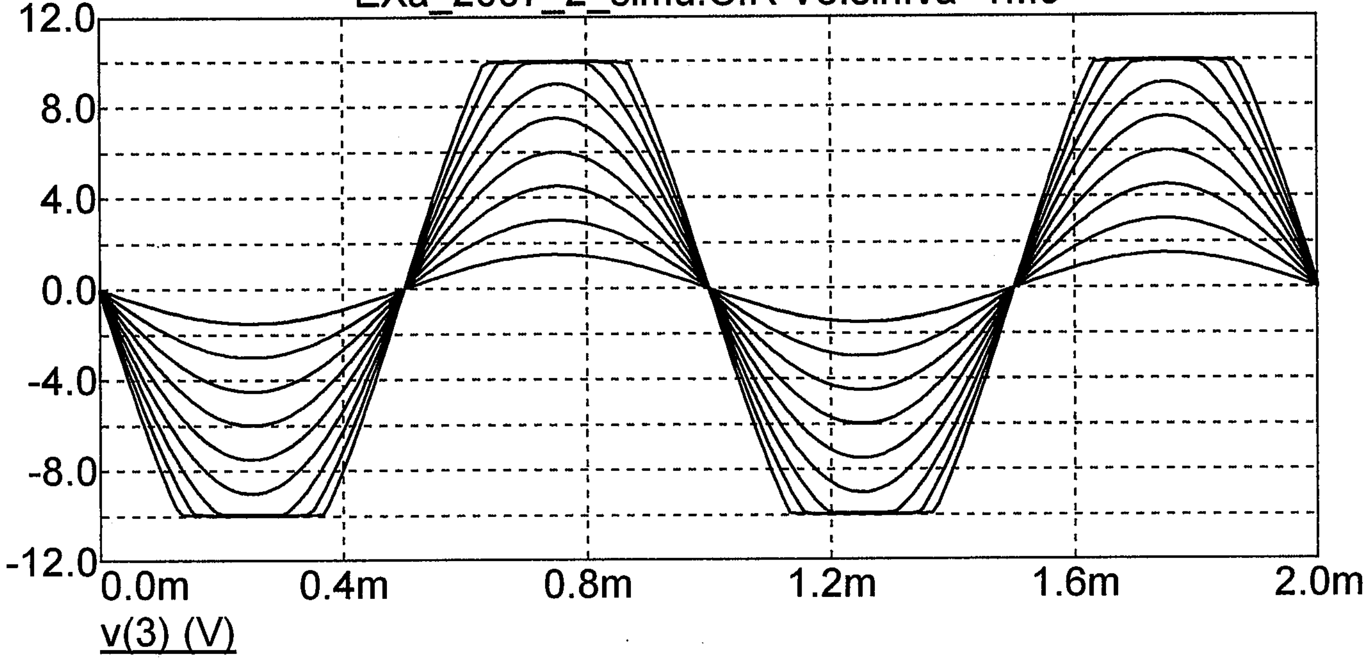
$$eout_{max}|_{R=0} = eo_{max} = \pm 10 \text{ Volts} //$$

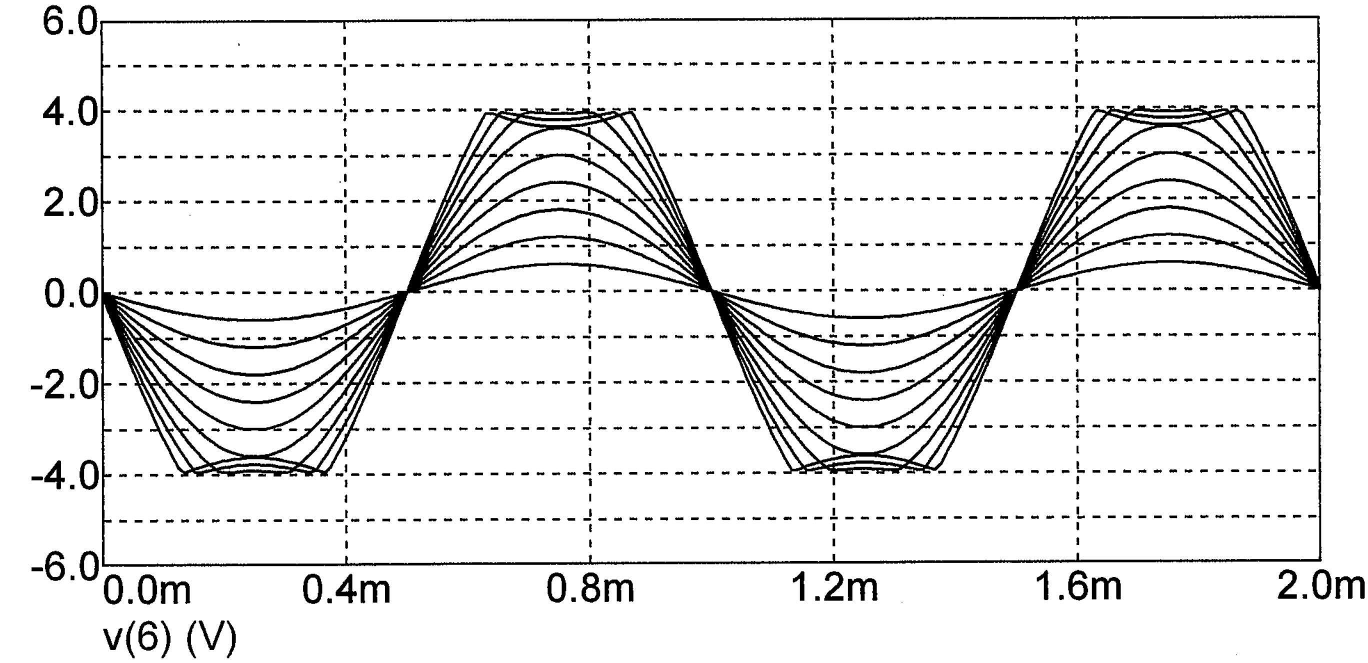
$$eout_{máx}|_{R=10k} = 0{,}4 \cdot (\pm 10V) = \pm 4 \text{ Volts} //$$

Saída externa máxima é menor devido à saturação interna.
Como $eo|_{R=10k} > eo|_{R=0}$ a resposta em frequência também diminui com R=10k



Micro-Cap 8 Evaluation Version
EXa_2007_2_simu.CIR V3.sin.va=1...9



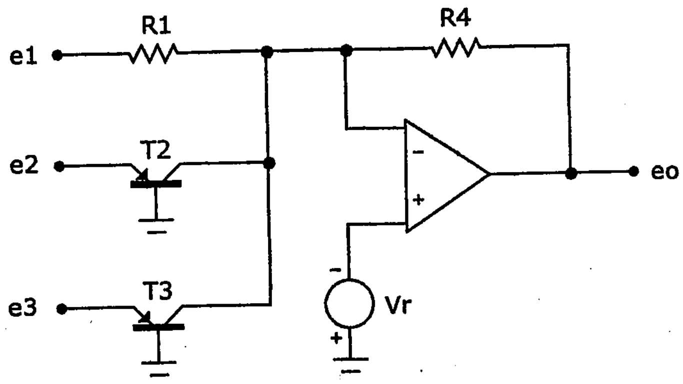


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B   2008/1

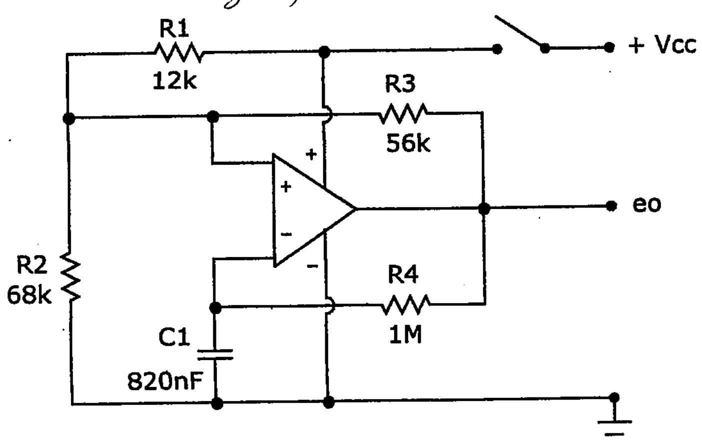
Exame   9/7/2008

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3 pontos) No circuito a seguir, a) Examine e descreva o seu funcionamento. b) Determine a expressão de e_0 em função das entradas, descrevendo cada passo com textos, equações e diagramas. Componentes ideais, alimentação simétrica.



2. (4 pontos) No circuito a seguir, a) Descreva o seu funcionamento em detalhes. b) Equacione a tensão no capacitor a partir do momento em que a chave fecha até que o circuito se estabilize, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas. Componentes ideais, alimentação V_{cc} = 16 volts. Desenhe o gráfico com todos os valores

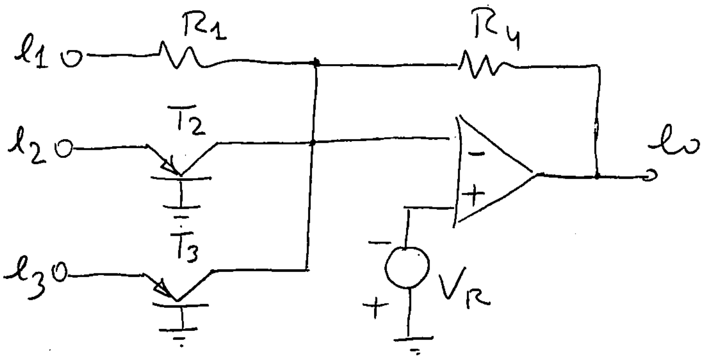


3. (3 pontos) Os filtros ativos possuem características que são independentes do tipo de implementação. Escreva o que sabe a respeito de:

a) Não-linearidades de fase
b) Encadeamento de filtros
c) Independência de parâmetros.

Procure fazer um trabalho organizado, situando o contexto de cada ítem, estabelecendo relacionamentos e ilustrando com exemplos, gráficos e diagramas. Mostre também onde cada uma destas características influi na performance final do filtro.

Examine e descreva o circuito a seguir e determine a expressão de e_0 em função das entradas, descrevendo cada passo. Componentes ideais. Alimentação simétrica.

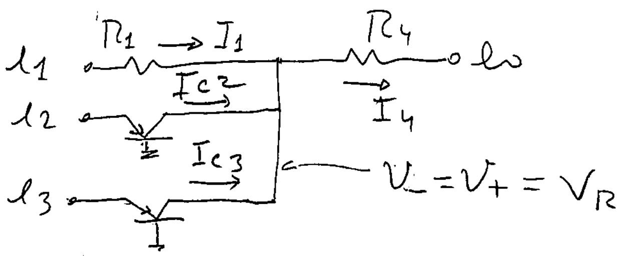


EX 2008/1

circuito linear (apenas real. negativa). Somador com tensão de referência.

Vale $e_+ = e_-$

KCL em e_- :



$$-I_1 - I_{c2} - I_{c3} + I_4 = 0$$

$$-\frac{e_1 - V_R}{R_1} - I_{c2} - I_{c3} + \frac{V_R - e_0}{R_4} = 0$$

Separando os termos e isolando e_0:

$$-\frac{e_1}{R_1} + \frac{V_R}{R_1} - I_{c2} - I_{c3} + \frac{V_R}{R_4} - \frac{e_0}{R_4} = 0$$

$$e_0 = -e_1 \cdot \frac{R_4}{R_1} + V_R \frac{R_4}{R_1} - R_4 \cdot I_{c2} - R_4 \cdot I_{c3} + V_R \frac{\cancel{R_4}}{\cancel{R_4}}$$

$$e_0 = \underbrace{-e_1 \frac{R_4}{R_1}}_{\text{entrada inversora}} + \underbrace{V_R\left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right)}_{\text{entrada não-inversora}} - R_4(I_{c2} + I_{c3})$$

Cálculo de I_{c2} em função da entrada e_2:

$$e_2 = V_{EB} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_0}\right)$$

$$\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T} = \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_0}\right)$$

$$e^{\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T}} = e^{\ln\left(\frac{I_{c2}}{I_0}\right)}$$

$$I_{c2} = I_0 \cdot e^{\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T}} \quad //$$

Igualmente:

$$I_{c3} = I_0 \cdot e^{\frac{e_3 \cdot q}{k \cdot T}}$$

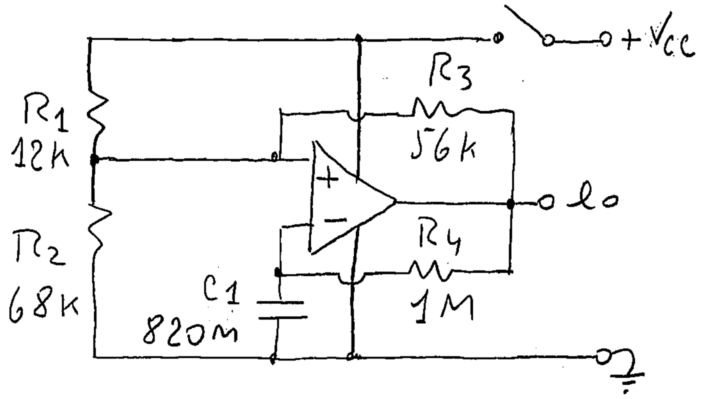
Então:

$$e_0 = \frac{-e_1 R_4}{R_1} + V_R\left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right) - R_4 \cdot I_0 \left(e^{\frac{e_2 \cdot q}{k T}} + e^{\frac{e_3 \cdot q}{k \cdot T}}\right) \quad //$$

O circuito é sensível à temperatura devido aos termos I_0 e T.

Cuidado com as tensões e_2 e e_3 pois estão aplicadas na junção EB do transistor (diodo).

Examine o circuito a seguir, descreva o seu funcionamento qualitativo e equacione a tensão no capacitor a partir do momento em que a chave fecha até o momento em que o circuito se estabiliza. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas. Componentes ideais. $V_{cc} = 16$ Volts.



Ex 2008/1

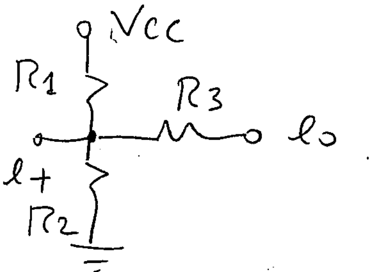
Análise: Gerador de ondas quadradas com alimentação simples. e_+ recebe uma polarização DC com o divisor de tensão R_1 e R_2.

Ao ligar, V_{C1} vai de zero até V_{HIGH} do comparador então desce até V_{LOW} e a partir daí, oscila entre estes limites.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$e_- = V_C$

Aplicando Thévenin em e_+:



$$V_{TH} = V_{cc}\frac{R_2//R_3}{R_1+R_2//R_3} + e_o\frac{R_1//R_2}{R_3+R_1//R_2}$$

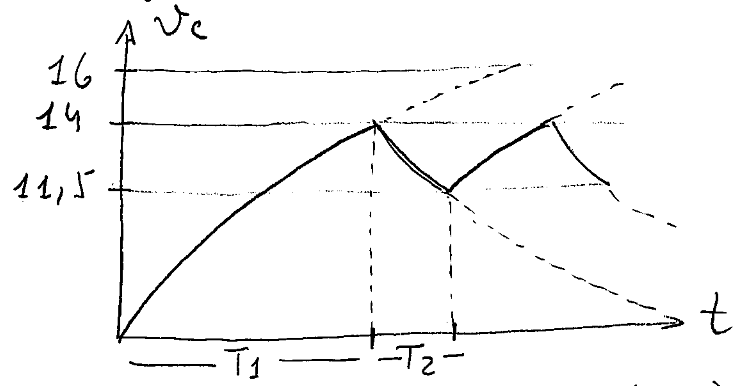
$$V_{TH} = V_{cc}\frac{30,7}{12+30,7} + e_o\frac{10,2}{56+10,2}$$

$$V_{TH} = 16\cdot 0,719 + \begin{cases}16\\0\end{cases}\cdot 0,154$$

$$V_{TH} = 11,5 + \begin{cases}2,465\\0\end{cases} = \begin{cases}13,97\\11,5\end{cases}$$

Como $V_c = V_{TH}$, estes são os limites de tensão no capacitor.

Gráfico:



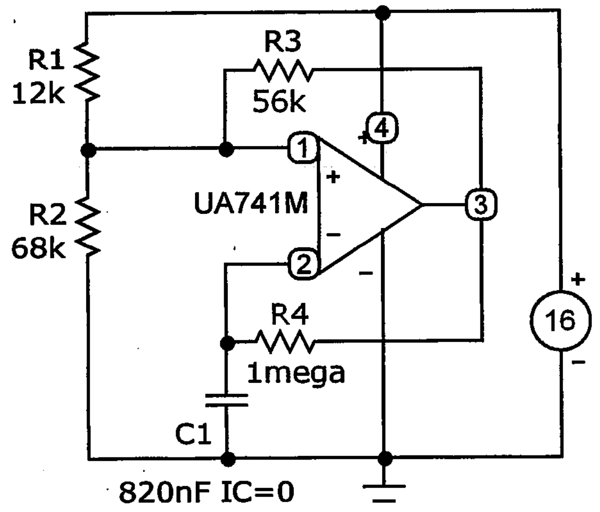
Como $t = -R\cdot C \ln\left(\frac{V_\infty - V_{FIM}}{V_\infty - V_{INIC}}\right)$:

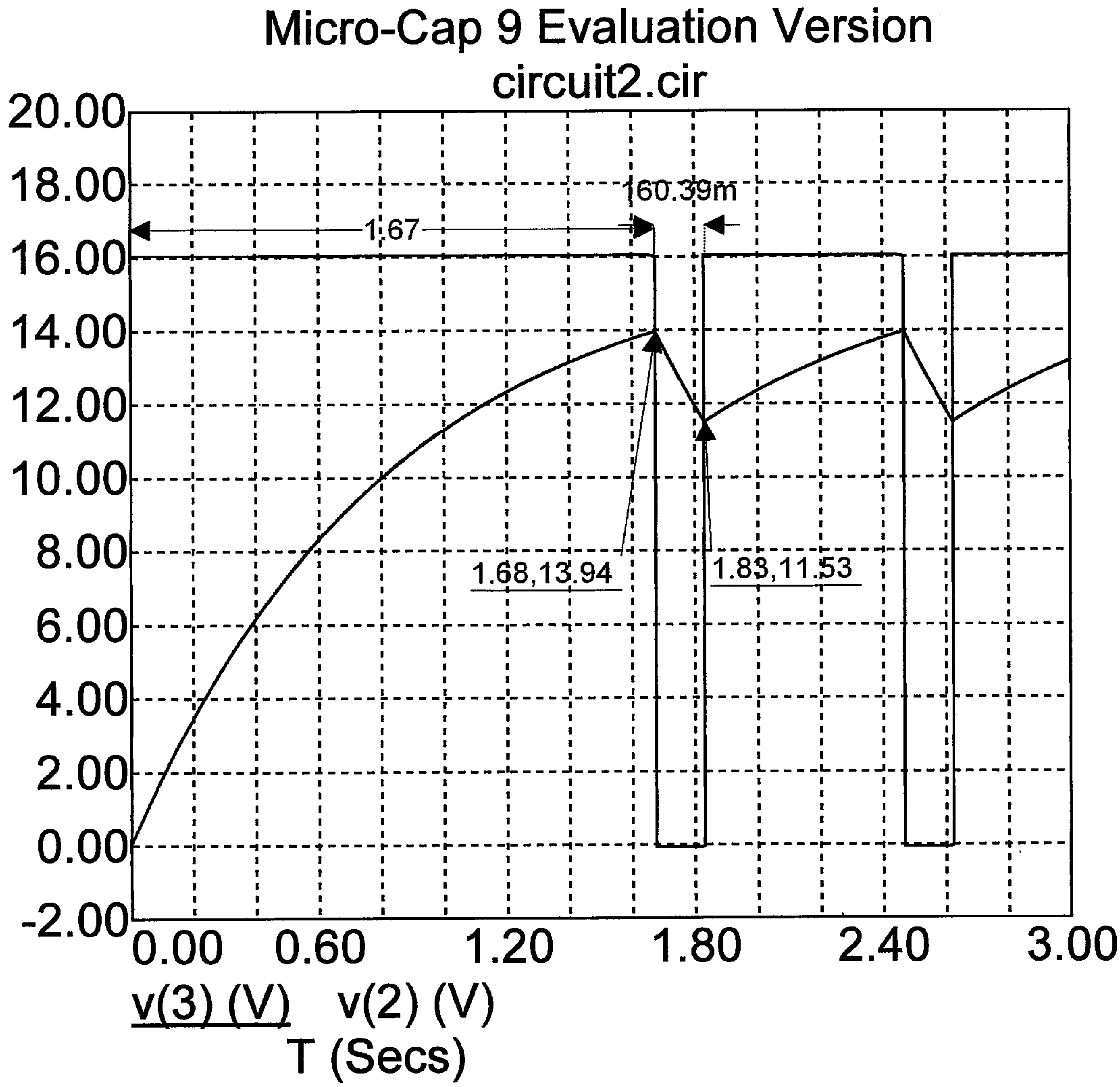
$$T_1 = -R_4\cdot C_1 \ln\left(\frac{16-14}{16-0}\right)$$

$$T_1 = 1,7\ s\ //$$

$$T_2 = -R_4\cdot C_1 \ln\left(\frac{0-11,5}{0-14}\right)$$

$$T_2 = 0,161\ s\ //$$


R1
12k
R3
56k
R2
68k
UA741M
R4
1mega
C1
820nF IC=0
16


Micro-Cap 9 Evaluation Version
circuit2.cir
160.39m
1.67
1.68,13.94
1.83,11.53
20.00
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
-2.00
0.00
0.60
1.20
1.80
2.40
3.00
v(3) (V) v(2) (V)
T (Secs)

Mostre situações onde cada uma destas características influem na performance dos produtos.

Os filtros possuem propriedades características que são independentes do tipo de implementação.

Escreva o que sabe a respeito de:

a) Não-linearidade de fase.

b) Encadeamento de filtros.

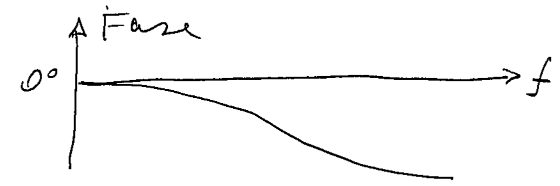
c) Independência de parâmetros.

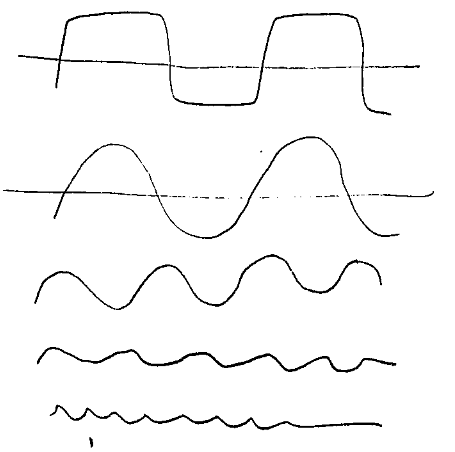
Procure fazer um trabalho organizado, situando o contexto de cada ítem, estabelecendo relacionamentos e ilustrando amplamente a resposta.

Ex 2008/1

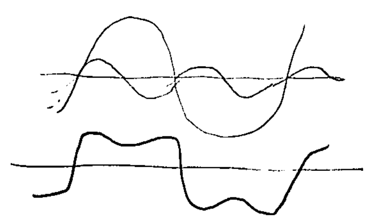
---

a)

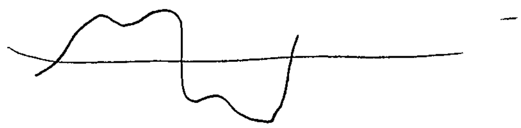




1ª + 2ª =



Se não for linear os deslocamentos de fase da harmônica impede a recomposição do sinal:



b) Para obter maior ordem. Usa-se células de 1ª 2ª e 3ª ordem apenas, em série. Problema dos overshoot de cada célula se somarem ⇒ usar freq. de corte levemente diferentes. Problema do ganho excessivo no final. Variações de fase.

c) Filtros ativos usam um pouco de saída de volta para a entrada para, aparentemente, aumentar ou diminuir o valor de um componente (bootstrap ---)

Geralmente o φ e o ganho ficam amarrados entre si.

Filtros com mais de um opamp. e métodos adequados de relacionar os componentes permite indep. de parâmetros W_0, φ e H_0.

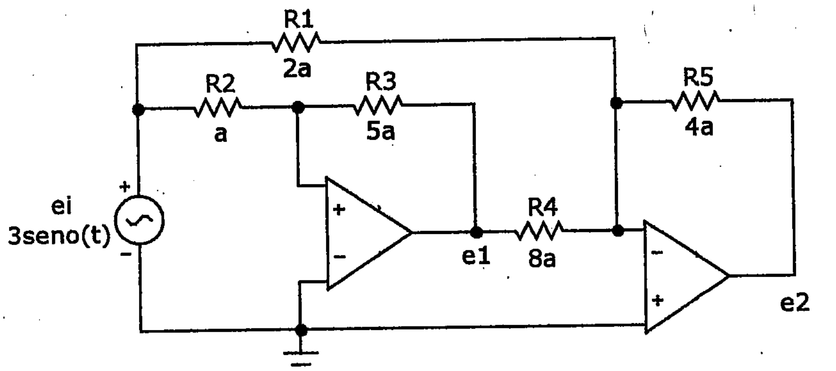
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2008/2

Exame 9/12/2008

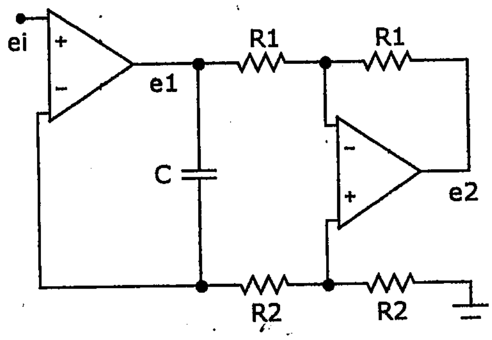
Nome: GABARITO **Turma:** ______

0. (Descontos) Em todas as questões, cada etapa da solução deve ser formalizada com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Esta prova é mais uma demonstração do teu conhecimento e competência. Escreva de cima para baixo.

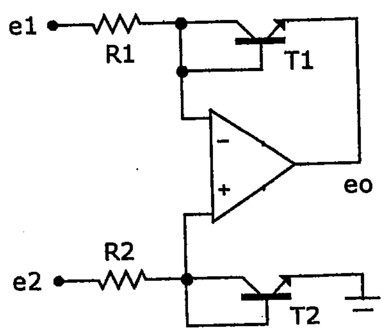
1. (3 pontos) Examine o circuito a seguir, separe em blocos funcionais, descreva e equacione cada um em formato literal. Junte os blocos novamente (equações) para obter a expressão temporal de e_2, comentando a seguir os resultados. Por último, esboce os gráficos temporais de e_i , e_1 e e_2, colocando os valores calculados nos pontos de interesse. Componentes ideais com alimentação simétrica de 10 V.



2. (3 pontos) Analise a topologia ao lado, descreva o que for possível, separe em blocos funcionais e comece a equacionar, com o objetivo de descobrir a função deste circuito. Leia a questão zero. Encontre e descreva alguma utilidade para este circuito.

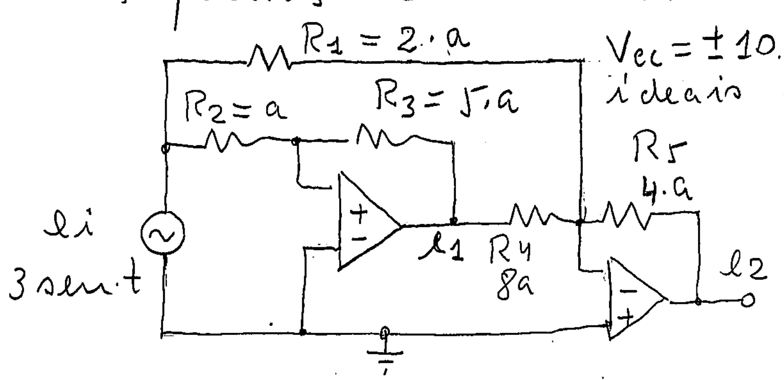


3. (4 pontos) Equacione o circuito a seguir, seguindo as regras da questão zero. Analize e comente os resultados alcançados, vantagens e desvantagens. Por último, implemente modificações para tornar o circuito mais perfeito e com melhor desempenho, talvez para obter uma equação mais curta ou operação em base 10 ou…



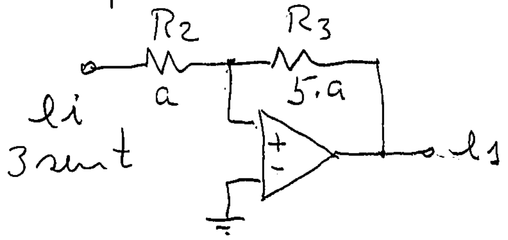
Examine o circuito, separe os blocos e equacione cada um. Junte os blocos novamente (equações) para obter a expressão de e_2/e_i.

Por último, esboce os gráficos temporais de e_i, e_1 e e_2, colocando valores calculados nos pontos de interesse.



EX 2008/2

Separando em blocos por explosão de fontes:



Comparador não-inversor com histerese.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

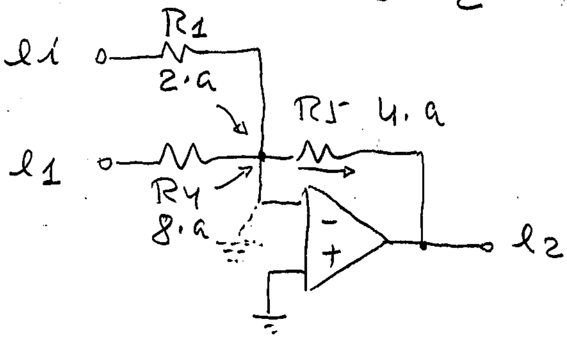
$$\frac{e_i \cdot R_3}{\cancel{R_2+R_3}} + \frac{e_1 \cdot R_2}{\cancel{R_2+R_3}} = 0$$

$$e_i = \frac{e_1 \cdot R_2}{R_3} \quad //$$

$$e_i = \frac{e_1 \cdot a}{5 \cdot a} \rightarrow e_i = \frac{e_1}{5}$$

como $e_1 \lessgtr \begin{matrix} +V_{cc} \\ -V_{cc} \end{matrix}$

Então $e_i \lessgtr \begin{matrix} +2 \\ -2 \end{matrix}$



Somador inversor.

Equacionando por correntes, lembrando a massa virtual:

$$-\frac{e_i - 0}{R_1} - \frac{e_1 - 0}{R_4} + \frac{0 - e_2}{R_5} = 0$$

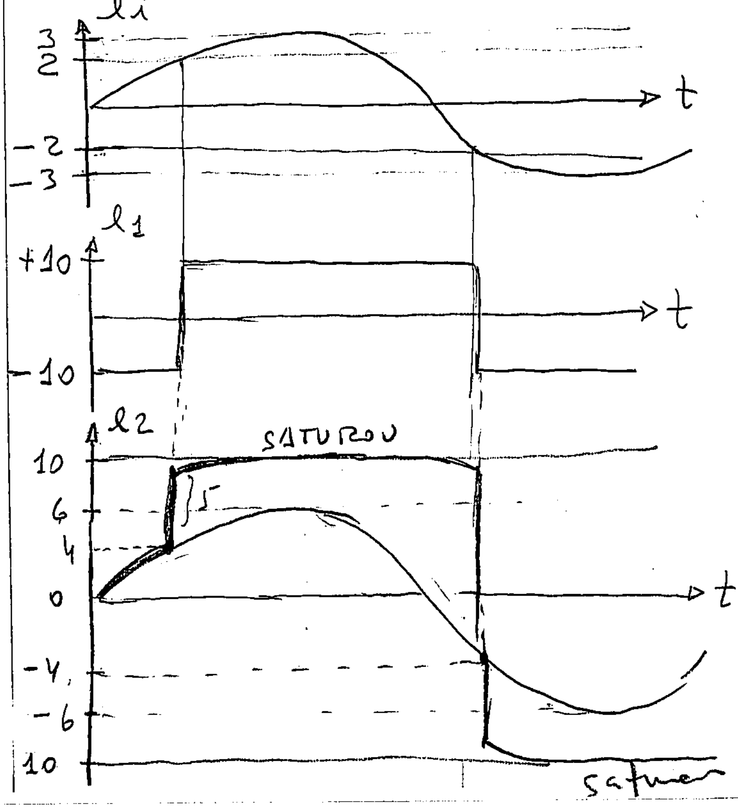
$$e_2 = -R_5\left(\frac{e_i}{R_1} + \frac{e_1}{R_4}\right) \quad //$$

$$e_2 = -4a\left(\frac{e_i}{2a} + \frac{e_1}{8 \cdot a}\right)$$

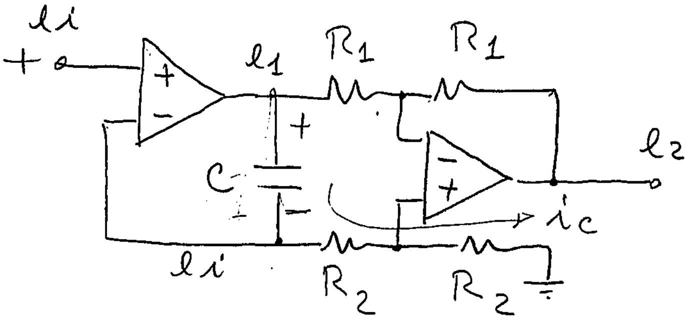
$$e_2 = -\left(2 e_i + \frac{e_1}{2}\right)$$

$$e_2 = -(6 \cdot \text{sen}\, t \pm 5) \quad //$$

Quando a entrada alcança ±2 Volts, a saída dá um salto de ±5 Volts.



Equacione a saída e_2 em função da entrada e_i e determine a função do circuito.



EW may 81 EX 2008/2

circuito é linear: $e_+ = e_-$

No segundo operacional,

$$e_- = e_1 \frac{R_1}{R_1+R_1} + e_2 \frac{R_1}{R_1+R_1}$$

$$e_- = \frac{e_1+e_2}{2}$$

$$e_+ = e_i \frac{R_2}{R_2+R_2} = \frac{e_i}{2}$$

pois $e_+ = e_- = e_i$ no 1º opamp.

Igualando:

$$\frac{e_1+e_2}{2} = \frac{e_i}{2} \rightarrow e_2 = e_i - e_1 \;//$$

Variável interna: eliminar

como $e_i - e_1 = -V_c = -\frac{1}{C}\int i_c\, dt$

e $i_c = \frac{e_i}{R_2+R_2}$ então

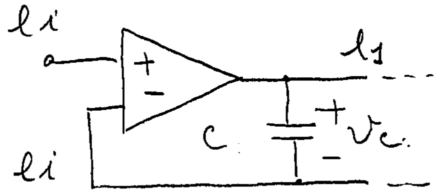
$$e_2 = -\frac{1}{C}\int \frac{e_i}{2R_2}\, dt \;//$$

Supondo $e_i = cte$:

$$e_2(t) = -\frac{1}{2R_2C} \cdot e_i \cdot t + e_2(0) \;//$$

Integrador inversor de alta impedância de entrada.

Outro modo de resolver:



Como $e_+ = e_-$ então:

$$e_1 = e_i + V_c$$

A polaridade de V_c está definida pelo amplif. não-inversor.

O segundo operacional é um subtrator:

$$e_2 = e_i - e_1$$

$$e_2 = e_i - (e_i + V_c) = -V_c$$

Portanto:

$$e_2 = -\frac{1}{C}\int i_c \cdot dt \;// + e_2(0)$$

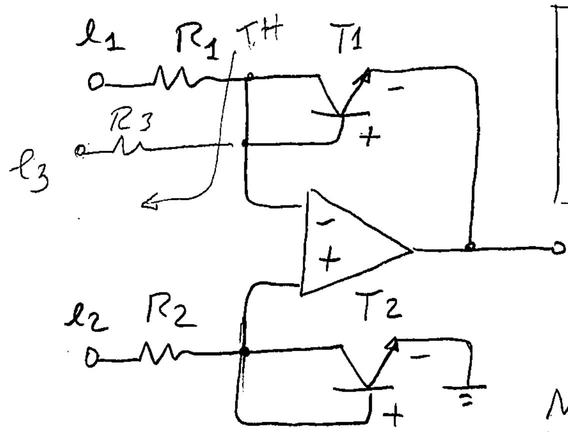
Como $i_c = \frac{e_i}{R_2+R_2}$

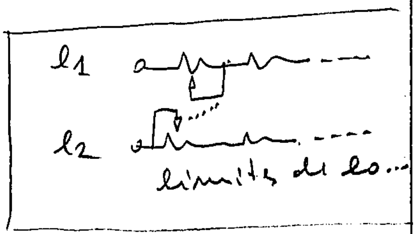
$$e_2 = -\frac{1}{2R_2 \cdot C}\int e_i\, dt + e_2(0)$$

$$e_2 = -\frac{1}{2 \cdot R_2 \cdot C}\, e_i \cdot t + e_2(0) \;//$$

Integrador inversor com alta imp. de entrada

Equacione o circuito.





Comente os resultados, vantagens e desvantagens. Modifique um pouco para corrigir imperfeições e obter uma saída em base 10.

EX 2008/2

Existe apenas realimentação negativa: $e_+ = e_-$

$$e_+ = V_{BE2}$$

$$e_- = V_{BE1} + e_o$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o = V_{BE2} - V_{BE1}$$

$$e_o = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_o}\right) - \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_o}\right)$$

$$e_o = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{C2}/I_o}{I_{C1}/I_o}\right)$$

$i_{C1} = (e_1 - V_{BE2})/R_1$ Supondo $e_1 >> V_{BE2}$ fica apenas $i_{C1} = \frac{e_1}{R_1}$

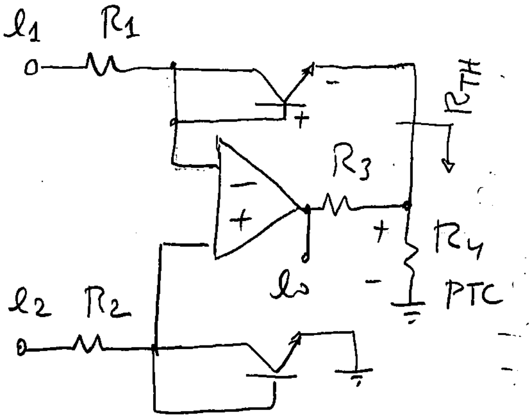
$$e_o = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) \quad //$$

(VIDE VERSO)

Sensível à temp. mas I_o foi cancelado.

Usando 15,7k e 1k PTC o circuito tem maior ganho e fica estável.

com $e_o = 2\ln$ – precisa $R_3 = 76k$



$$e_- = V_{BE1} + e_o \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \left(V_{BE2} - V_{BE1}\right)$$

$$e_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$$

Com $R_3 = 15{,}7k$

$R_4 = 1k$ @ 27°C PTC

como $\frac{k \cdot T}{q} = 26\,mV$ @ 27°C

$$e_o = \frac{15{,}7 + 1}{1} \cdot 26 \cdot 10^{-3} \ldots$$

$$e_o = 0{,}4342 \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$$

como $\ln(x) = 2{,}3 \cdot \log(x)$

$$e_o = \log\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) \quad //$$

Usando: $R_3 = 37{,}5K$

$R_4 = 1k$ PTC

Fica $e_o = \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$

configurar para:

$e_o = 3 \cdot \ln\left(e_2/e_1\right) \rightarrow R_3 = 114$

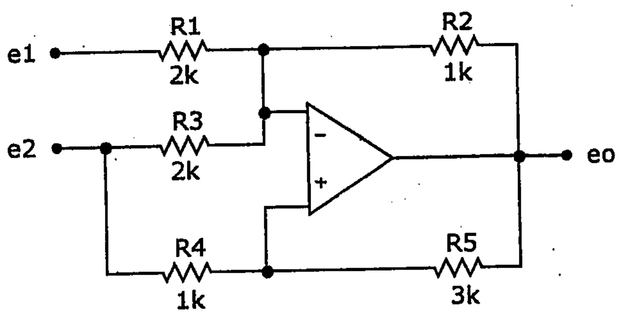
sendo $R_4 = 1k$ PTC

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2009/1

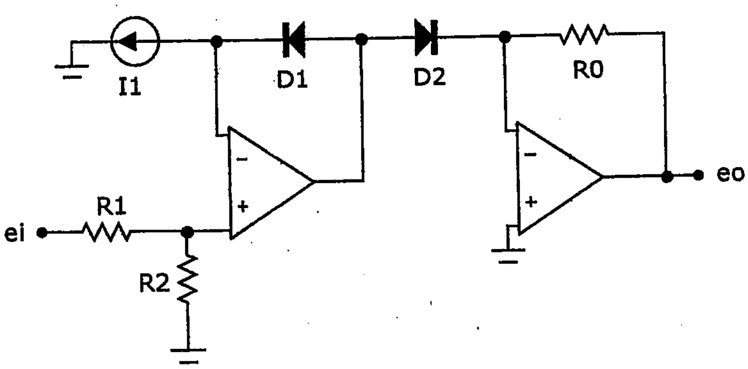
Exame 8/7/2009

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3 pontos) Equacione a função de transferência do circuito a seguir, descrevendo cada etapa com textos, equações e esquemas. Coloque os valores de circuito logo após obter a equação literal de cada etapa. Componentes ideais.

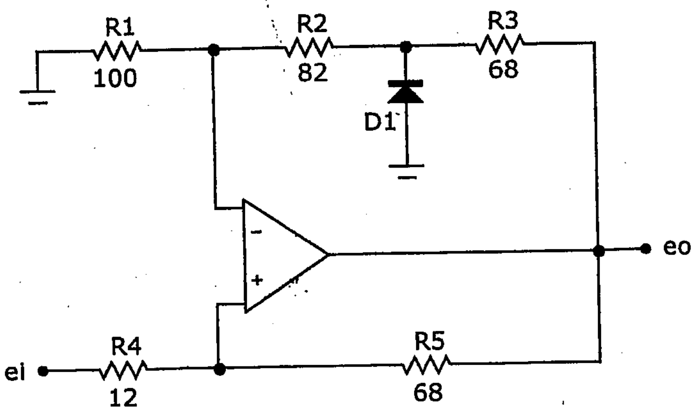


2. (3 pontos) No circuito a seguir, equacione a saída e_o em função da entrada e_i e demais componentes, documentando extensivamente cada etapa. Qual a polaridade de e_o ?

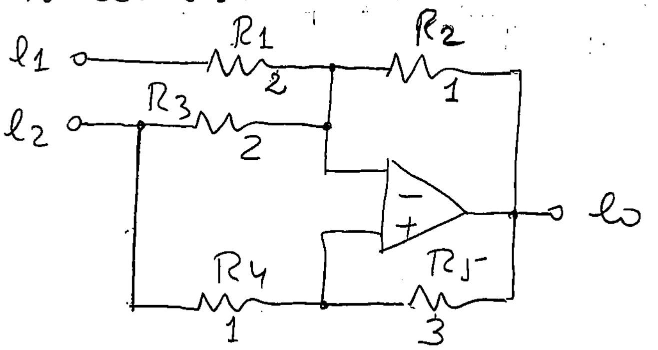


$V_d = (k \cdot T / q) \cdot \ln(I_d / I_o)$
$K = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Joules / °Kelvin
$q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Coulombs
T = temperatura em °Kelvin

3. (4 pontos) Determine a função de transferência do circuito abaixo e desenhe o gráfico de eo x ei, com valores em todos os pontos de interesse. Lembre-se de documentar cada etapa pois isso vai ser avaliado sempre. Alimentação simétrica de 14 Volts. Componentes ideais.



Equacione a função de transferência do circuito a seguir, descrevendo cada etapa. Coloque os valores do circuito logo após obter a equação literal de cada etapa. Componentes ideais.



Equacionamento: $e_+ = e_-$

circuito é linear?

com as entradas em zero, o retorno de e_o para e_- é maior $\Rightarrow$ amplif. linear.

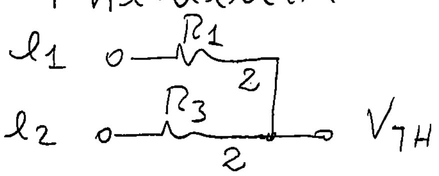
Superposição:

$$e_+ = e_2 \frac{R_5}{R_4+R_5} + e_o \frac{R_4}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = e_2 \frac{3}{1+3} + e_o \frac{1}{1+3}$$

$$e_+ = 0{,}75\, e_2 + 0{,}25\, e_o \;//$$

Thévenin em e_-:



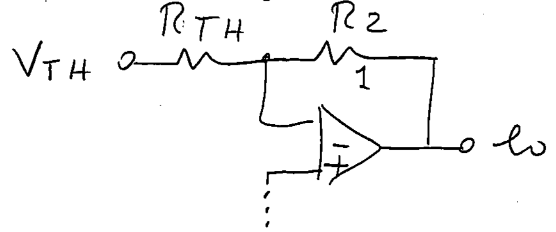
Superposição:

$$V_{TH} = e_1 \frac{R_3}{R_2+R_3} + e_2 \frac{R_1}{R_1+R_3}$$

$$V_{TH} = e_1 \frac{2}{2+2} + e_2 \frac{2}{2+2}$$

$$R_{TH} = R_1 // R_2 = 2//2 = 1$$

Circuito ficou:



Superposição:

$$e_- = V_{TH} \frac{R_2}{R_{TH}+R_2} + e_o \frac{R_{TH}}{R_{TH}+R_2} =$$

$$(0{,}5\, e_1 + 0{,}5\, e_2) \frac{1}{1+1} + e_o \frac{1}{1+1}$$

$$e_- = 0{,}25\, e_1 + 0{,}25\, e_2 + 0{,}5\, e_o \;//$$

como $e_+ = e_-$:

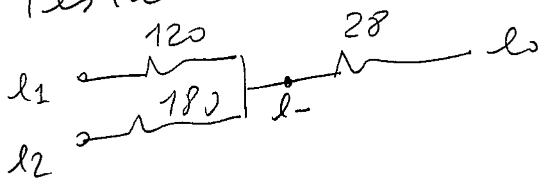
$$0{,}75\, e_2 + 0{,}25\, e_o = 0{,}25\, e_1 + 0{,}25\, e_2 + 0{,}5\, e_o$$

$$e_o (0{,}5 - 0{,}25) = e_2 (0{,}75 - 0{,}25) - 0{,}25\, e_1$$

$$0{,}25\, e_o = 0{,}5\, e_2 - 0{,}25\, e_1$$

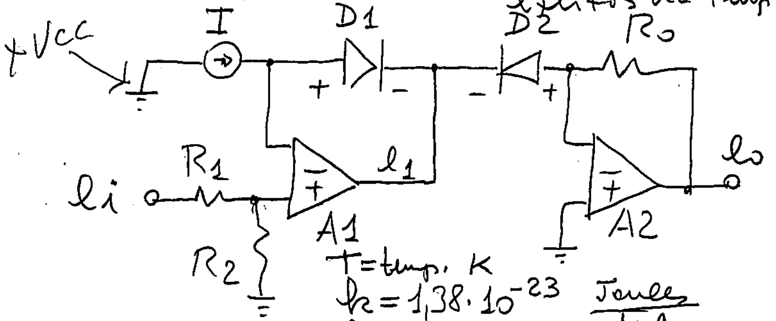
$$e_o = 2 e_2 - e_1 \;//$$

Testar:



Equacione a saída eo em função da entrada ei, documentando cada etapa. Qual a polaridade de ei?

$V_D = \frac{k\cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_D}{I_o}\right)$ É possível compensar os efeitos de temp.?



T = temp. K

$k = 1{,}38\cdot 10^{-23}$ Joules/Kelvin

$q = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Coulombs

Circuito é linear; $e_+ = e^-$

Em A1:

$$e_+ = ei\,\frac{R_2}{R_1+R_2} \qquad (1)$$

$$e_- = e_+ = ei\,\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$e_1 = e_- - V_{D1} = e_+ - V_{D1} \qquad (2)$$

Vale também:

$e_1 = -V_{D2}$, devido à massa virtual de A2. (3)

Precisamos juntar ei com eo:

ei está ligado a $e_+ = e_-$

eo está ligado a D2.

Juntando (2) com (3):

$$e_+ - V_{D1} = -V_{D2}$$

Juntando (1):

ou então: dominando logo é a junção dos dois catodos. KVL para cada lado dá:

$$-V_{D1} + e_+ = -V_{D2}$$

$$\frac{ei\cdot R_2}{R_1+R_2} = V_{D1} - V_{D2}$$

Substituindo os V_Ds:

$$\frac{ei\cdot R_2}{R_1+R_2} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I}{I_o}\right) - \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{D2}}{I_o}\right)$$

como $I_{D2} = eo/R_o$;

$$\underbrace{\frac{ei\cdot R_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{q}{k\cdot T}}_{X} = \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) - \ln\left(\frac{eo}{R_o\cdot I_o}\right)$$

Isolando eo:

$$X = \ln\left[\frac{I/I_o}{\frac{eo}{R_o\cdot I_o}}\right] = \ln\left(\frac{I\cdot R_o}{eo}\right)$$

Aplicando exp membro-a-membro

$$e^X = e^{\ln\left(\frac{I\cdot R_o}{eo}\right)} = \frac{I\cdot R_o}{eo}$$

fica $eo = \frac{I\cdot R_o}{e^X}$ ou seja

$$eo = \frac{I\cdot R_o}{e^{\frac{ei\, R_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{q}{k\cdot T}}}$$

Mudando o formato:

~~Mas para o diodo conduzir, ei precisa ser negativo! Então:~~

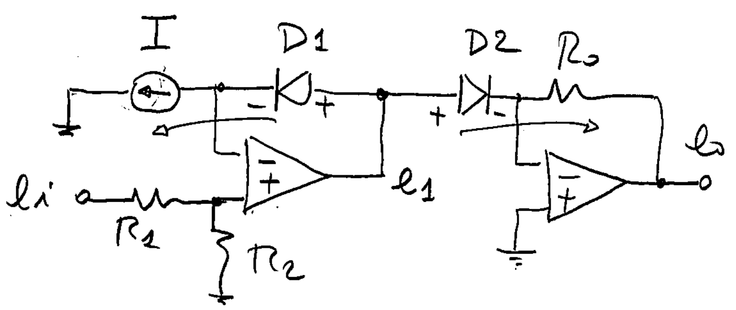
$$eo = I\cdot R_o\cdot e^{-\frac{ei\cdot R_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{q}{k\cdot T}}$$

com $ei < 0$

Exponenciador de um quadrante.

Sensível à temperatura: usar PTC etc

Versão do exame 2009/1:



$$e_+ = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$e_1 = e_- + V_{D1} = e_+ + V_{D1}$$
$$e_1 = V_{D2}$$

Juntando:

$$e_+ + V_{D1} = V_{D2}$$

$$e_+ = V_{D2} - V_{D1}$$

$$e_+ = \frac{kT}{q}\left[\ln\left(\frac{-e_o}{R_o \cdot I_o}\right) - \ln\left(\frac{I}{R_o}\right)\right]$$

$$e_+ = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{\frac{-e_o}{R_o\cdot I_o}}{\frac{I}{I_o}}\right) = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{-e_o}{I\cdot R_o}\right)$$

Substituindo e_+:

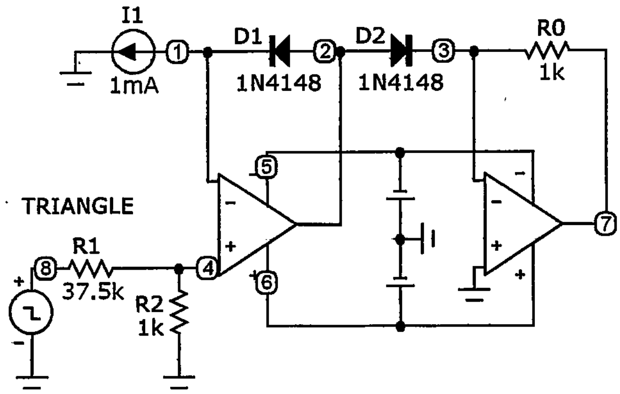
$$\frac{e_i\cdot R_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{q}{k\cdot T} = \ln\left(\frac{-e_o}{I\cdot R_o}\right)$$

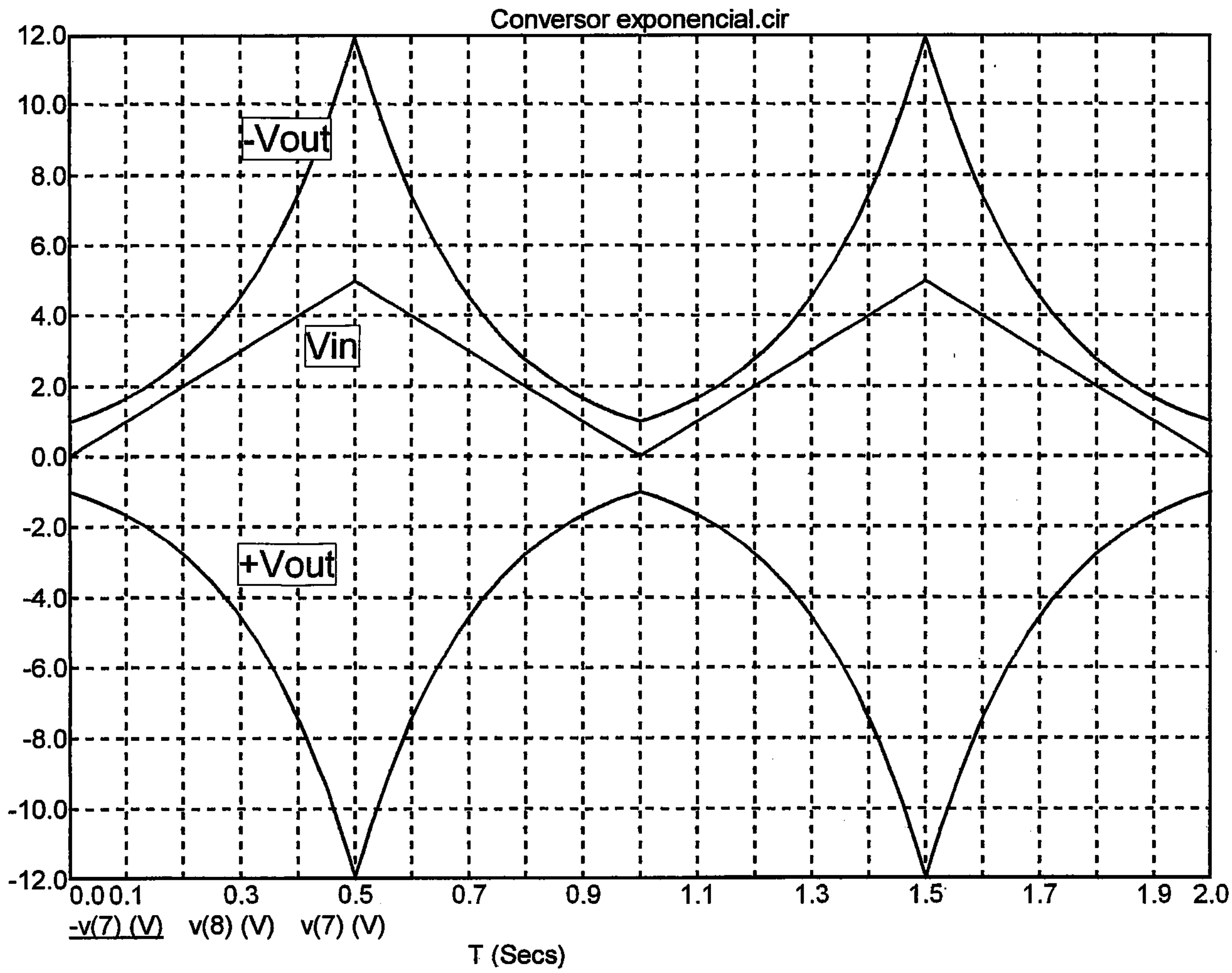
e_o precisa ser negativo para D2 conduzir!

Aplicando exp membro-a-membro:

$$e^{\frac{e_iR_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{q}{k\cdot T}} = \frac{-e_o}{I\cdot R_o}$$

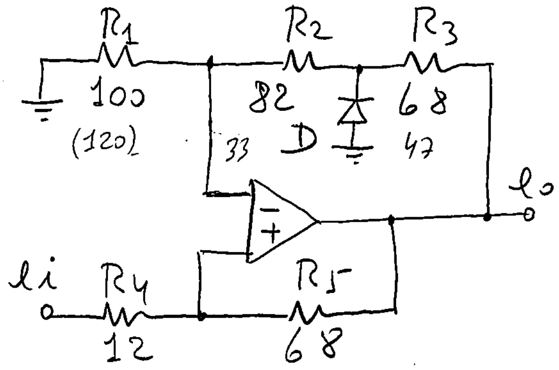
$$e_o = -I\cdot R_o\, e^{\frac{e_iR_2}{R_1+R_2}\cdot\frac{q}{k\cdot T}} \quad //$$


I1
1mA
D1
1N4148
D2
1N4148
R0
1k
TRIANGLE
R1
37.5k
R2
1k


Conversor exponencial.cir
-Vout
Vin
+Vout
-v(7) (V)   v(8) (V)   v(7) (V)
T (Secs)

Equacione o circuito com o objetivo de obter a sua função de transferência e o gráfico de lo x li correspondente, com o valor numérico de todos os pontos de interesse.

Descreva cada etapa.
Componentes ideais e alimentação ± 9 Volts.



Circuito com duas realimentações quando D=OFF e com realimentação positiva apenas com D=ON.

Hipótese: lo > 0 e D=OFF:

$$l_- = l_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$$

$$l_- = l_o \frac{100}{100+82+68} = 0{,}4 \cdot l_o \;//$$

Este é o retorno de lo para l-.

$$l_+ = l_o \frac{R_4}{R_4+R_5} + l_i \frac{R_5}{R_4+R_5}$$

$$l_+ = l_o \frac{12}{12+68} + l_i \frac{68}{12+68}$$

$$l_+ = 0{,}15\, l_o + 0{,}85\, l_i \;//$$

Como existe mais retorno de lo para l-, ficou um amplificador não-inversor com l+ = l- sempre.

$$0{,}15 \cdot l_o + 0{,}85 \cdot l_i = 0{,}4 \cdot l_o$$

$$l_o = 3{,}4 \cdot l_i \;// \quad \text{Válido para } l_o > 0$$

Hipótese: lo<0 e D=ON:
Apenas realimentação positiva ⇒ comp. com histerese:
Ponto de virada: l+ = l-

$$l_+ = \text{mesmo} = 0{,}15 \cdot l_o + 0{,}85 \cdot l_i$$

$$l_- = 0$$

Igualando e isolando li:

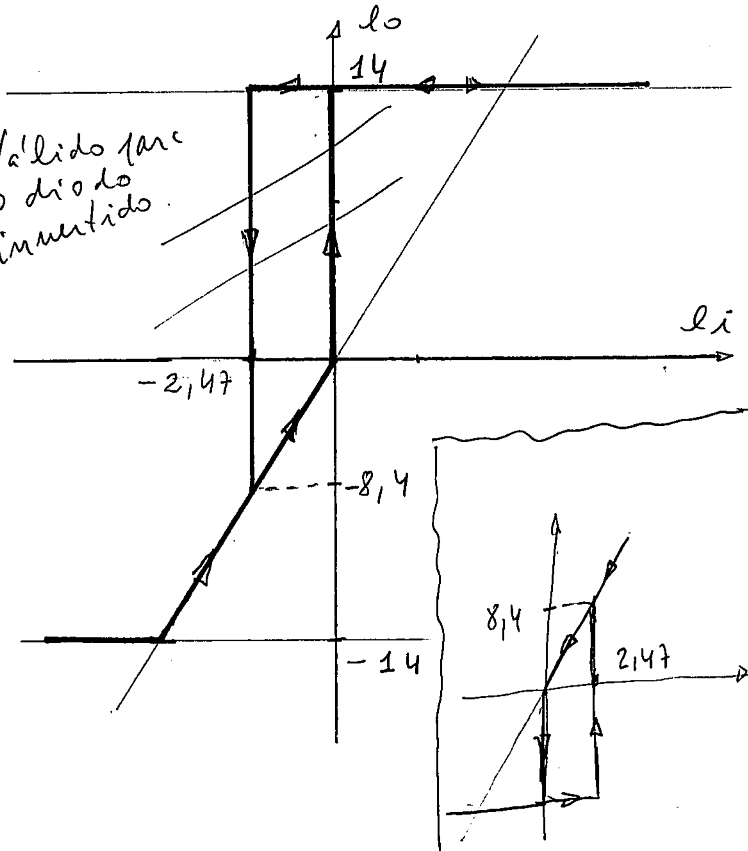
$$0{,}85\, l_i = -0{,}15 \cdot l_o$$

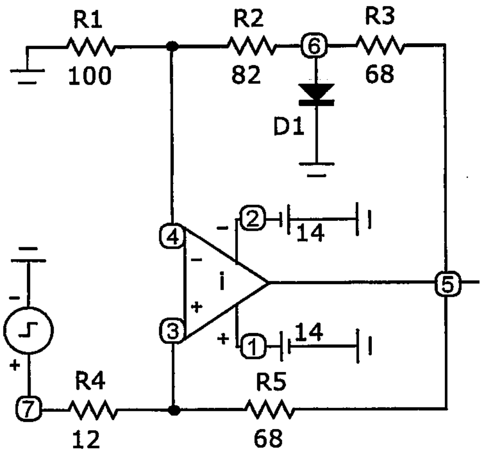
$$l_i = -0{,}176 \cdot l_o$$

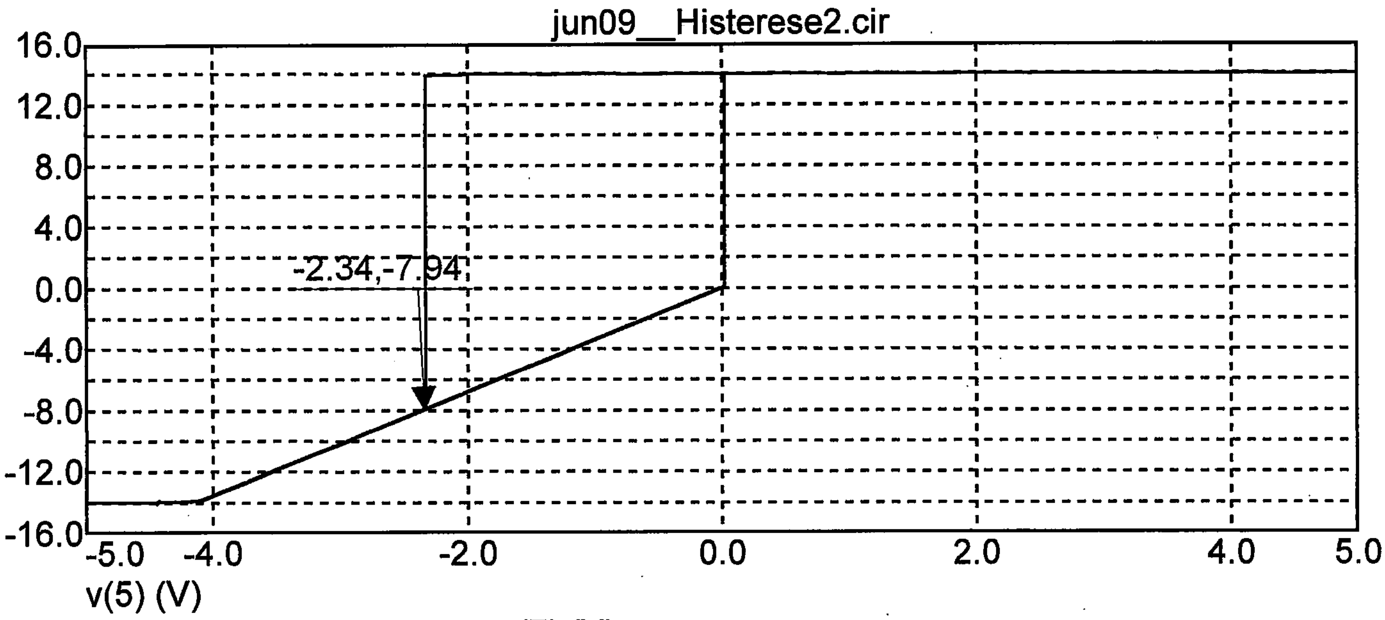
Pontos de virada, com $l_o = \pm V_{cc}$:

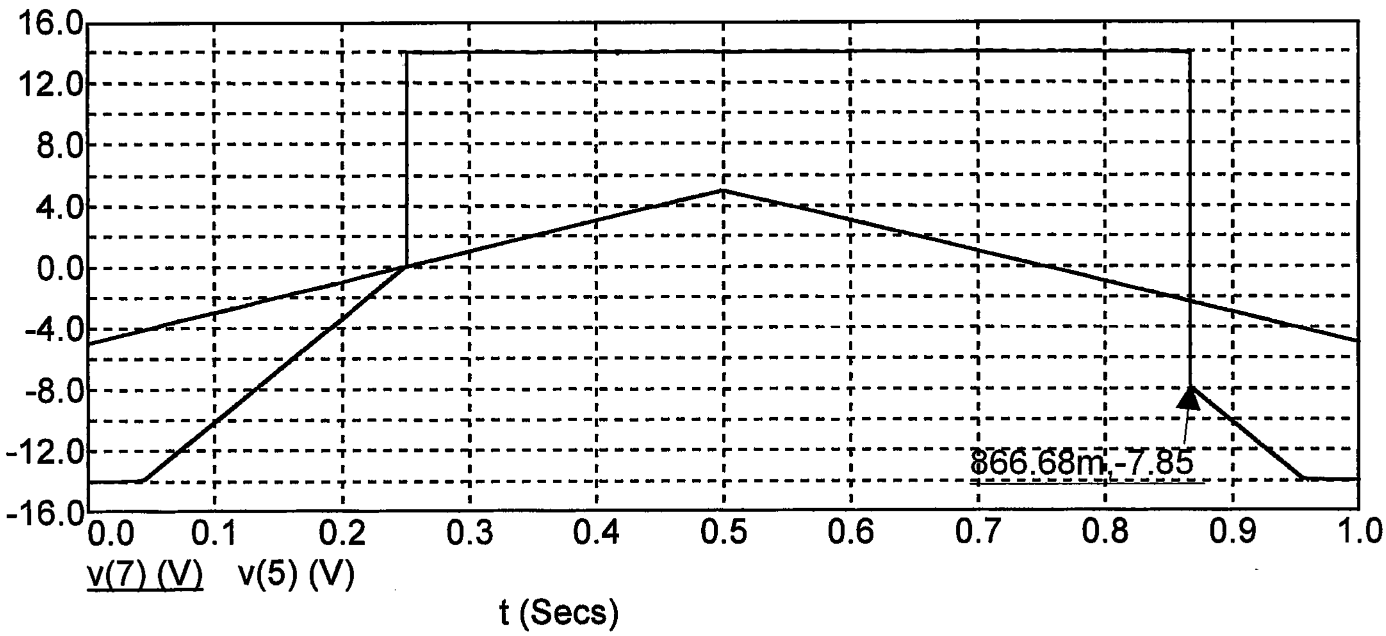
$$l_i = -0{,}176\,(\pm 14) = \mp 2{,}47 \;//$$

Gráfico: começar pela parte linear (lo >> 0) e diminuir até que lo = 0 ---




R1
100
R2
82
R3
68
D1
14
14
R4
12
R5
68


jun09__Histerese2.cir
16.0
12.0
8.0
4.0
0.0
-4.0
-8.0
-12.0
-16.0
-2.34,-7.94
-5.0
-4.0
-2.0
0.0
2.0
4.0
5.0
v(5) (V)
v(7) (V)

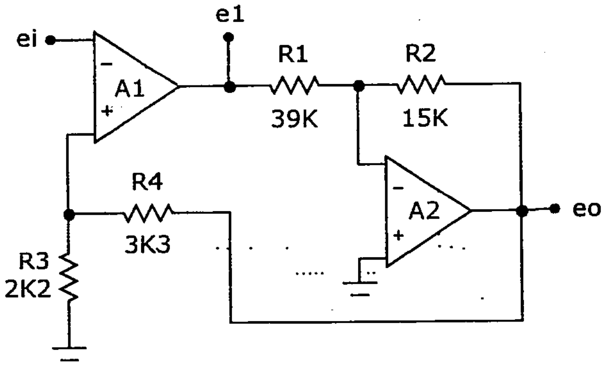

16.0
12.0
8.0
4.0
0.0
-4.0
-8.0
-12.0
-16.0
866.68m,-7.85
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
v(7) (V)
v(5) (V)
t (Secs)

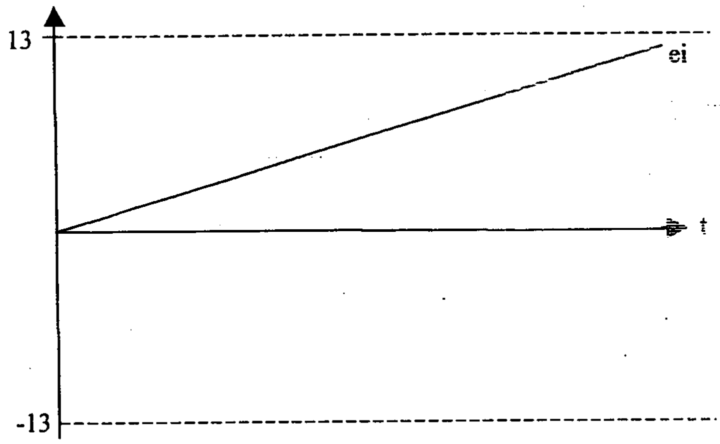
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2009/2**

Exame **22/12/2009**

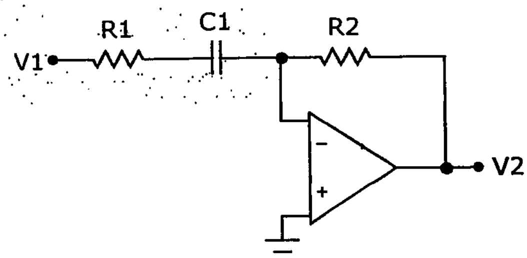
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5) Examine o circuito a seguir e equacione em formato literal as saídas e_1 e e_0 em função da entrada e_i. Coloque os valores de circuito logo após equacionar cada etapa.
Calcule então a máxima tensão em cada saída, sem saturar, e o respectivo nível de entrada, completando o gráfico abaixo. Por último, escreva as suas conclusões sobre este circuito.
Todas as etapas devem ser descritas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Componentes ideias, $V_{cc} = \pm 13V$.

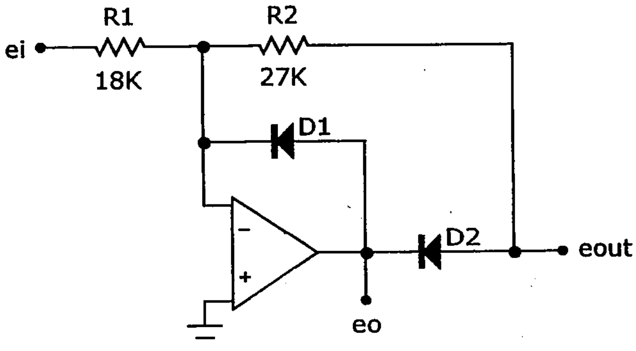




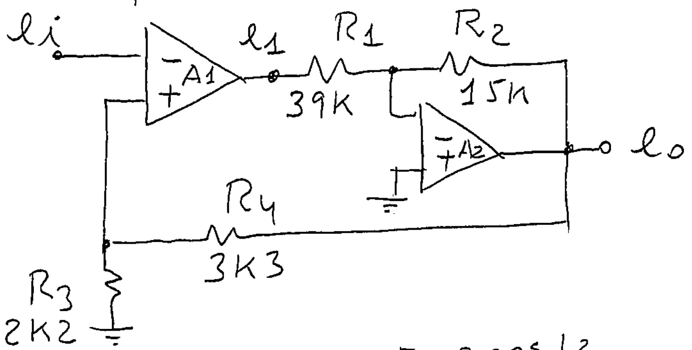
2. (3) Equacione a função de transferência do circuito, em termos da variável complexa $s = j\omega$. Examine minuciosamente o resultado e escreva as suas conclusões.
Desenhe a curva de resposta em frequência com C_1 = 10nF, R_1 = 180k e R_2 = 270k, descrevendo convenientemente todos os passos da resolução.



3. (3,5) O circuito a seguir pretende ser um retificador. Estude a topologia e descreva o que for possível. Equacione o circuito em formato literal e determine e_o, e_{out} e as impedâncias Z_i e Z_{out} em todas as condições de funcionamento, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas. Por último, desenhe as curvas de e_i = seno 30mV e e_{out} no mesmo gráfico. Componentes reais e alimentação simétrica.



Examine o circuito a seguir e equacione literal as saídas e_1 e e_o em função da entrada e_i, documentando cada etapa com textos, equações e diagramas. Coloque os valores do circuito logo após equacionar cada uma. Calcule então a máxima tensão em cada saída, sem saturar e o respectivo nível de entrada. Estude os resultados e escreva as suas conclusões. $V_{cc} = \pm 13\,V$ Comp. ideais.



Ex 2009/2

Apenas realimentações negativas → circuito é linear. Operacionais ideais → $e_+ = e_-$ sempre.

Equacionando A1:

$$e_- = e_i$$

$$e_+ = e_o \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o = e_i \cdot \frac{R_3+R_4}{R_3} \quad //$$

Aplicando os valores:

$$e_o = e_i \frac{2,2+3,3}{2,2} \rightarrow e_o = 2,5 \cdot e_i$$

Equacionando A2:

Por superposição:

$$e_- = e_1 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = 0$$

Igualando e isolando e_1:

$$e_1 \frac{R_2}{\cancel{R_1+R_2}} = - e_o \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}}$$

$$e_1 = - e_o \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad \text{ou então}$$

$$e_1 = - e_i \cdot \frac{R_3+R_4}{R_3} \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad //$$

Aplicando os valores:

$$e_1 = - e_i \frac{2,2+3,3}{2,2} \cdot \frac{39}{15}$$

$$e_1 = -6,5 \cdot e_i \quad //$$

Tensão máxima em e_o é $+V_{cc}$ (ou $-V_{cc}$):

$$e_o = 13 = 2,5 \cdot e_i$$

Então, $e_{i\,max} = 5,2$ Volts //

Tensão máxima em e_1 é $+V_{cc}$ (ou $-V_{cc}$):

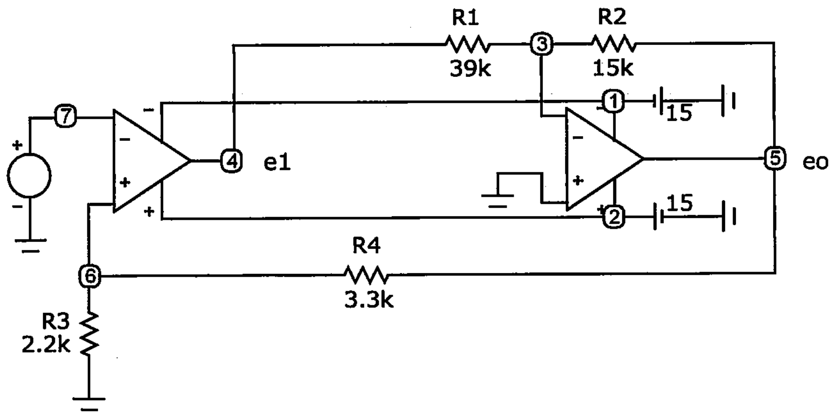
$$e_1 = 13 = -6,5 \cdot e_i$$

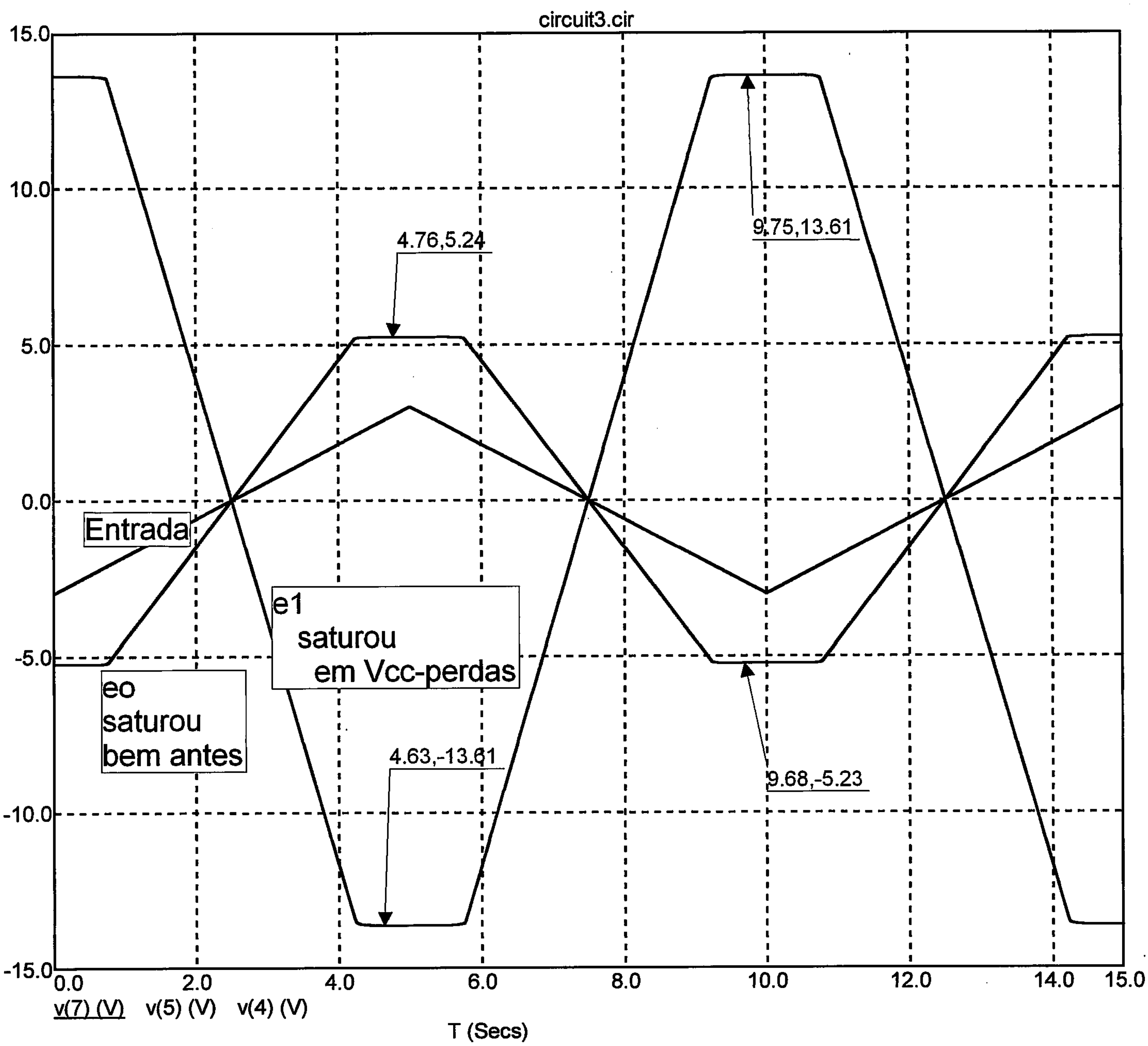
Então $e_{i\,máx} = -2$ Volts //

Examinando os resultados: Para não saturar alguma saída, $e_{i\,máx} = -2$ Volts, quando então $e_1 = +13\,V$.

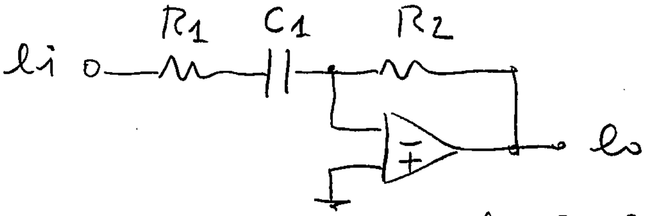
Mas, com $e_{i\,máx} = -2$ Volts a saída e_o será apenas:

$e_o = 2,5 \cdot e_i = 2,5(-2) = -5$ Volts apenas → Saturação interna


R1
39k
R2
15k
7
4
e1
3
1
15
2
15
5
eo
R4
3.3k
6
R3
2.2k


circuit3.cir
15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
14.0
15.0
4.76,5.24
9.75,13.61
Entrada
e1
saturou
em Vcc-perdas
eo
saturou
bem antes
4.63,-13.61
9.68,-5.23
v(7) (V) v(5) (V) v(4) (V)
T (Secs)

Equacione a função de transferência do circuito a seguir em termos da variável complexa $S = jw$. Analise minuciosamente o resultado e classifique a sua função.
Desenhe a curva de resposta em frequência com $C_1 = 10n$, $R_1 = 180k$ e $R_2 = 270k$, descrevendo todos os passos de solução.



ex 2009/2

Apenas realimentação negativa $\rightarrow$ $e+ = e-$:

$e+ = 0$

$$e- = ei \frac{R_2}{R_1+R_2+X_c} + eo \frac{R_1+X_c}{R_1+R_2+X_c}$$

Igualando:

$$eo \frac{R_1+X_c}{R_1+\cancel{R_2+X_c}} = -ei \frac{R_2}{R_1+\cancel{R_2+X_c}}$$

$$\frac{eo}{ei} = -\frac{R_2}{R_1+X_c} = -\frac{R_2}{R_1+\frac{1}{jwC_1}}$$

$$\frac{eo}{ei} = -\frac{R_2}{\frac{R_1 \cdot jwC_1 + 1}{jwC}}$$

$$\frac{eo}{ei} = -\frac{R_2 \cdot jwC_1}{R_1 \cdot jwC_1 + 1} \quad (1)$$

Usando $S = jw$:

$$\frac{eo}{ei} = -\frac{S \cdot C_1 \cdot R_2}{1 + S \cdot C_1 \cdot R_1}$$

Filtro passa-altas de 1ª ordem inversor.

com $w = 0$, C = aberto e (1) dá:

$$\left.\frac{eo}{ei}\right|_{w=0} = -0$$

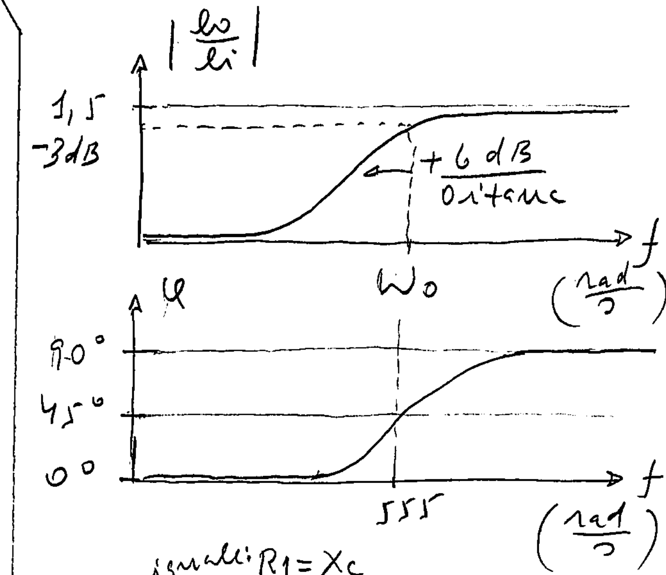
com w = grande, X_c = pequeno e em (1), $R_1 \cdot jwC + 1 \cong R_1 \cdot jwC$:

$$\frac{eo}{ei} = -\frac{R_2 \cdot \cancel{jwC}}{R_1 \cdot \cancel{jwC}}$$

$$\left.\frac{eo}{ei}\right|_{w=\text{grande}} = -R_2/R_1$$

Colocando os valores:

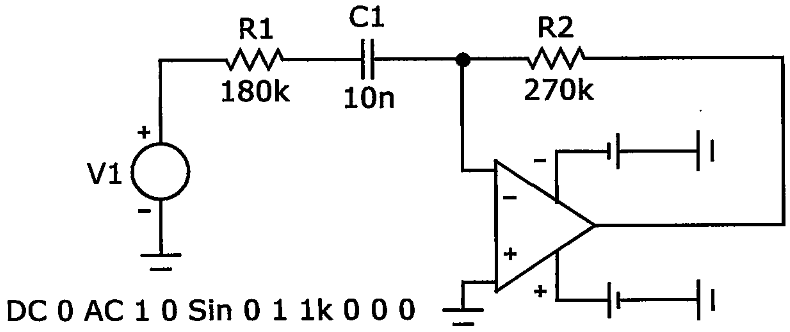
$$\frac{eo}{ei} = -\frac{270k}{180k} = -1,5$$

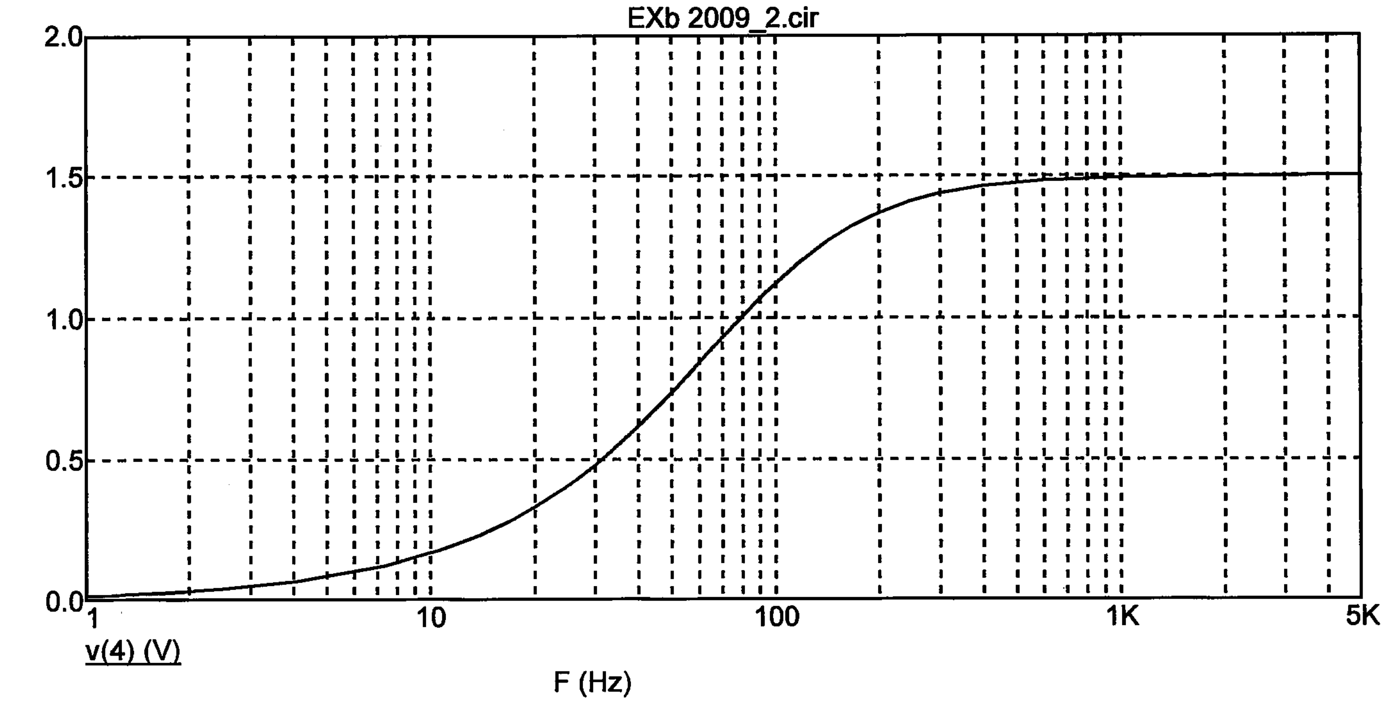


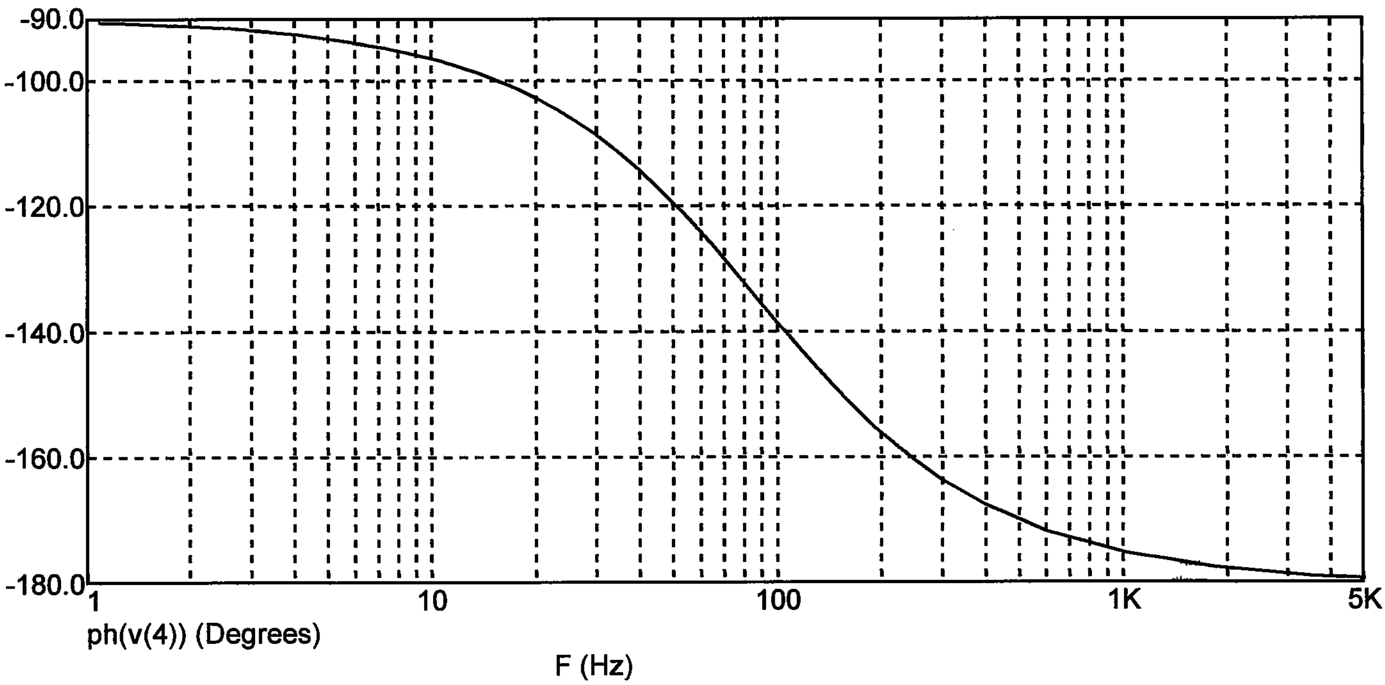
Wo ocorre em $W_0 = \frac{1}{R_1 C_1}$ (igualdade: $R_1 = X_c$)
(devido à massa virtual)

$$W_0 = \frac{1}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 180 \cdot 10^3}$$

$$W_0 = 555 \text{ rad/s} = 88,4 \text{ Hz}$$

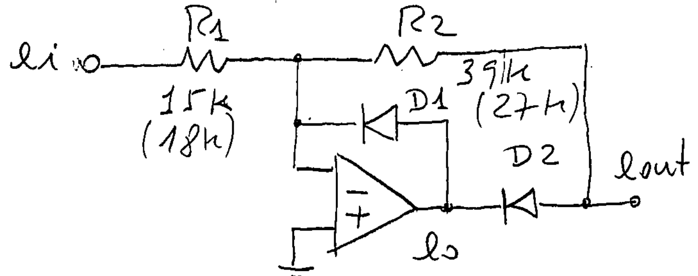

R1
180k
C1
10n
R2
270k
V1
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 1k 0 0 0


EXb 2009_2.cir
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
10
100
1K
5K
v(4) (V)
F (Hz)


-90.0
-100.0
-120.0
-140.0
-160.0
-180.0
1
10
100
1K
5K
ph(v(4)) (Degrees)
F (Hz)

Desenhe as curvas de li = seno 30mV e lout no mesmo gráfico,

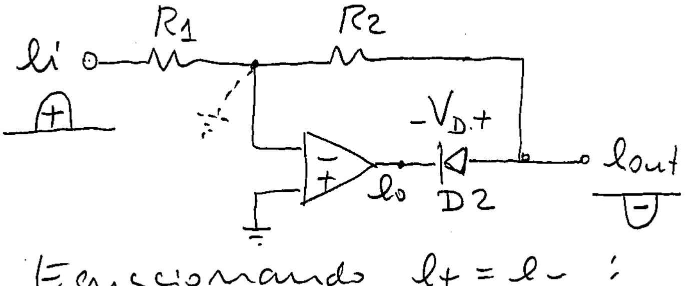
O circuito a seguir pretende ser um retificador. Estude a topologia e descreva o que for possível.
Equacione o circuito, em forma literal, e determine lo, lout e as impedâncias Zin e Zout, em todas as condições de funcionamento, descrevendo cada passo com textos, equações e diagramas. Componentes reais e alimentação simétrica.



(não ensinei retific.) ex 2009/2

Realim. negativa → linear.
Diodos → estudar as 2 condições.

Hipótese: li positivo logo lo é negativo.
D2 = ON D1 = OFF



Equacionando $l_+ = l_-$:

$l_+ = 0$

$$l_- = li\,\frac{R_2}{R_1+R_2} + l_{out}\,\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando e isolando lout

$$l_{out}\,\frac{R_1}{\cancel{R_1+R_2}} = -li\,\frac{R_2}{\cancel{R_1+R_2}}$$

$$l_{out} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot li = -\frac{39k}{15k}\cdot li$$

$l_{out} = -2{,}6\cdot li$ // $(-1{,}5\cdot li)$

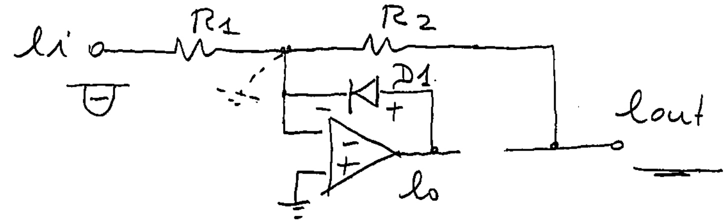
Como D2 conduzindo introduz uma queda V_D:

$l_o = l_{out} - V_D$ // $l_o = -2{,}6\cdot li - V_D$ //

Devido à massa virtual,
$Z_{in} = R_1$

Como o operacional neutraliza os componentes dentro do laço de realimentação,
$Z_{out} = 0$ //

Hipótese: li negativo logo lo é positivo.
D2 = OFF D1 = ON



Realim. negativa por D1 garante a massa virtual de modo que:

$l_{out} = 0$ //

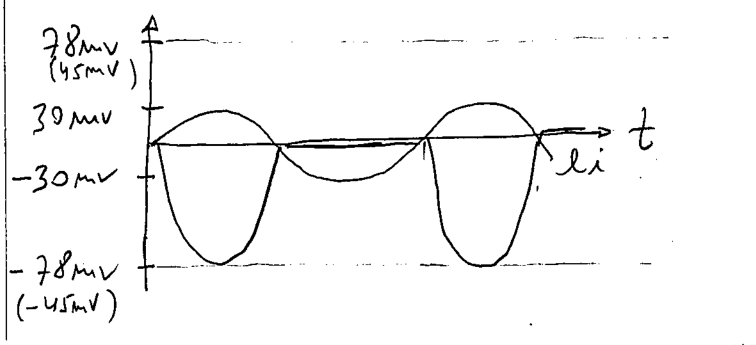
$l_o = V_D$ //

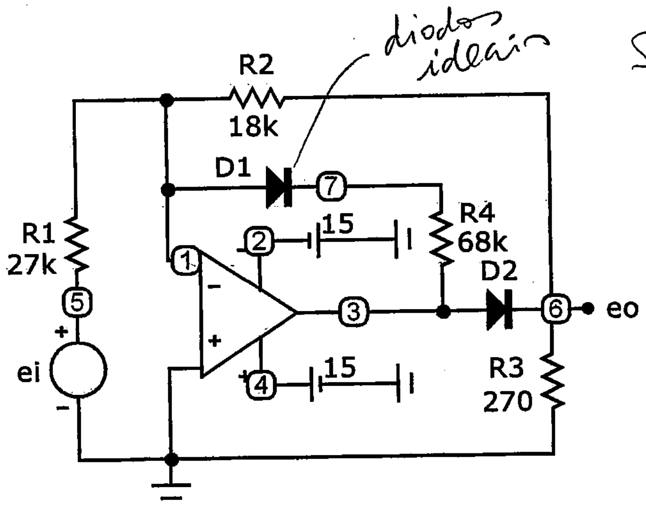
$Z_{in} = R_1$, como no caso anterior

$Z_{out} = \cancel{R_2}$ // Drenando corrente de lout, D2 volta a conduzir ⇒ Zout = 0 sempre.

Com senoide de 30mV em li,

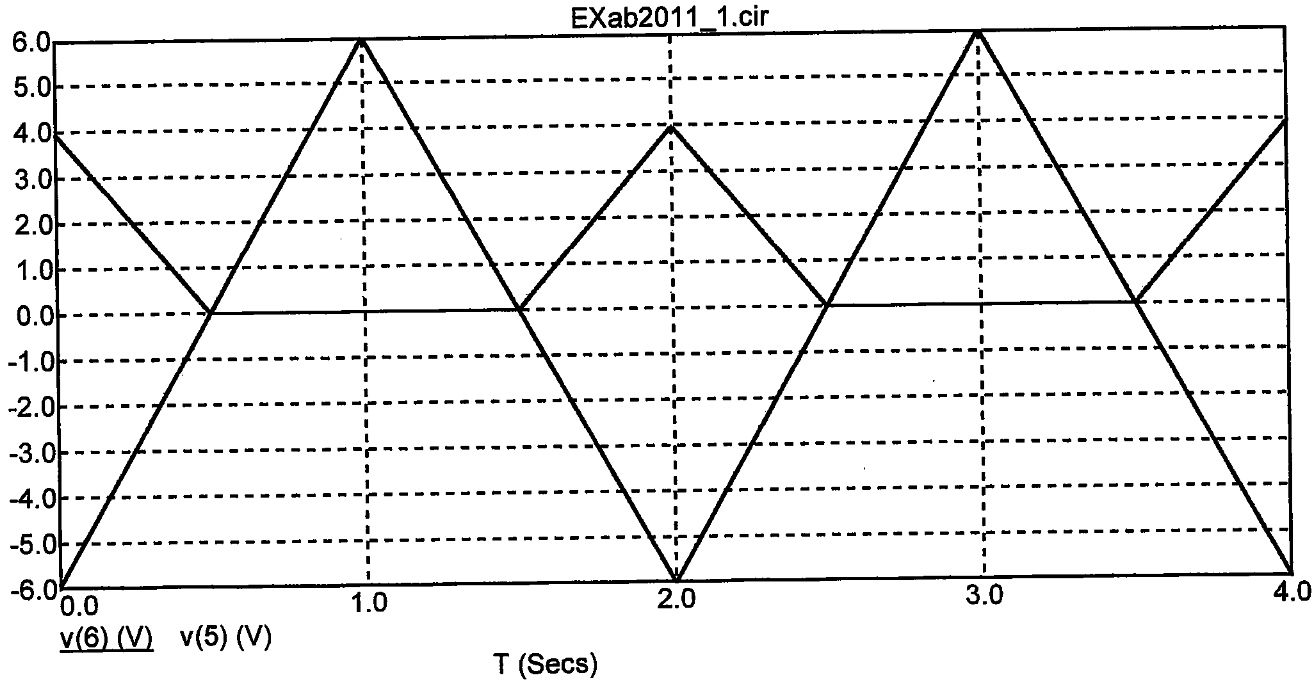
$l_{out} = -2{,}6\cdot 30mV = -78mV$

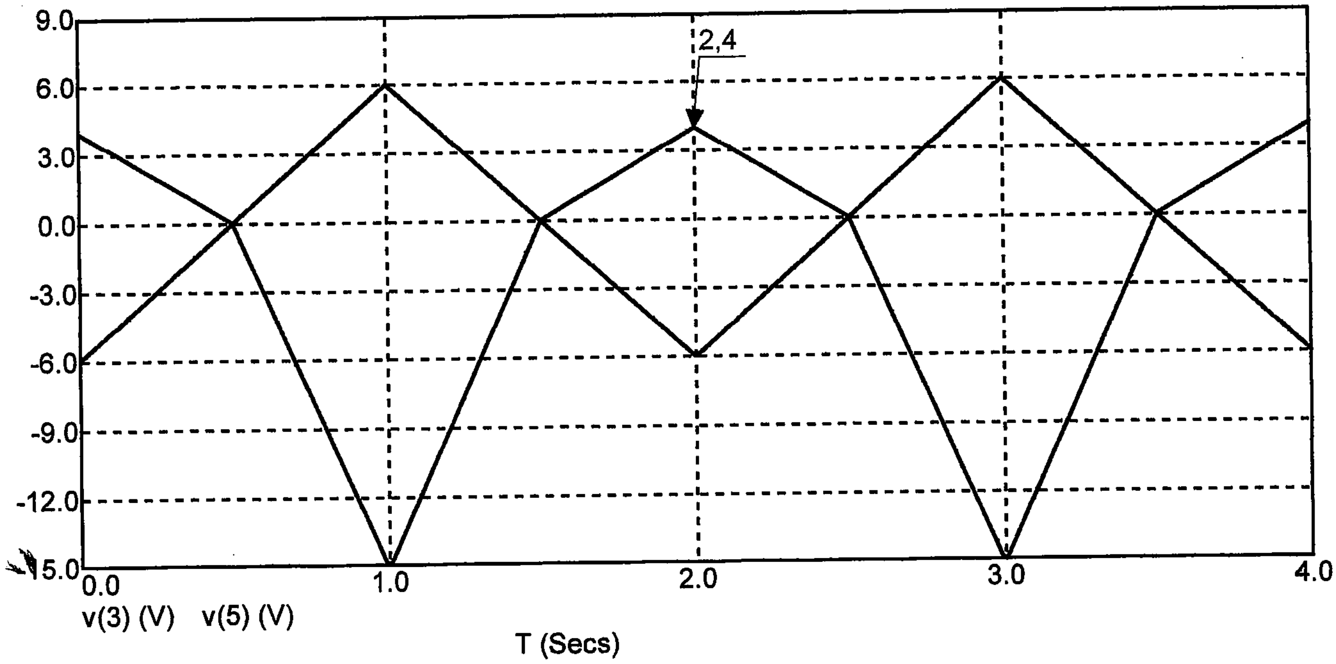




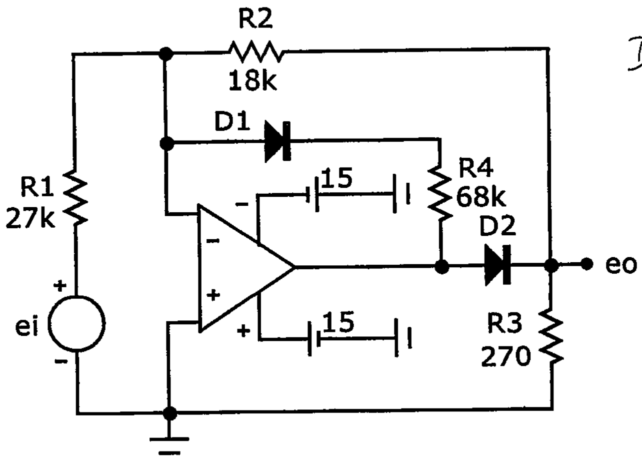
Se for colocado um gerador por engano em D1 ...

DC 0 AC 1 0 Pulse -6 6 100n 1 1 400n 2



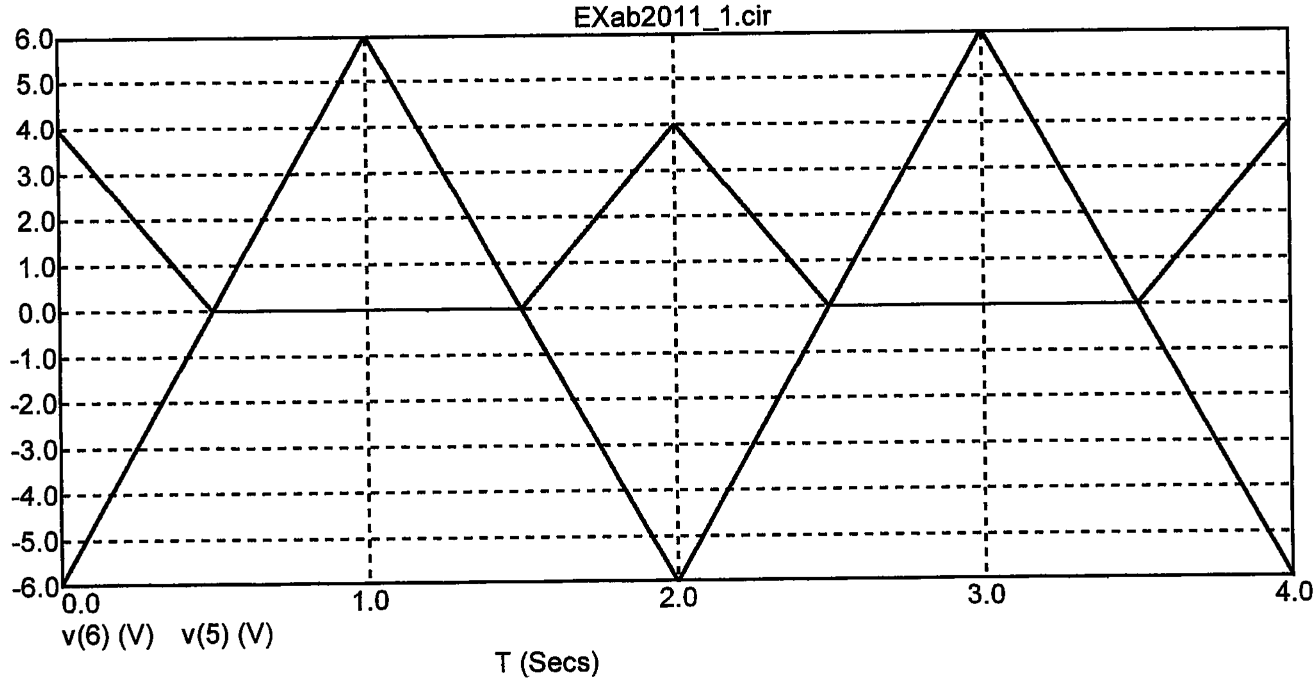


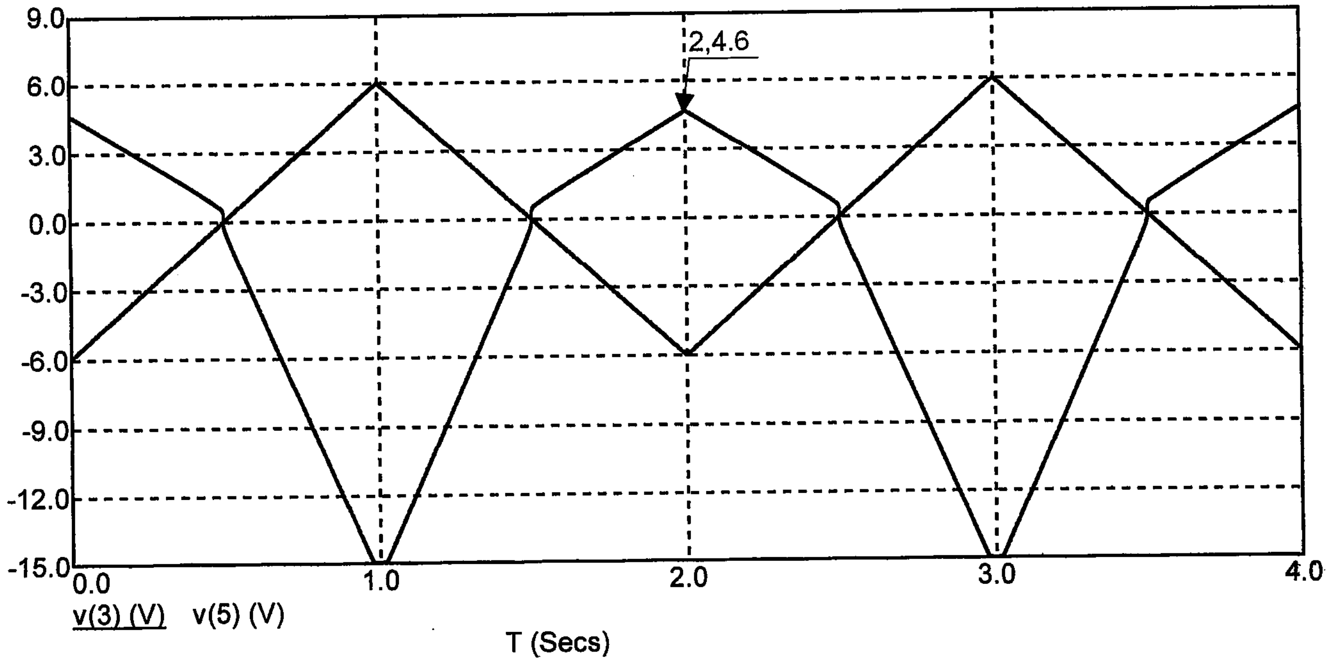
Diodos reais

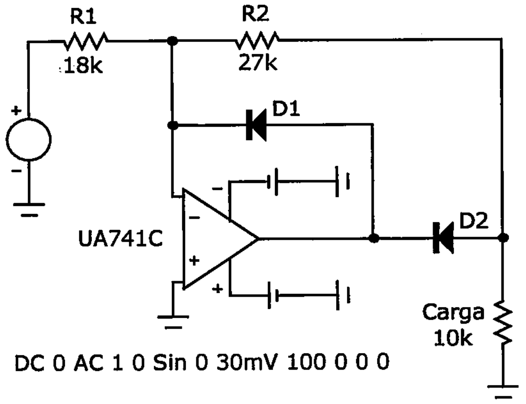


DC 0 AC 1 0 Pulse -6 6 100n 1 1 400n 2

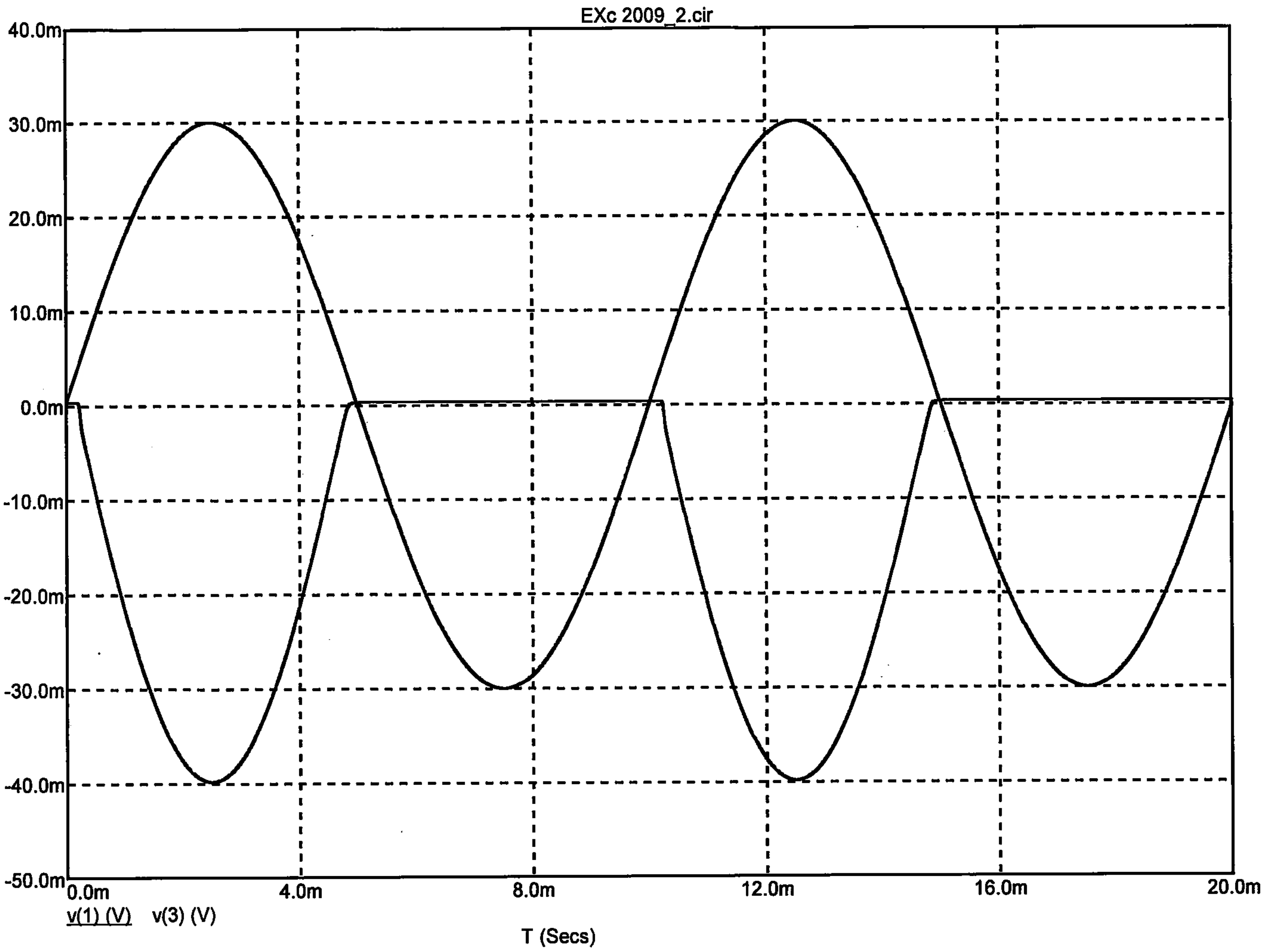
EXab2011_1.cir



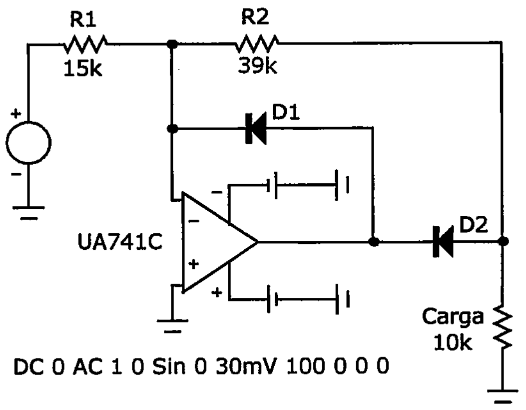


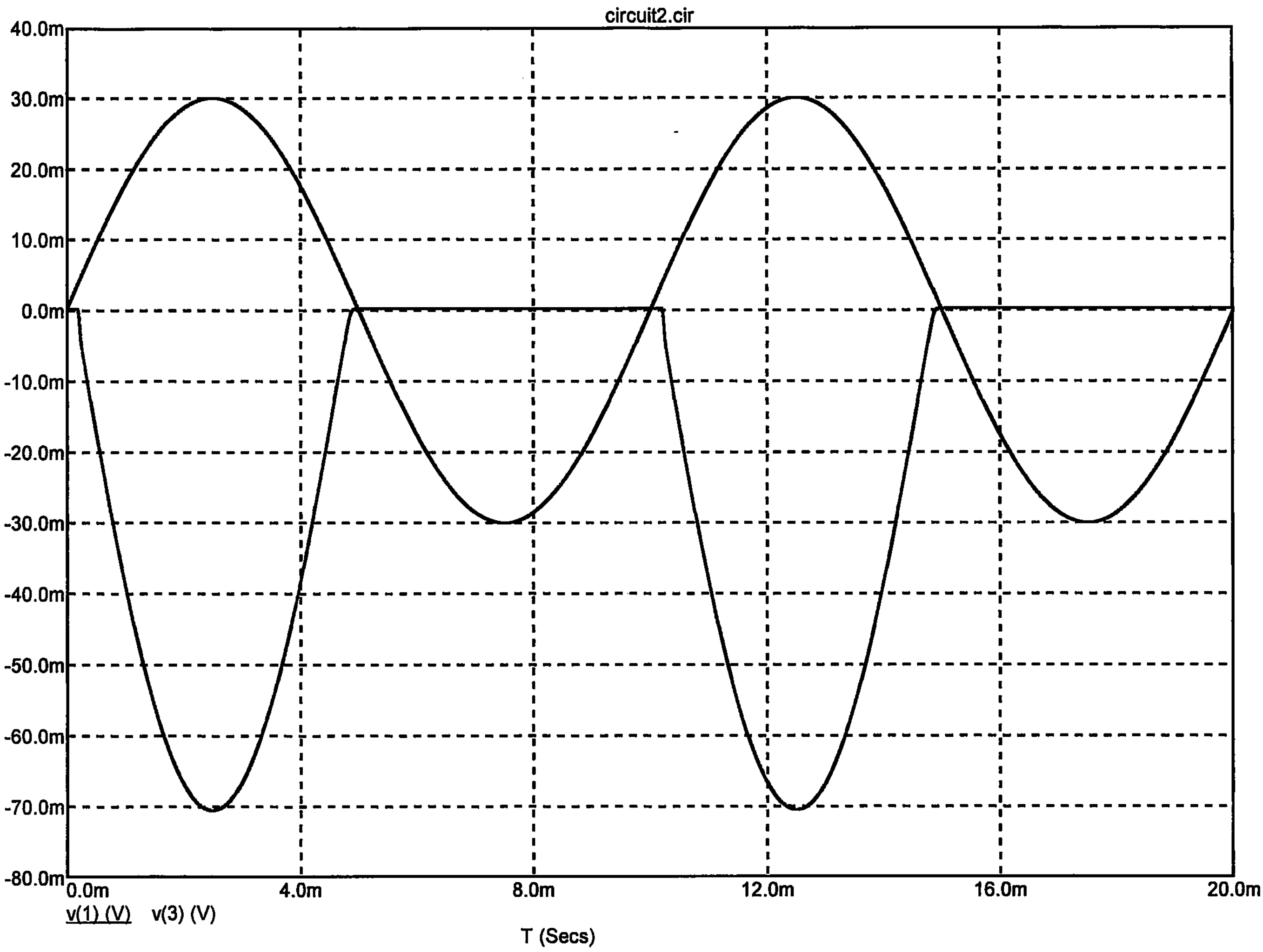


R1
18k
R2
27k
D1
D2
UA741C
Carga
10k
DC 0 AC 1 0 Sin 0 30mV 100 0 0 0



EXc 2009_2.cir
40.0m
30.0m
20.0m
10.0m
0.0m
-10.0m
-20.0m
-30.0m
-40.0m
-50.0m
0.0m
4.0m
8.0m
12.0m
16.0m
20.0m
v(1) (V) v(3) (V)
T (Secs)


R1
15k
R2
39k
D1
D2
UA741C
Carga
10k
DC 0 AC 1 0 Sin 0 30mV 100 0 0 0


circuit2.cir
40.0m
30.0m
20.0m
10.0m
0.0m
-10.0m
-20.0m
-30.0m
-40.0m
-50.0m
-60.0m
-70.0m
-80.0m
0.0m
4.0m
8.0m
12.0m
16.0m
20.0m
v(1) (V) v(3) (V)
T (Secs)

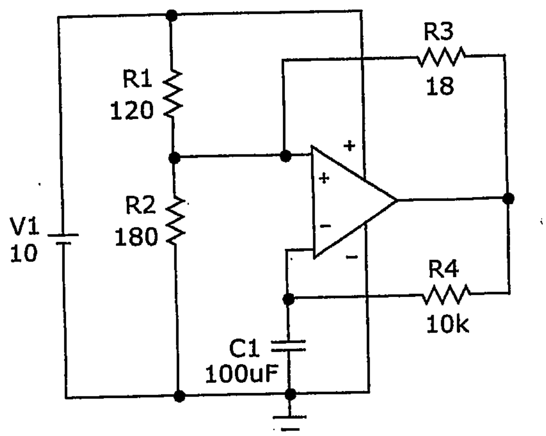
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2010/1

Exame de Recuperação 6/7/2010

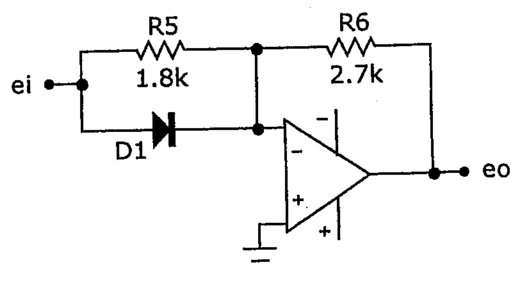
Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5 pontos) Projete um amplificador inversor com ganho ajustável entre 0,6 e 1,8 controlado por um sinal de clock. Descreva sua idéia, o princípio de funcionamento, a maneira de controlar o ganho e o equacionamento completo, devidamente comentado e ilustrado. A impedância de entrada deve ser 100k no mínimo e os capacitores disponíveis são de 1,5nF. Calcule os limites da frequência do clock para este caso.
Componentes ideais. Carga = C·V Corrente = carga / tempo.

2. (3,5 pontos) Examine o circuito a seguir e descreva o seu funcionamento qualitativo, pois isso orienta o passo seguinte de equacionar completamente a tensão sobre o capacitor a partir do momento em que é ligada a alimentação até o circuito estabilizar. Desenhe então o gráfico e coloque os valores calculados dos pontos de interesse. Componentes ideais.



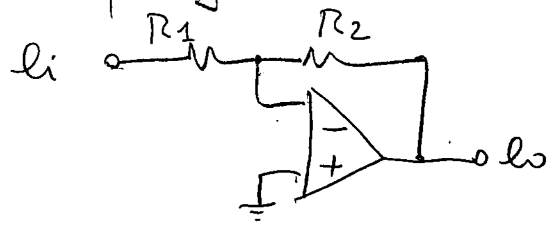
3. (3 pontos) Descreva o circuito a seguir, procurando entender o seu funcionamento qualitativo. Equacione, como sempre em formato literal, com o objetivo de determinar a sua função de transferência. Por último desenhe o gráfico de e_o x e_i com todos os pontos calculados, conforme os valores de circuito. Componentes ideais. Alimentação simétrica de 10 Volts.



Projete um amplificador inversor com ganho ajustável entre 0,6 e 1,8 por um sinal de clock, equacionando amplamente ...
Impedância de entrada $100k\Omega$ e capacitor chaveado de $1,5\mu F$.
Calcule os limites de frequência do clock.
Componentes ideais.

EX 2010/1

Topologia:



A massa virtual permite calcular $Z_{in} = R_1$.

Como $R_1 = cte = 100k$, então R_2 = Cap. chaveado será o ajuste.

Equacionando: $e_+ = e_-$;

$e_+ = 0$

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando e isolando e_o,

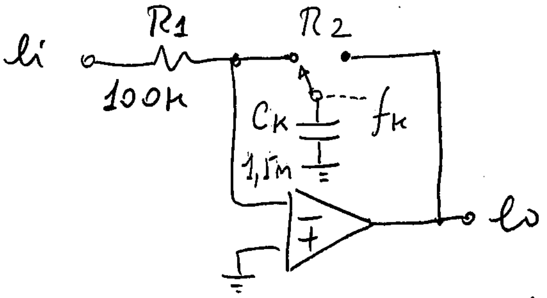
$$e_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot e_i \quad //$$

Limites:

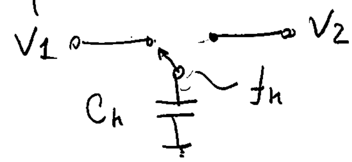
$$\frac{e_o}{e_i} = -0,6 = -\frac{R_{2L}}{100k} \rightarrow R_{2L} = 60k \quad //$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -1,8 = -\frac{R_{2H}}{100k} \rightarrow R_{2H} = 180k \quad //$$

Topologia final:



Capacitor chaveado:



Carga transferida por ciclo:

$$q = C \cdot V = C(V_1 - V_2)$$

Corrente por ciclo:

$$i = \frac{q}{t} = \frac{C_K(V_1-V_2)}{t_K}$$

Resistência equivalente:

$$R = \frac{V}{i} = \frac{V_1 - V_2}{\frac{C_K(V_1-V_2)}{t_K}} = \frac{t_K}{C_K}$$

Como f_K é o inverso do período t_K,

$$R = \frac{1}{C_K \cdot f_K} \quad //$$

Limites:

$$R_{2L} = 60k = \frac{1}{1,5\mu F \cdot f_{KL}}$$

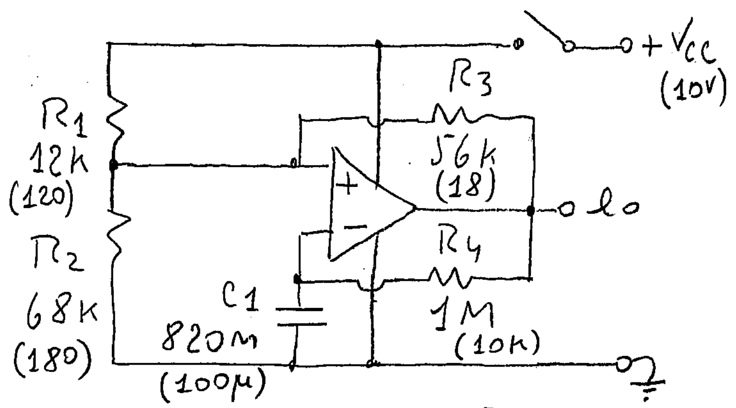
$$f_{KL} = 11.111\ Hz \quad //$$

$$R_{2H} = 180k = \frac{1}{1,5\mu F \cdot f_{KH}}$$

$$f_{KH} = 3.703\ Hz \quad //$$

Parecido com EX 2005/2 e EX 2006/2

Examine o circuito a seguir, descreva o seu funcionamento qualitativo e equacione a tensão no capacitor a partir do momento em que a chave fecha até o momento em que o circuito se estabiliza. Gráfico de $V_{C1}(t)$ --- Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas. Componentes ideais. Vcc = 16 Volts.



EX 2008/1

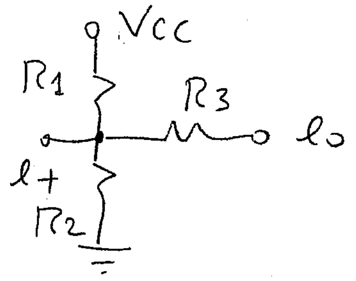
Análise: Gerador de ondas quadradas com alimentação simples. e_+ recebe uma polarização DC com o divisor de tensão R1 e R2.

Ao ligar, V_{C1} vai de zero até V_{HIGH} do comparador então desce até V_{LOW} e a partir daí, oscila entre estes limites.

Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$e_- = V_c$

Aplicando Thévenin em e_+:



$$V_{TH} = V_{CC}\frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} + e_o \frac{R_1 // R_2}{R_3 + R_1 // R_2}$$

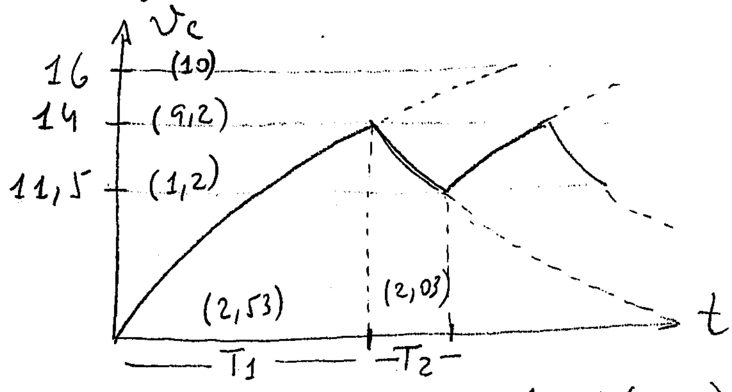
$$V_{TH} = V_{CC}\frac{30,7}{12 + 30,7} + e_o \frac{10,2}{56 + 10,2}$$

$$V_{TH} = 16 \cdot 0,719 + \begin{cases} 16 \\ 0 \end{cases} \cdot 0,154$$

$$V_{TH} = 11,5 + \begin{cases} 2,465 \\ 0 \end{cases} = \begin{cases} 13,97 \\ 11,5 \end{cases}$$

Como $V_c = V_{TH}$, estes são os limites de tensão no capacitor.

Gráfico:



Como $t = -R \cdot C \ln\left(\frac{V_\infty - V_{FIM}}{V_\infty - V_{INIC}}\right)$:

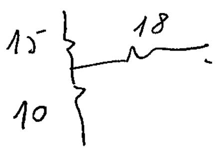
$$T_1 = -R_4 \cdot C_1 \ln\left(\frac{16 - 14}{16 - 0}\right)$$

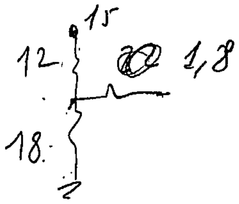
$T_1 = 1,7\ s$ //

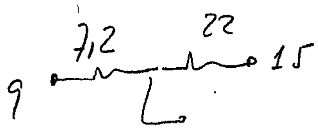
$$T_2 = -R_4 \cdot C_1 \ln\left(\frac{0 - 11,5}{0 - 14}\right)$$

$T_2 = 0,161\ s$ //

$V_{TH} = 16 \dfrac{8{,}8}{18+8{,}8} + \cancel{16}\,0 \dfrac{7{,}2}{33+8{,}8}$





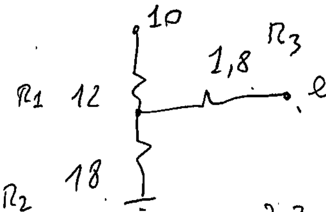


$V \cdot \dfrac{7{,}2}{7{,}2+X} = e_+$

$X = 1{,}8 - 0{,}8$

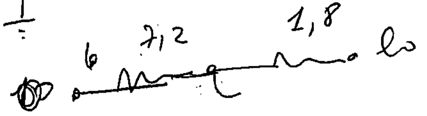
$X = 6{,}8$ ✗

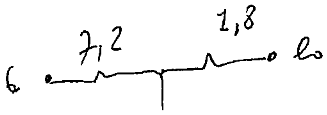
$x = 3{,}3$ ✗ $e_* = 0{,}8$



Δ este

$e_0 \dfrac{7{,}2}{7{,}2+1{,}8} + 10$





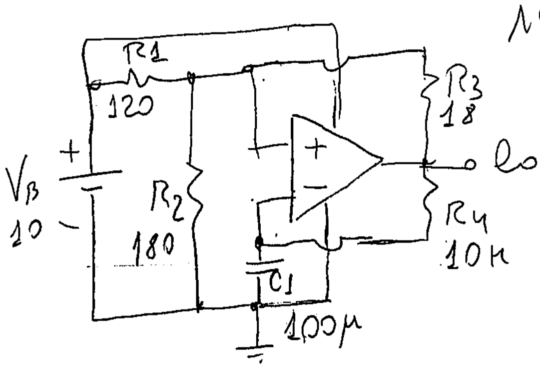
$= \dfrac{6 \cdot 1{,}8}{7{,}2+1{,}8} + \cancel{10}\,0 \dfrac{7{,}2}{7{,}2+1{,}8}$

$1{,}2 + 8 <^{9{,}2}_{1{,}2}$

$\ln \dfrac{10-9{,}2}{10-0} = 2{,}53\ldots$

$\ln \dfrac{0-1{,}2}{0-9{,}2} = 2{,}03$ s

OK, ideais



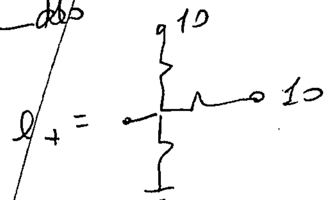
10 ———

$\dfrac{17{,}821}{13{,}782} + 10 \dfrac{7{,}2}{7{,}2+1{,}8}$

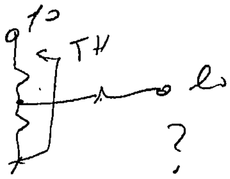
$1{,}893 + 8 = ?$

10 ———

Não fica igual fazendo



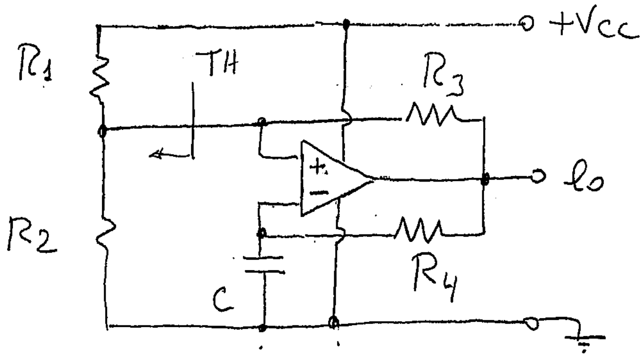
diferente de:



óbvio: use R1//R2 e R2//R3

(Fundamentl 2005-1 Exbsimu.cir)

Examine o circuito, descreva o seu funcionamento e equacione período e frequência do sinal de saída e_o. Descreva cada passo da solução.



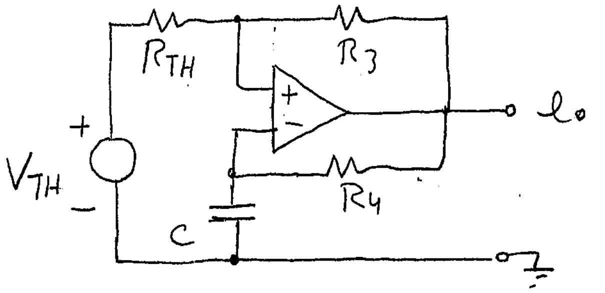
Dados: $R_1 = R_2 = R_3$
$R_4 = 10K$
$C = 22\,nF$

Ponto de virada do comparador ocorre quando $e_+ = e_-$

Aplicando Thévenin na entrada:

$$V_{TH} = V_{cc}\frac{R_2}{R_1+R_2} = V_{cc}/2$$

$$R_{TH} = R_1 // R_2 = R_1/2$$



$$e_+ = V_{TH}\cdot\frac{R_3}{R_{TH}+R_3} + e_o\frac{R_{TH}}{R_{TH}+R_3}$$

$$e_+ = \frac{V_{cc}}{2}\,\frac{R_1}{\frac{R_1}{2}+R_1} + e_o\frac{R_1/2}{R_1/2+R_1}$$

$$e_+ = \frac{V_{cc}}{3} + \frac{e_o}{3}$$

como $e_o <^{+V_{cc}}_{zero}$ vem:

$$e_+(\text{HIGH}) = \frac{V_{cc}}{3} + \frac{V_{cc}}{3} = \frac{2}{3}V_{cc}$$

$$e_+(\text{LOW}) = \frac{V_{cc}}{3} + \frac{0}{3} = \frac{1}{3}V_{cc}$$

Tempo para o capacitor excursionar de $1/3\,V_{cc}$ até $2/3\,V_{cc}$:

$$T_1 = -R_4\cdot C\cdot \ln\left(\frac{V_\infty - V_{fim}}{V_\infty - V_{inic}}\right)$$

$$T_1 = -R_4\cdot C\cdot \ln\left(\frac{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}}{V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}}\right)$$

ln 0,5

$$T_1 = 0{,}693\cdot R_4\cdot C$$

Pela simetria, $T_2 = T_1$

Então: $T = T_1 + T_2$

$$T = 1{,}38\cdot R_4\cdot C$$

como:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{0{,}721}{R_4\cdot C}$$

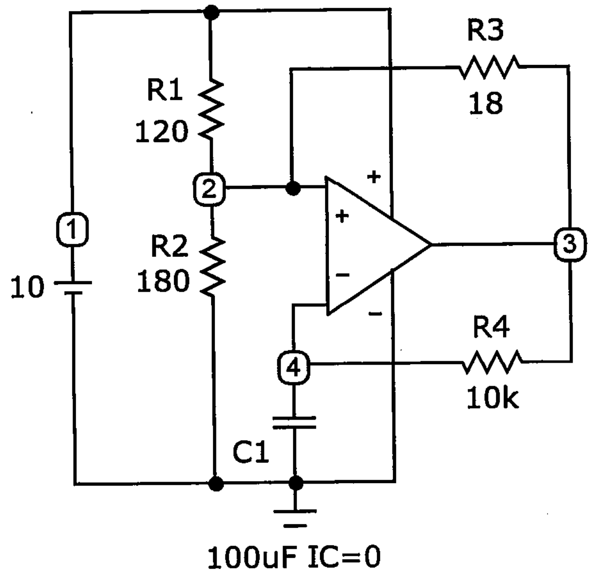
Aplicando os valores:

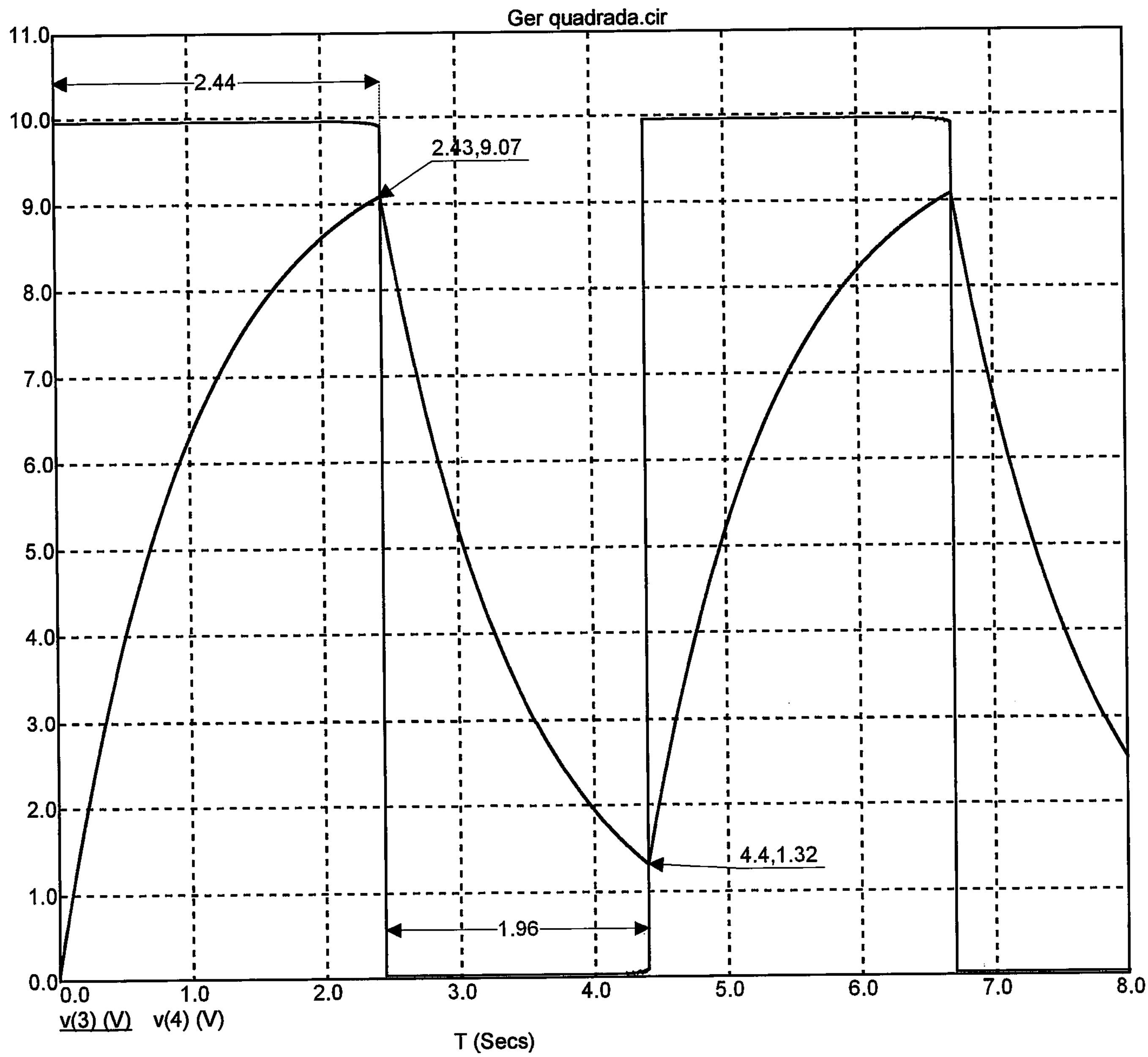
$$T = 1{,}38\cdot 10\cdot 10^3\cdot 22\cdot 10^{-9}$$

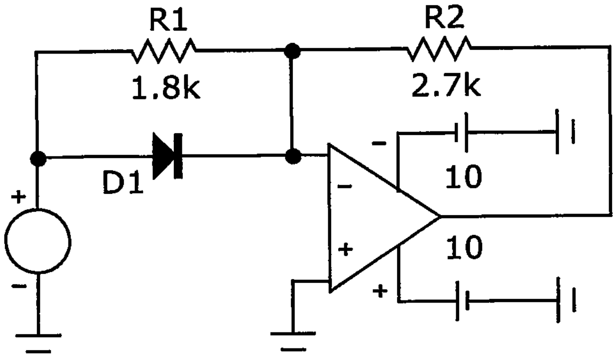
$$T = 304\,\mu s$$

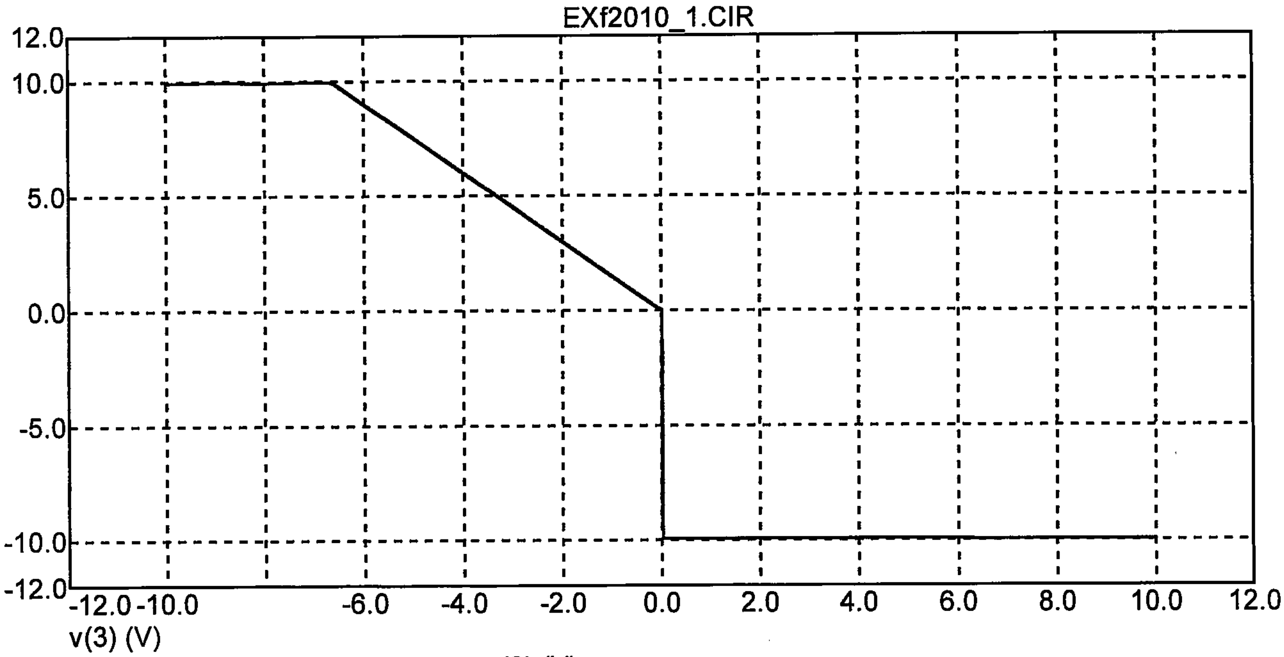
$$f = 3293\ Hz$$

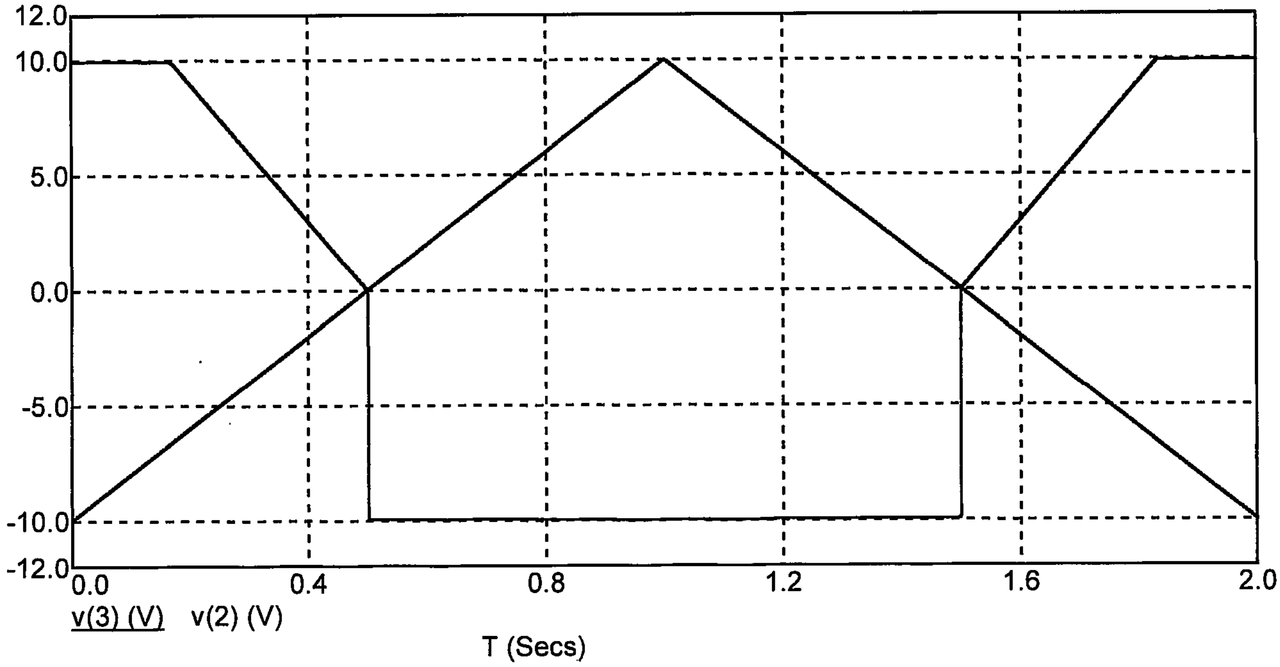
Delet / Fund / 2010-1






R1
1.8k
R2
2.7k
D1
10
10


EXf2010_1.CIR
v(3) (V)
v(2) (V)


v(3) (V)
v(2) (V)
T (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2010/2**

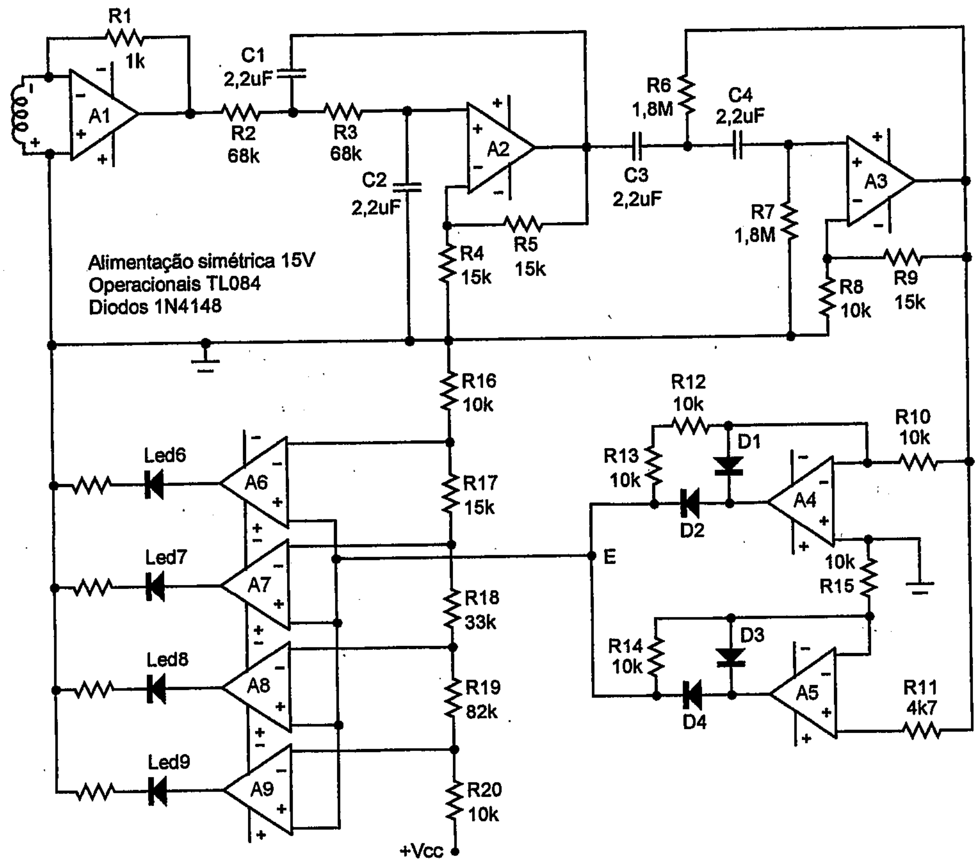
Exame de Recuperação **17/12/2010**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

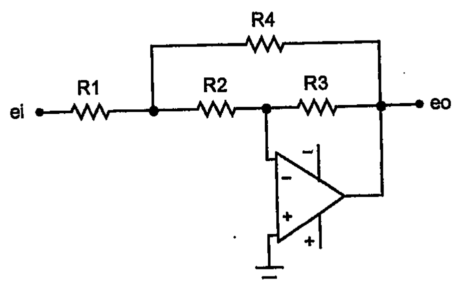
1. (7 pontos) O circuito a seguir é um detetor de vibrações. O íman dentro da bobina, suportado por molas, pode se deslocar livremente, convertendo energia mecânica em elétrica.
   a) Separe o circuito em blocos funcionais, identifique cada um e procure entender o funcionamento qualitativo de todo o conjunto pois isso é essencial para direcionar os trabalhos. Defina agora o caminho para a solução para não se perder nos cálculos e descreva toda esta etapa de maneira completa e coerente.

   Após entender perfeitamente, calcule os valores a seguir, descrevendo todos os passos com textos, diagramas e equações pois isso vai ser avaliado sempre. Lembre-se que o aluno está demonstrando seus conhecimentos.

   b) Faixa de operação, em Hz.
   c) Ganho de cada bloco e ganho global até o nó E, especificando a unidade de medida e as condições de operação.
   d) Valor da entrada que aciona cada Led. Use uma tabela para facilitar.

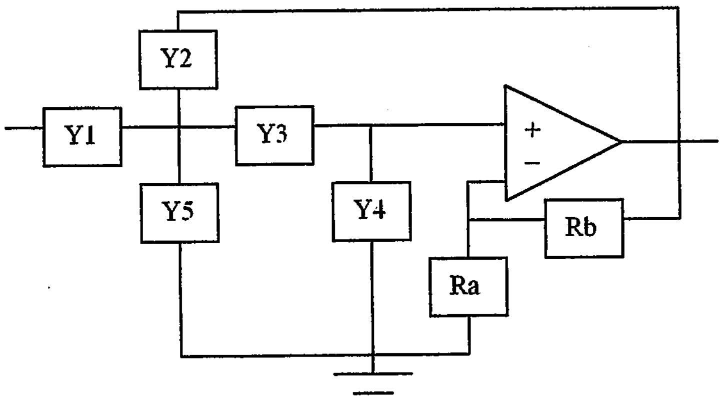


2. (3 pontos) Equacione em formato literal o circuito ao lado, com o objetivo de determinar a função de transferência e a impedância de entrada, documentando cada passo com textos, equações e diagramas. Calcule depois os dois ítens acima com todos os resistores valendo 33k. Como sempre, procure planejar a solução antes de mergulhar nos cálculos e perder o rumo.



$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PB} = \frac{\dfrac{K}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}}{s^2 + s\left[\dfrac{1}{R_1 \cdot C_2} + \dfrac{1}{R_3 \cdot C_2} + \dfrac{1-K}{R_3 \cdot C_4}\right] + \dfrac{1}{R_1 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot C_4}} = \frac{H_0 \cdot \omega_0^{\,2}}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^{\,2}}$$

$$\left.\frac{V_2(s)}{V_1(s)}\right|_{PA} = \frac{K \cdot s^2}{s^2 + s\left[\dfrac{1}{R_4 \cdot C_1} + \dfrac{1}{R_4 \cdot C_3} + \dfrac{1-K}{R_2 \cdot C_1}\right] + \dfrac{1}{R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \cdot C_3}} = \frac{H_0 \cdot s^2}{s^2 + \dfrac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^{\,2}}$$

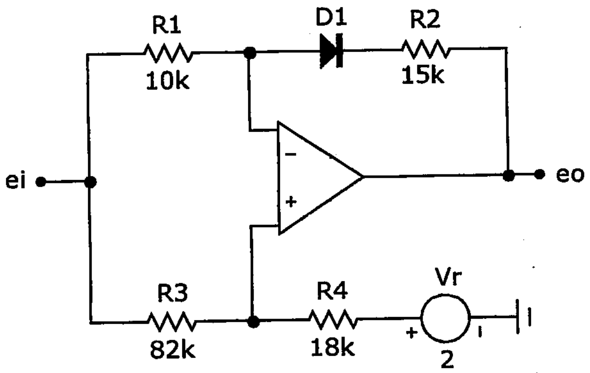


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2011/1

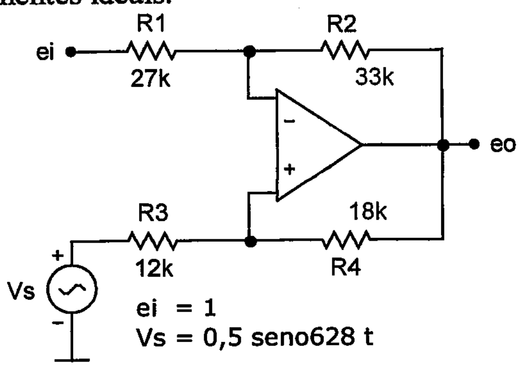
Exame de Recuperação 5/7/2011

Nome: ______________________________ **Turma:** ______

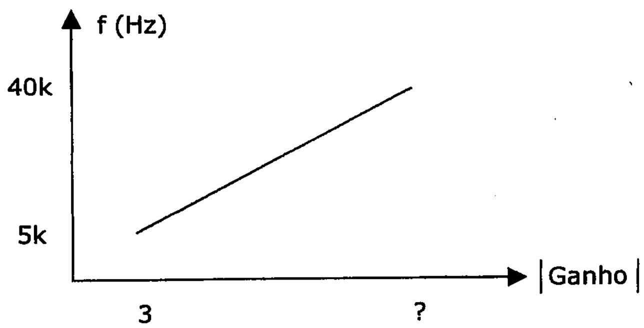
1. (4) Examine o circuito a seguir e descreva o seu funcionamento. Calcule a sua função de transferência e_O x e_i, desenhando também o gráfico com todos os valores de interesse. Documente cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso é sempre avaliado.
Alimentação simétrica de 15 Volts; Componentes ideais.

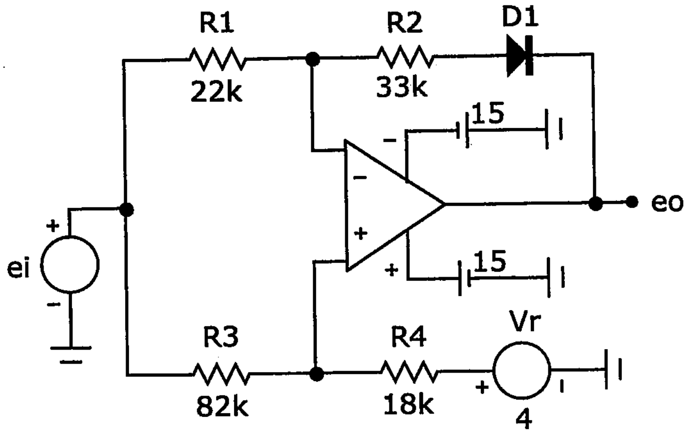


2. (3) Equacione a função de transferência do circuito a seguir em forma literal e depois coloque os valores numéricos, explicando todas as etapas com textos, equações e diagramas.
O circuito é linear? Desenhe o gráfico da resposta temporal de $e_O(t)$ com todos os valores de tensão e tempo. Componentes ideais.

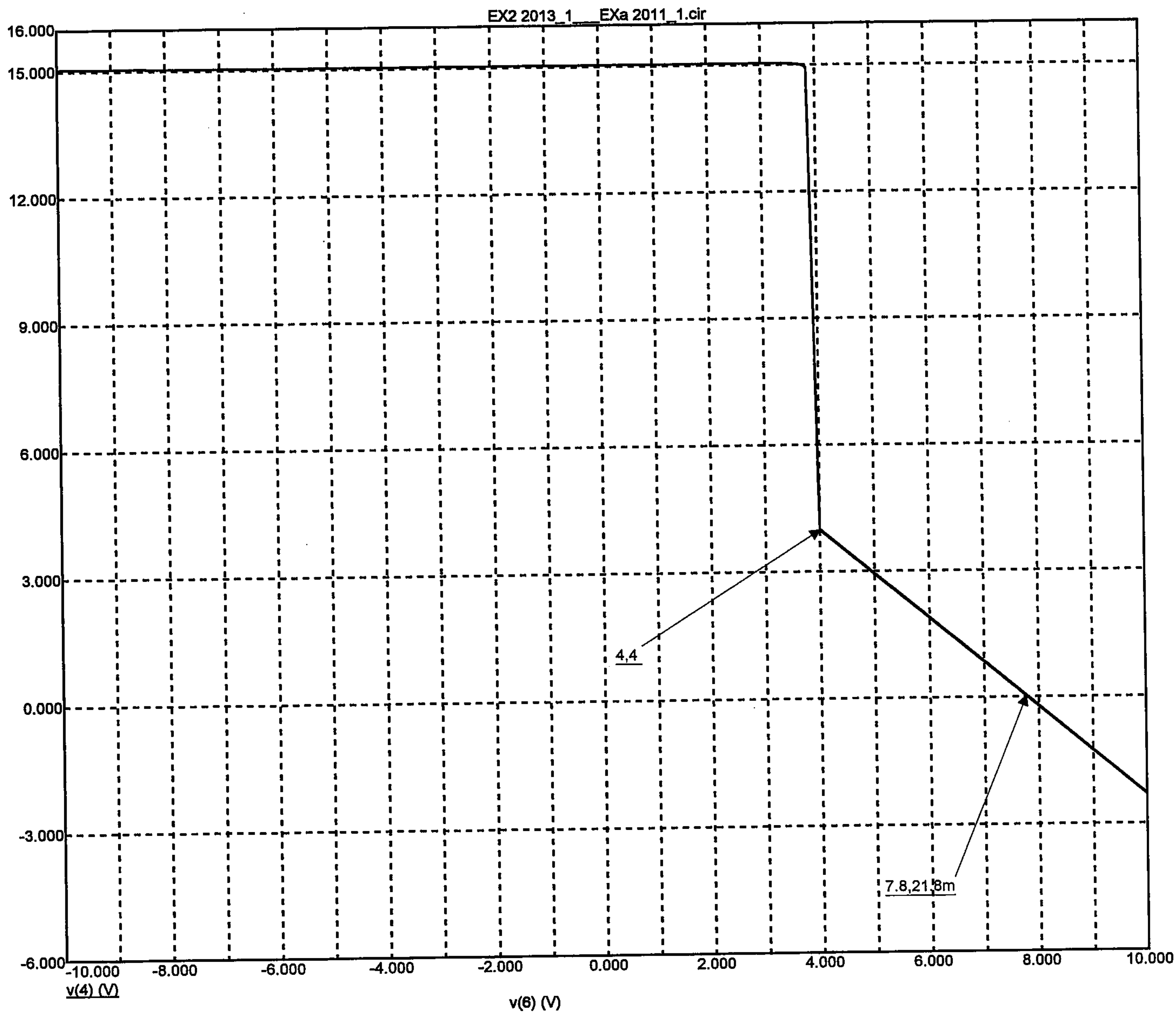


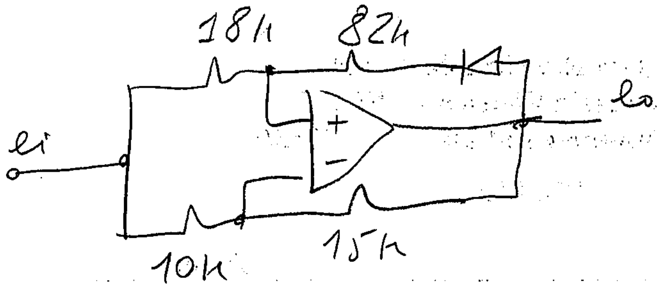
3. (3) Projete um amplificador inversor baseado na tecnologia dos capacitores chaveados, com ganho controlado por um sinal de clock, obedecendo a curva de controle a seguir. Equacione o circuito com resistores comuns, deduza a equação do capacitor chaveado e faça as adaptações necessárias. Calcule o ganho máximo. Descreva em detalhes todas as etapas. Comente os resultados obtidos. ~~O resistor ligado à saída~~ deve ser de 270k. Arredonde os valores.
UM DOS RESISTORES

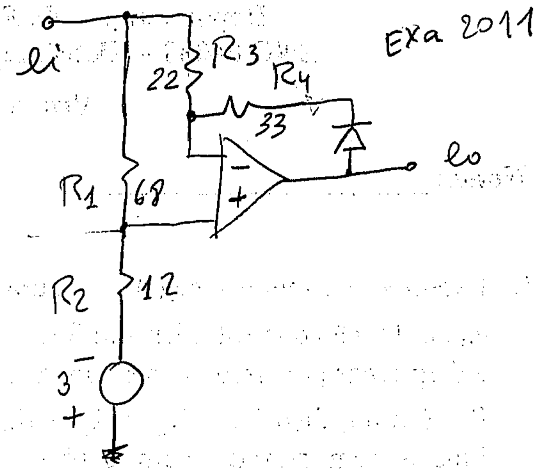




DC 0 AC 1 0 Pulse -10 10 100n 1 1 400n 2







simulare

Exa 2011/1

<u>Don</u> → lo pozitiv

$$e_+ = \frac{li\ 82}{18+82} + \frac{lo\ 18}{18+82}$$

$$e_+ = 0{,}82\ li + 0{,}18\ lo$$

$$e_- = \frac{li \cdot 15}{10+15} + \frac{lo\ 10}{10+15}$$

$$e_- = 0{,}6\ li + 0{,}4\ lo$$

$$0{,}82\ li + 0{,}18\ lo = 0{,}6\ li + 0{,}4\ lo$$

$$lo\,(0{,}4 - 0{,}18) = li\,(0{,}82 - 0{,}6)$$

$$lo = li\,\frac{0{,}22}{0{,}22} \rightarrow lo = li$$

<u>Doff</u> → lo negat.

$$e_+ = li$$

$$e_- = 0{,}6\ li - 0{,}4\ lo$$

$$0{,}6\ li - 0{,}4\ lo = li$$

$$0{,}4\ lo = li\,(0{,}6 - 1)$$

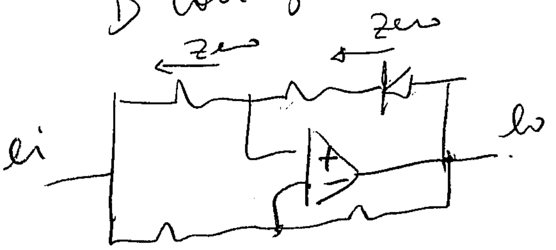
$$lo = li\,\frac{-0{,}4}{0{,}4} \rightarrow lo = -li$$

$$\frac{22}{22+33} = \frac{22}{55} = 0{,}4$$

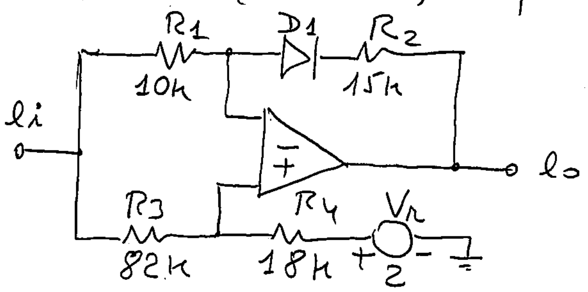
$$\frac{33}{22+33} = 0{,}6$$

punct de comutare;

D conducând curent zero;



Examine o circuito, descreva o seu funcionamento e calcule a sua função de transferência eo x ei, desenhando também o gráfico com todos os valores de interesse. Alimentação ±15V, comp. ideais.



Realimentação negativa apenas: circuito é linear e inversor. Se D1 não conduzir não existe mais realimentação e fica um comparador simples.

Hipótese: D1 conduzindo:

$$e_- = e_i \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = (e_i - V_r)\frac{R_4}{R_3+R_4} + V_r$$

Igualando e isolando eo:

$$e_o = \frac{R_1+R_2}{R_1}\left[(e_i - V_r)\frac{R_4}{R_3+R_4} + V_r - e_i\frac{R_2}{R_1+R_2}\right] \quad //$$

colocando os valores:

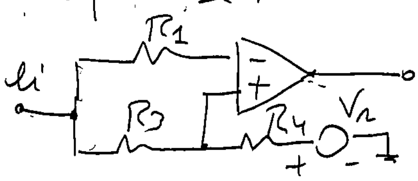
$$e_o = \frac{10+15}{10}\left[(e_i-2)\frac{18}{18+82} + 2 - e_i\frac{15}{10+15}\right]$$

$$e_o = 2{,}5\left[(e_i-2)\cdot 0{,}18 + 2 - 0{,}6\,e_i\right]$$

$$e_o = 2{,}5\left[0{,}18\,e_i - 0{,}36 + 2 - 0{,}6\,e_i\right]$$

$$e_o = -1{,}05 \cdot e_i + 4{,}1 \quad // \quad (1)$$

Hipótese: D1 cortado:



Comparador simples Virada em e+ = e-

$$e_- = e_i$$

$$e_+ = (e_i - V_r)\frac{R_4}{R_3+R_4} + V_r$$

Igualando e isolando ei:

$$e_i\left(1 - \frac{R_4}{R_3+R_4}\right) = -V_r\frac{R_4}{R_3+R_4} + V_r$$

$$e_i\left(\frac{R_3+\cancel{R_4}-\cancel{R_4}}{R_3+R_4}\right) = -\frac{V_r \cdot R_4}{R_3+R_4} + V_r$$

$$e_i = \frac{R_3+R_4}{R_3}\left[\frac{-V_r \cdot R_4}{R_3+R_4} + V_r\right] \quad //$$

colocando os valores:

$$e_i = \frac{82+18}{82}\left[\frac{-2 \cdot 18}{82+18} + 2\right]$$

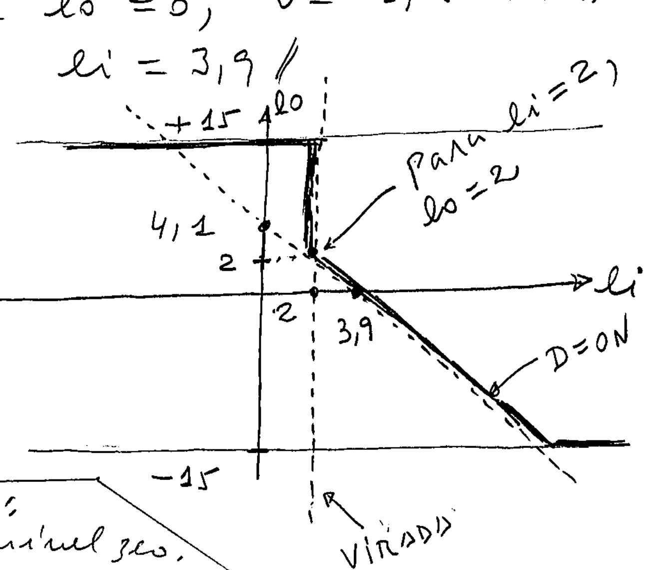
$e_i = 2$ // Ponto de virada

Montando o gráfico:
Pontos da reta eo x ei com o diodo conduzindo, usando (1)

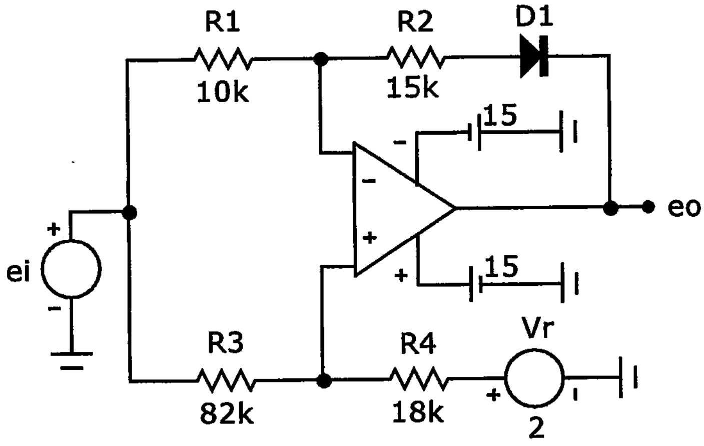
para $e_i = 0$, $e_o = 4{,}1$ //

para $e_o = 0$, $0 = -1{,}05\,e_i + 4{,}1$

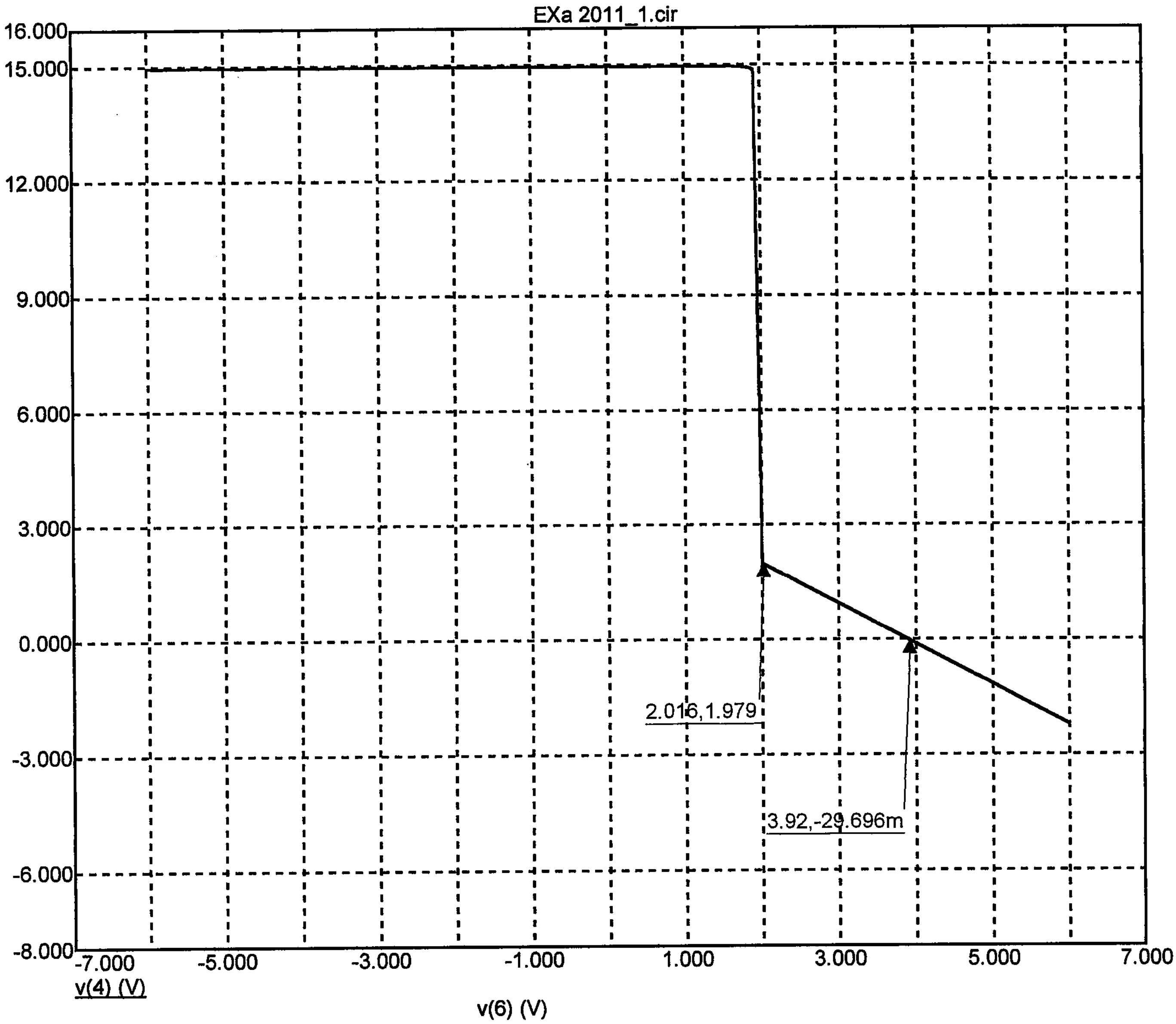
$e_i = 3{,}9$ //



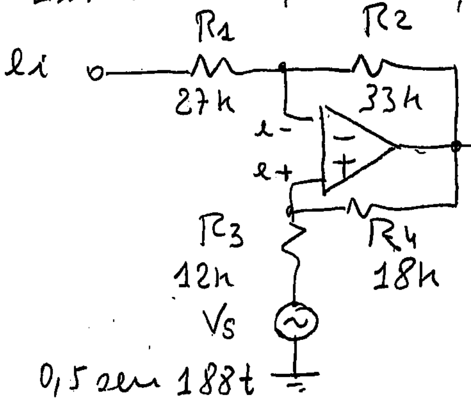
Solução mais simples:
$V_r = 0 \rightarrow$ comparador com nível zero.
Soma V_r ao gráfico, deslocando a curva para a direita (para V_r positivo)



DC 0 AC 1 0 Pulse -6 6 100n 1 1 400n 2



Equacione a saída em função das entradas. Literal e depois coloque os valores. Verifique se o circuito é linear.



Desenhe a curva eo x t com todos os valores, de tensão e de tempo.

Fazendo $e_+ = e_-$ obtemos:
circuito linear → função de transferência e_o/e_i.
circuito não-linear → ponto de virada $e_o \to +V_{cc}$ / $-V_{cc}$

Por superposição:

$$e_- = \frac{e_i \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{e_o \cdot R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = \frac{e_o \cdot R_3}{R_3+R_4} + \frac{V_s \cdot R_4}{R_3+R_4}$$

Igualando e isolando e_o:

$$e_o\left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_3}{R_3+R_4}\right) = \frac{V_s \cdot R_4}{R_3+R_4} - \frac{e_i \cdot R_2}{R_1+R_2}$$

$$e_o\left(\frac{R_1(R_3+R_4) - R_3(R_1+R_2)}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)}\right) = ---$$

$$e_o = \frac{\cancel{R_1 \cdot R_3} + R_1 \cdot R_4 - \cancel{R_1 \cdot R_3} - R_2 \cdot R_3}{(--)\cdot(---)}$$

$$e_o = \frac{R_4(R_1+R_2)\cdot V_s}{R_1 R_4 - R_2 \cdot R_3} - \frac{R_2(R_3+R_4)\cdot e_i}{R_1 R_4 - R_2 \cdot R_3}$$

$$e_o = \frac{R_4(R_1+R_2)\cdot V_s - R_2(R_3+R_4)\, e_i}{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3} \quad //$$

Colocando os valores do circuito:

$$e_o = \frac{18\cdot(27+33)\cdot V_s}{27\cdot 18 - 33\cdot 12} - \frac{33\,(12+18)\cdot e_i}{27\cdot 18 - 33\cdot 12}$$

$$e_o = 12\, V_s - 11\, e_i$$

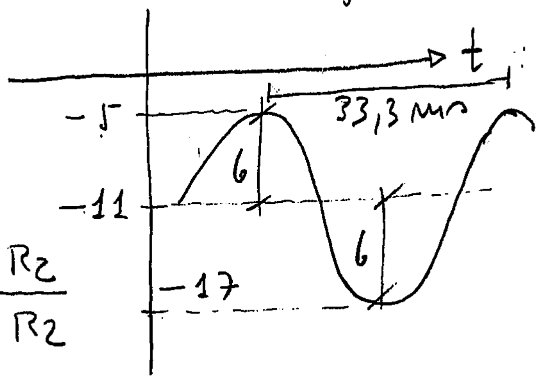
$$e_o = 6 \,\text{sen}\, 188t - 11\, e_i \quad //$$

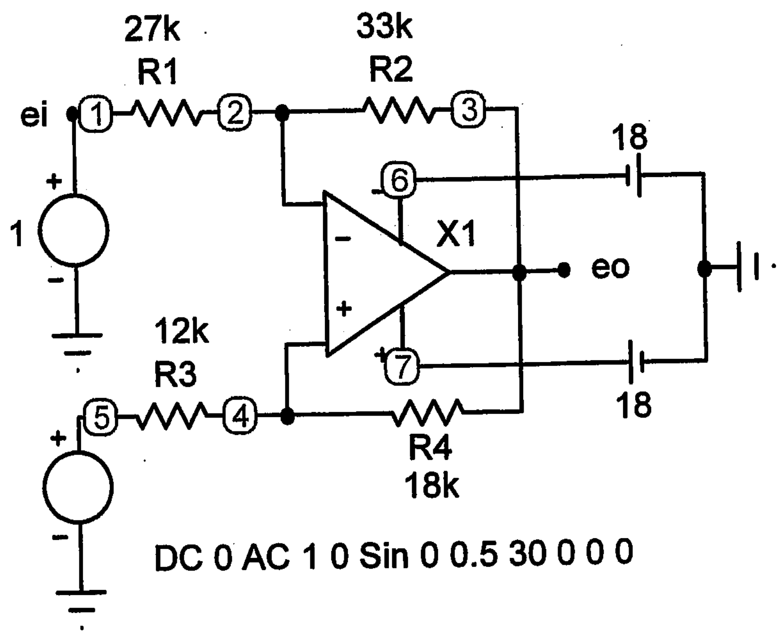
Note que o circuito é linear pois a realim. negativa é maior que a positiva:

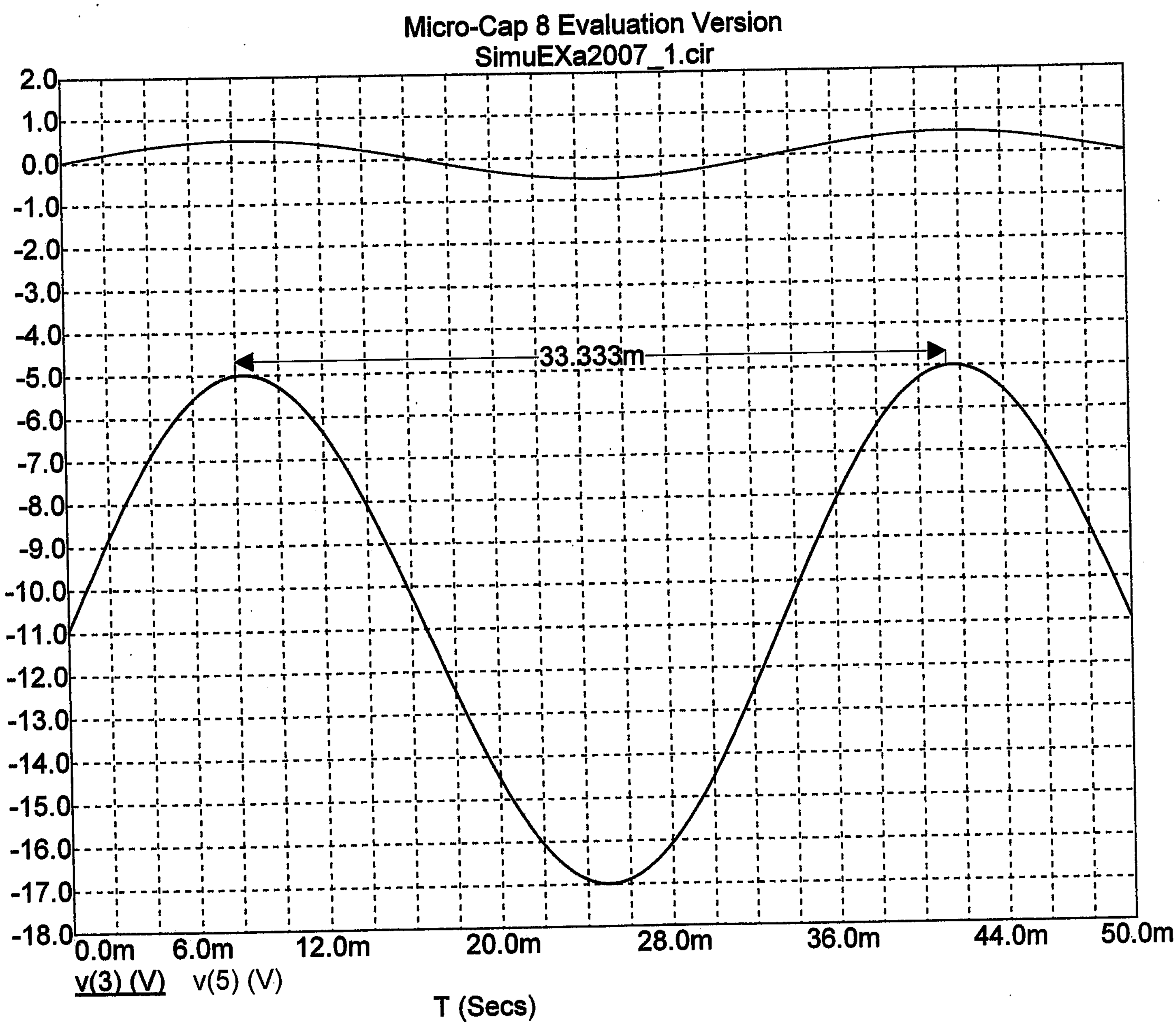
$$\frac{e_o R_1}{R_1+R_2} > \frac{e_o R_3}{R_3+R_4}$$

$$0{,}45 > 0{,}40$$

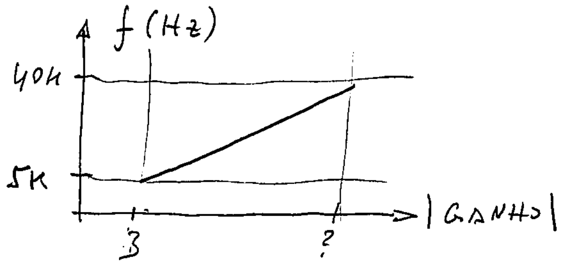
como $\omega = 188 = 2\pi f \to f = 30\,Hz$
e o período vale $T = \frac{1}{f} = 33{,}3\,ms$




27k
R1
33k
R2
ei
1
2
3
18
6
X1
eo
12k
R3
5
4
7
18
R4
18k
DC 0 AC 1 0 Sin 0 0.5 30 0 0 0

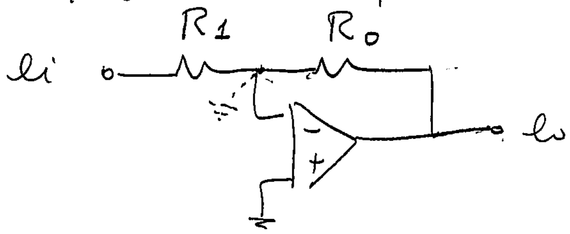

Micro-Cap 8 Evaluation Version
SimuEXa2007_1.cir
33.333m
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
-5.0
-6.0
-7.0
-8.0
-9.0
-10.0
-11.0
-12.0
-13.0
-14.0
-15.0
-16.0
-17.0
-18.0
0.0m
6.0m
12.0m
20.0m
28.0m
36.0m
44.0m
50.0m
v(3) (V) v(5) (V)
T (Secs)

Amplificador inversor com capacitor chaveado. Resistor ligado à saída deve ser 270K. Arredonde.



Ex 2011-1

caminho para a solução: projetar um amplificador inversor convencional e depois adaptar para a topologia com cap. chaveado.



Equacionando $e_+ = e_-$ e lembrando de massa virtual:

$$e_- = e_i \frac{R_o}{R_1+R_o} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_o}$$

$e_+ = 0$ Igualando:

$$\frac{e_i \cdot R_o}{\cancel{R_1+R_o}} + \frac{e_o \cdot R_1}{\cancel{R_1+R_o}} = 0$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_o}{R_1}$$

como $R_o = 270k$:

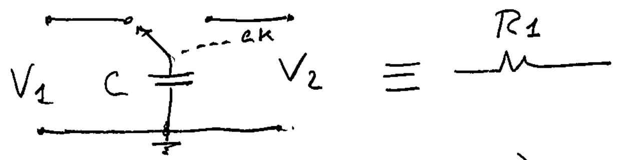
$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{270k}{R_1}$$

consultando o gráfico:

com ganho $\left|\frac{e_o}{e_i}\right| = 3$ temos:

$$|3| = \left|-\frac{270k}{R_{1LOW}}\right| \rightarrow R_{1LOW} = 90K\Omega \;//$$

Para ajustar o ganho por um sinal de clock de frequência variável, transformamos R_1 em um capacitor chaveado. Equacionamento:



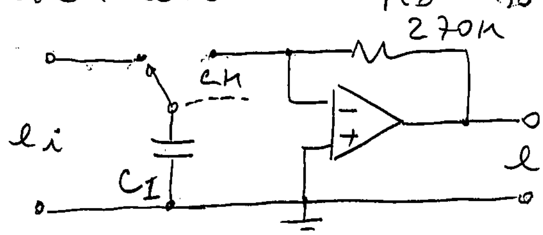
$$\Delta q = C \cdot \Delta V = C(V_1 - V_2)$$

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C(V_1-V_2)}{T_{ck}}$$

$$R = \frac{V}{i} = \frac{V_1-V_2}{\frac{C(V_1-V_2)}{T_{ck}}} = \frac{T_{ck}}{C} = \frac{1}{C \cdot f_{ck}}$$

Para que o ganho aumente com a freq. a topologia só pode ser:

Fica então:



consultando o gráfico:

Para $R_{1LOW} = 90k$, $f_{ck} = 5kHz$:

$$90 \cdot 10^3 = \frac{1}{C_1 \cdot 5 \cdot 10^3} \rightarrow C_1 = 2{,}22nF$$

Para $f_{ck} = 40kHz$ temos R_{1HIGH}:

$$R_{1HIGH} = \frac{1}{2{,}2 \cdot 10^{-9} \cdot 40 \cdot 10^3} = 11{,}36k$$

E o ganho máximo será:

$$\left|\frac{e_o}{e_i}\right|_{High} = -\frac{R_o}{R_1} = -\frac{270k}{11{,}36k}$$

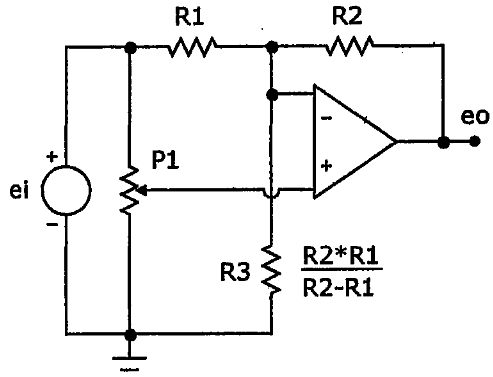
$$\frac{e_o}{e_i} = -23{,}76 \;//$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2011/2

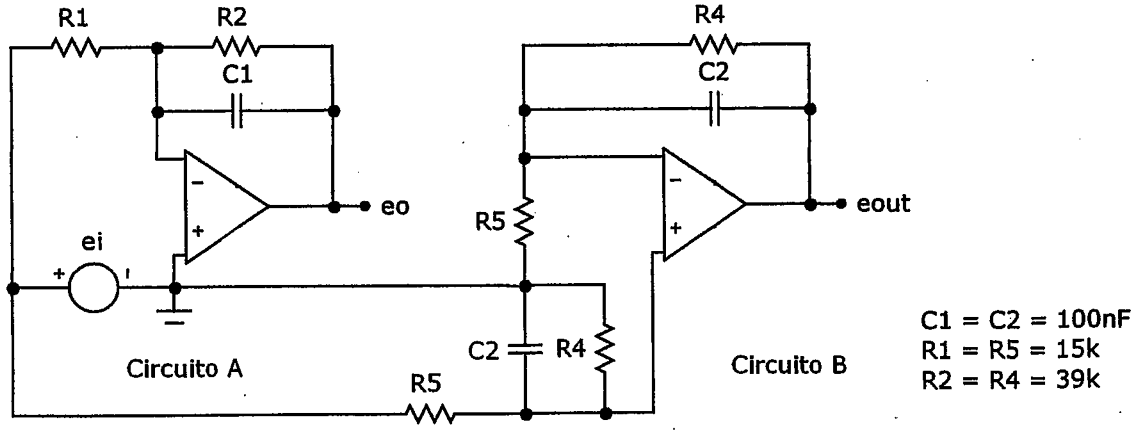
Recuperação 20/12/2011

Nome: GABARITO **Turma:** ______

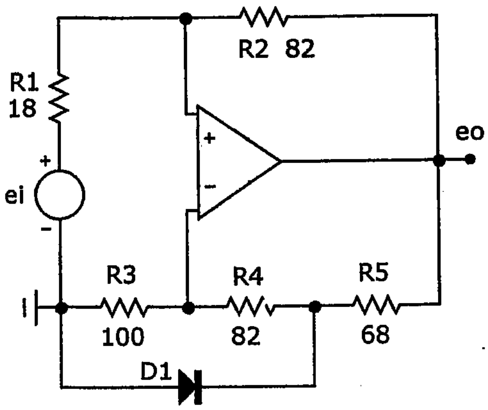
1) (3 pontos) Equacione o circuito ao lado em formato literal e determine os limites do ganho e da impedância de entrada, documentando toda a questão com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre. Dimensione os componentes para obter um ganho máximo de 1,5 e 40k pelo menos de impedância de entrada. Potenciômetros disponíveis, 47k, 100k e 200k. Componentes ideais.



2) (3 pontos) Examine os dois circuitos a seguir e:
a) Descreva as suas funções com o que for possível deduzir olhando as topologias
b) Equacione em formato literal a função de transferência no domínio frequência do Circuito A e a seguir o seu ganho em corrente contínua. Comente os resultados
c) Aplique os valores numéricos nas duas equações deduzidas
d) Repita todos os passos acima no Circuito B
e) Compare os resultados e faça os comentários finais.
Documente todos os passos com textos, equações e diagramas.

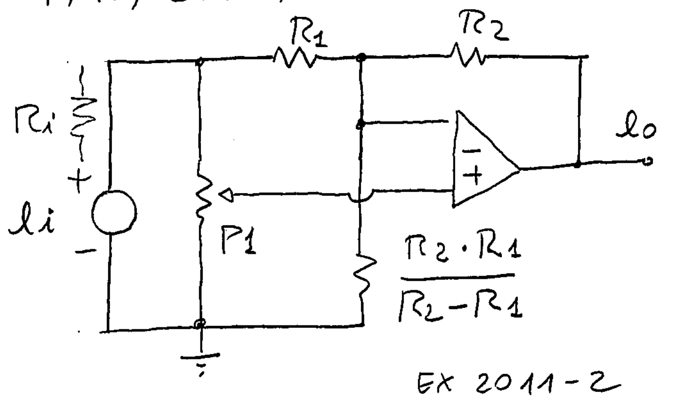


3) ~~1)~~ (4 pontos) Equacione o circuito ao lado com o objetivo de obter a sua função de transferência e_O x e_I e coloque os valores numéricos nos pontos de interesse do gráfico. Equacione em formato literal e coloque os valores numéricos logo após cada etapa. Componentes ideais. Alimentação simétrica de 15 Volts.
Documente cada etapa do seu trabalho.



Novo ganho com $R_i = 200k$...

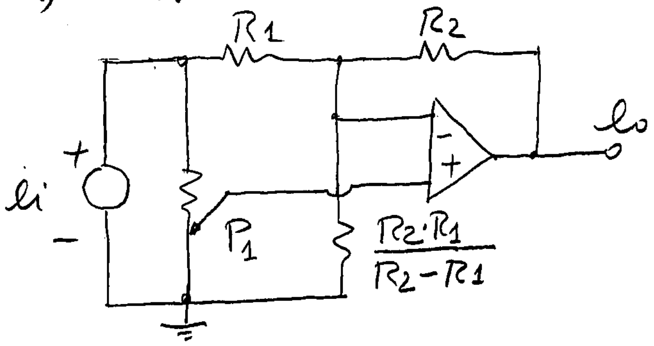
Equacione o circuito em formato literal e determine os limites do ganho e da impedância de entrada. Dimensione os componentes para obter ganho máximo de 1,5, obedecendo uma impedância de entrada mínima de 40k.
Potenciômetros disponíveis: 47k, 100k, 220k.



EX 2011-2

Real. negativa apenas; circuito é linear.

a) Cursor na terra:



$e_+ = 0$

Como $e_+ = e_-$, não há corrente no resistor $\frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1}$.

Por superposição:

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

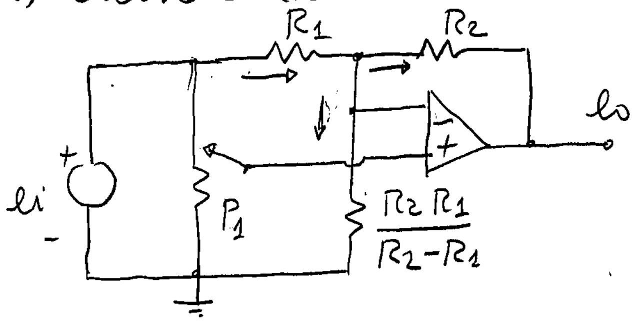
Igualando $e_+ = e_-$:

$$\frac{e_o R_1}{R_1+R_2} = \frac{-e_i R_2}{R_1+R_2} \rightarrow \frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$ //

Impedância de entrada:
e_i encontra 2 caminhos para a massa: P e R1 logo

$Z_{in} = P_1 // R_1$ //

b) Cursor em e_i:



$e_+ = e_i$

KCL em e_-:

$$-\frac{e_i - e_-}{R_1} + \frac{e_-}{\frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 - R_1}} + \frac{e_- - e_o}{R_2} = 0$$

como $e_- = e_+ = e_i$:

$$-\frac{e_i - e_i}{R_1} + \frac{e_i}{\frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 - R_1}} + \frac{e_i - e_o}{R_2} = 0$$

$$\frac{e_i (R_2 - R_1)}{\cancel{R_2} \cdot R_1} + \frac{e_i}{\cancel{R_2}} = \frac{e_o}{\cancel{R_2}}$$

$$e_i \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1} + 1 \right) = e_o$$

$$e_i \frac{R_2 - \cancel{R_1} + \cancel{R_1}}{R_1} = e_o$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{R_2}{R_1}$$ //

Conclusão: ganho varia entre $-\frac{R_2}{R_1}$ e $+\frac{R_2}{R_1}$

Impedância de entrada:
como a corrente em R1 é zero,
$Z_{in} = P_1 //$ apenas.

Para obter um ganho de 1,5 com $Z_{in} > 40\,k$:

Menor impedância é

$Z_{in\,min} = P_1 // R_1 > 40k$

Escolhemos $P_1 = 100k$ e $R_1 = 100k$ de modo que

$P_1 // R_1 = 50k > 40k$ OK.

Como $\frac{e_o}{e_i} = \pm \frac{R_2}{R_1}$,

$\frac{R_2}{R_1} = 1,5$

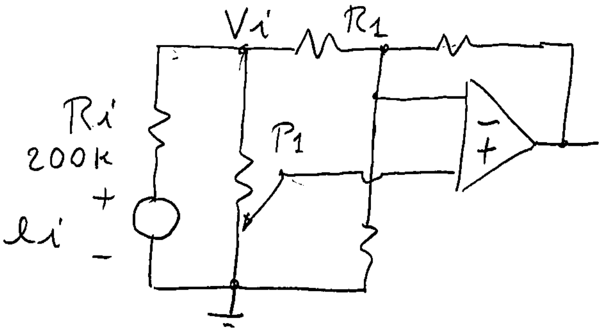
$\frac{R_2}{100k} = 1,5 \longrightarrow R_2 = 150k$ //

Por último,

$\frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 - R_1} = \frac{150 \cdot 100}{150 - 100} = 300k$ //

Ganho na posição a) quando a fonte e_i tem resistência interna de 200k:

circuito fica:



Divisor de tensão:

$V_i = e_i \frac{Z_{in}}{R_i + Z_{in}}$ 1)

$V_i = e_i \frac{P_1 // R_1}{R_i + P_1 // R_1}$

$V_i = e_i \frac{100 // 100}{200 + 100 // 100}$

$V_i = 0,2 \cdot e_i$ //

O ganho fica:

$\frac{e_o}{e_i} = - \frac{R_2}{R_1}$

$\frac{e_o}{0,2 \cdot e_i} = - \frac{150}{100}$

$\frac{e_o}{e_i} = -0,3$ //

Ganho na posição b):

Usando 1):

$V_i = e_i \frac{P_1}{R_i + P_1} = e_i \frac{100}{200 + 100}$

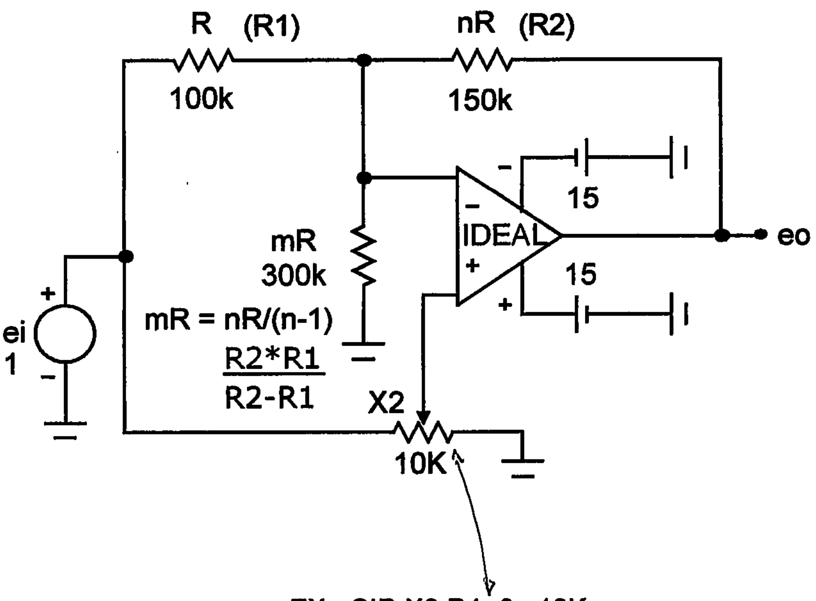
$V_i = \frac{1}{3} e_i$

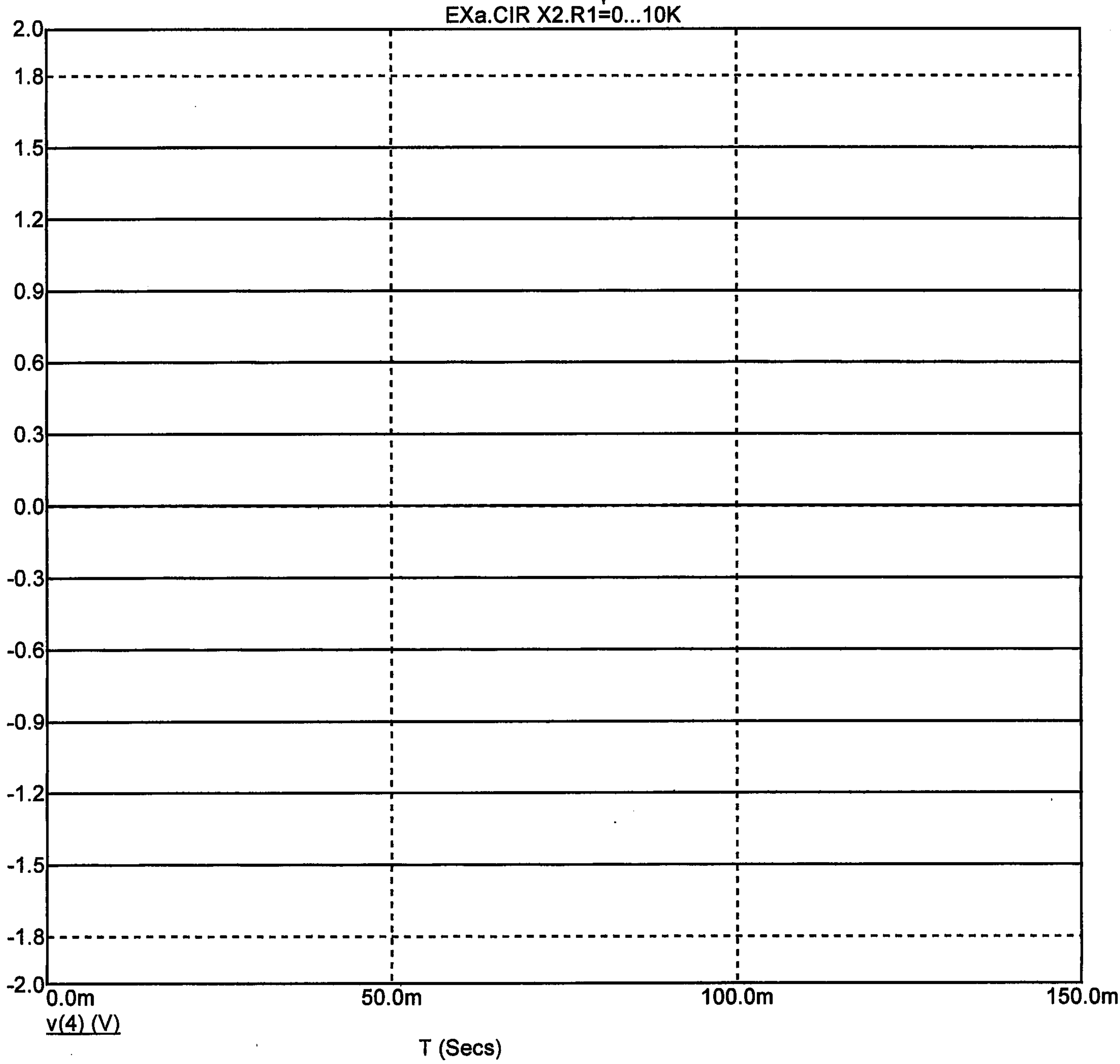
O ganho fica:

$\frac{e_o}{e_i} = + \frac{R_2}{R_1}$

$\frac{e_o}{\frac{e_i}{3}} = \frac{150}{100}$

$e_o = 0,5\, e_i$ //


R (R1)
100k
nR (R2)
150k
mR
300k
mR = nR/(n-1)
R2*R1
R2-R1
IDEAL
15
15
eo
ei
1
X2
10K


EXa.CIR X2.R1=0...10K
2.0
1.8
1.5
1.2
0.9
0.6
0.3
0.0
-0.3
-0.6
-0.9
-1.2
-1.5
-1.8
-2.0
0.0m
50.0m
100.0m
150.0m
v(4) (V)
T (Secs)

Examine os dois circuitos a seguir e:

a) Descreva a sua função, em termos gerais

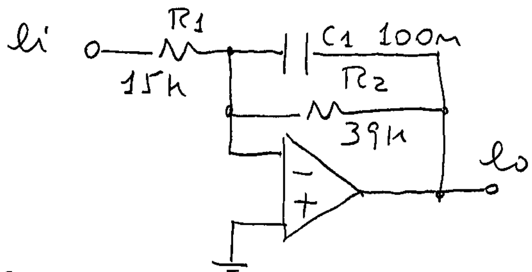
b) Equacione em formato literal a função de transferência no domínio frequência do circuito A e a seguir equacione o ganho em corrente contínua. Analise e comente os resultados.

c) Aplique os valores numéricos nas duas equações deduzidas.

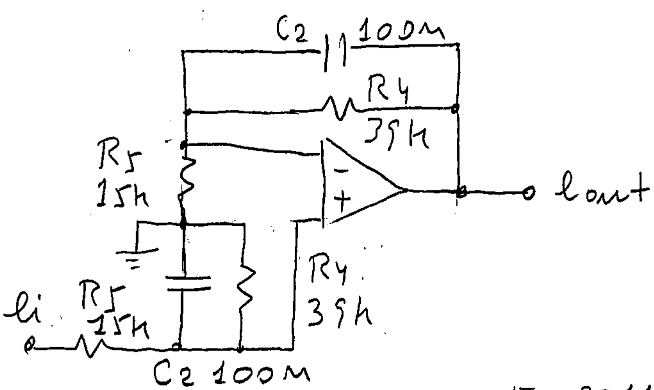
d) Repita todos os passos acima no circuito B.

e) Compare os resultados e comente.

CIRCUITO A



CIRCUITO B



$C_1 = C_2 = 100n$

$R_1 = R_5 = 15k$

$R_2 = R_4 = 39k$

Ex 2011-2

a) circuitos lineares (só realim. negativa) e são dependentes do tempo e freq. Circuito A é inversor e o B não inverte o sinal.

b) Circuito é um integrador compensado ou filtro tipo passa-baixa de 1ª ordem.

Reatância capacitiva:

$$X_1 = \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1}{s \cdot C_1}$$

Juntando C_1 e R_2:

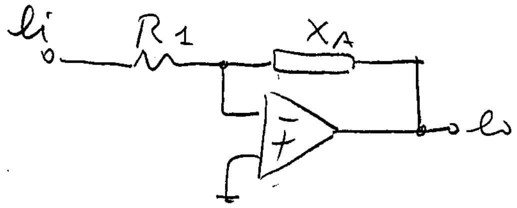
$$X_A = X_1 \,//\, R_2 = \frac{X_1 \cdot R_2}{X_1 + R_2}$$

$$X_A = \frac{\frac{1}{s \cdot C_1} \cdot R_2}{\frac{1}{s \cdot C_1} + R_2}$$

$$X_A = \frac{\frac{R_2}{s \cdot C_1}}{\frac{R_2 + s \cdot C_1 R_2^2}{s \cdot C_1 \cdot R_2}}$$

$$X_A = \frac{\frac{R_2}{\cancel{s \cdot C_1}} \cdot \cancel{s \cdot C_1 \cdot R_2}}{\cancel{R_2} + s \cdot C_1 R_2^{\cancel{2}}}$$

$$X_A = \frac{R_2}{1 + s \cdot C_1 R_2} \quad //$$



Equacionando $e_+ = e_-$:

$e_+ = 0$ Por superposição:

$$e_- = e_i \frac{X_A}{R_1 + X_A} + e_o \frac{R_1}{R_1 + X_A}$$

Igualando:

$$e_o \frac{R_1}{\cancel{R_1+X_A}} = -e_i \frac{X_A}{\cancel{R_1+X_A}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{X_A}{R_1}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-R_2/R_1}{1+s\cdot R_2\cdot C_1} \quad //$$

Ganho em CC: fazendo $s=0$:

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{cc} = -R_2/R_1$$ Amplif. inversor.

c) Valores numéricos:

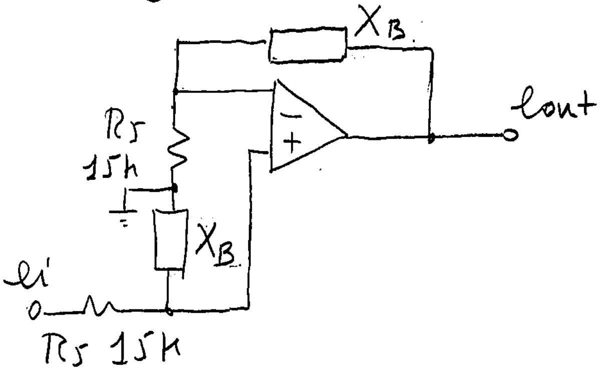
$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-39/15}{1+s\cdot 39K\cdot 100n}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-2,6}{1+0,0039\cdot s} \quad //$$

Ganho em CC: $\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{cc} = -2,6$

d) Circuito B:

Aproveitando o que foi deduzido para o circuito A:



$$X_B = \frac{R_4}{1+s\cdot C_2\cdot R_4}$$

Equacionando $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_i \frac{X_B}{R_5+X_B}$$

$$e_- = e_o \frac{R_5}{R_5+X_B}$$

Igualando:

$$e_o \frac{R_5}{\cancel{R_5+X_B}} = e_i \frac{X_B}{\cancel{R_5+X_B}}$$

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{X_B}{R_1}$$

$$\frac{e_{out}}{e_i} = +\frac{R_4/R_1}{1+s\cdot C_2\cdot R_4} \quad //$$

Ganho em cc fazendo $s=0$:

$$\left.\frac{e_{out}}{e_i}\right|_{cc} = +\frac{R_4}{R_5}$$ Amplif. não-inversor.

Valores numéricos:

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{39/15}{1+s\cdot 39k\cdot 100n}$$

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{2,6}{1+0,0039\cdot s} \quad //$$

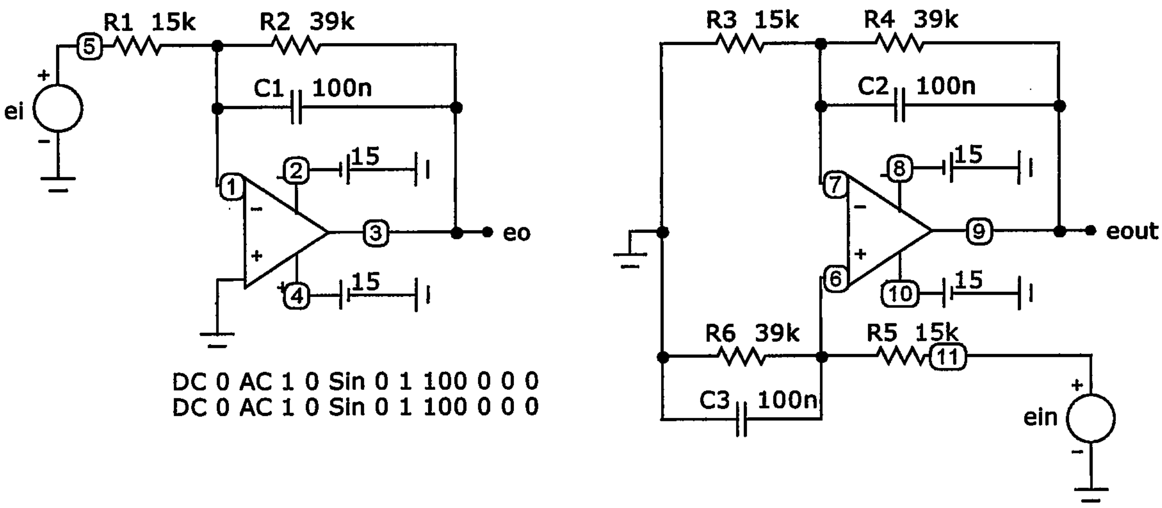
$$\left.\frac{e_{out}}{e_i}\right|_{cc} = 2,6 \quad //$$

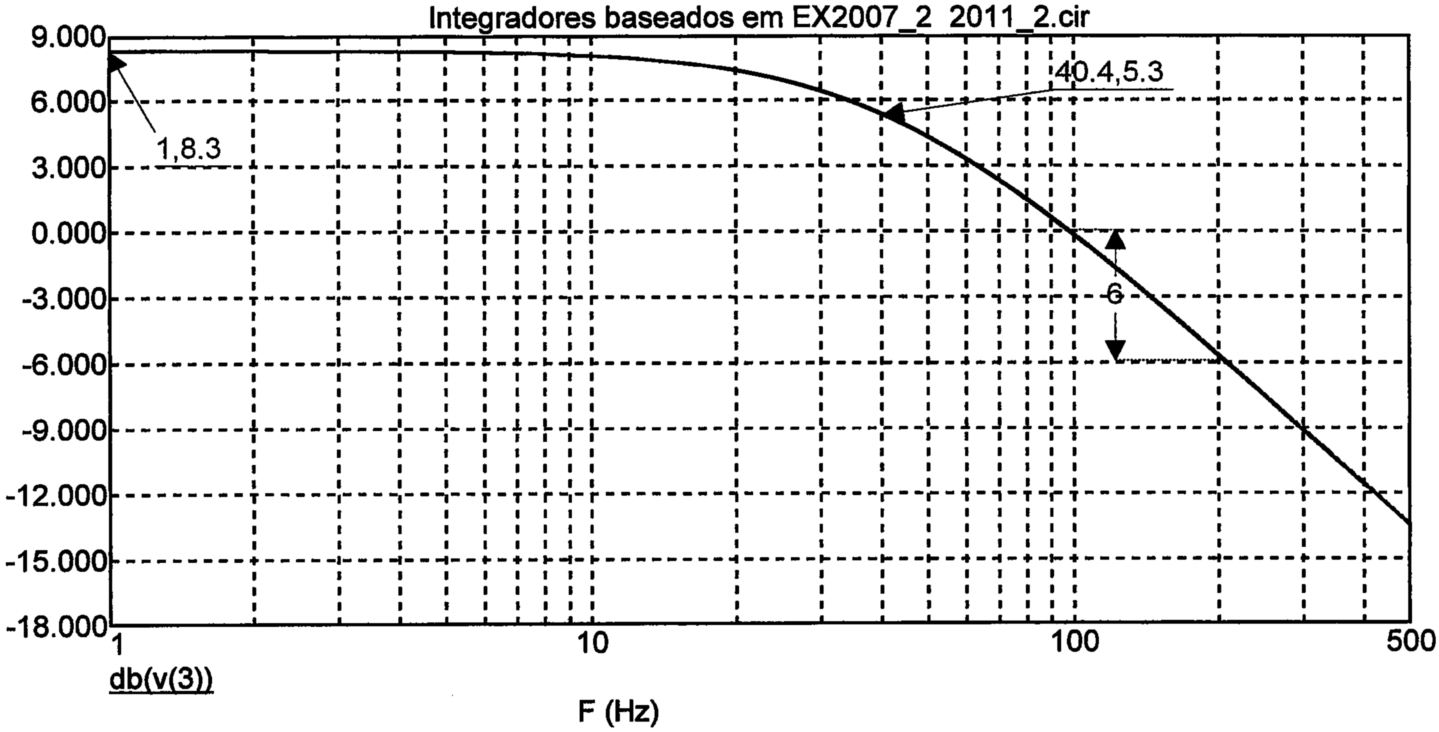
e) Os dois circuitos são idênticos com a diferença que A é inversor e B é não-inv. Ambos são passa-baixas de primeira ordem com

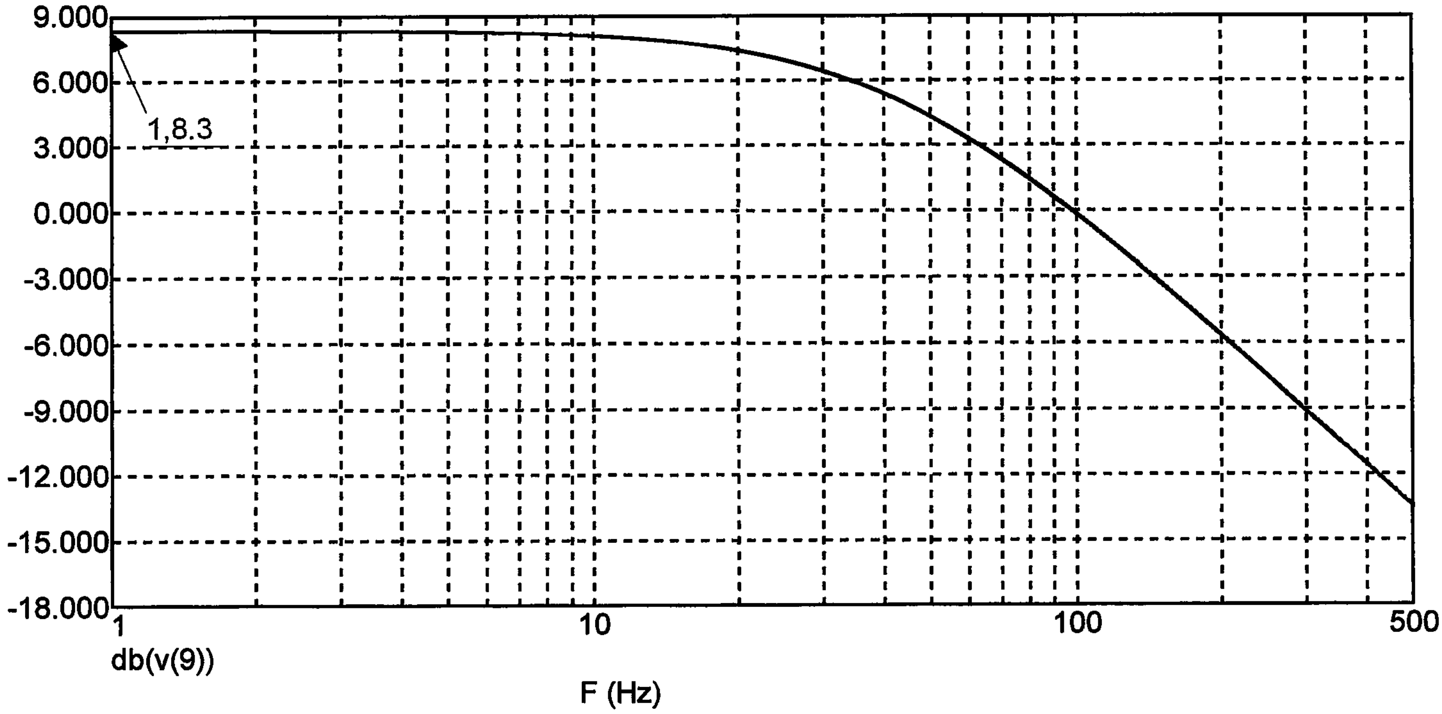
$$W_0 = \frac{1}{R\cdot C} = \frac{1}{39k\cdot 100n}$$

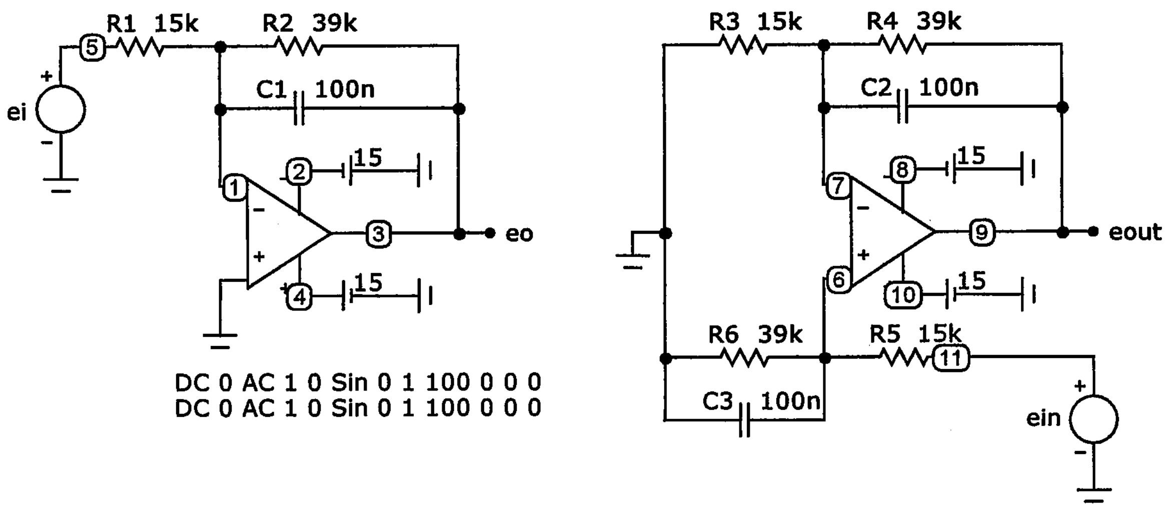
$$W_0 = 256,4 \text{ rad/s} \quad //$$

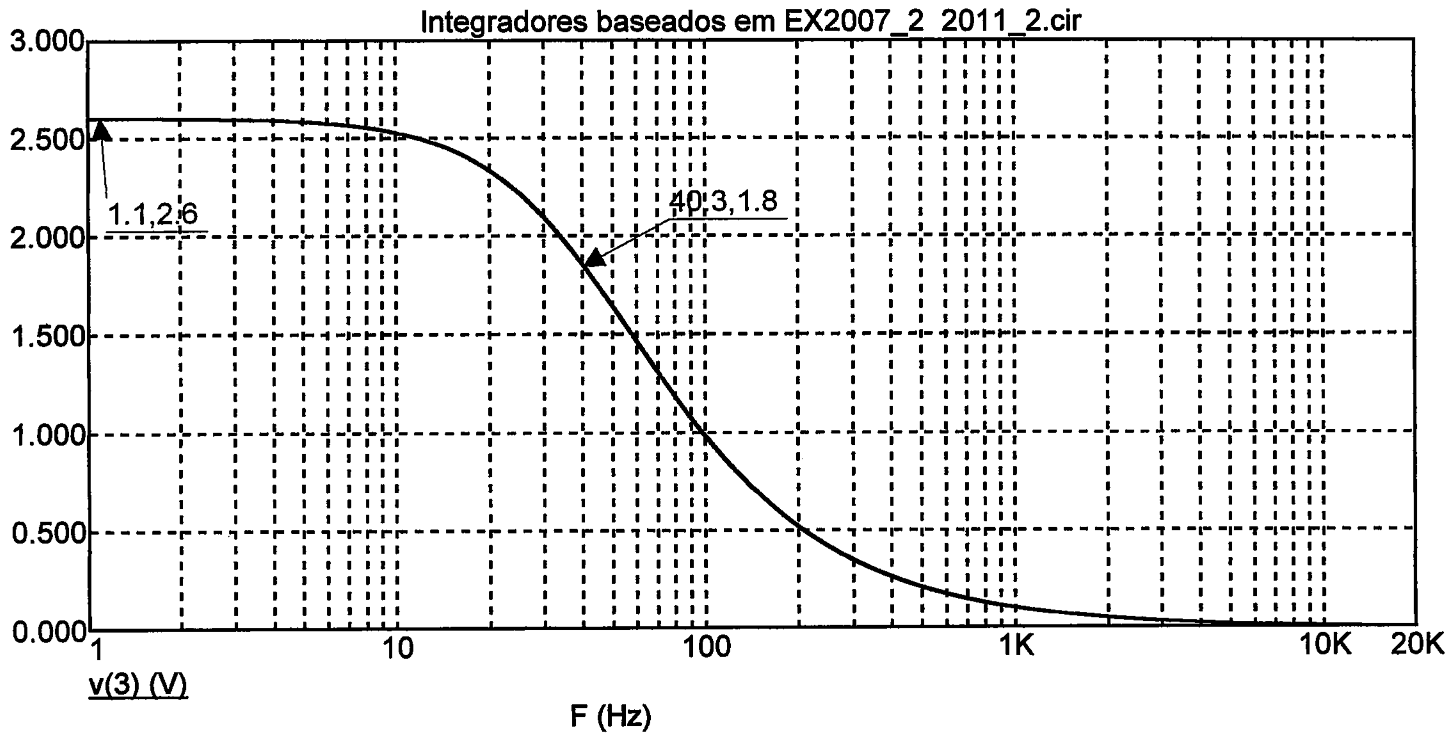
$$f_0 = \frac{W_0}{2\pi} = 40,8 \text{ Hz} \quad //$$

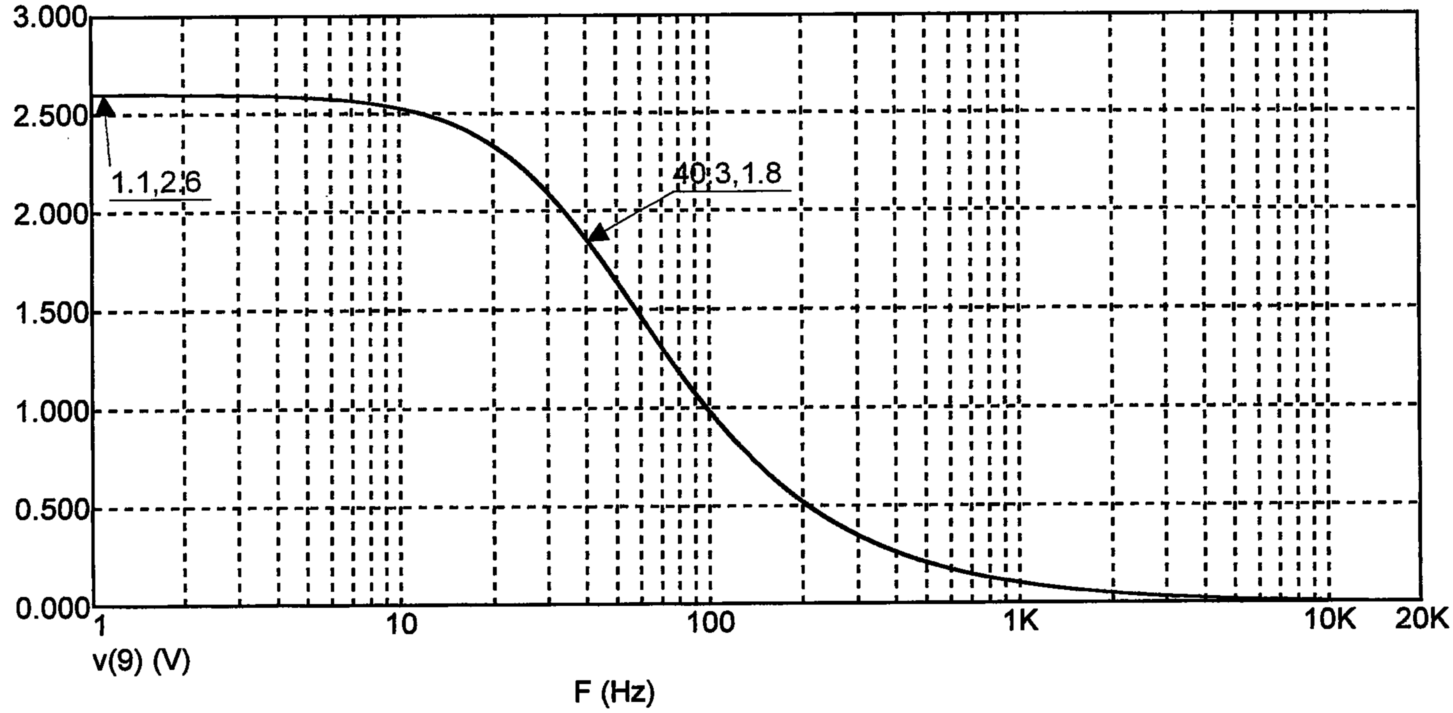

R1 15k
R2 39k
C1 100n
ei
eo
15
15
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 100 0 0 0
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 100 0 0 0
R3 15k
R4 39k
C2 100n
eout
R6 39k
R5 15k
C3 100n
ein

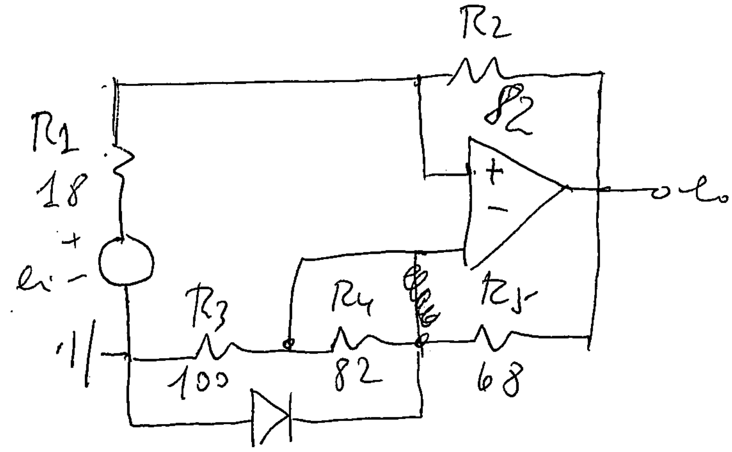

Integradores baseados em EX2007_2 2011_2.cir
1,8.3
40.4,5.3
6
db(v(3))
F (Hz)


1,8.3
db(v(9))
F (Hz)


R1 15k
R2 39k
C1 100n
ei
eo
15
15
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 100 0 0 0
DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 100 0 0 0
R3 15k
R4 39k
C2 100n
eout
15
15
R6 39k
R5 15k
C3 100n
ein


Integradores baseados em EX2007_2 2011_2.cir
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
1
10
100
1K
10K
20K
1.1,2.6
40.3,1.8
v(3) (V)
F (Hz)


3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
0.500
0.000
1
10
100
1K
10K
20K
1.1,2.6
40.3,1.8
v(9) (V)
F (Hz)



Hipótese: $e_o > 0$ D = off

$$\begin{cases} e_+ = e_i \dfrac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \dfrac{R_1}{R_1+R_2} \\ e_- = e_o \dfrac{R_3}{R_3+R_4+R_5} \end{cases}$$

$$\begin{cases} e_+ = e_i \dfrac{82}{82+18} + \dfrac{18}{82+18} \\ e_+ = 0,82\, e_i + 0,18\, e_o \end{cases}$$

$$\begin{cases} e_- = e_o \dfrac{100}{100+82+68} \\ e_- = 0,4 \cdot e_o \end{cases}$$

$e_+ = e_-$:

$0,82\, e_i + 0,18 \cdot e_o = 0,4 \cdot e_o$

$0,82 \cdot e_i = 0,22 \cdot e_o$

$e_o = 3,7272 \cdot e_i$

$e_o = 3,73 \cdot e_i$

Hipótese: $e_o < 0$, D = on

$e_- = 0$

~~$e_+ = 0,15\, e_o + 0$~~ Vínculo: $e_+ = e_-$

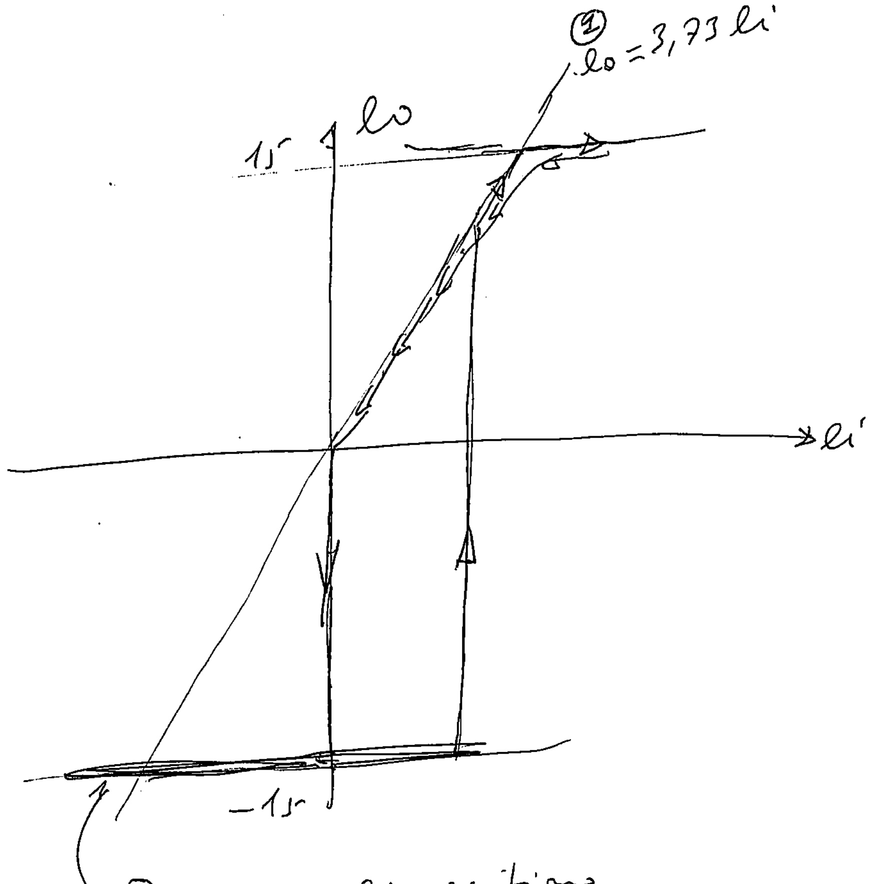
$e_+ = 0,82\, e_i + 0,18 \cdot e_o = 0$

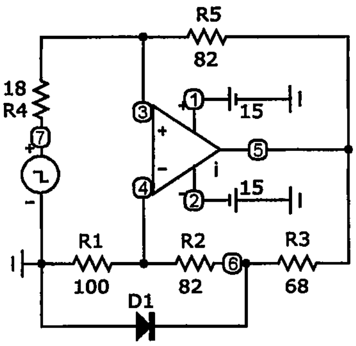
$$e_i = -\frac{0,18}{0,82} e_o$$

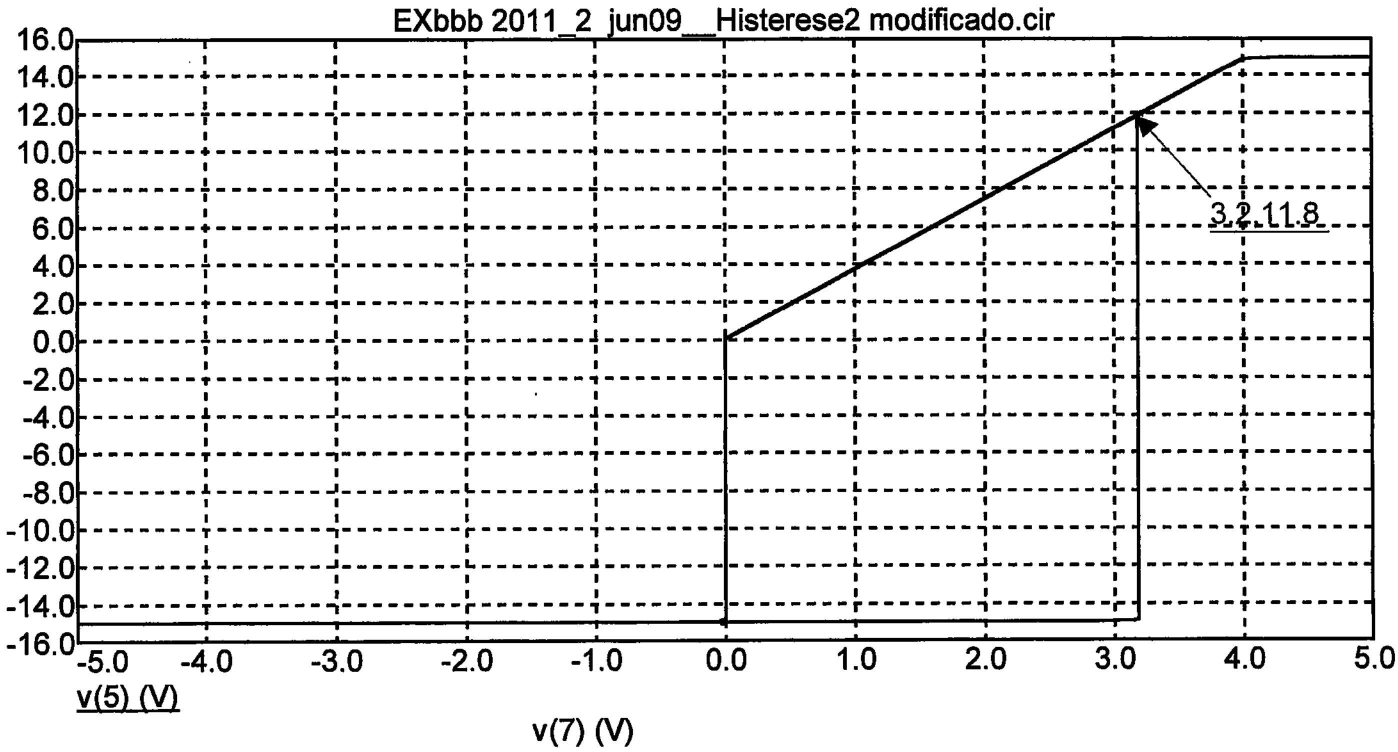
$e_i = -0,2195\, e_o \cong -0,22\, e_o$

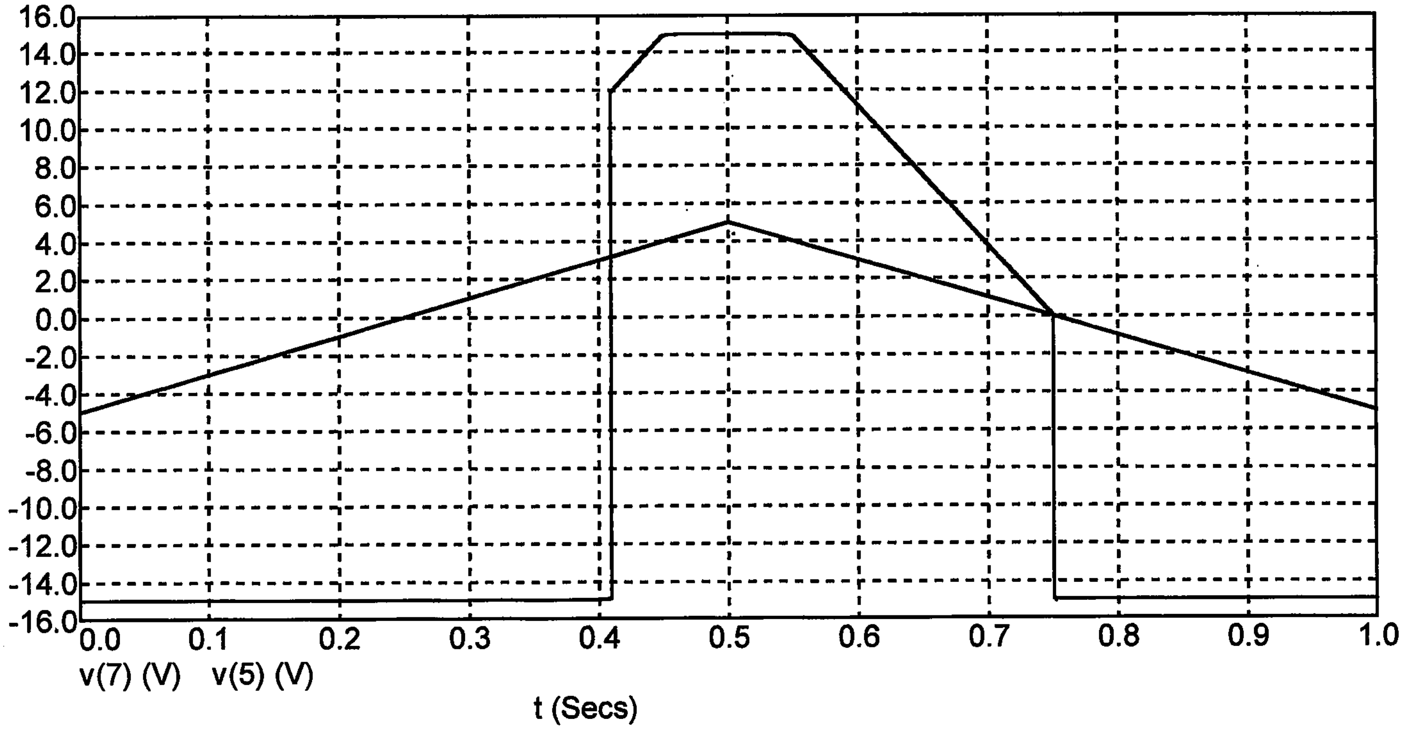
com $e_o = \pm 15$

$e_i = \pm 3,3\,V$

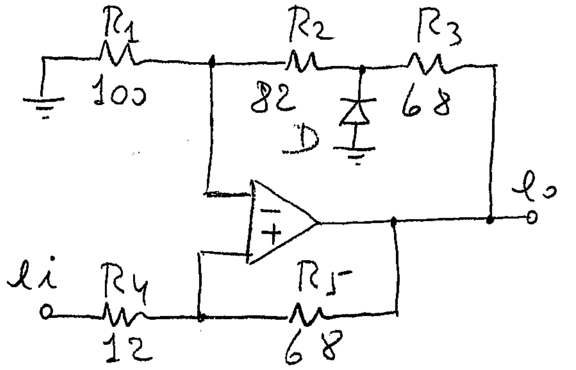



R5
82
18
R4
15
15
R1
100
R2
82
R3
68
D1


EXbbb 2011_2 jun09__Histerese2 modificado.cir
3.2,11.8
v(5) (V)
v(7) (V)


v(7) (V) v(5) (V)
t (Secs)

Equacione o circuito com o objetivo de obter a sua função de transferência e o gráfico de $e_o \times e_i$ correspondente, com o valor numérico de todos os pontos de interesse.
Descreva cada etapa. Componentes ideais e alimentação ± 9 Volts.



Circuito com duas realimentações quando D=OFF e com realimentação positiva apenas com D=ON.

Hipótese: $e_o > 0$ e D=OFF:

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$$

$$e_- = e_o \frac{100}{100+82+68} = 0{,}4 \cdot e_o \,//$$

Este é o retorno de e_o para e_-.

$$e_+ = e_o \frac{R_4}{R_4+R_5} + e_i \frac{R_5}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = e_o \frac{12}{12+68} + e_i \frac{68}{12+68}$$

$$e_+ = 0{,}15\, e_o + 0{,}85\, e_i \,//$$

Como existe mais retorno de e_o para e_-, ficou um amplificador não-inversor com $e_+ = e_-$ sempre.

$$0{,}15 \cdot e_o + 0{,}85 \cdot e_i = 0{,}4 \cdot e_o$$

$$e_o = 3{,}4 \cdot e_i \,// \quad \text{Válido para } e_o > 0$$

Hipótese: $e_o < 0$ e D=ON:
Apenas realimentação positiva $\Rightarrow$ comp. com histerese:
Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = \text{mesmo} = 0{,}15 \cdot e_o + 0{,}85 \cdot e_i$$

$$e_- = 0$$

Igualando e isolando e_i:

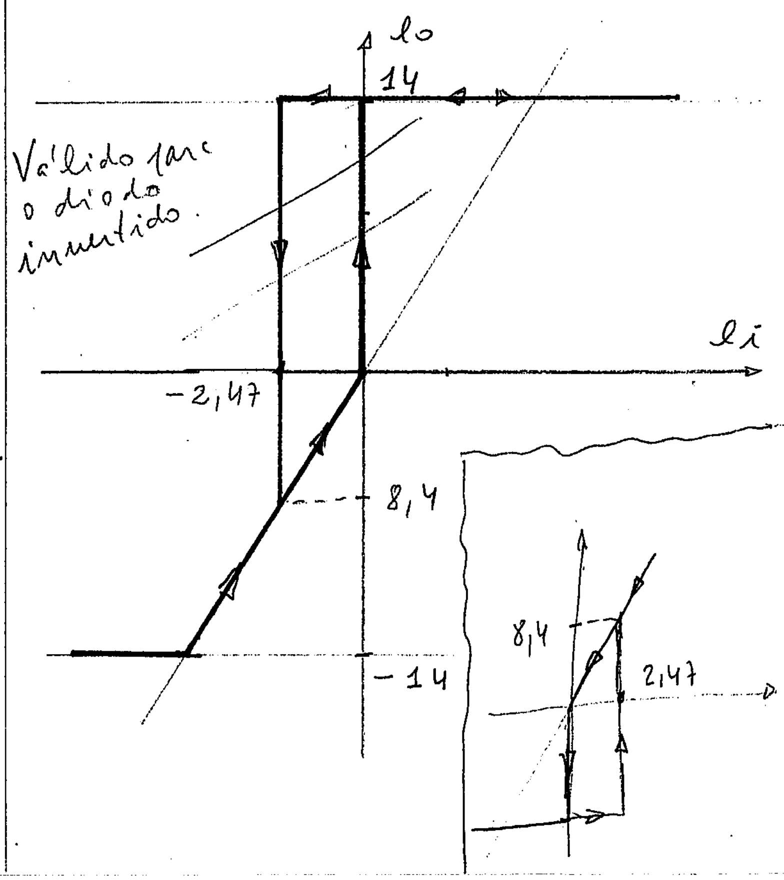
$$0{,}85\, e_i = -0{,}15 \cdot e_o$$

$$e_i = -0{,}176 \cdot e_o$$

Pontos de virada, com $e_o = \pm V_{cc}$:

$$e_i = -0{,}176\,(\pm 14) = \mp 2{,}47 \,//$$

Gráfico: começar pela parte linear ($e_o >> 0$) e diminuir até que $e_o = 0$ ---

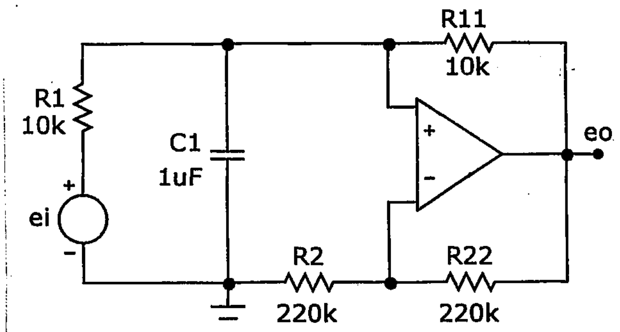


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2012/1

Recuperação 10/7/2012

Nome: GABARITO **Turma:** ______

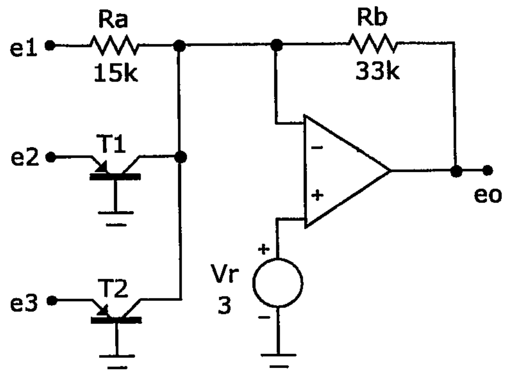
1. (3,5 pontos) Examine a topologia a seguir e procure entender o seu funcionamento. Equacione o circuito em formato literal para obter a saída e_o em função da entrada e_i. Aplique então o sinal de entrada e os valores de circuito na equação e desenhe o gráfico temporal da saída, com todos os valores de interesse marcados. Descreva todas as etapas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado.



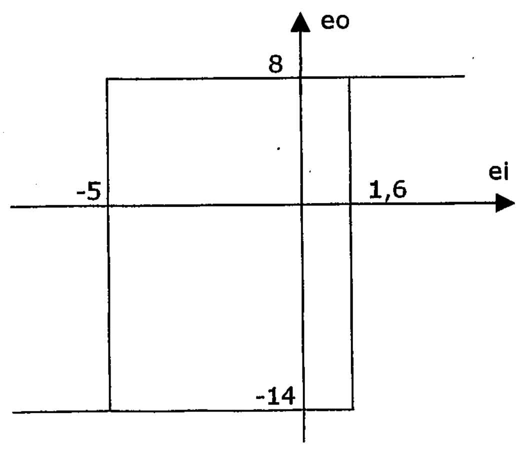
ei = quadrada, 200kHz, 4V pico-a-pico

Ic = C dv/dt

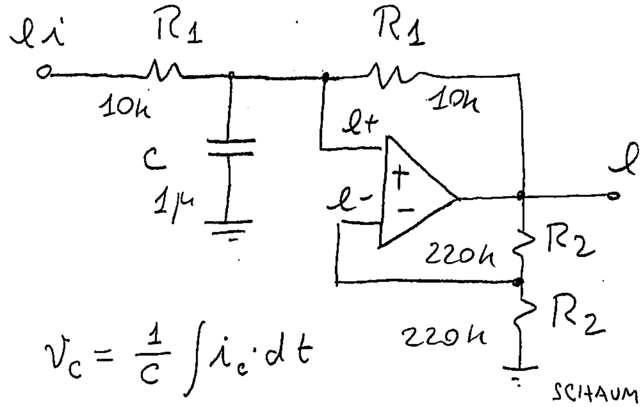
2. (3,5 pontos)Descreva a topologia abaixo procurando associação com outras já dominadas. Determine em formato literal a expressão de e_o em função das entradas relatando cada etapa com textos equações e diagramas. Aplique então os valores de circuito. Examine o resultado, comente as vantagens, desvantagens e cuidados no uso.



3. (3,0 pontos) Projete um circuito para realizar a função de transferência a seguir, explicando cada passo da solução. Comece fazendo $V_r = 0$ e após criar a topologia faça as modificações para incluir V_r. Mostre as equações, em formato literal e com os valores projetados.



Equacione o circuito, determine a função de transferência e_o/e_i e analise o resultado, descrevendo a função do circuito. Documente cada passo da solução.
Dica: o circuito é linear.



$$V_c = \frac{1}{C}\int i_c\,dt$$

SCHAUM P. 417
EX 2006-

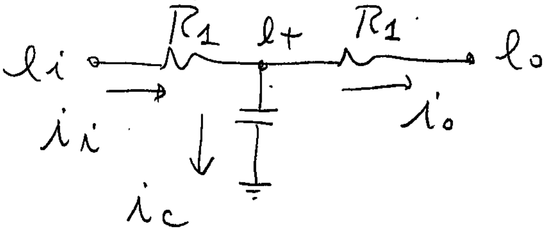
Se o circuito é linear,
$e_+ = e_-$

$$e_- = e_o \frac{R_2}{R_2 + R_2} \quad \text{então:}$$

$$e_+ = e_- = \frac{e_o}{2} \quad //$$

como $V_c = e_+ = \frac{1}{C}\int i_c\,dt \;(1)$, é conveniente equacionar o circuito por correntes.

KCL em e_+:



$$-i_i + i_c + i_o = 0$$

$$i_c = i_i - i_o$$

$$i_c = \frac{e_i - e_+}{R_1} - \frac{e_+ - e_o}{R_1}$$

$$i_c = \frac{e_i - \frac{e_o}{2}}{R_1} - \left(\frac{\frac{e_o}{2} - e_o}{R_1}\right)$$

$$i_c = \frac{e_i - \frac{e_o}{2} - \frac{e_o}{2} + e_o}{R_1}$$

$$i_c = \frac{e_i}{R_1} \quad //$$

Substituindo em (1):

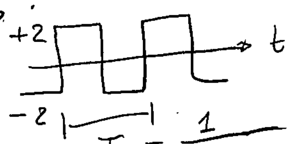
$$V_c = \frac{e_o}{2} = \frac{1}{C}\int \frac{e_i}{R_1}\,dt$$

Portanto:

$$e_o = \frac{2}{R_1 \cdot C}\int e_i\,dt \quad //$$

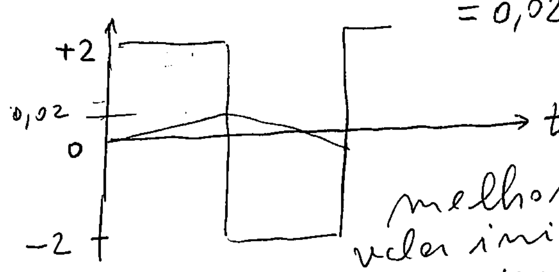
Integrador não-inversor com ganho 2.

Valores:

$e_i =$ 

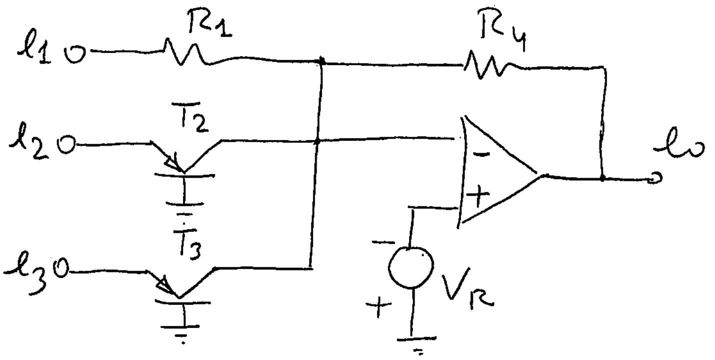
$$T = \frac{1}{200\,kHz} = 5 \cdot 10^{-6}$$

$$e_o = \frac{2}{10k \cdot 1\mu}\int_0^{5\cdot 10^{-6}} 2\,dt = 400 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 0{,}02 \text{ Volts}$$



melhorar: valor inicial no capacitor...

Examine e descreva o circuito a seguir e determine a expressão de eo em função das entradas, descrevendo cada passo. Componentes ideais. Alimentação simétrica.



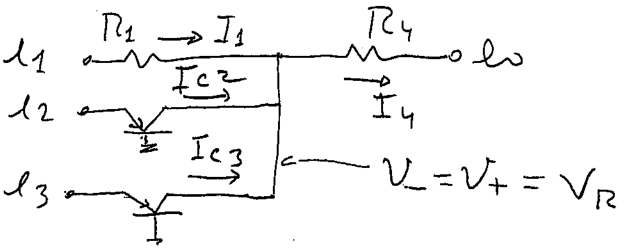
EX 2008/1

---

circuito linear (apenas real. negativa). Somador com tensão de referência.

Vale $e_+ = e_-$

KCL em e_- :



$$-I_1 - I_{c2} - I_{c3} + I_4 = 0$$

$$-\frac{e_1 - V_R}{R_1} - I_{c2} - I_{c3} + \frac{V_R - e_o}{R_4} = 0$$

Separando os termos e isolando eo :

$$-\frac{e_1}{R_1} + \frac{V_R}{R_1} - I_{c2} - I_{c3} + \frac{V_R}{R_4} - \frac{e_o}{R_4} = 0$$

$$e_o = -e_1 \cdot \frac{R_4}{R_1} + V_R \frac{R_4}{R_1} - R_4 \cdot I_{c2}$$

$$- R_4 \cdot I_{c3} + V_R \frac{\cancel{R_4}}{\cancel{R_4}}$$

$$e_o = \underbrace{-e_1 \frac{R_4}{R_1}}_{\text{entrada inversora}} + \underbrace{V_R \left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right)}_{\text{entrada não-inversora}} - R_4 \left(I_{c2} + I_{c3}\right)$$

cálculo de I_{c2} em função da entrada e_2 :

$$e_2 = V_{EB} = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right)$$

$$\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T} = \ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right)$$

$$e^{\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T}} = e^{\ln\left(\frac{I_{c2}}{I_o}\right)}$$

$$I_{c2} = I_o \cdot e^{\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T}} \quad //$$

Igualmente:

$$I_{c3} = I_o \cdot e^{\frac{e_3 \cdot q}{k \cdot T}}$$

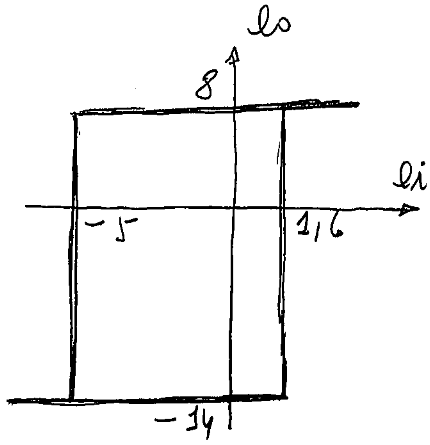
Então:

$$e_o = \frac{-e_1 R_4}{R_1} + V_R \left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right) - R_4 \cdot I_o \left(e^{\frac{e_2 \cdot q}{k \cdot T}} + e^{\frac{e_3 \cdot q}{k \cdot T}}\right) \quad //$$

O circuito é sensível à temperatura devido aos termos I_o e T.

Cuidado com as tensões e_2 e e_3 pois estão aplicadas na junção EB do transistor (diodo).

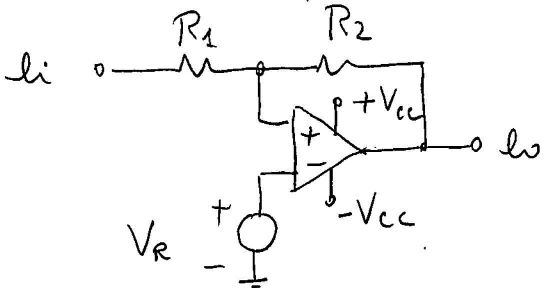
Projete um circuito para realizar a função de transferência ao lado, explicando cada passo da solução. Examine o gráfico, projete uma topologia que possa realizar a função, equacione em formato literal e aplique os valores do gráfico sem simplificar as equações antes, como é o costume. Por último, calcule o valor de todos os componentes, supostos ideais



EX 2012-1

A função de transferência é de um comparador com histerese não-inversor e a chave está deslocada por haver uma tensão de referência.

Possível topologia;



Alimentações: como $e_o = \pm V_{cc}$:

$+V_{cc} = +8$

$-V_{cc} = -14$

Pontos de virada: −5 e +1,6.

Equacionamento: nos pontos de virada, $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = V_R$$

Igualando e aplicando os valores, sem simplificar antes:

Hipótese: com e_i subindo até alcançar 1,6, $e_o = -14$ passa para $e_o = +8$:

$$\frac{1{,}6 \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{-14 \cdot R_1}{R_1+R_2} = V_R \quad (1)$$

Hipótese: com e_i descendo até −5, $e_o = 8$ passa para −14:

$$\frac{-5 \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{8 \cdot R_2}{R_1+R_2} = V_R \quad (2)$$

Igualando (1) com (2):

$$\frac{1{,}6 \cdot R_2}{\cancel{R_1+R_2}} - \frac{14 \cdot R_1}{\cancel{R_1+R_2}} = -\frac{5 \cdot R_1}{\cancel{R_1+R_2}} + \frac{8 \cdot R_2}{\cancel{R_1+R_2}}$$

$$(1{,}6+5)R_2 = (14+8)R_2$$

Então: $\frac{R_2}{R_1} = 3{,}333 \quad (3)$

Aplicando em 1:

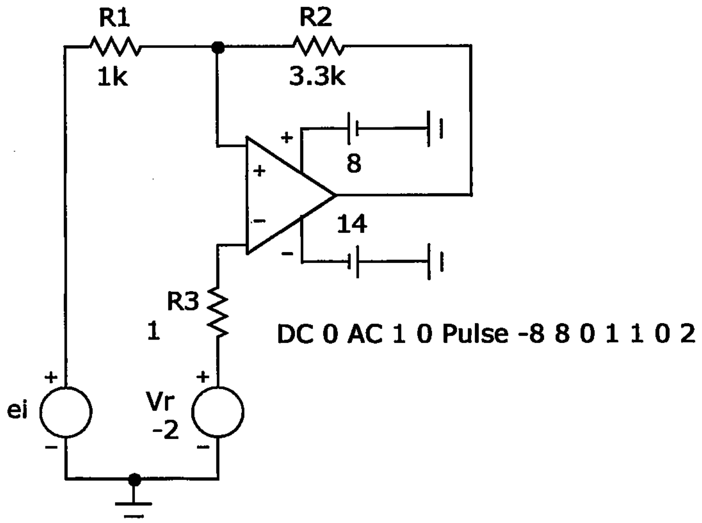
$$\frac{1{,}6 \cdot 3{,}33 \cdot \cancel{R_1}}{\cancel{R_1} + 3{,}33 \cdot \cancel{R_1}} - \frac{14 \cdot \cancel{R_1}}{\cancel{R_1} + 3{,}33\,\cancel{R_1}} = V_R$$

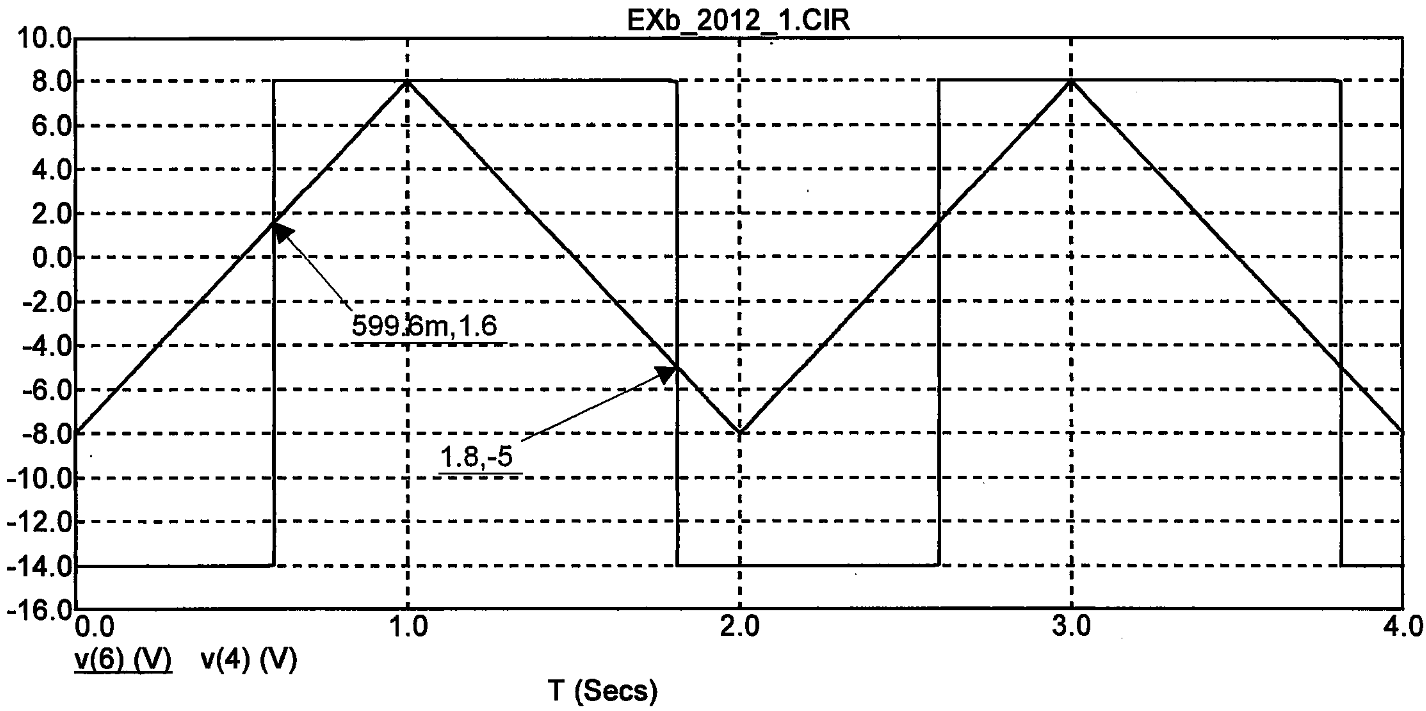
Então; $V_R = -2{,}023 \rightarrow V_R = -2$ //

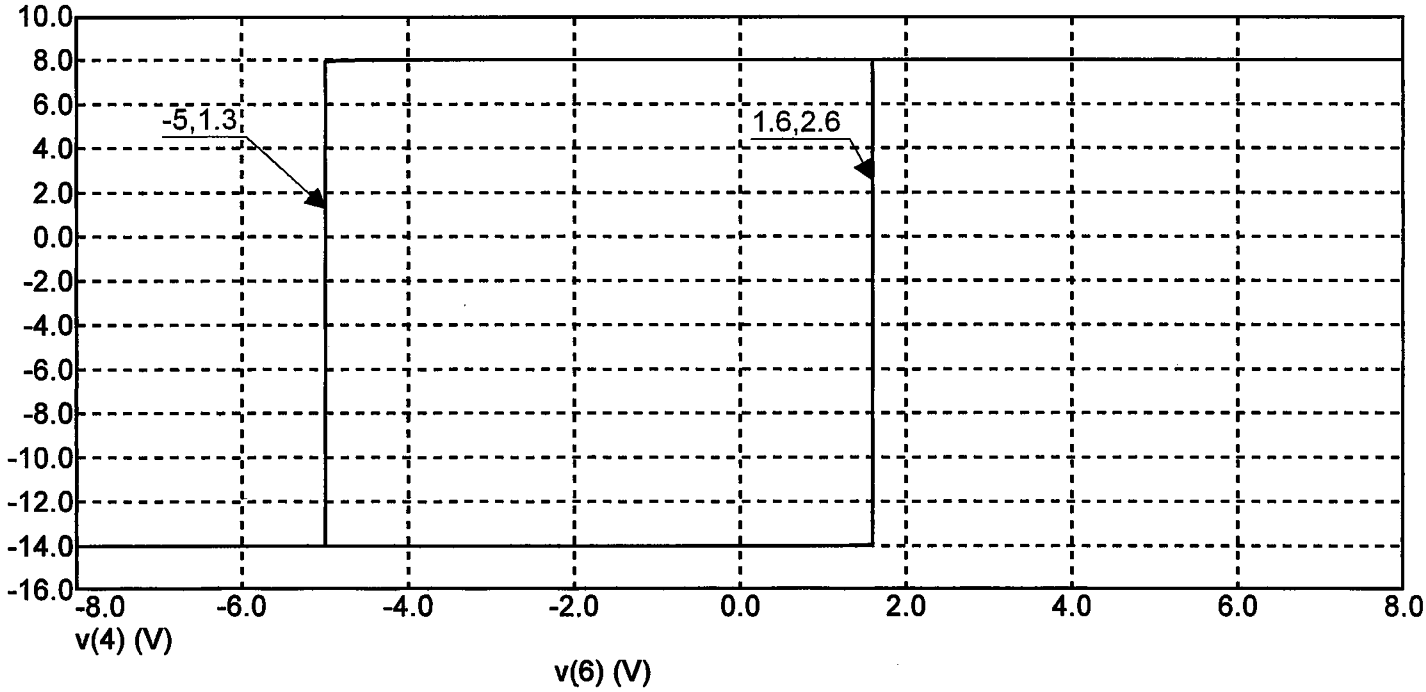
Fazendo $R_1 = 1k$ //

Usando (3);

$R_2 = 3{,}333 \cdot 1k \rightarrow R_2 = 3k3$ //


R1
1k
R2
3.3k
8
14
R3
1
DC 0 AC 1 0 Pulse -8 8 0 1 1 0 2
ei
Vr
-2


EXb_2012_1.CIR
599.6m,1.6
1.8,-5
v(6) (V)
v(4) (V)
T (Secs)

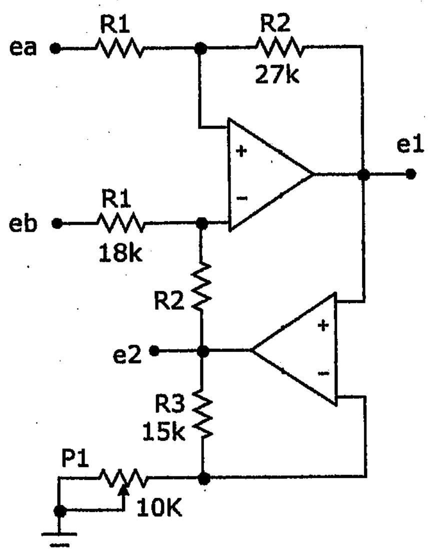

-5,1.3
1.6,2.6
v(4) (V)
v(6) (V)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2012/2

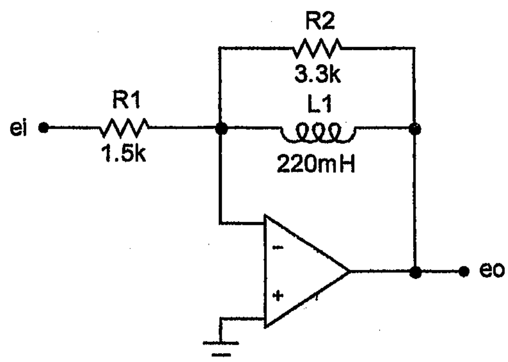
Recuperação 9/1/2013

Nome: GABARITO **Turma:** ______

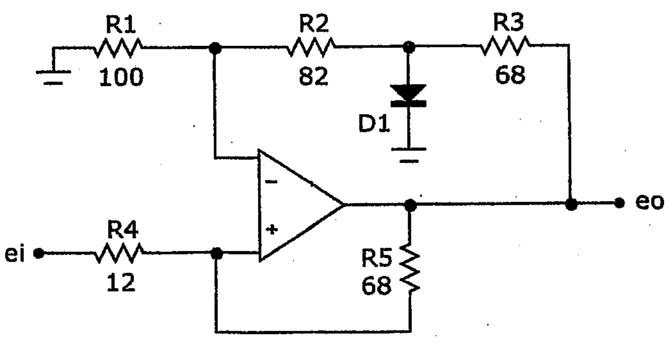
1. (3,5 pontos) Examine o circuito a seguir e determine se o comportamento é linear ou não. Equacione em formato literal a saída e_1 em função das entradas, como sempre documentando cada etapa com textos equações e diagramas. Examine o resultado, compare com circuitos conhecidos, aponte vantagens e desvantagens. A seguir, aplique os valores de circuito e calcule os limites da tensão de saída. Componentes ideais.



2. (3 pontos) Descreva o circuito ao lado, procurando entender o seu funcionamento. Equacione a sua função de transferência em formato literal (qual a melhor forma?) e depois coloque os valores de circuito. Esboce o gráfico (qual?), calculando e colocando no gráfico todos os valores de interesse, limites etc. A solução deve ser formalizada com textos, equações e diagramas. Componentes ideais.



3. (3,5 pontos) Equacione o circuito a seguir com o objetivo de desenhar o gráfico de sua função de transferência e_o x e_i, com todos os pontos de interesse calculados e marcados no gráfico. Documente amplamente todas as etapas.
Alimentação ±14 Volts, valores em kΩ e componentes ideais.



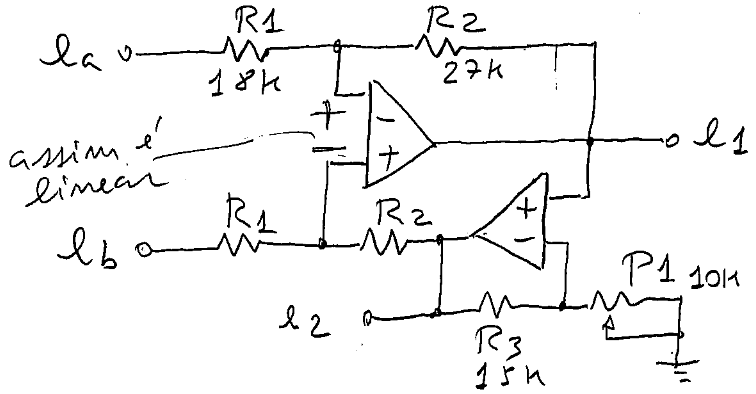
⟹ Real. posit. > real. neg → comparador. $1{,}67 \cdot 0{,}4 > 0{,}4$

Descubra se o circuito é linear

Equacione o circuito a seguir sob forma literal para obter a saída e1 em função das entradas, documentando cada etapa.

VEJA O VERSO

Examine o resultado, faça comparações com circuitos conhecidos e aponte as vantagens e desvantagens. A seguir, aplique os valores e calcule os limites de tensão de saída.



Limites:

Com P1 = zero, $e_1 = $ zero

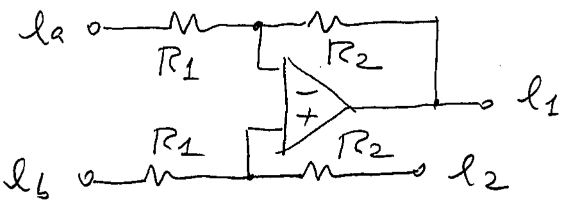
com P1 = máximo:

$$e_1 = \frac{10}{15} \cdot \frac{27}{18} \cdot (e_a - e_b)$$

$$e_1 = e_a - e_b \ //$$

EX 2012-2

Separando em blocos e equacionando:



circuito linear, $e_+ = e_-$:

$$e_+ = \frac{e_b \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{e_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

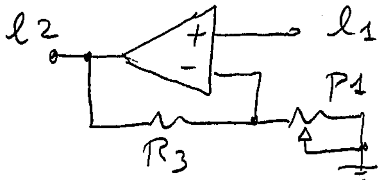
$$e_- = \frac{e_a \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{e_1 \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

Igualando e isolando a saída. Denomin. se cancelam e fica:

$$e_b \cdot R_2 + e_2 \cdot R_1 = e_a \cdot R_2 + e_1 \cdot R_1$$

$$e_1 = \frac{e_b \cdot R_2 - e_a \cdot R_2 + e_2 \cdot R_1}{R_1}$$

$$e_1 = \frac{R_2}{R_1}(e_b - e_a) + e_2 \quad (1)$$



$$e_+ = e_1 \qquad e_- = \frac{e_2 \cdot P_1}{R_3 + P_1}$$

Igualando e isolando e2:

$$e_2 \cdot P_1 = e_1 (R_3 + P_1)$$

$$e_2 = e_1 \frac{R_3 + P_1}{P_1} = e_1 \left(1 + \frac{R_3}{P_1}\right)$$

Levando em (1) e isolando e1:

$$e_1 - e_1\left(1 + \frac{R_3}{P_1}\right) = \frac{R_2}{R_1}(e_b - e_a)$$

$$e_1\left[\cancel{1} - \cancel{1} - \frac{R_3}{P_1}\right] = \frac{R_2}{R_1}(e_b - e_a)$$

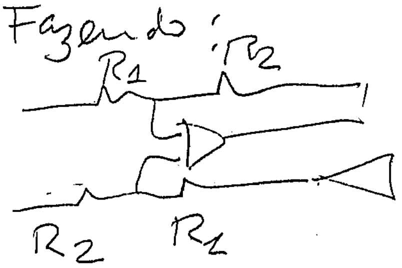
$$e_1 = -\frac{P_1}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1}(e_b - e_a)$$

$$e_1 = \frac{P_1}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1}(e_a - e_b) \ //$$

Subtrator com ajuste de ganho por potenciômetro simples. Limites ↗

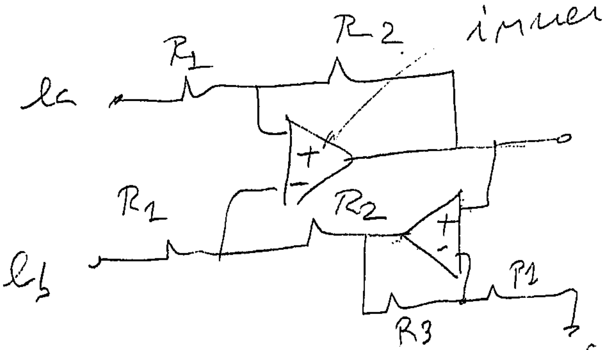
VIRE ⟹

Fazendo:



é: $e_1 \left(R_1 - \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right)\right) = e_b R_2 - e_a R_2$

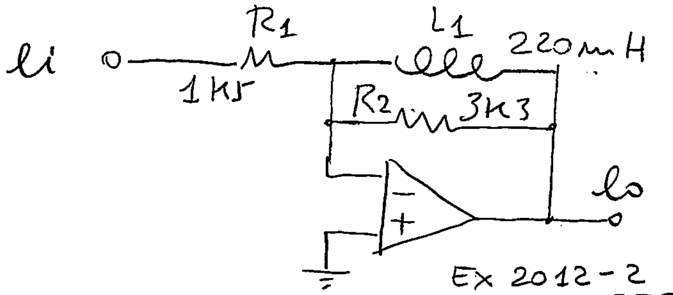
outro modo: inverter



agora a real. neg. é menor.

Fica então $e_{o1} = \frac{R_1}{R_3} \frac{R_2}{R_1} (e_b - e_a)$ //

Descreva o circuito a seguir, equacione a sua função de transferência em formato literal e substitua os valores a seguir. Esboce o gráfico calculando os valores de interesse, limites etc.



Ex 2012-2

circuito com componentes reativos: sensível ao tempo e frequência do sinal de entrada.
Provavelmente um filtro.
Apenas realimentações negativas: circuito é linear.
Equacionamento literal:

Seja $X = X_L \,//\, R_2$

como $X_L = j\omega L_1 = j \cdot 2 \cdot \pi f \cdot L_1 =$
$= s \cdot L_1$;

$$X = \frac{s \cdot L_1 \cdot R_2}{s \cdot L_1 + R_2}$$

como $e_+ = e_-$;
$e_+ = 0$. Por superposição:

$$e_- = e_i \frac{X}{R_1 + X} + e_o \frac{R_1}{R_1 + X}$$

Igualando e isolando $\frac{e_o}{e_i}$:

$$0 = \frac{e_i \cdot X}{R_1 + \cancel{X}} + \frac{e_o \cdot R_1}{R_1 + \cancel{X}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{X}{R_1}$$

$$\frac{e_o}{e_i}(s) = -\frac{s \cdot L_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot (s \cdot L_1 + R_2)}$$

Estudando os limites:
Em DC, $\omega = 0$:

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{DC} = -\frac{0 \cdot L_1 \cdot R_2}{R_1(0 + R_2)} \rightarrow \left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{DC} = 0 \,//$$

Em frequência muito alta, $X_L = j \cdot \infty \cdot L_1 = \infty$

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{\infty} = -\frac{\infty \cdot R_2}{R_1(\infty + R_2)} = -\frac{\cancel{\infty} \cdot R_2}{R_1 \cdot \cancel{\infty}}$$

$$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{\infty} = -\frac{R_2}{R_1} \,//$$

Circuito é um filtro passa-altas de 1ª ordem.
Frequência de corte ocorre quando $X_L = R_2$

$$2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot L_1 = R_2$$

$$f_o = \frac{R_2}{2 \cdot \pi \cdot L_1} \,//$$

Colocando os valores:
com $f = \infty$: Ganho na faixa de passagem:

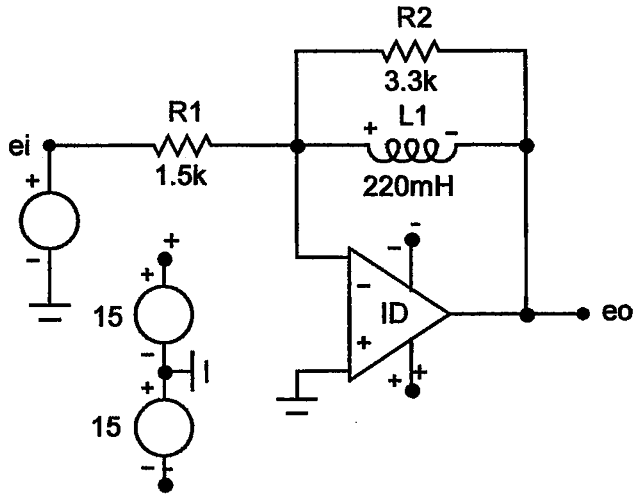
$$H_o = \left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{\infty} = -\frac{3k3}{1k5} \rightarrow H_o = 2{,}2$$

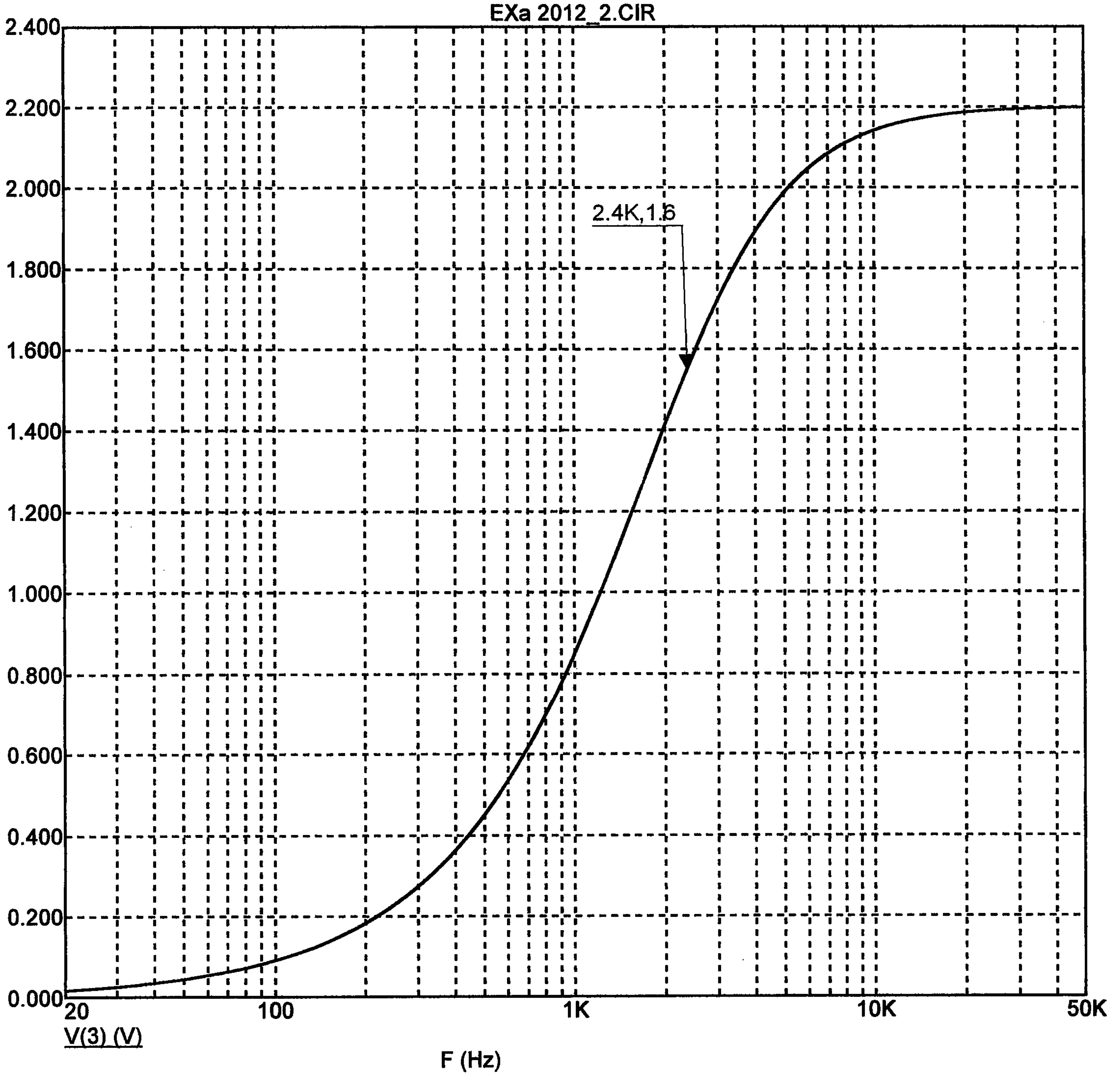
$$f_o = \frac{3300}{2 \cdot \pi \cdot 220 \cdot 10^{-3}} \rightarrow f_o = 2387\,Hz$$

$$H_o|_{-3dB} = 2{,}2 \cdot 0{,}707$$

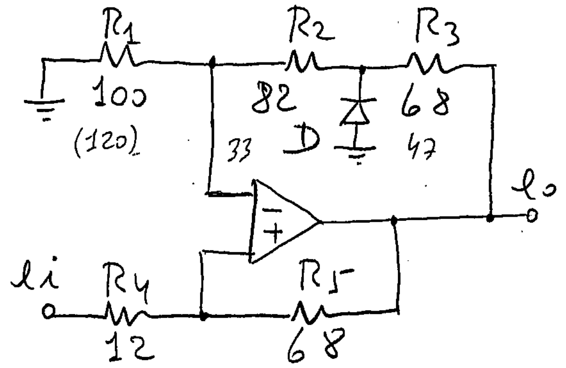
$$H_o|_{-3dB} = 1{,}555 \,//$$

Gráfico: simulação.


R2
3.3k
R1
L1
ei
1.5k
220mH
15
ID
eo
15


EXa 2012_2.CIR
2.400
2.200
2.000
1.800
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
2.4K,1.6
20
100
1K
10K
50K
V(3) (V)
F (Hz)

Equacione o circuito com o objetivo de obter a sua função de transferência e o gráfico de $e_o \times e_i$ correspondente, com o valor numérico de todos os pontos de interesse.
Descreva cada etapa.
Componentes ideais e alimentação ± 9 Volts.



Circuito com duas realimentações quando D=OFF e com realimentação positiva apenas com D=ON.
Hipótese: $e_o > 0$ e D=OFF:

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$$

$$e_- = e_o \frac{100}{100+82+68} = 0,4 \cdot e_o$$

Este é o retorno de e_o para e_-.

$$e_+ = e_o \frac{R_4}{R_4+R_5} + e_i \frac{R_5}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = e_o \frac{12}{12+68} + e_i \frac{68}{12+68}$$

$$e_+ = 0,15\, e_o + 0,85\, e_i$$

Como existe mais retorno de e_o para e_-, ficou um amplificador não-inversor com $e_+ = e_-$ sempre.

$$0,15 \cdot e_o + 0,85 \cdot e_i = 0,4 \cdot e_o$$

$$e_o = 3,4 \cdot e_i \quad \text{Válido para } e_o > 0$$

Hipótese: $e_o < 0$ e D = ON:
Apenas realimentação positiva ⇒ comp. com histerese.
Ponto de virada: $e_+ = e_-$

$$e_+ = \text{mesmo} = 0,15 \cdot e_o + 0,85 \cdot e_i$$

$$e_- = 0$$

Igualando e isolando e_i:

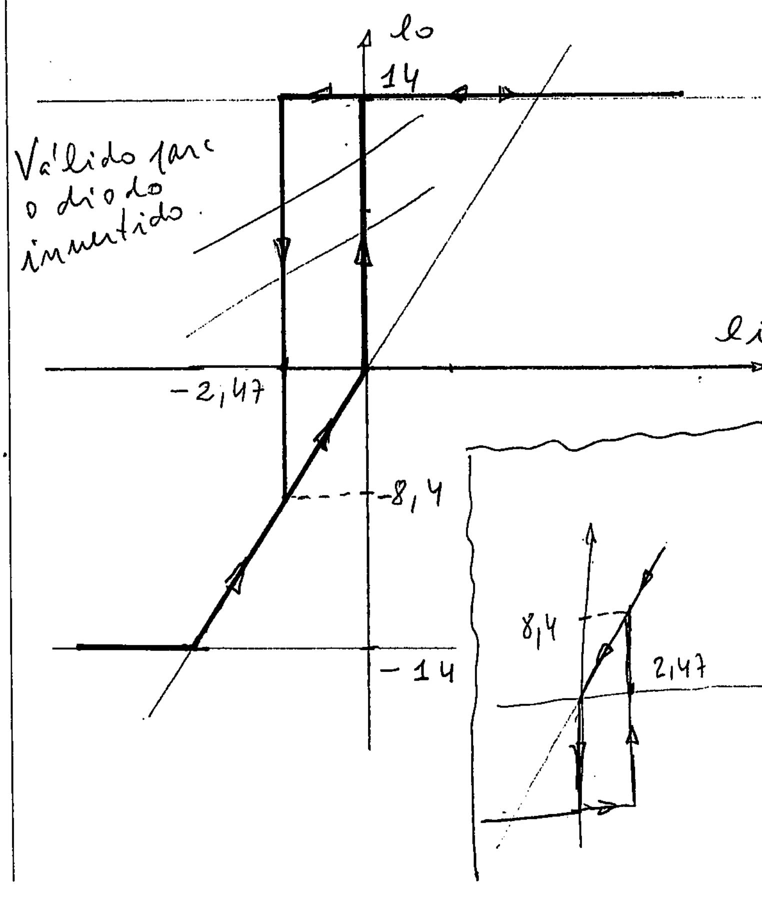
$$0,85\, e_i = -0,15 \cdot e_o$$

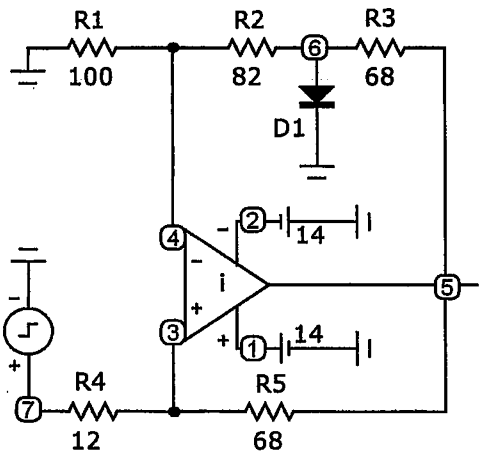
$$e_i = -0,176 \cdot e_o$$

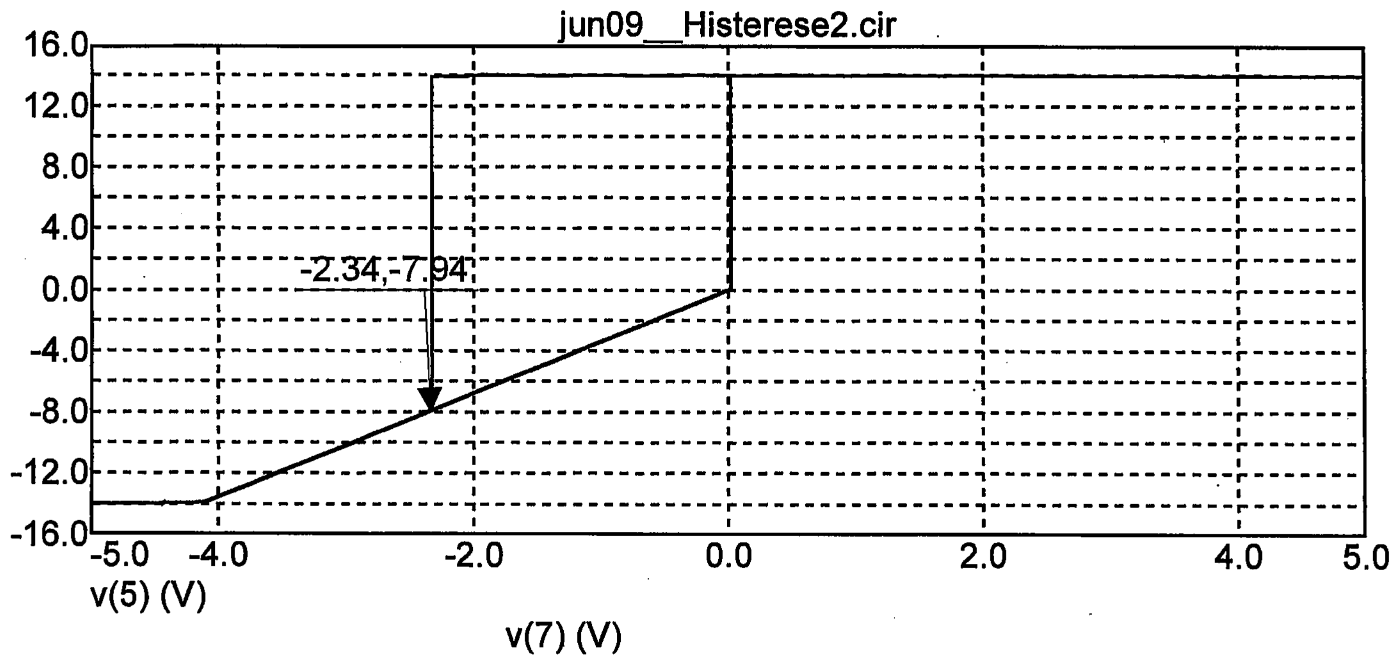
Pontos de virada, com $e_o = \pm V_{cc}$

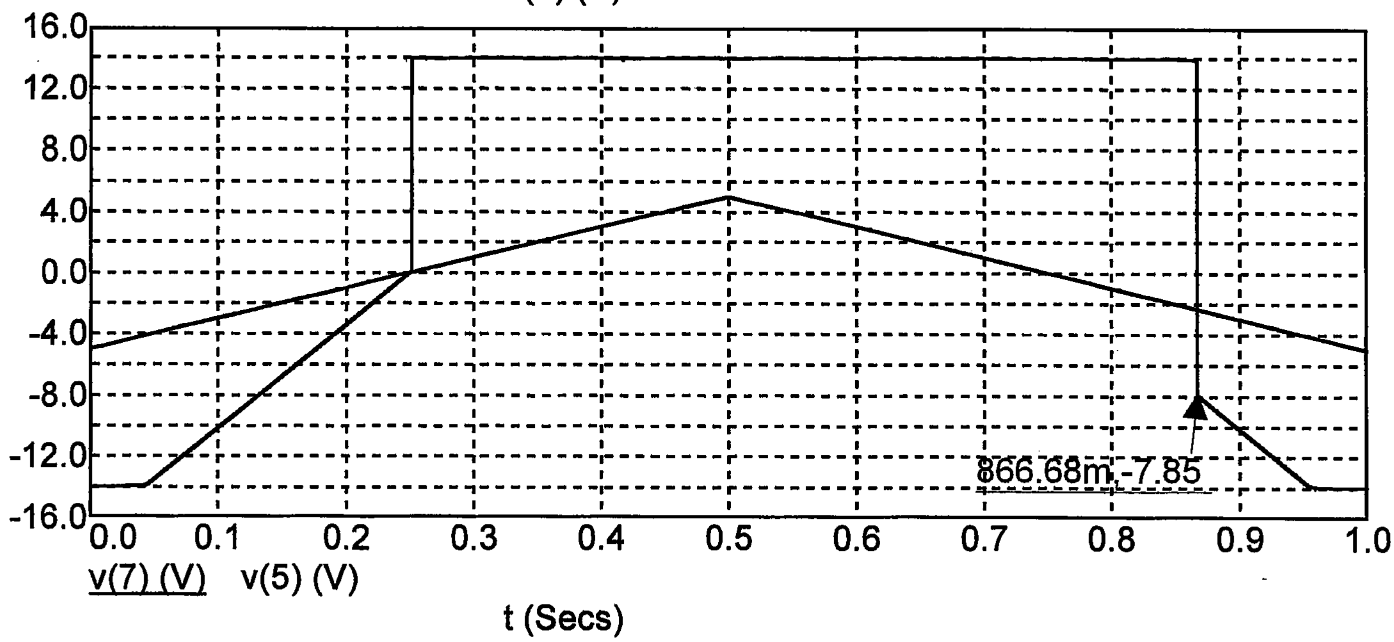
$$e_i = -0,176\,(\pm 14) = \mp 2,47$$

Gráfico: começar pela parte linear ($e_o >> 0$) e diminuir até que $e_o = 0$ ---




R1
100
R2
82
R3
68
D1
14
14
R4
12
R5
68


jun09__Histerese2.cir
16.0
12.0
8.0
4.0
0.0
-4.0
-8.0
-12.0
-16.0
-2.34,-7.94
-5.0
-4.0
-2.0
0.0
2.0
4.0
5.0
v(5) (V)
v(7) (V)

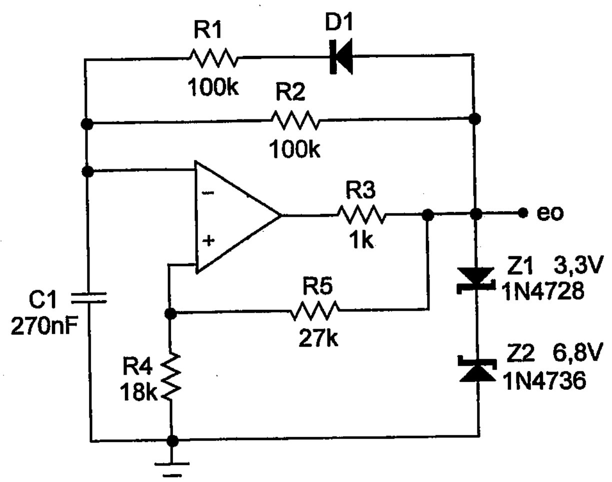

16.0
12.0
8.0
4.0
0.0
-4.0
-8.0
-12.0
-16.0
866.68m,-7.85
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
v(7) (V) v(5) (V)
t (Secs)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B **2013/1**

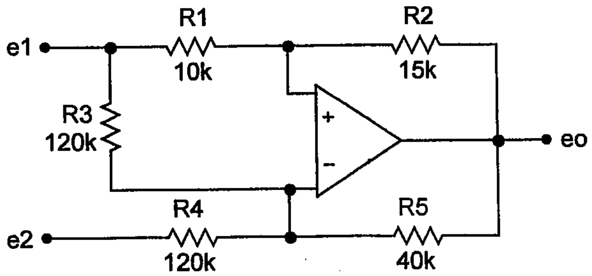
Recuperação **16/7/2013**

Nome: GABARITO **Turma:** ______

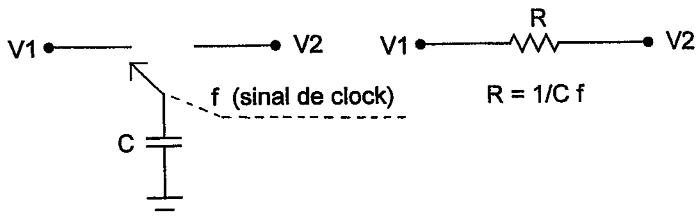
1. (3,5 pontos) Equacione o circuito a seguir em formato literal, colocando após os valores de circuito, documentando cada etapa com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado sempre.
Oriente o seu trabalho para o desenho da resposta temporal das tensões no capacitor e na saída, com todos os valores de interesse calculados. Componentes ideais mas $V_D = 0,7$ nos zeners.



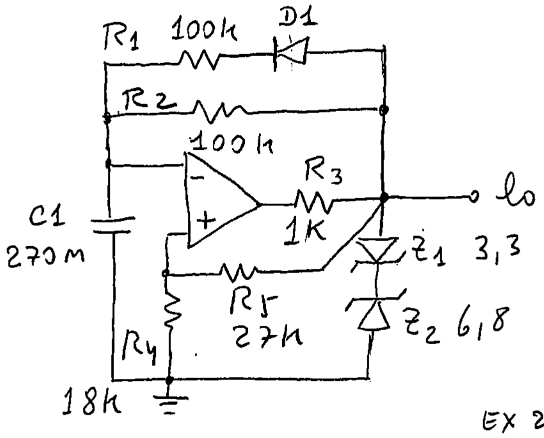
2. (3 pontos) Determine a equação da função de transferência do circuito a seguir, documentando amplamente cada etapa. Equacione em formato literal e substitua os valores numéricos após cada etapa. Componentes ideais.



3. (3,5 pontos) Projete um amplificador inversor com ajuste de ganho por um sinal digital de frequência variável, usando uma topologia tipo capacitores chaveados, descrevendo cada etapa com textos, equações e esquemas. Especifique os limites da frequência do clock.
Especificações:
Ganho: $|eo/ei| = 0,8$ até 26
Sinal de entrada entre DC e 200Hz
Impedância de entrada acima de 14 kΩ
Frequência mínima do clock acima de
5 vezes a frequência do sinal
Projeto com valores comerciais.



Equacione o circuito a seguir em formato literal, colocando após os valores do circuito, documentando cada etapa. Oriente o seu trabalho para o desenho da curva de resposta temporal de e_o, com todos os valores de interesse calculados. Componentes ideais mas $V_D = 0,7$ Volts nos zeners.



EX 2013-1

---

circuito básico é um comparador inversor com histerese pois tem realim. positiva e C1 impede a realim. negativa. Limitador de tensão assimétrico na saída.

Hipótese: saída e_o positiva;

$e_o = V_{Z1}(\text{diodo}) + V_{Z2}(\text{zener})$

$e_o = 0,7 + 6,8 = 7,5$ Volts //

Diodo D1 conduz e

$R = R_1 // R_2 = 100k // 100k = 50k$

Ponto de virada:

$$e_+ = e_o \cdot \frac{R_4}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = 7,5 \cdot \frac{18k}{18k+27k} \rightarrow e_+ = +3 \text{ Volts}$$

C1 pode se carregar até $e_o = 7,5$ mas o comparador vira quando $V_{C1} = e_- = e_+ = 3$ Volts.

Hipótese: saída e_o é negativa: Diodo D1 está cortado.

$e_o = V_{Z1}(\text{zener}) + V_{Z2}(\text{diodo})$

$e_o = -3,3 - 0,7 = -4$ Volts //

$$\text{Então } e_+ = e_o \cdot \frac{R_4}{R_4+R_5}$$

$$e_+ = -4 \cdot \frac{18k}{18k+27k} \rightarrow e_+ = -1,6V$$

C1 pode agora se carregar até $e_o = -4$ mas o comparador vira quando $V_{C1} = e_- = e_+ = -1,6V$.

Tempos de carga/descarga de C1:

com $e_o = +7,5$:

$$T_1 = -R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_\infty - V_{fim}}{V_\infty - V_{inic}}\right)$$

$$T_1 = -50k \cdot 270 \cdot 10^{-9} \ln\left(\frac{7,5 - 3}{7,5 - (-1,6)}\right)$$

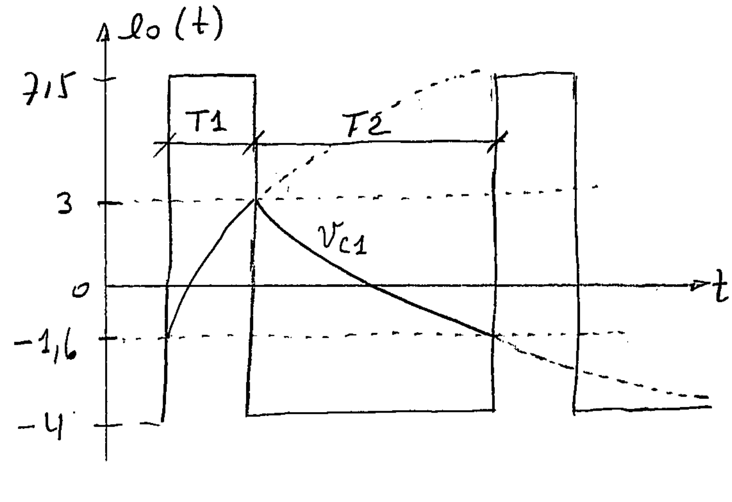
$T_1 = 9,51$ ms //

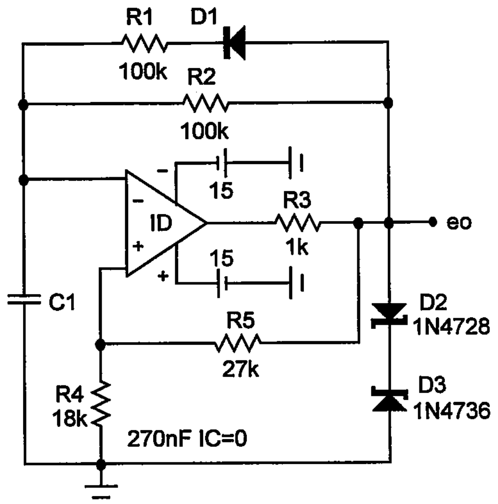
com $e_o = -4$:

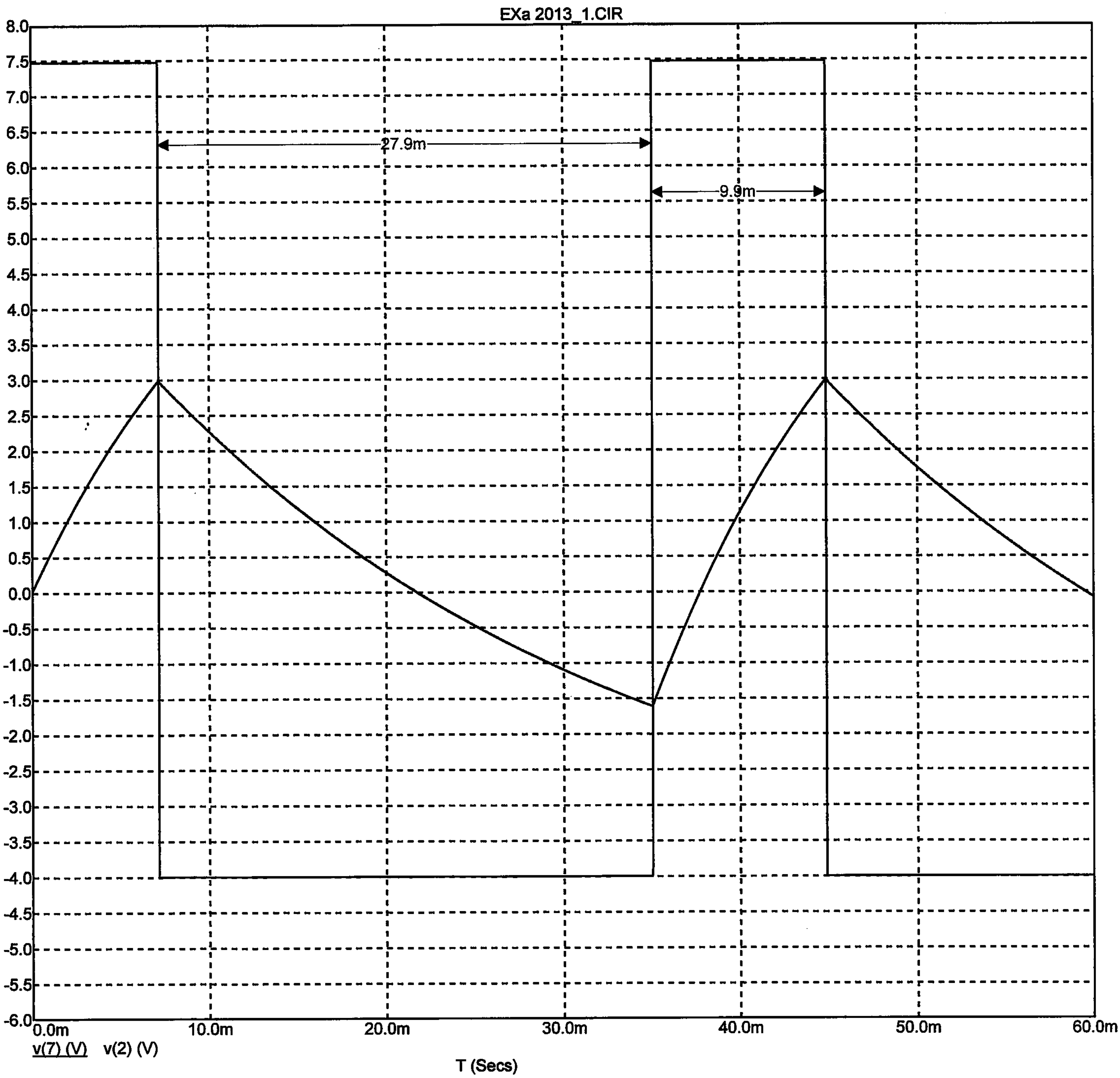
$$T_2 = -100k \cdot 270 \cdot 10^{-9} \ln\left(\frac{-4 - (-1,6)}{-4 - (+3)}\right)$$

$T_2 = 28,9$ ms //

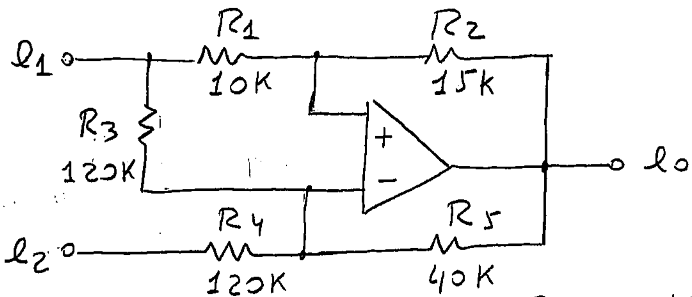
Montando o gráfico:




R1
D1
100k
R2
100k
15
R3
ID
1k
eo
15
C1
D2
1N4728
R5
27k
D3
1N4736
R4
18k
270nF IC=0


EXa 2013_1.CIR
27.9m
9.9m
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
-2.5
-3.0
-3.5
-4.0
-4.5
-5.0
-5.5
-6.0
0.0m
10.0m
20.0m
30.0m
40.0m
50.0m
60.0m
v(7) (V) v(2) (V)
T (Secs)

Equacione o circuito em termos literal para obter a sua função de transferência, descrevendo cada etapa com textos, equações e diagramas. Substitua os valores após cada etapa. Componentes ideais.



Ex 2013/1

---

circuito com 2 realimentações: pode ser linear ou comparador.

Equacionamento: $e_+ = e_-$

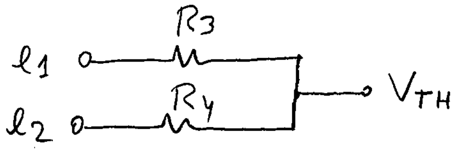
Superposição:

$$e_+ = e_1 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_+ = e_1 \cdot \frac{15}{10+15} + e_o \cdot \frac{10}{10+15}$$

$$e_+ = 0{,}6\, e_1 + 0{,}4 \cdot e_o \quad (1)$$

Thévenin em e_-:



Superposição:

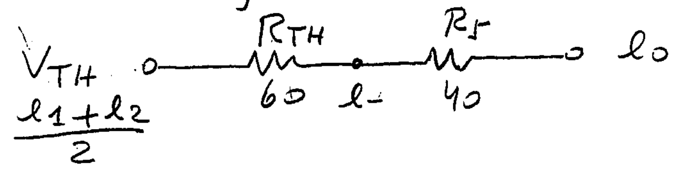
$$V_{TH} = e_1 \frac{R_4}{R_3+R_4} + e_2 \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$V_{TH} = e_1 \frac{120}{120+120} + e_2 \frac{120}{120+120}$$

$$V_{TH} = \frac{e_1+e_2}{2}$$

$$R_{TH} = R_3 /\!/ R_4 = 120 /\!/ 120 = 60\,\Omega$$

circuito ficou:



Superposição:

$$e_- = V_{TH} \cdot \frac{R_5}{R_{TH}+R_5} + e_o \frac{R_{TH}}{R_{TH}+R_5}$$

$$e_- = \frac{e_1+e_2}{2} \frac{40}{60+40} + e_o \frac{60}{60+40}$$

$$e_- = 0{,}2\, e_1 + 0{,}2\, e_2 + 0{,}6\, e_o \quad (2)$$

Igualando (1) com (2):

$$0{,}6\, e_1 + 0{,}4 \cdot e_o = 0{,}2\, e_1 + 0{,}2\, e_2 + 0{,}6 \cdot e_o$$

$$e_o = 2 \cdot e_1 - e_2 \quad /\!/$$

Projete um amplificador inversor com ganho controlado por um sinal digital de frequência variável, usando capacitores chaveados.

Especificações:

Ganho $\left|\frac{e_o}{e_i}\right| = 0,8$ até 26.

Sinal de entrada entre DC e 200 Hz.

Impedância de entrada maior do que 14 kΩ.

Frequência mínima do clock pelo menos 5 vezes maior do que a freq. do sinal.

Use valores comerciais.

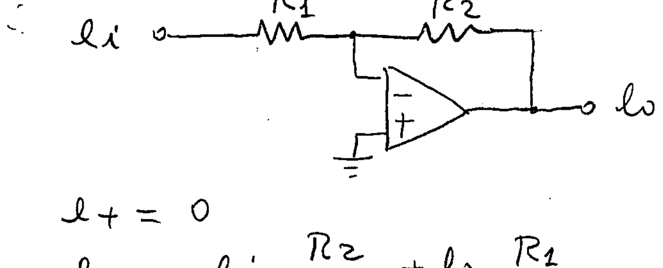
Especifique os limites de frequência do clock.

Documente cada etapa.

Ex 2013-1

Método: Projetar o amplificador conforme as especificações e depois aplicar capacitores chaveados para ajuste do ganho.

Amplificador inversor:



$e_+ = 0$

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando; $$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad //$$

Para ajustar o ganho, usamos R_1 ou R_2 mas existe a restrição de $Z_{in} = R_1 > 14\,k\Omega$.

Variando R_1 acima deste valor está ok, mas a impedância de entrada vai variar muito com o ajuste do ganho. Por este motivo escolhemos ajustar o ganho por R_2 e definir $R_1 = 15k$ (comercial)

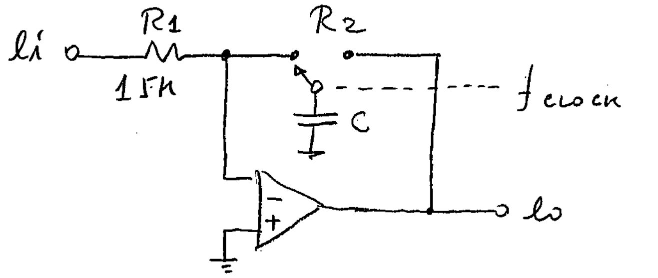
$$\left|\frac{e_o}{e_i}\right| = 0,8 = \frac{R_{2\,min}}{15k}$$

$$R_{2\,min} = 12k \; //$$

$$\left|\frac{e_o}{e_i}\right| = 26 = \frac{R_{2\,máx}}{15k}$$

$$R_{2\,max} = 390k \; //$$

Transformando R_2 em um capacitor chaveado:



$R_2 = \dfrac{1}{C \cdot f}$ e $f_{min} \geq 5 \cdot f_{max}$ do sinal

$f_{min} \geq 5 \cdot 200\,Hz = 1\,kHz$

Para $R_{2\,máx}$ devemos ter f_{min}:

$$R_{2\,máx} = 390k = \frac{1}{C \cdot \underbrace{f_{min}}_{1\,kHz}}$$

Então $C = 2,56\,nF$

Usando valor comercial $C = 2,2\,nF$;

$$R_{2max} = 390k = \frac{1}{2{,}2M \cdot f_{min}}$$

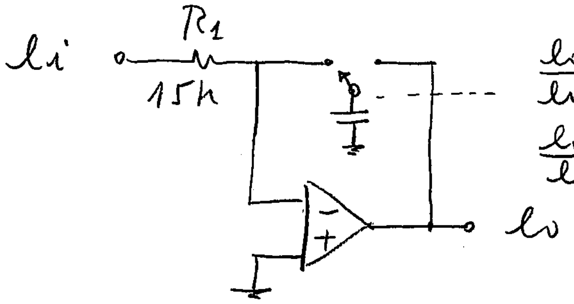
Então $f_{min} = 1166 \text{ Hz}$ //

No outro extremo do ganho:

$$R_{2min} = 12k = \frac{1}{2{,}2M \cdot f_{max}}$$

Então $f_{max} = 37880 \text{ Hz}$ //

Circuito final:



$$\frac{e_o}{e_i} = -0{,}8 \rightarrow f = 1166 \text{ Hz}$$

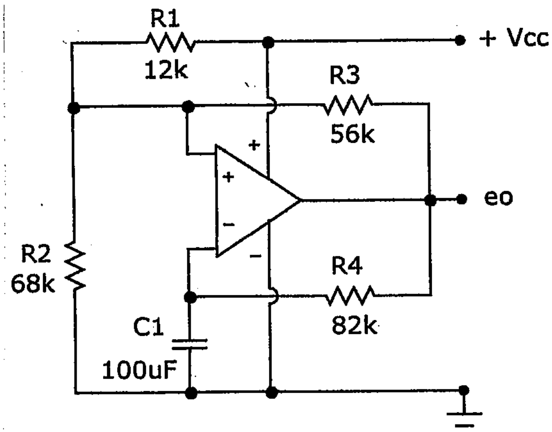
$$\frac{e_o}{e_i} = -26 \rightarrow f = 37880 \text{ Hz}$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2013/2

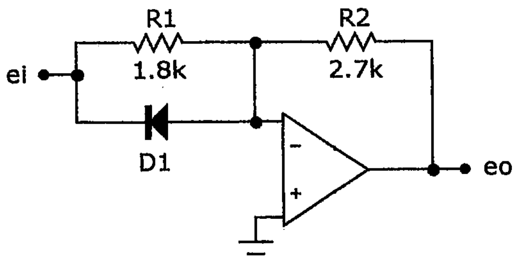
Recuperação 10/12/2013

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5 pontos) Examine o circuito a seguir, descreva a sua função e equacione em formato literal a tensão no capacitor a partir do momento em que a fonte de 16 Volts é ligada, até a estabilização do funcionamento. Descreva cada etapa com textos, equações e desenhos. Esboce o gráfico do que foi calculado, com todos os valores numéricos de interesse. Componentes ideais.



2. (3 pontos) Equacione o circuito abaixo e desenhe o gráfico de sua função de transferência com todos os valores que foram calculados. Componentes ideais e alimentação simétrica de 10 Volts.



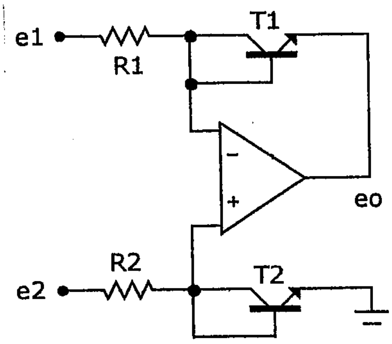
3. (3,5 pontos) Equacione o circuito a seguir para obter a saída em função das entradas em formato literal. Examine a estabilidade do circuito e implemente a solução com o auxílio de um resistor NTC (coeficiente de temperatura negativo) de 10KΩ e ao mesmo tempo adapte a função resposta para operar em base 2 e termo constante unitário. Para aumentar o ganho, diminua a realimentação. Entradas >> 1. Documente todas as etapas.

$$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(o) - v_C(\infty)] \cdot e^{-t/\tau}$$

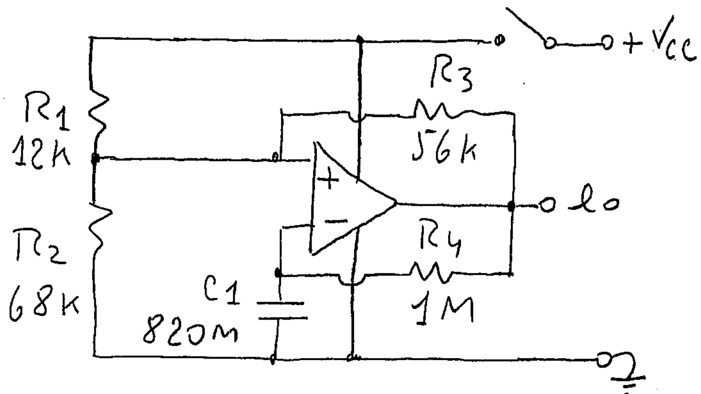
$$t = -\tau \cdot \ln\{[v_C(\infty) - v_C(t)]/[v_C(\infty) - v_C(o)]\}$$

$$V_{be} = (k \cdot T/q) \cdot \ln(I_C/I_O) \qquad e^x = 10^{\log(e) \cdot x}$$

$$\log_a(x) = \log_b(x)/\log_b(a)$$



Examine o circuito a seguir, descreva o seu funcionamento qualitativo e equacione a tensão no capacitor a partir do momento em que a chave fecha até o momento em que o circuito se estabiliza. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas. Componentes ideais. Vcc = 16 Volts.



Ex 2008/1

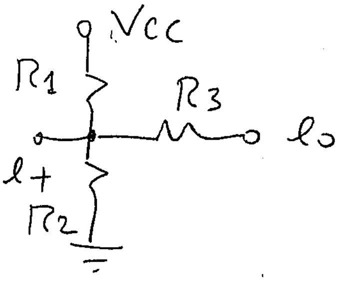
Análise: Gerador de ondas quadradas com alimentação simples. l_+ recebe uma polarização DC com o divisor de tensão R1 e R2.

Ao ligar, V_{C1} vai de zero até V_{HIGH} do comparador então desce até V_{LOW} e a partir daí, oscila entre estes limites.

Ponto de virada: $l_+ = l_-$

$$l_- = V_c$$

Aplicando Thévenin em l_+:



$$V_{TH} = V_{cc}\,\frac{R_2//R_3}{R_1+R_2//R_3} + l_o\,\frac{R_1//R_2}{R_3+R_1//R_2}$$

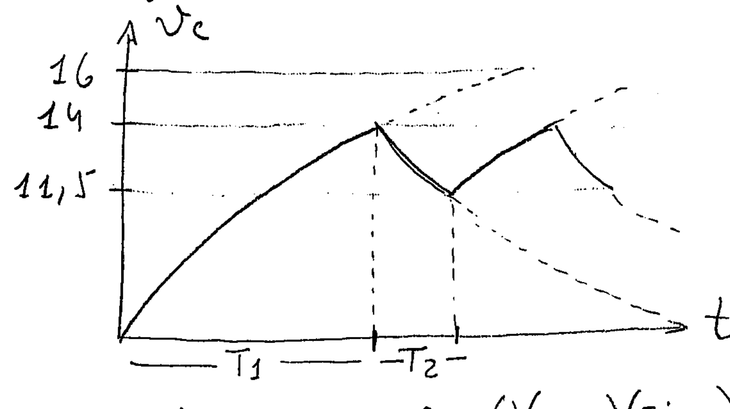
$$V_{TH} = V_{cc}\,\frac{30,7}{12+30,7} + l_o\,\frac{10,2}{56+10,2}$$

$$V_{TH} = 16 \cdot 0,719 + \begin{cases}16\\0\end{cases} \cdot 0,154$$

$$V_{TH} = 11,5 + \begin{cases}2,46\\0\end{cases} = \begin{cases}13,97\\11,5\end{cases}$$

Como $V_c = V_{TH}$, estes são os limites de tensão no capacitor.

Gráfico:



Como $t = -R \cdot C \ln\left(\frac{V_\infty - V_{FIM}}{V_\infty - V_{INIC}}\right)$

$$T_1 = -R_4 \cdot C_1 \ln\left(\frac{16-14}{16-0}\right)$$

$$T_1 = 1,7\,s \;//$$

$$T_2 = -R_4 \cdot C_1 \ln\left(\frac{0-11,5}{0-14}\right)$$

$$T_2 = 0,161\,s \;//$$

Versão Ex 2013-2

$$t = -R_4 C_1 \ln\left(\frac{V_\infty - V_{FIM}}{V_\infty - V_{INIC}}\right) \quad e \quad V_{TH} = \begin{cases} 14 \\ 11{,}5 \end{cases}$$

$$T_1 = -82k \cdot 100\mu \ln\left(\frac{16-14}{16-0}\right)$$

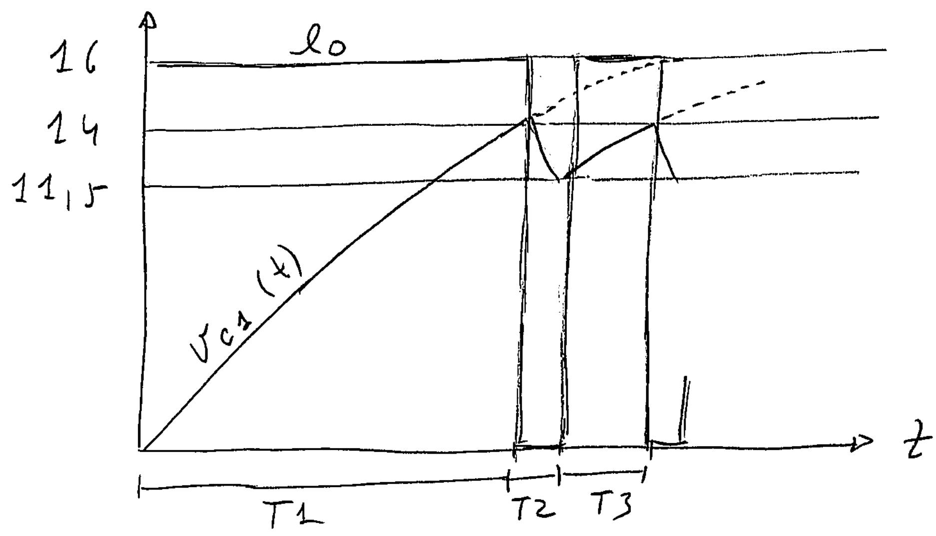
$T_1 = 17$ segundos // ao ligar, de zero até 14 Volts

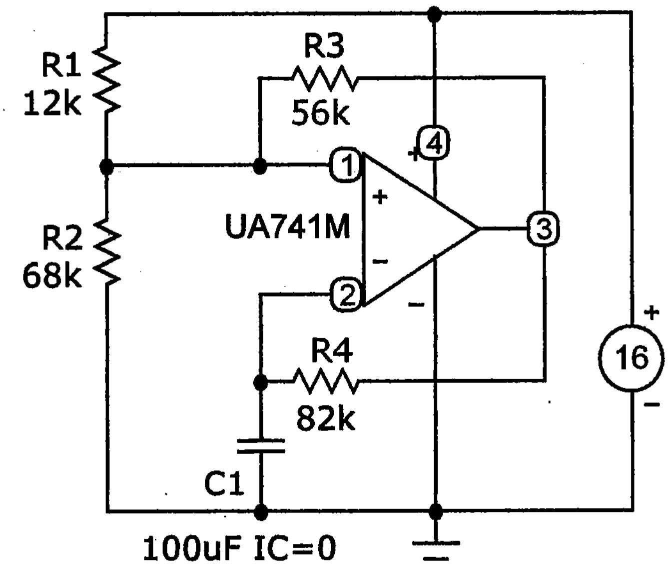
$$T_2 = -82k \cdot 100\mu \ln\left(\frac{0-11{,}5}{0-14}\right)$$

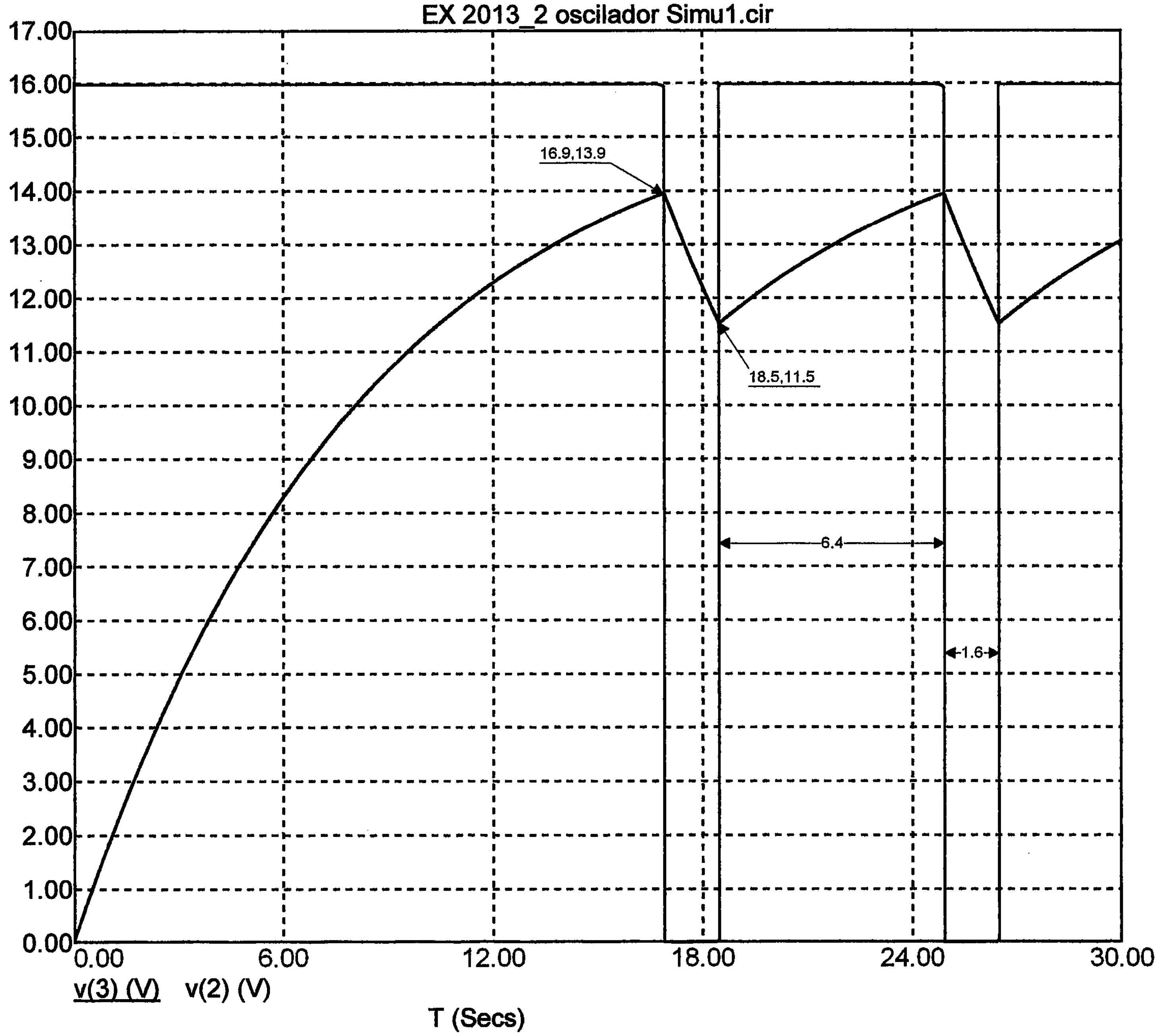
$T_2 = 1{,}61$ segundos // descarga de C1: 14V → 11,5 Volts

$$T_3 = -82k \cdot 100\mu \cdot \ln\left(\frac{16-14}{16-11{,}5}\right)$$

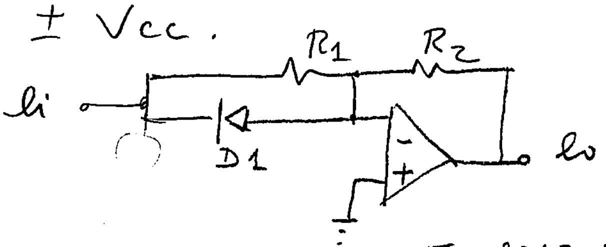
$T_3 = 6{,}65$ segundos // carga de C1: 11,5 → 14 Volts




R1
12k
R3
56k
R2
68k
UA741M
R4
82k
C1
100uF IC=0
16


EX 2013_2 oscilador Simu1.cir
16.9,13.9
18.5,11.5
6.4
1.6
v(3) (V)
v(2) (V)
T (Secs)

Equacione o circuito e desenhe o gráfico de sua função de transferência, marcando todos os pontos de interesse. Componentes ideais e alimentação $\pm$ Vcc.



Ex 2013-2

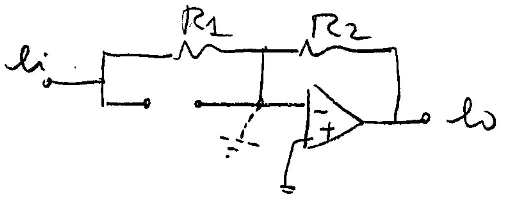
Circuito é inversor e linear.

Diodo é não-linear: fazer hipóteses.

Existe massa virtual.

Hipótese: ei positivo.

Então D = OFF:



Equacionando $e_+ = e_-$:

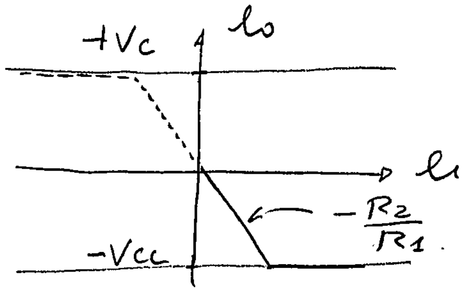
$e_+ = 0$

$$e_- = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

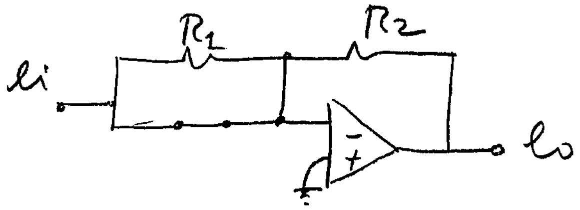
Igualando e isolando eo:

$$e_o = -\frac{R_2}{R_1} \;//$$

Esboço do gráfico, válido para $e_i > 0$:



Hipótese: ei negativo então D = ON:



Equacionando $e_+ = e_-$:

$e_+ = 0$ Então $0 = e_i$??

$e_- = e_i$

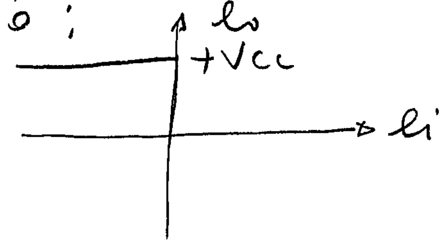
Vale também:

$$e_o = A_d\,(e_+ - e_-) + A_c\left(\frac{e_+ + e_-}{2}\right)$$

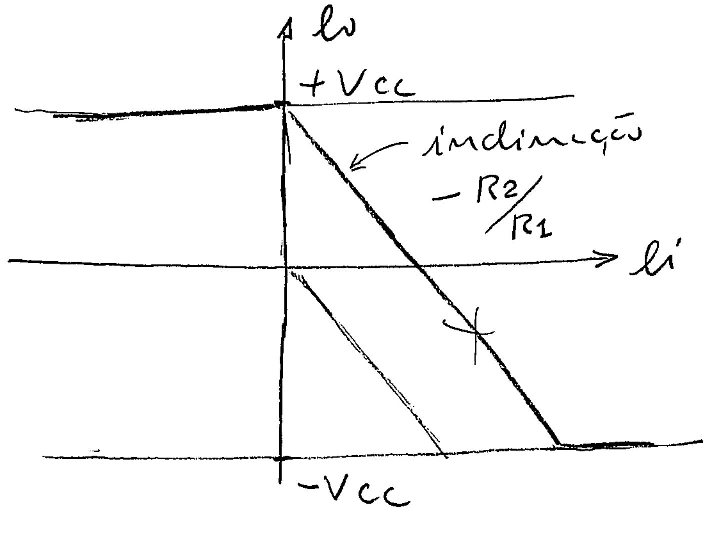
$$e_o = \infty\,(0 - (-e_i)) + 0\,(\cdots)$$

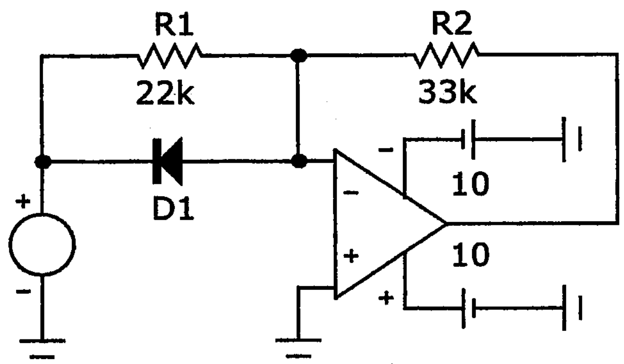
$e_o = +\infty$ // Saturado em +Vcc

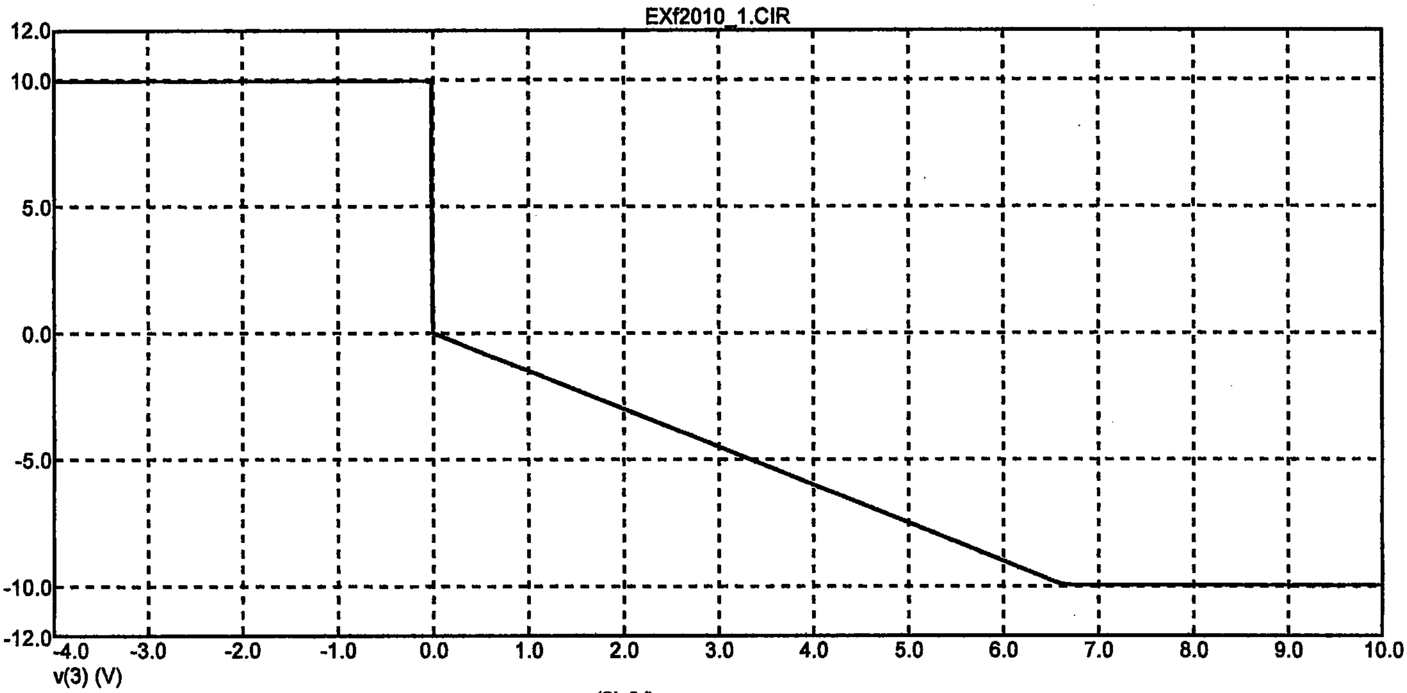
Esboço do gráfico para $e_o < 0$:

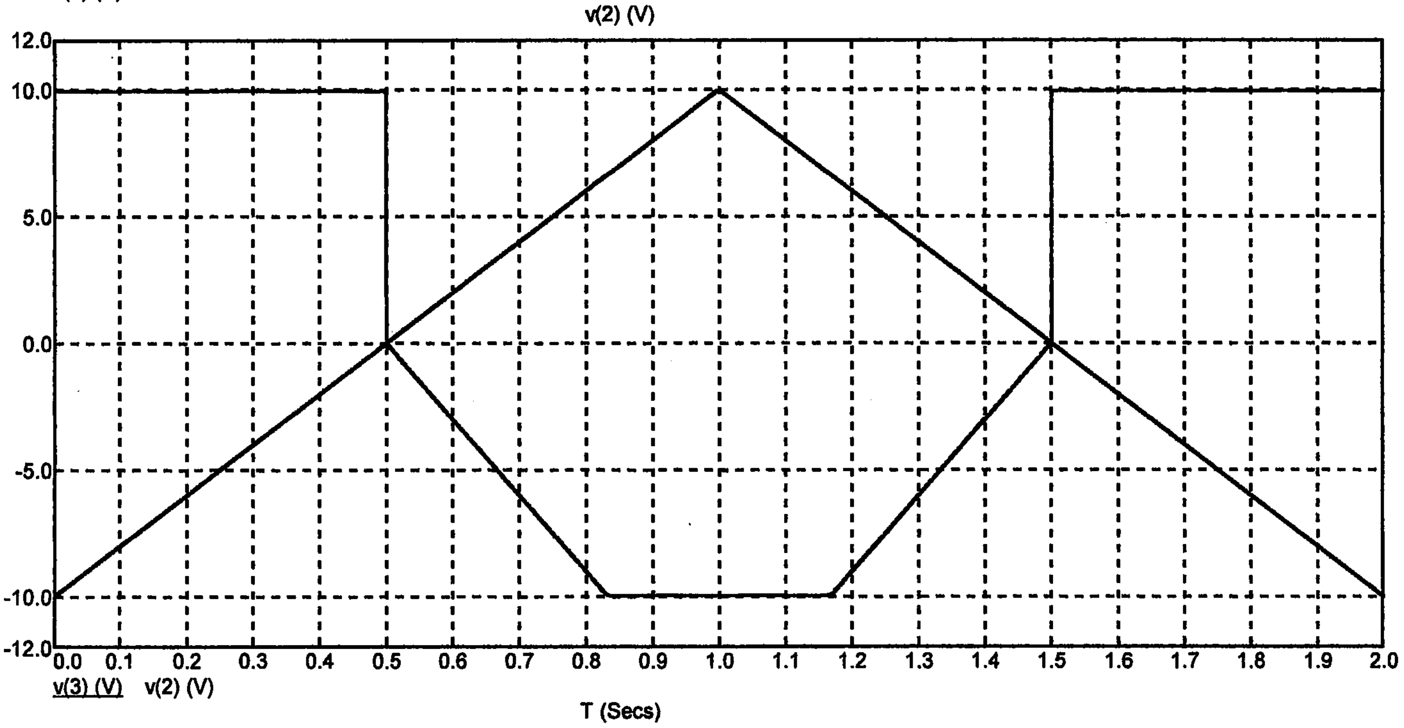


Juntando os gráficos



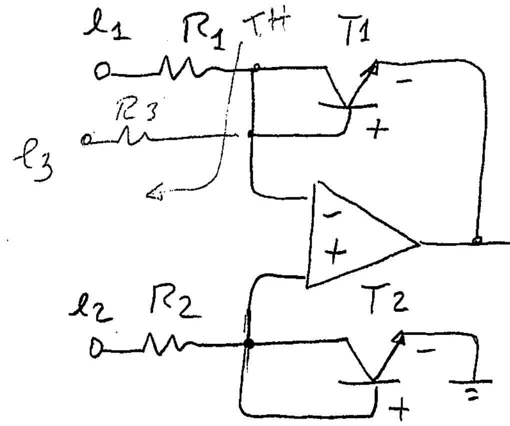

R1
22k
R2
33k
D1
10
10
+
-


EXf2010_1.CIR
12.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-12.0
-4.0 -3.0 -2.0 -1.0 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
v(3) (V)
v(2) (V)

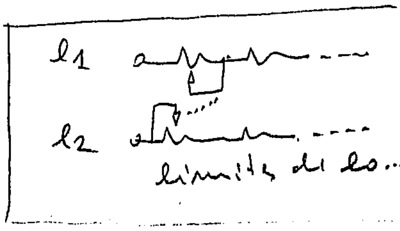

12.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-12.0
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0
v(3) (V) v(2) (V)
T (Secs)

Feito em maio 2008

Equacione o circuito.



Suponha entradas >> V_{BE}'s



Comente os resultados, vantagens e desvantagens. Modifique um pouco para corrigir imperfeições e obter uma saída em base 10.

Ex 2008/2

Existe apenas realimentação negativa: $l_+ = l_-$

$$l_+ = V_{BE2}$$

$$l_- = V_{BE1} + l_o$$

Melhor: KVL

$$-V_{BE2} + V_{BE1} + l_o = 0$$

$$l_o = V_{BE2} - V_{BE1} \;//$$

Igualando e isolando lo:

$$l_o = V_{BE2} - V_{BE1}$$

$$l_o = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_o}\right) - \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_o}\right)$$

$$l_o = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{C2}/I_o}{I_{C1}/I_o}\right)$$

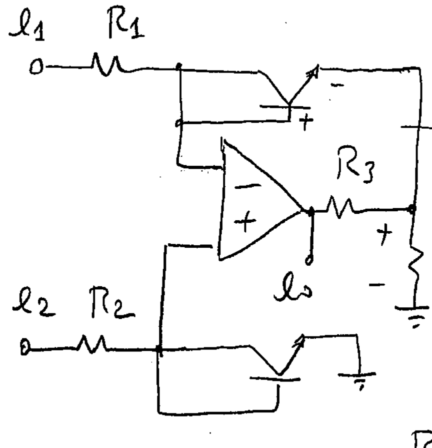
$i_{C1} = (l_1 - V_{BE2})/R_1$ Supondo $l_1 >> V_{BE2}$ fica apenas $i_{C1} = \frac{l_1}{R_1}$

$$l_o = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{l_2 \cdot R_1}{l_1 \cdot R_2}\right) \;//$$

(VIDE VERSO)

Sensível à temp. mas I_o foi cancelado.

Usando 15,7k e 1k PTC o circuito tem maior ganho e fica estável.



Note que R_{TH} é

$$l_- = V_{BE1} + l_o \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Igualando e isolando lo:

$$l_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \left(V_{BE2} - V_{BE1}\right)$$

$$l_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{l_2 \cdot R_1}{l_1 \cdot R_2}\right)$$

Com $R_3 = 15{,}7k$
$R_4 = 1k$ @ 27°C PTC

como $\frac{k \cdot T}{q} = 26\,mV$ @ 27°C

$$l_o = \frac{15{,}7 + 1}{1} \cdot 26 \cdot 10^{-3} \;\text{----}$$

$$l_o = 0{,}4342 \ln\left(\frac{l_2 \cdot R_1}{l_1 \cdot R_2}\right)$$

como $\ln(x) = 2{,}3 \cdot \log(x)$

$$l_o = \log\left(\frac{l_2 \cdot R_1}{l_1 \cdot R_2}\right) \;//$$

Usando: $R_3 = 37{,}5K$
$R_4 = 1k$ PTC

Fica $l_o = \ln\left(\frac{l_2 \cdot R_1}{l_1 \cdot R_2}\right)$

Configurar para:

$$l_o = 3 \cdot \ln\left(l_2/l_1\right)$$

sendo $R_4 = 1k$ PTC

Versão Ex 2013/2

$$e_o = \frac{k \cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_{C1}}\right)$$

Entradas >> 1, $e_+ = e_-$:

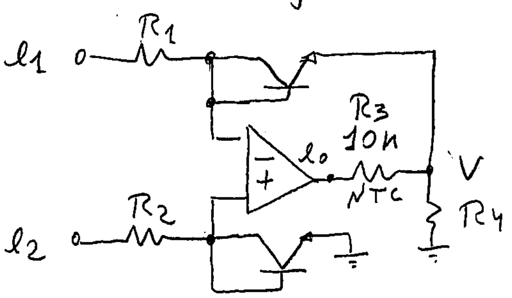
$$I_{C1} = \frac{e_1 - e_-}{R_1} = \frac{e_1 - V_{BE2}}{R_1} \cong \frac{e_1}{R_1}$$

$$I_{C2} = \frac{e_2 - e_+}{R_2} = \frac{e_2 - V_{BE2}}{R_2} \cong \frac{e_2}{R_2}$$

Então:

$$e_o = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) \quad (1) \quad //$$

Sensível à temperatura mas Io foi cancelado.
Como $\Delta V_{BE} = -2\,mV/°C$, precisa aumentar e_o com a temperatura.
Como $\frac{k \cdot T}{q} = 26\,mV$ @ 27°C precisa aumentar e_o reduzindo a realimentação:
circuito fica:



$V = e_o \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ levando em (1):

$$e_o \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$$

$$e_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$$

Passando para base 2:

$$\log_2(x) = \frac{\log_e(x)}{\log_e(2)} = 1{,}4427 \cdot \log_e(x)$$

Fica então:

$$e_o = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{k \cdot T}{q} \cdot 1{,}4427 \log_2\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) \quad //$$

Para constante unitária com $R_3 = 10k$ NTC:

$$\frac{10k + R_4}{R_4} \cdot 26 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}4427 = 1$$

Daí, $R_4 = 389{,}7 \longrightarrow R_4 = 390\,\Omega$

Com estes valores,

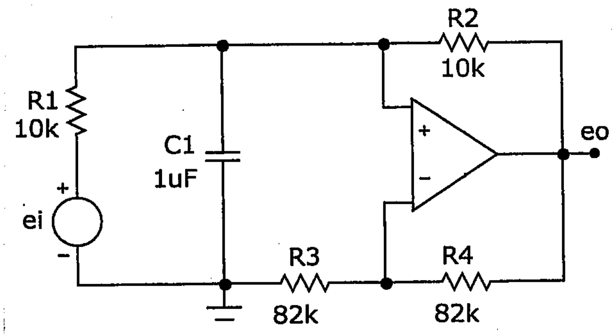
$$e_o = \log_2\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) \quad //$$

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2014/1

Recuperação 14/7/2014

Nome: GABARITO **Turma:** ______

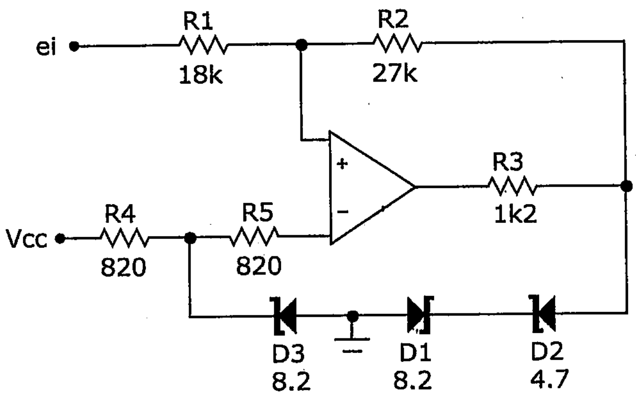
1. (3,5 pontos) Examine a topologia a seguir e procure entender o seu funcionamento. Equacione o circuito em formato literal para obter a saída e_o em função da entrada e_i. Aplique então o sinal de entrada e os valores de circuito na equação e desenhe o gráfico temporal da saída, com todos os valores de interesse marcados. Descreva todas as etapas com textos, equações e diagramas pois isso vai ser avaliado. Entrada: onda quadrada com 6 Volts pico-a-pico e 50Hz.



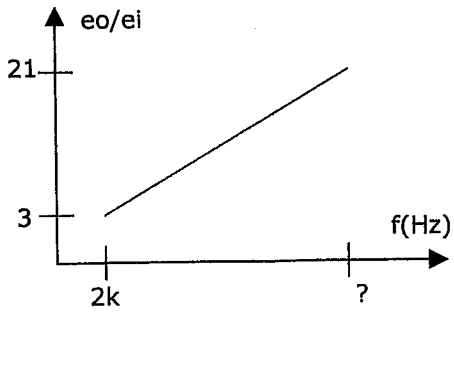
$$i_c(t) = C \cdot dv_c / dt$$

$$v_c = \frac{1}{C}\int i_c dt$$

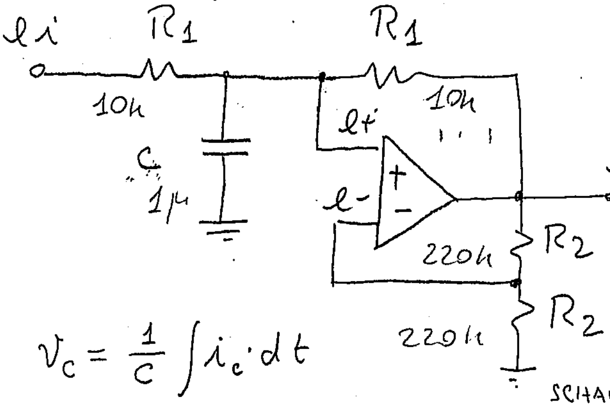
2. (3,5 pontos) Examine o funcionamento do circuito a seguir, equacione sua função de transferência e_o / e_i em formato literal, aplique os valores e desenhe o gráfico respectivo, com todos os valores numéricos que foram calculados. Descreva cada etapa com textos, equações e diagramas para ajudar o entendimento.



3. (3,0 pontos) Projete o circuito de um amplificador não-inversor com o ganho e_o / e_i controlado por um sinal digital de frequência variável acionando uma chave eletrônica de um polo e duas posições. Planeje a solução agora. A resposta do circuito deve obedecer o gráfico a seguir. Para baixo consumo, use resistores de 100k pelo menos. Como sempre, descreva formalmente cada passo pois isso será avaliado. Calcule o limite superior do clock. $R_{equivalente} = 1 / C \cdot f_{ck}$.



Equacione o circuito, determine a função de transferência e_o/e_i e analise o resultado, descrevendo a função do circuito. Documente cada passo da solução.
Dica: o circuito é linear.



$$V_c = \frac{1}{C}\int i_c\, dt$$

SCHAUM P. 417
EX 2006

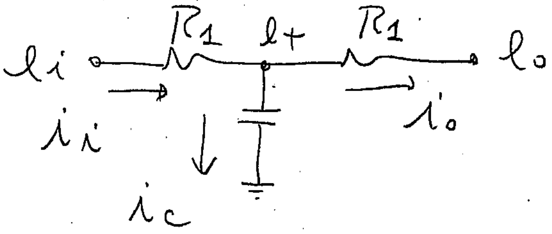
Se o circuito é linear,
$e_+ = e_-$

$$e_- = e_o \frac{R_2}{R_2 + R_2} \quad \text{então:}$$

$$e_+ = e_- = \frac{e_o}{2} \quad //$$

como $V_c = e_+ = \frac{1}{C}\int i_c\, dt$, (1) é conveniente equacionar o circuito por correntes.

KCL em e_+:



$$-i_i + i_c + i_o = 0$$

$$i_c = i_i - i_o$$

$$i_c = \frac{e_i - e_+}{R_1} - \frac{e_+ - e_o}{R_1}$$

$$i_c = \frac{e_i - \frac{e_o}{2}}{R_1} - \left(\frac{\frac{e_o}{2} - e_o}{R_1}\right)$$

$$i_c = \frac{e_i - \frac{e_o}{2} - \frac{e_o}{2} + e_o}{R_1}$$

$$i_c = \frac{e_i}{R_1} \quad //$$

Substituindo em (1):

$$V_c = \frac{e_o}{2} = \frac{1}{C}\int \frac{e_i}{R_1}\, dt$$

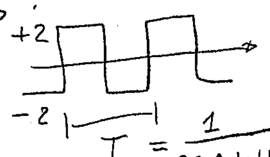
Portanto:

$$e_o = \frac{2}{R_1 \cdot C}\int e_i\, dt \quad //$$

Integrador não-inversor com ganho 2.

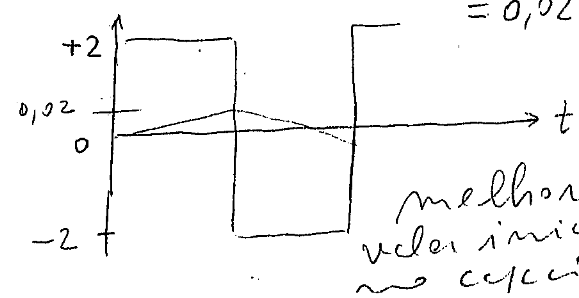
Valores:

$e_i =$



$$T = \frac{1}{200\ \text{kHz}} = 5 \cdot 10^{-6}$$

$$e_o = \frac{2}{10k \cdot 1\mu}\int_0^{5\cdot 10^{-6}} 2\, dt = 400 \cdot 5 \cdot 10^{-6}$$
$$= 0{,}02 \text{ Volts}$$



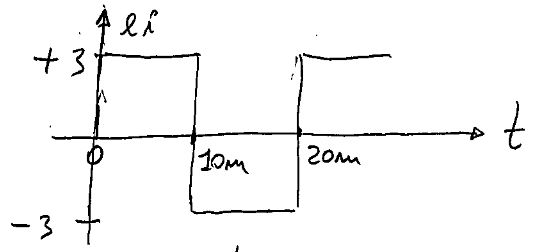
melhorar: valor inicial no capacitor...

Versão de Recuperação 2014/1

$$e_o = \frac{2}{R_1 \cdot C_1} \int e_i \cdot dt + e_o(0)$$

Começando com $V_{C1}(0) = 0$

e a entrada e_i como:



$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\,Hz} \equiv 20ms$$

Dois semi-períodos:

$T_1 = T_2 = 10ms$

Colocando os valores do circuito:

$$e_o = \frac{2}{10k \cdot 1\mu} \int_0^{10ms} 3 \cdot dt + 0\,Volt$$

$$e_o = 600 \cdot T_1 = 600 \cdot 10ms = 6\,Volts$$

Rampa de 0 a 6 Volts entre $t=0$ e $t=10ms$

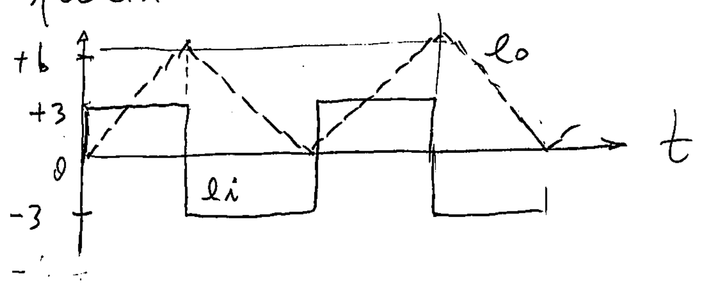
Seguindo o tempo:

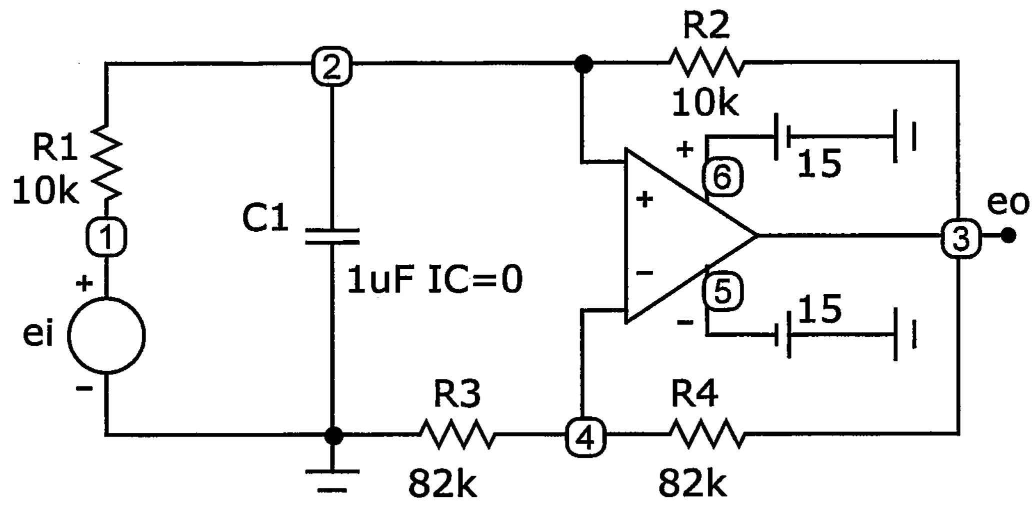
$$e_o = \frac{2}{10k \cdot 1\mu} \int_{10ms}^{20ms} -3 \cdot dt + 6\,Volts$$

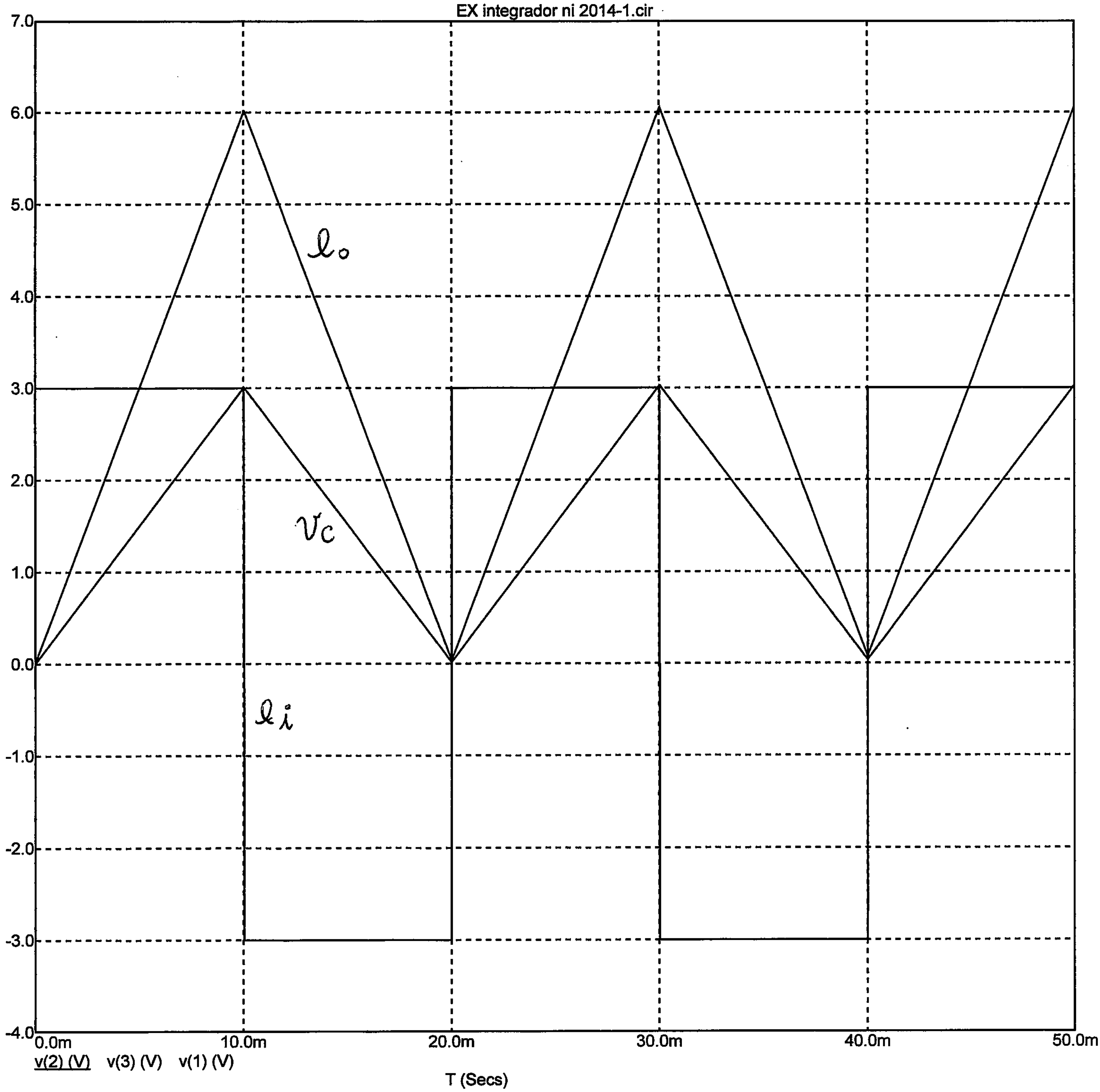
$$e_o = -600 \cdot 10ms + 6\,Volts = 0$$

Rampa diminui de 6 a 0 entre $t = 10ms$ e $t = 20ms$

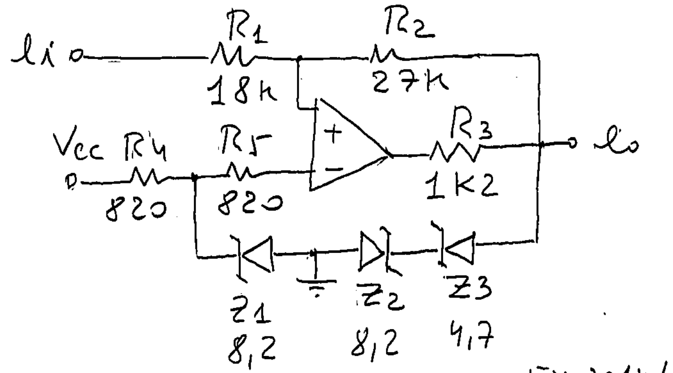
A partir daí o ciclo se repete. Então:




R2
10k
R1
10k
C1
1uF IC=0
ei
+
-
15
15
eo
R3
82k
R4
82k
1
2
3
4
5
6


EX integrador ni 2014-1.cir
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
-1.0
-2.0
-3.0
-4.0
0.0m
10.0m
20.0m
30.0m
40.0m
50.0m
v(2) (V) v(3) (V) v(1) (V)
T (Secs)
eo
vc
ei

Equacione o circuito a seguir, determine a função e_o/e_i e o gráfico respectivo, com todos os pontos de interesse marcados. Equacione em formato literal, descreva cada passo e aplique os valores numéricos por último. $V_D = 0{,}6$
$V_{cc} = \pm 12V$ Operacional ideal.



EX-2014/1

Realimentação positiva apenas, tensão de referência, limitador de tensão na saída.
É um comparador não-inversor com histerese e tensão de ref.
R_5: sem função pois $i_- = 0$.
Ponto de virada: $e_+ = e_-$:

Por superposição,

$$e_+ = e_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$e_- = V_{Z1}$$

Igualando e isolando e_i :

$$e_i = \frac{R_1+R_2}{R_2}\left(V_{Z1} - e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}\right) \quad (1)$$

O operacional trabalha saturado em $\pm V_{cc}$ exceto nos pontos de virada. Devido ao limitador na saída, $e_o = \pm V_Z + V_D$.

$$e_o = +(V_{Z2}+V_{D3}) = 8{,}2+0{,}6 = +8{,}8\ V$$

$$e_o = -(V_{D2}+V_{Z3}) = -0{,}6-4{,}7 = -5{,}3\ V$$

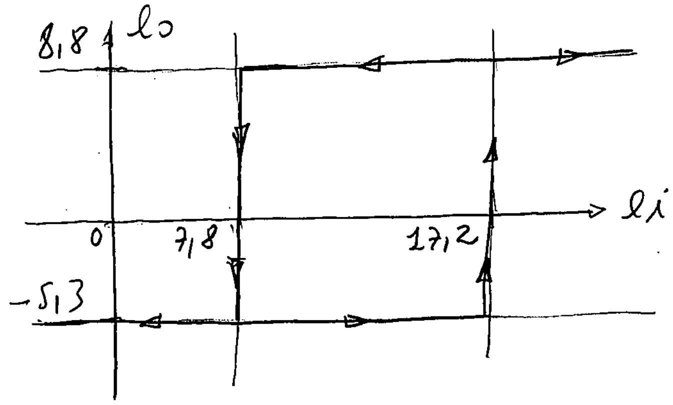
Colocando os valores em (1):

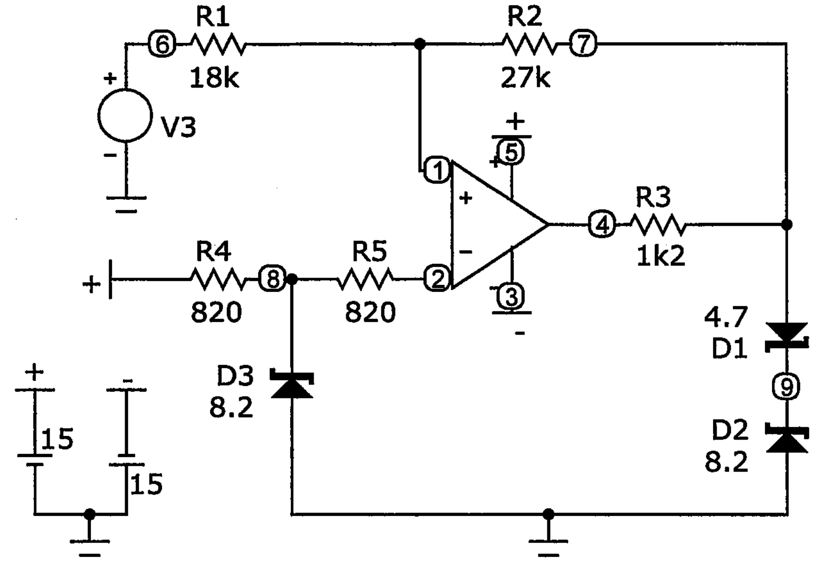
$$e_i = \frac{18+27}{27}\left[8{,}2 - \begin{pmatrix}+8{,}8\\-5{,}3\end{pmatrix}\frac{18}{18+27}\right]$$

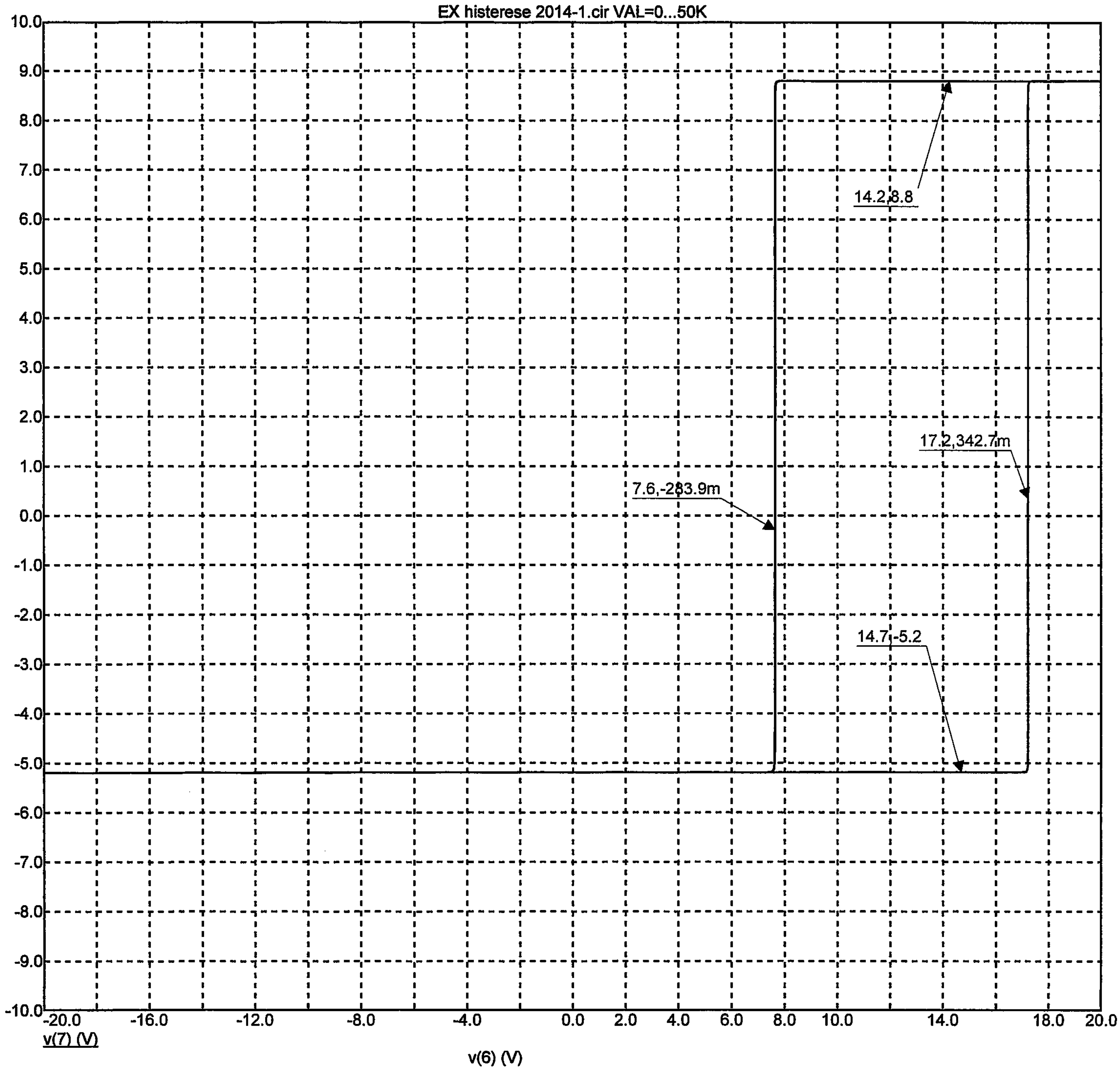
$$e_i = \frac{45}{27}\left[8{,}2 \cdot \begin{pmatrix}-3{,}52\\+2{,}12\end{pmatrix}\right]$$

$$e_i = \begin{pmatrix}+7{,}8\\+17{,}2\end{pmatrix}$$

Estes são os valores de e_i que viram e_o entre os dois limites calculados acima.
Montando o gráfico:




R1
18k
R2
27k
V3
R3
1k2
R4
820
R5
820
D3
8.2
4.7
D1
D2
8.2
15
15


EX histerese 2014-1.cir VAL=0...50K
14.2,8.8
17.2,342.7m
7.6,-283.9m
14.7,-5.2
v(7) (V)
v(6) (V)

Projete o circuito de um amplificador não-inversor de ganho controlado por um sinal digital de frequência variável, acionando uma chave de 1 polo duas posições.

Dados:

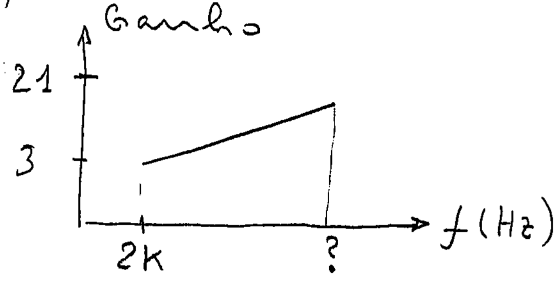
Resposta descrita pelo gráfico a seguir.

Componentes ideais.

Baixo consumo: use resistores de 100K pelo menos.

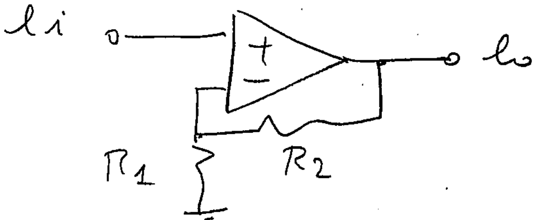
Descreva cada passo do equacionamento do projeto.

Calcule os limites de frequência do clock.



Ex 2007/1

Ponto de partida: amplif. não inversor:



$$e_- = e_i$$

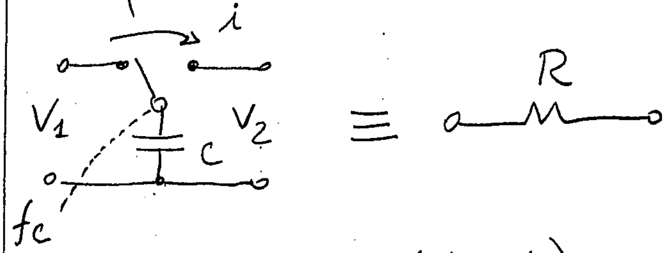
$$e_+ = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

Igualando:

$$e_i = e_o \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad //$$

capacitor chaveado:



$$\Delta q = C \cdot \Delta V = C\,(V_1 - V_2)$$

$$i_{médio} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad e \quad R = \frac{\Delta V}{i_{médio}}$$

$$R = \frac{V_1 - V_2}{\frac{C\,(V_1 - V_2)}{\Delta t}} \rightarrow R = \frac{T_c}{C} = \frac{1}{C \cdot f_c}$$

T_c = período do clock

f_c = freq. do clock

Então, como R diminui com a freq. e o ganho do amplif. é inversamente proporcional a R_1, fazemos

R_1 = cap. chaveado.

Equacionando:

Ganho mínimo:

$$3 = 1 + \frac{R_2}{R_{1LOW}}$$

Escolhendo $R_2 = 100k$, então

$$R_{1LOW} = 50K \quad //$$

Ganho máximo:

$$21 = 1 + \frac{R_2}{R_{1HIGH}}$$

$$R_{1HIGH} = 5K \quad //$$

Transformando R1 em um capacitor chaveado:

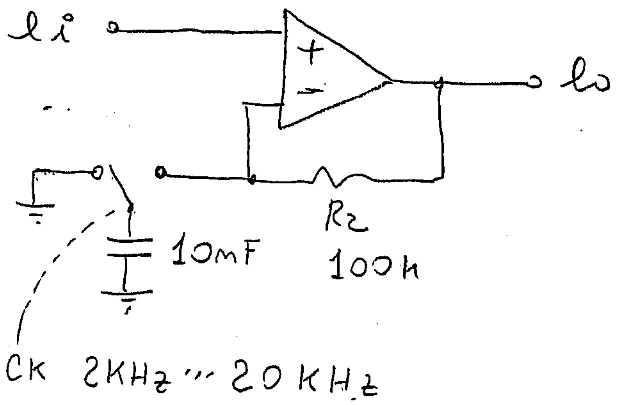
$$R_{1\,LOW} = \frac{1}{C \cdot 2\,KHz} = 5\Omega$$

Então $C = 10\,mF$ //

$$R_{1\,HIGH} = \frac{1}{C \cdot f_?} = 5K$$

Então $f_? = 20\,kHz$ //

Circuito projetado:

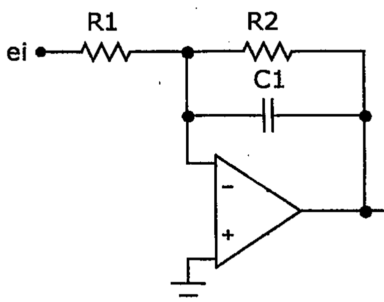


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2014/2

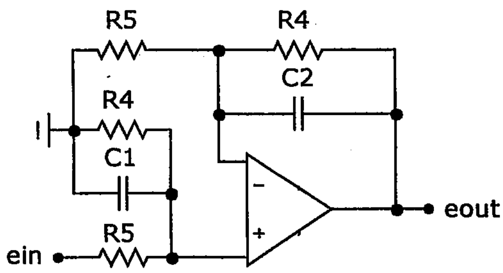
Recuperação 16/12/2014

Nome: GABARITO **Turma:** ______

1. (3,5 pontos) Examine os 2 circuitos a seguir procurando entender o funcionamento.
a) Descreva suas funções em termos gerais
b) Planeje a maneira mais simples de executar cada passo do futuro equacionamento
c) Equacione em formato literal a função de transferência no domínio frequência do primeiro circuito e a seguir o ganho em corrente contínua. Analise e comente os resultados
d) Repita os passos acima para o segundo circuito, compare e comente os resultados.

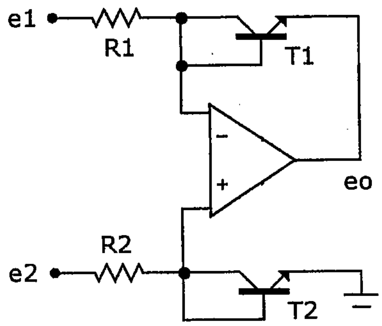


C1 = C2 = 100nF
R1 = R5 = 15k
R2 = R4 = 39k

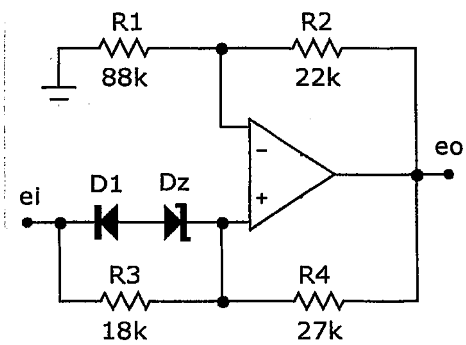


2. (3,0 pontos) Equacione o circuito a seguir, descrevendo cada passo. Examine e comente os resultados alcançados, vantagens e desvantagens do circuito etc. Por último, implemente modificações para tornar o circuito mais perfeito e com melhor desempenho: Compensação dos efeitos da temperatura, constante unitária e operador em base 10.

Adote a simplificação de $e_i >> V_{be}$.



3. (3,5 pontos) Examine o circuito a seguir e descreva seu provável comportamento.
Equacione a sua função de transferência e_o / e_i e desenhe o gráfico, colocando todos os valores calculados. $V_{diodo} = 0{,}7$ e $V_z = 3{,}3$ Volts.



$$v_c(t) = v_c(\infty) + [v_c(o) - v_c(\infty)] \cdot e^{-t/\tau}$$

$$t = -\tau \cdot \ln\{[v_c(\infty) - v_c(t)] / [v_c(\infty) - v_c(o)]\}$$

$$V_{be} = (k \cdot T / q) \cdot \ln(I_c / I_o) \qquad e^x = 10^{\log(e) \cdot x}$$

$$\log_a(x) = \log_b(x) / \log_b(a)$$

Examine os dois circuitos a seguir e:

a) Descreva a sua função, em termos gerais

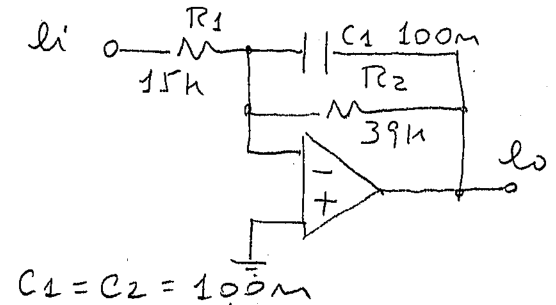
b) Equacione em formato literal a função de transferência no domínio frequência do circuito A e a seguir equacione o ganho em corrente contínua. Analise e comente os resultados.

c) Aplique os valores numéricos nas duas equações deduzidas.

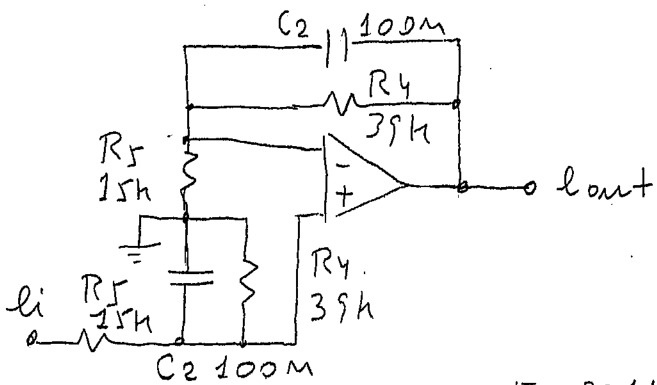
d) Repita todos os passos acima no circuito B.

e) Compare os resultados e comente.

CIRCUITO A



CIRCUITO B



$C_1 = C_2 = 100n$

$R_1 = R_5 = 15k$

$R_2 = R_4 = 39k$

Ex 2011-2

a) circuitos lineares (só realim. negativa) e são dependentes do tempo e freq. Circuito A é inversor e o B não inverte o sinal.

b) Circuito é um integrador compensado ou filtro tipo passa-baixa de 1ª ordem.

Reatância capacitiva:

$$X_1 = \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{1}{s \cdot C_1}$$

Juntando C_1 e R_2:

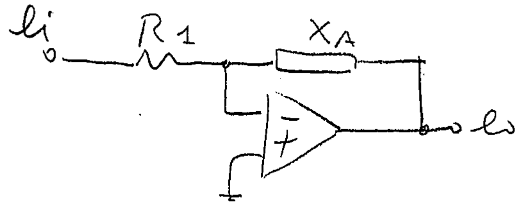
$$X_A = X_1 // R_2 = \frac{X_1 \cdot R_2}{X_1 + R_2}$$

$$X_A = \frac{\frac{1}{s \cdot C_1} \cdot R_2}{\frac{1}{s \cdot C_1} + R_2}$$

$$X_A = \frac{\frac{R_2}{s \cdot C_1}}{\frac{R_2 + s \cdot C_1 R_2^2}{s \cdot C_1 \cdot R_2}}$$

$$X_A = \frac{\frac{R_2}{\cancel{s \cdot C_1}} \cdot \cancel{s \cdot C_1} \cdot \cancel{R_2}}{\cancel{R_2} + s \cdot C_1 R_2^{\cancel{2}}}$$

$$X_A = \frac{R_2}{1 + s \cdot C_1 R_2} \quad //$$



Equacionando $e_+ = e_-$:

$e_+ = 0$ Por superposição:

$$e_- = e_i \frac{X_A}{R_1 + X_A} + e_o \frac{R_1}{R_1 + X_A}$$

Igualando:

$$e_o \frac{R_1}{\cancel{R_1+X_A}} = -e_i \frac{X_A}{\cancel{R_1+X_A}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{X_A}{R_1}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-R_2/R_1}{1+s\cdot R_2\cdot C_1} \quad //$$

Ganho em cc: fazendo $s=0$:

$\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{cc} = -R_2/R_1$ Amplif. inversor

c) Valores numéricos:

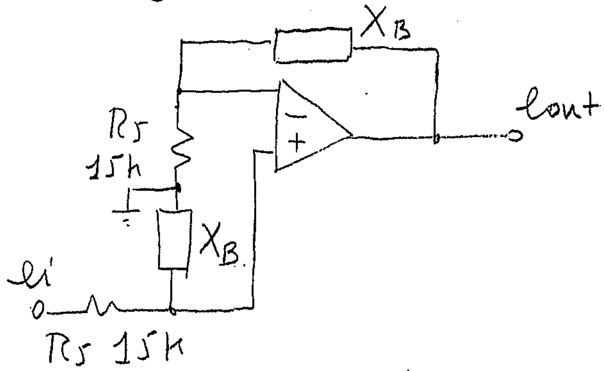
$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-39/15}{1+s\cdot 39K\cdot 100n}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-2,6}{1+0,0039\cdot s} \quad //$$

Ganho em cc: $\left.\frac{e_o}{e_i}\right|_{cc} = -2,6$

d) Circuito B:

Aproveitando o que foi deduzido para o circuito A:



$$X_B = \frac{R_4}{1+s\cdot C_2\cdot R_4}$$

Equacionando $e_+ = e_-$:

$$e_+ = e_i \frac{X_B}{R_5+X_B}$$

$$e_- = e_o \frac{R_5}{R_5+X_B}$$

Igualando:

$$e_o \frac{R_5}{\cancel{R_5+X_B}} = e_i \frac{X_B}{\cancel{R_5+X_B}}$$

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{X_B}{R_1}$$

$$\frac{e_{out}}{e_i} = +\frac{R_4/R_1}{1+s\cdot C_2\cdot R_4} \quad //$$

Ganho em cc fazendo $s=0$:

$\left.\frac{e_{out}}{e_i}\right|_{cc} = +\frac{R_4}{R_5}$ Amplif. não-inversor

Valores numéricos:

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{39/15}{1+s\cdot 39k\cdot 100n}$$

$$\frac{e_{out}}{e_i} = \frac{2,6}{1+0,0039\cdot s} \quad //$$

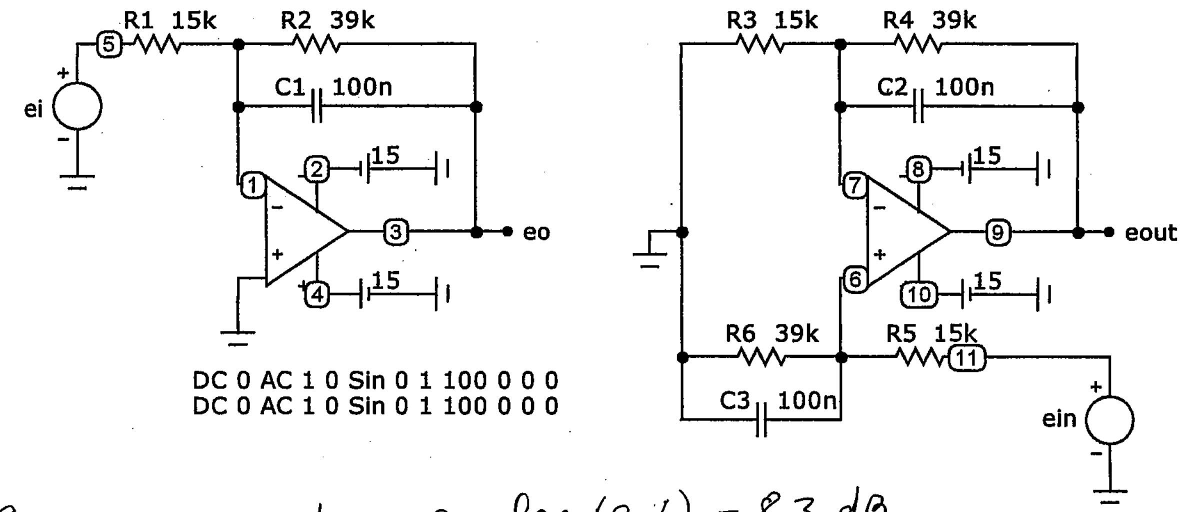
$$\left.\frac{e_{out}}{e_i}\right|_{cc} = 2,6 \quad //$$

e) Os dois circuitos são idênticos com a diferença que A é inversor e B é não-inv. Ambos são passa-baixas de primeira ordem com

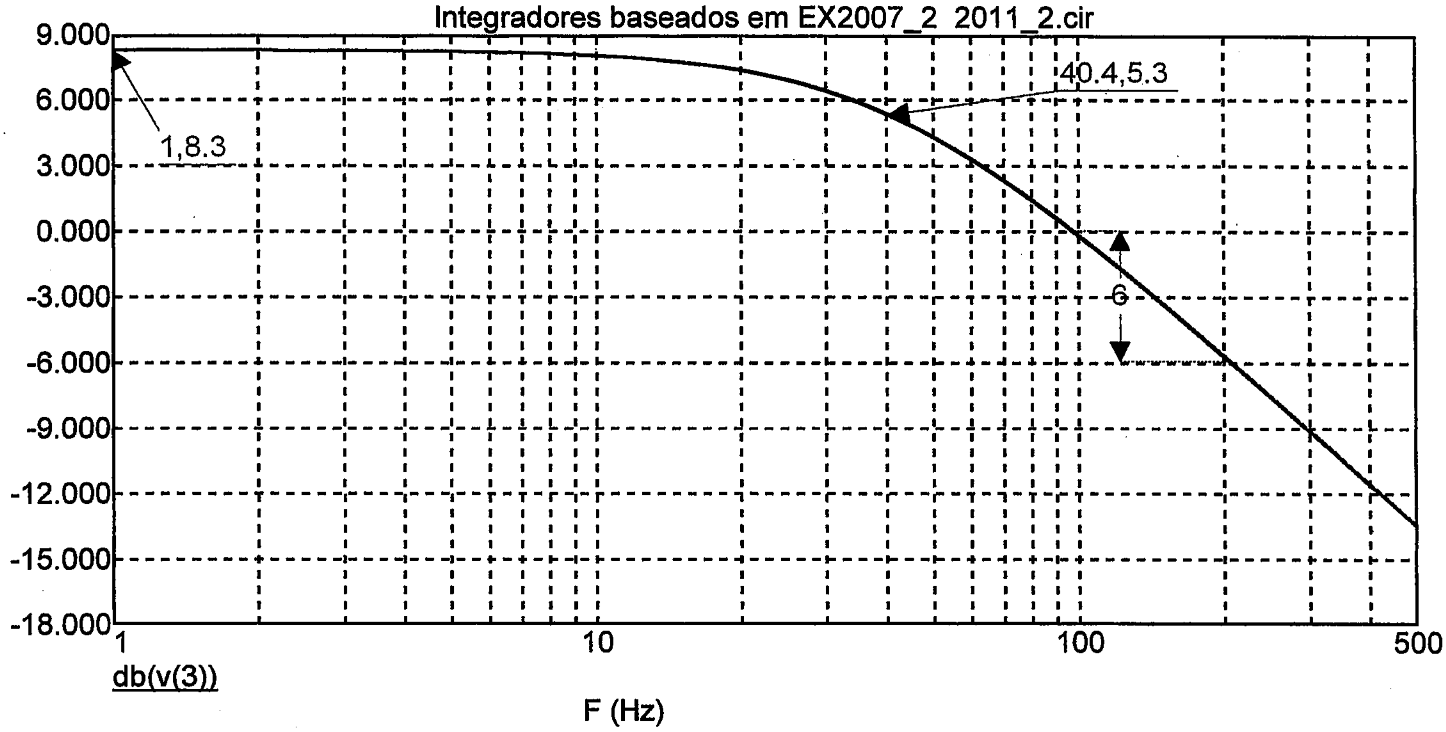
$$\omega_0 = \frac{1}{R\cdot C} = \frac{1}{39k\cdot 100n}$$

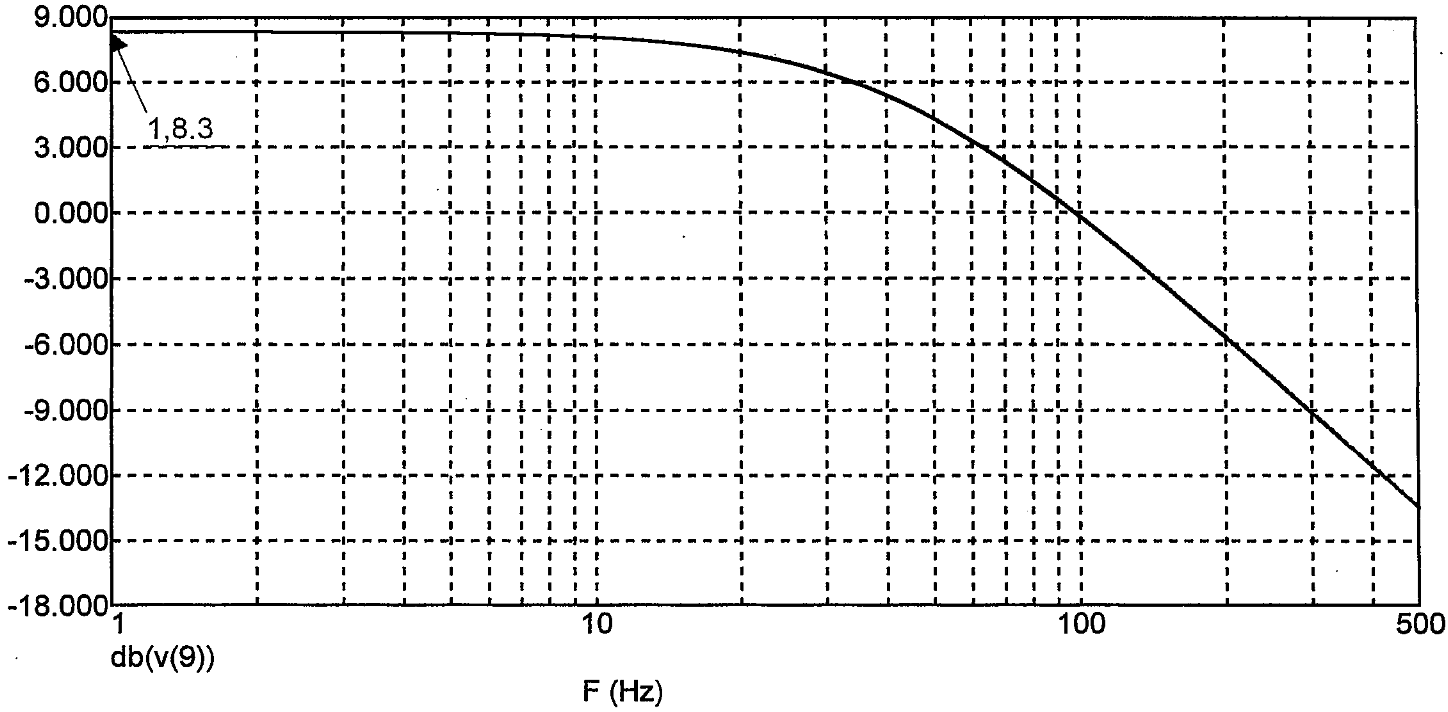
$$\omega_0 = 256,4 \text{ rad/s} \quad //$$

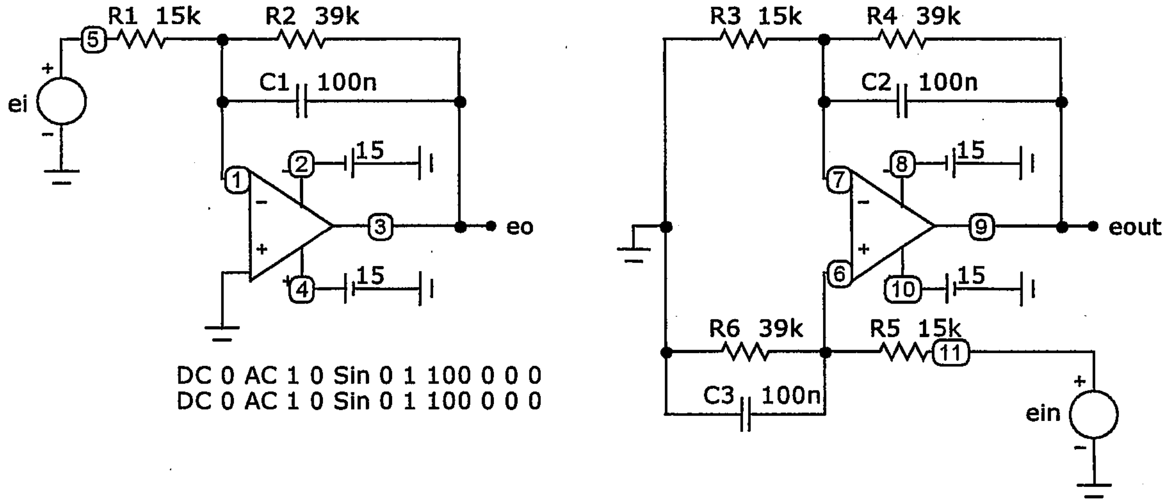
$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 40,8 \text{ Hz} \quad //$$



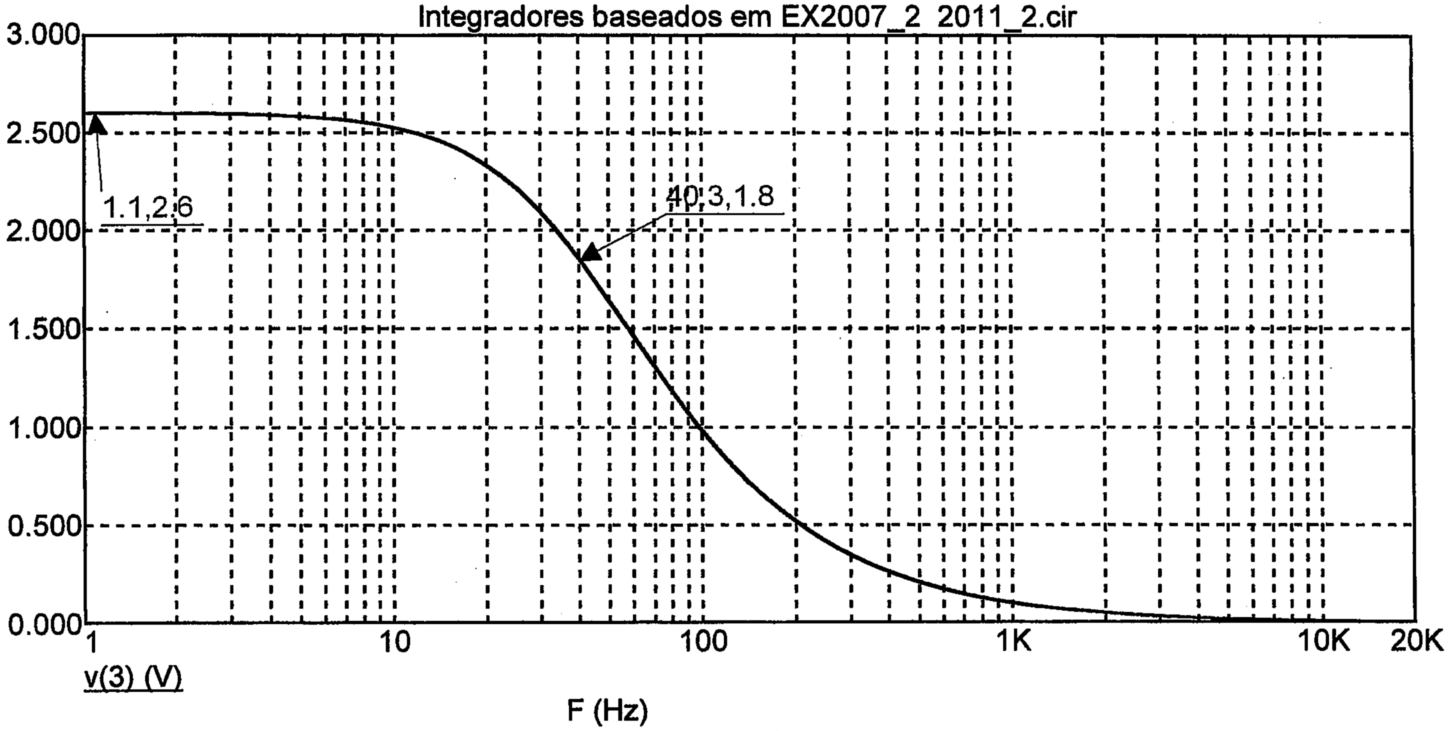
Ganho em dB = $20 \cdot \log(2,6) = 8,3$ dB

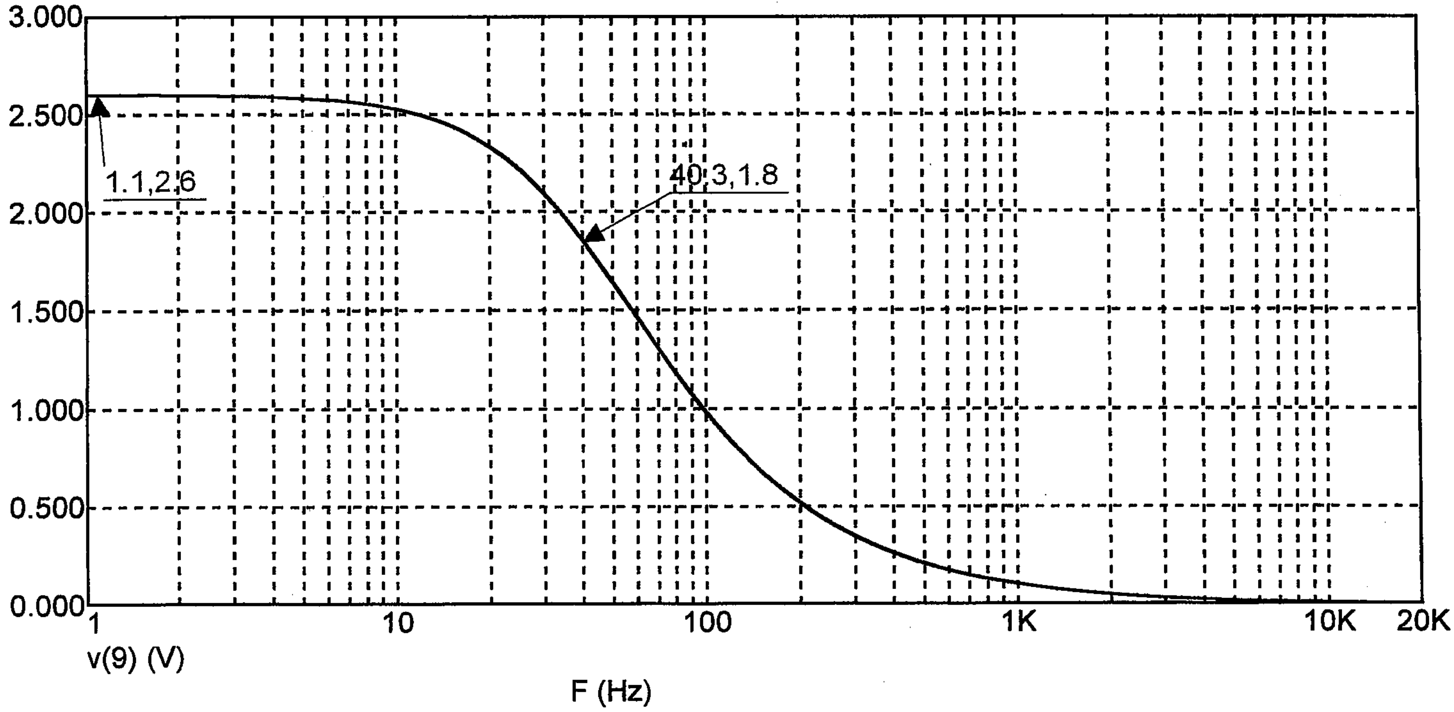






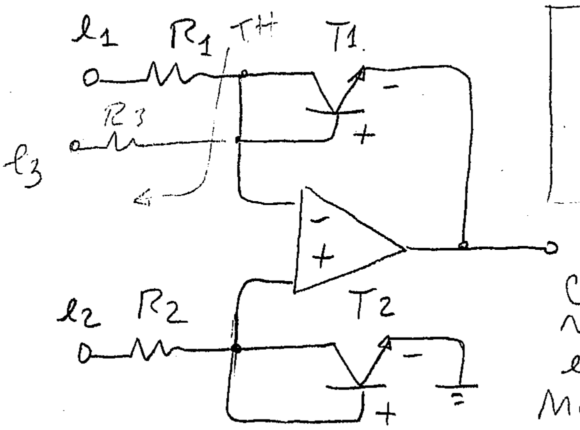
Integradores baseados em EX2007_2 2011_2.cir

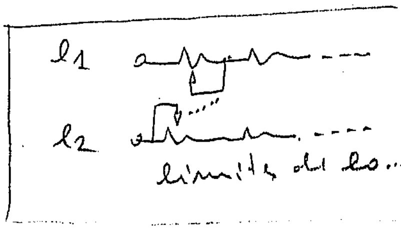




Feito em maio 2008

Equacione o circuito.





Comente os resultados, vantagens e desvantagens. Modifique um pouco para corrigir imperfeições e obter uma saída em base 10.

EX 2008/2

Existe apenas realimentação negativa: $e_+ = e_-$

$$e_+ = V_{BE2}$$

$$e_- = V_{BE1} + e_0$$

Igualando e isolando e_0:

$$e_0 = V_{BE2} - V_{BE1}$$

$$e_0 = \frac{k\cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_0}\right) - \frac{k\cdot T}{q} \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_0}\right)$$

$$e_0 = \frac{k\cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{C2}/I_0}{I_{C1}/I_0}\right)$$

$i_{C1} = (e_1 - V_{BE2})/R_1$ Supondo $e_1 >> V_{BE2}$ fica apenas $i_{C1} = \frac{e_1}{R_1}$

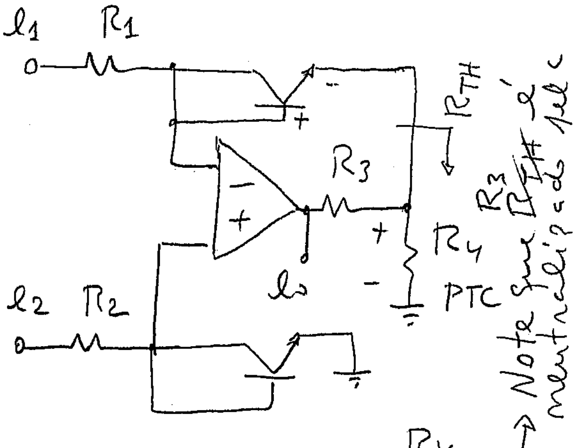
$$e_0 = \frac{k\cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) //$$

(VIDE VERSO)

Sensível à temp. mas I_0 foi cancelado.

Usando 15,7k e 1k PTC o circuito tem maior ganho e fica estável.

com $e_0 = 2 \ln$... precisa $R_3 = 76k$



$$e_- = V_{BE1} + e_0 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Igualando e isolando e_0:

$$e_0 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \left(V_{BE2} - V_{BE1}\right)$$

$$e_0 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{k\cdot T}{q} \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$$

com $R_3 = 15,7k$
$R_4 = 1k$ @ 27°C PTC

como $\frac{k\cdot T}{q} = 26\,mV$ @ 27°C

$$e_0 = \frac{15,7 + 1}{1} \cdot 26 \cdot 10^{-3} \ldots$$

$$e_0 = 0,4342 \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$$

como $\ln(x) = 2,3 \cdot \log(x)$

$$e_0 = \log\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right) //$$

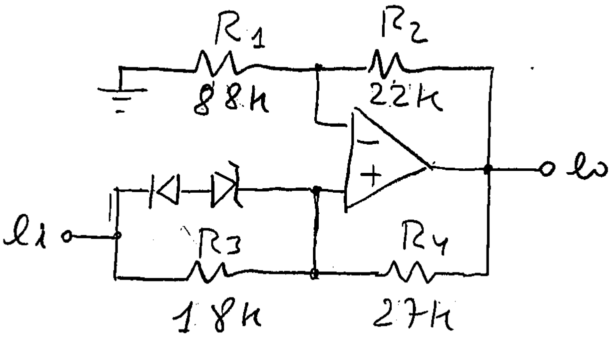
Usando: $R_3 = 37,5K$
$R_4 = 1k$ PTC

Fica $e_0 = \ln\left(\frac{e_2 \cdot R_1}{e_1 \cdot R_2}\right)$

Configurar para: $e_0 = 3 \cdot \ln\left(\frac{e_2}{e_1}\right) \rightarrow R_3 = 11$...
sendo $R_4 = 1k$ PTC

Examine o circuito, Equacione a sua função de transferência e desenhe o gráfico, com todos os valores calculados.

$V_D = 0,7V \quad V_Z = 3,3V$



Realimentações positiva e negativa.

Hipótese Diodos=Off:

$$l_- = lo \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} = lo \, \frac{88}{88+22}$$

$$l_- = 0,8 \, lo$$

$$l_+ = li \, \frac{R_4}{R_3+R_4} + lo \, \frac{R_3}{R_3+R_4}$$

$$l_+ = li \, \frac{27}{18+27} + lo \, \frac{18}{18+27}$$

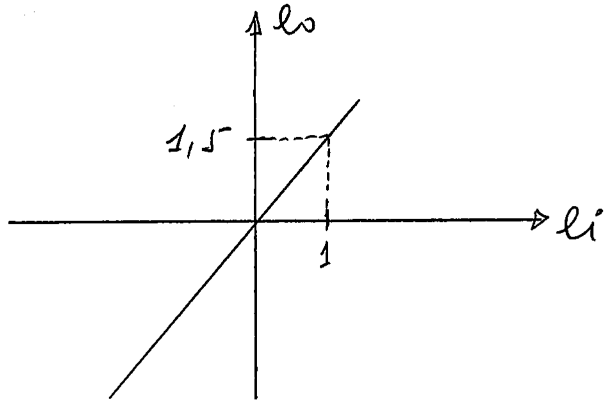
$$l_+ = 0,6 \, li + 0,4 \, lo \quad (1)$$

Igualando:

$$0,8 \cdot lo = 0,6 \cdot li + 0,4 \cdot lo$$

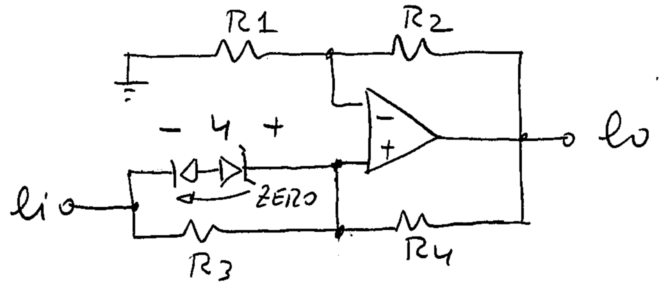
$$lo = 1,5 \cdot li \,// \quad (2)$$

Gráfico lo x li com diodos cortados:



Hipótese: Diodos em condução e corrente zero:
lo > li e lo = positivo.

$$V_Z + V_D = 3,3 + 0,7 = 4 \text{ Volts}$$



Neste caso, $l_+ = li + 4$

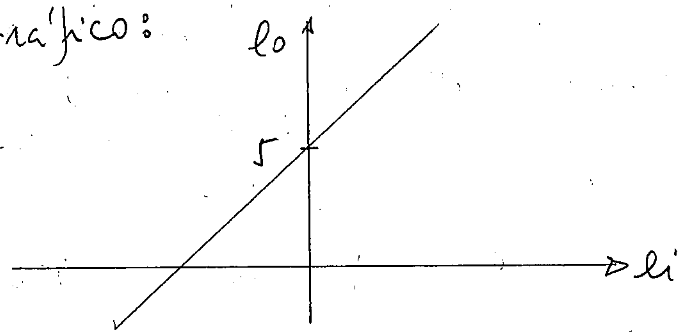
e $l_- = 0,8 \, lo$ é o mesmo.

Igualando e isolando lo:

$$0,8 \cdot lo = li + 4$$

$$lo = 1,25 \, li + 5 \,// \quad (3)$$

Gráfico:



Para l_+ alcançar 4 Volts, equação (1) dá:

$l_+ = 0,6 \cdot li + 0,4 \cdot lo$ Usando (2)

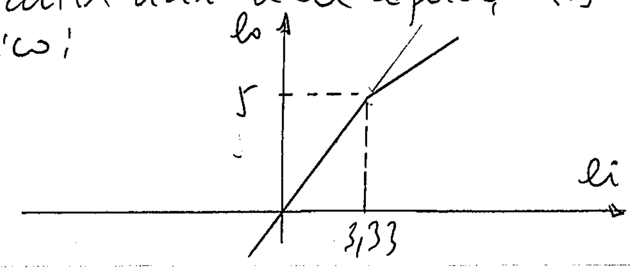
$$l_+ = 0,6 \, li + 0,4 \, (1,5 \cdot li)$$

$$l_+ = 1,2 \, li = 4 \text{ Volts}$$

Então $li = 3,333$ e $lo = 5$. //

A partir daí vale equação (3)

Gráfico:

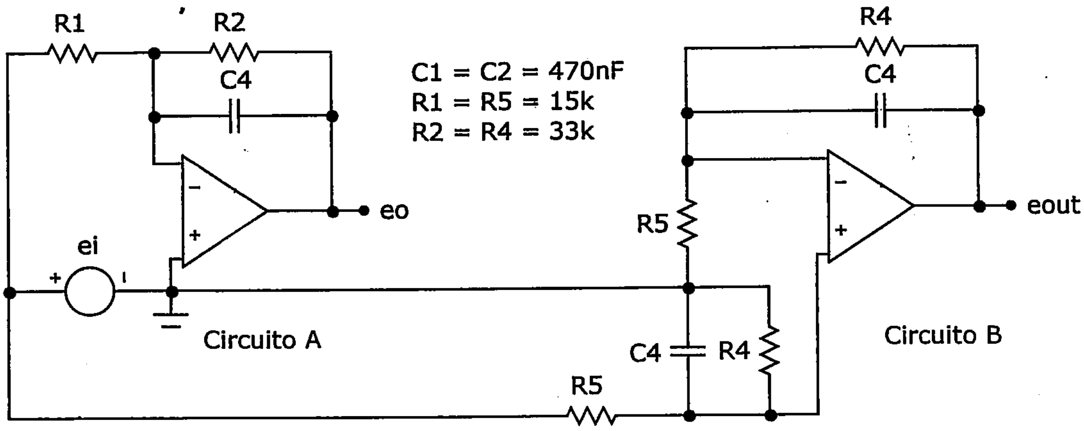


Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Elétrica - DELET
ENG 04033 – Eletrônica Fundamental 2B 2015/1

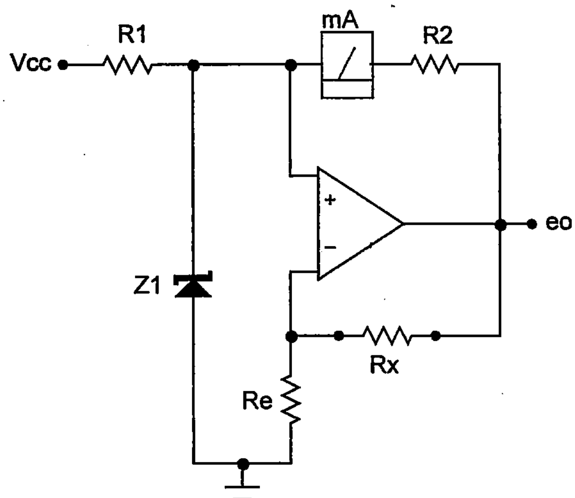
Recuperação 7/7/2015

Nome: GABARÎTO **Turma:** ______

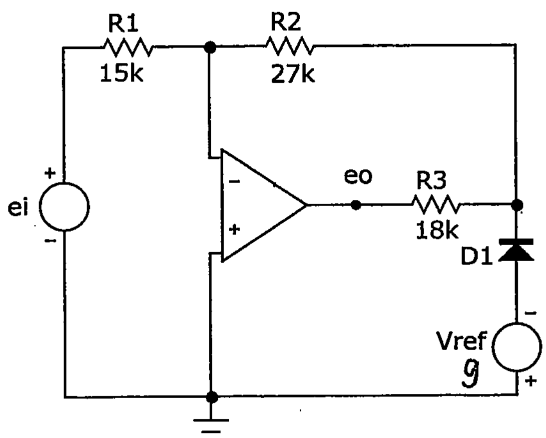
1. (3 pontos) Examine os dois circuitos a seguir e:
a) Descreva as suas funções com o que for possível deduzir olhando as topologias
b) Equacione em formato literal a função de transferência no domínio frequência do Circuito A e a seguir o seu ganho em corrente contínua. Classifique o circuito e comente os resultados
c) Aplique os valores numéricos na equação deduzida
d) Repita os passos acima no Circuito B
e) Compare os dois resultados, e faça os comentários finais.
Documente todos os passos com textos, equações e diagramas. $X_c = 1/j\omega C = 1/sC$



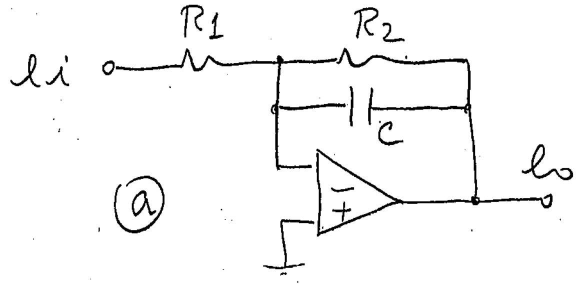
2. (3,5) Equacione o medidor de resistências ao lado, em formato literal, de modo a obter I_m em função de R_x e demais valores de circuito, descrevendo amplamente cada etapa do seu trabalho. O miliampermetro tem resistência interna $R_m=100\Omega$ e alcança plena deflexão com $I_m=1mA$ na bobina. Completada esta etapa, faça $V_z=3$ $R_e=100k$ $R_2=2k9$ e teste a equação com R_x=zero, 50k, 100k e infinito, comentando os resultados.
Qual a função de R_e?

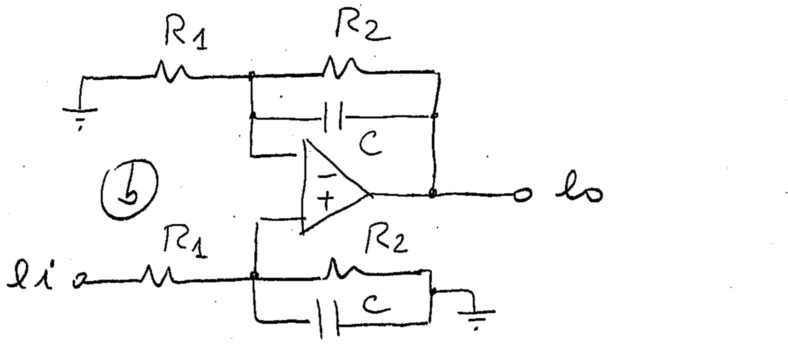


3. (3,5) Equacione o circuito ao lado em formato literal, descrevendo todas as etapas. Aplique os valores de circuito e desenhe a curva de transferência eo x ei, marcando todos os pontos de interesse.



Para cada topologia descrita a seguir,
a) Descreva a sua função, em termos gerais
b) Equacione cada uma para obter a sua função de transferência no domínio freq.,
c) compare os resultados e faça relacionamentos.
d) Aproveitando conhecimentos anteriores, esboce os gráficos da resposta em freq. do ganho (módulo) e fase. Cada etapa deve ser extensivamente documentada.





$$X_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{s\cdot C}$$

ⓐ Circuito conhecido; integrador com perdas ou filtro passa-baixa de primeira ordem.

Circuito é linear $\rightarrow e_+ = e_-$

Seja $X = R_2 // C = \dfrac{R_2\cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}}$

$e_+ = 0$. Por superposição:

$$e_- = e_i \frac{X}{R_1 + X} + e_o \frac{R_1}{R_1 + X}$$

Igualando e isolando e_o:

$$\frac{e_i \cdot X}{R_1 + X} = -e_o \frac{R_1}{R_1 + X}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{X}{R_1} \quad (1)$$

Fazendo $j\omega = S$;

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-\frac{R_2}{s\cdot C}}{R_1\cdot\left(R_2 + \frac{1}{s\cdot C}\right)} = \frac{-\cancel{\frac{R_2}{s\cdot C}}}{R_2\cdot\frac{S\cdot C\cdot R_2 + 1}{\cancel{s\cdot C}}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{-R_2/R_1}{1 + S\cdot R_2\cdot C}$$ // circuito ⓐ é inversor

ⓑ Circuito linear $\rightarrow e_+ = e_-$

$$e_- = e_o \frac{R_1}{R_1 + X}$$

$$e_+ = e_i \frac{X}{R_1 + X}$$

Igualando e isolando e_o:

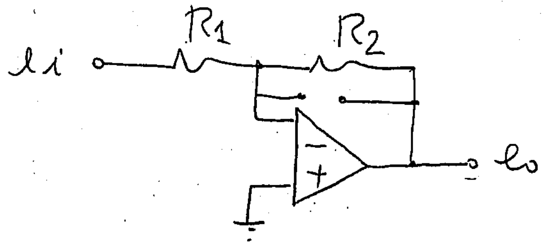
$$\frac{e_i X}{\cancel{R_1 + X}} = \frac{e_o R_1}{\cancel{R_1 + X}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = +\frac{X}{R_1}$$ Comparando com (1) e aproveitando ⓐ.

$$\frac{e_o}{e_i} = +\frac{R_2/R_1}{1 + S\cdot R_2\cdot C}$$ // Circuito ⓑ é não-inversor

Curva de resposta em frequência de (a) e (b):

Em DC, o capacitor é um circuito aberto:



$$\frac{e_o}{e_i}\Big|_{DC} = -\frac{R_2}{R_1}$$

(a) — PB inversor

(b) — PB não-inversor

Polo do filtro ocorre quando $X_C = R_2$. A massa virtual isola R_1, logo:

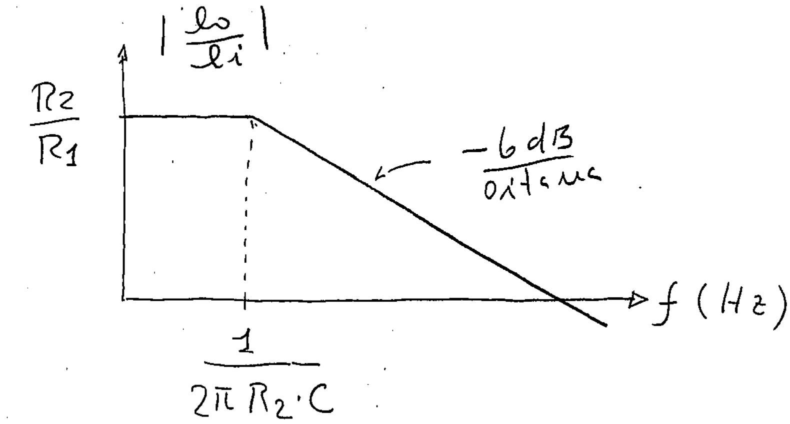
$$\frac{1}{j\omega C} = R_2$$

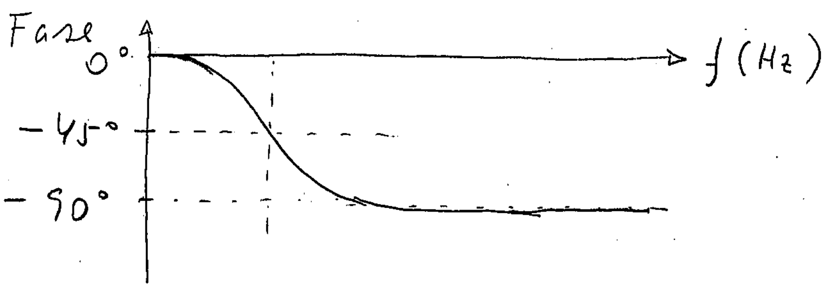
Em módulo:

$$W_0 = \frac{1}{R_2 C}$$

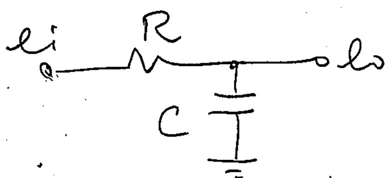
$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Fica então:





PB passivo:



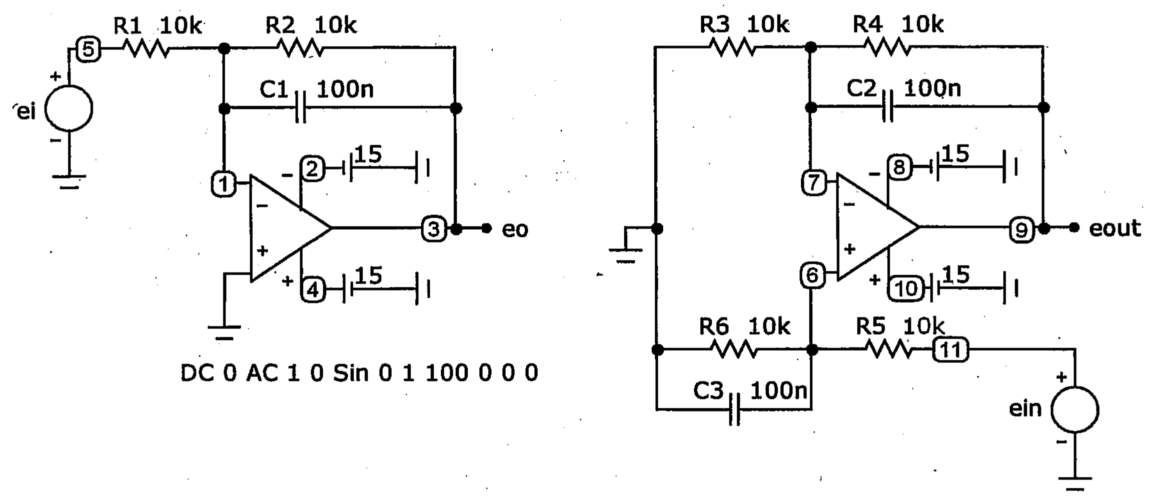
Divisor de tensão:

$$e_o = e_i \frac{X_C}{R + X_C}$$

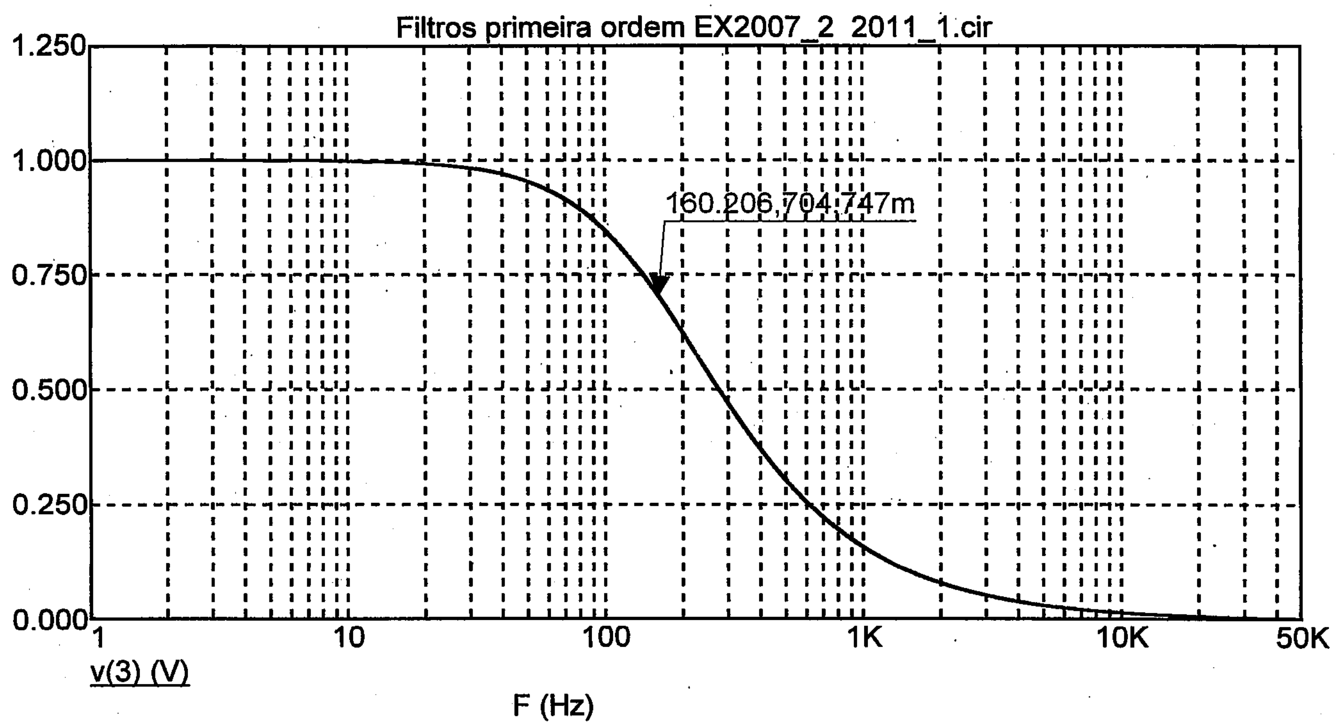
$$e_o = e_i \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

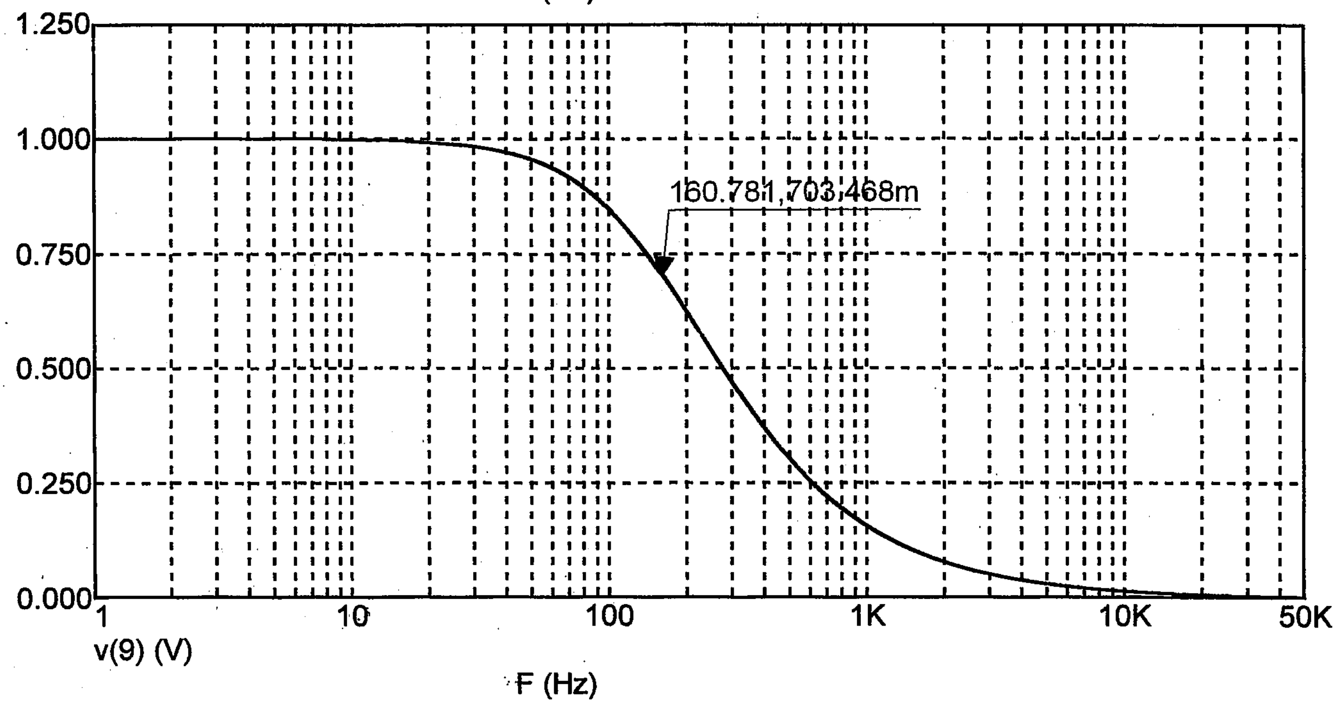
$$e_o = e_i \frac{\cancel{\frac{1}{j\omega C}}}{\frac{R j\omega C + 1}{\cancel{j\omega C}}}$$

$$\frac{e_o}{e_i} = \frac{1}{1 + S \cdot R \cdot C} \quad //$$

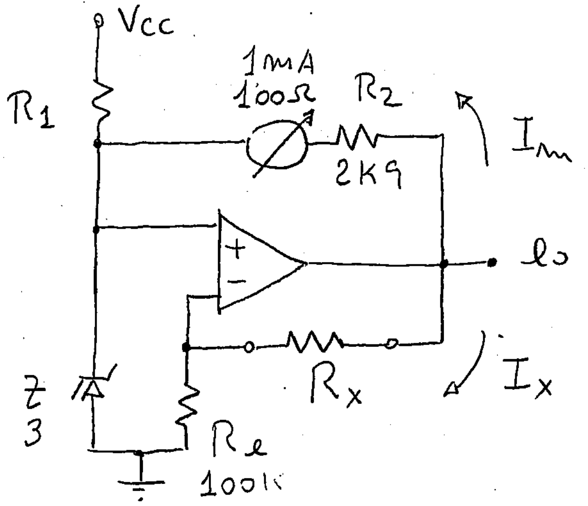


DC 0 AC 1 0 Sin 0 1 100 0 0 0





Equacione o medidor de resistências de modo a obter R_x em função de I_m, V_z, R_e, R_2 e R_m.
O miliamperímetro tem resistência interna $R_m = 100\Omega$ e alcança plena deflexão com $I_m = 1\,mA$ na bobina.
Comente os resultados obtidos e teste a equação com $R_x = 0$, $50k$, $100k$ e ∞.
Componentes ideais.
Qual a função de R_e?



Dica: Equacione I_m e isole R_x no final.

Só tem realim. negativa;
Supondo operação linear e fazendo $e+ = e-$

$$V_z = e_o \frac{R_e}{R_e + R_x} \quad (1)$$

Definindo as correntes I_m e I_x:

$$I_m = \frac{e_o - V_z}{R_2 + R_m} \quad (2)$$

$$I_x = \frac{V_z}{R_e} \qquad I_x = \frac{e_o - V_z}{R_x}$$

Equacionando I_m:
Como e_o é uma variável interna, vamos substituí-la usando a equação (1):

$$e_o = V_z \cdot \frac{R_e + R_x}{R_e}$$

Levando em (2):

$$I_m = \frac{V_z \frac{R_e + R_x}{R_e} - V_z}{R_2 + R_m}$$

$$I_m = \frac{V_z\left[\left(1 + \frac{R_x}{R_e}\right) - 1\right]}{R_2 + R_m}$$

$$I_m = \frac{V_z \cdot \frac{R_x}{R_e}}{R_2 + R_m} \quad //$$

Isolando R_x:

$$R_x = \frac{I_m(R_2 + R_m) \cdot R_e}{V_z}$$

colocando os valores:

$$R_x = \frac{I_m\,(2K9 + 0{,}1K) \cdot 100k}{3}$$

$$R_x = I_m \cdot 10^8\ \Omega \quad //$$

Testando:

$$I_m = R_x / 10^8$$

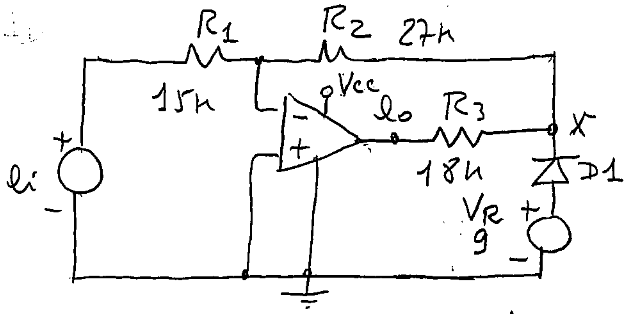
$R_x = 0$: $I_m = \frac{0}{10^8} = 0$

$R_x = 50K$: $I_m = \frac{50k}{10^8} = 0{,}5\,mA$

$R_x = 100k$: $I_m = \frac{100k}{10^8} = 1\,mA$

$R_x = \infty$: $I_m = \frac{\infty}{10^8}$ ⇒ corrente do medidor é grande: precisa de proteção. R_e = escala.

Equacione o circuito em formato literal, aplique os valores e desenhe a curva de transferência lo x li.

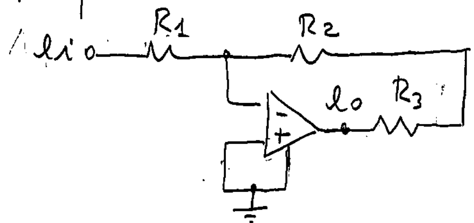


Componentes ideais, Vcc = 30V.

Ex 2015-1

Examinando o circuito, é linear e inversor.

Hipótese: D1 = aberto logo $V_x > V_R$



Linear, massa virtual, $l_+ = l_-$

$l_+ = 0$ Superposição:

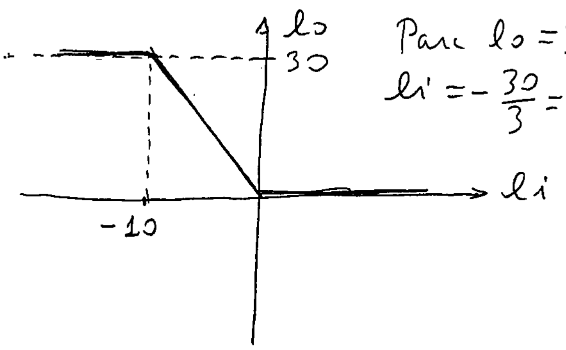
$$l_- = li\,\frac{R_2+R_3}{R_1+R_2+R_3} + lo\,\frac{R_1}{R_1+R_2+R_3}$$

Igualando: $li\cdot(R_2+R_3) + lo\cdot R_1 = 0$

$$lo = -\frac{li\,(R_2+R_3)}{R_1}$$

$$lo = -\frac{li\,(27+18)}{15} \rightarrow lo = -3\,li \;// \quad (1)$$

Esboço do gráfico:



Para $lo = 30$, $li = -\frac{30}{3} = -10$

Hipótese: D1 = curto. Então $V_x < V_R$

V_R segura o nó x em 9 Volts e impede a realimentação negativa de lo para l-. Sem realimentação o operacional apresenta ganho ∞ e o circuito fica um comparador inversor com zero: $lo < \begin{matrix} +Vcc \\ zero \end{matrix}$

Nesta hipótese, só pode ser $lo = 0$ então o ponto de virada, com $l_+ = l_-$ vale: $l_+ = 0$ e

$$l_- = li\,\frac{R_2}{R_1+R_2} + V_x\,\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

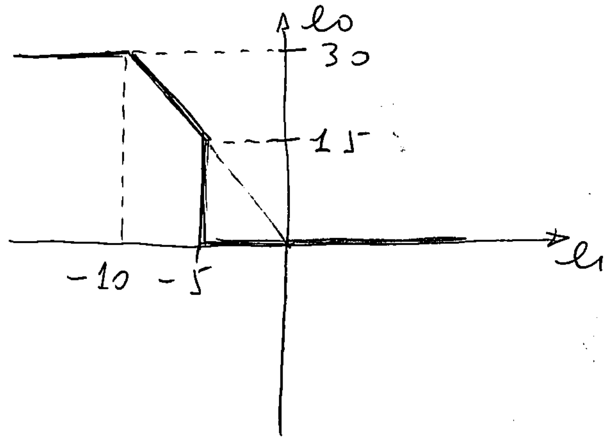
$$li = -V_R\cdot\frac{R_1}{R_2} \;//$$

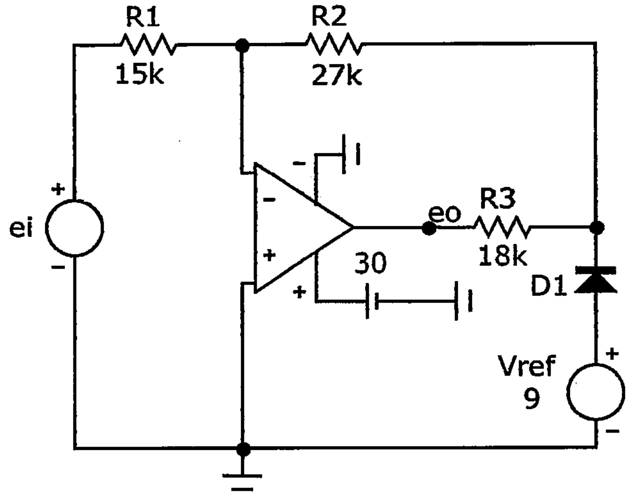
com valores:

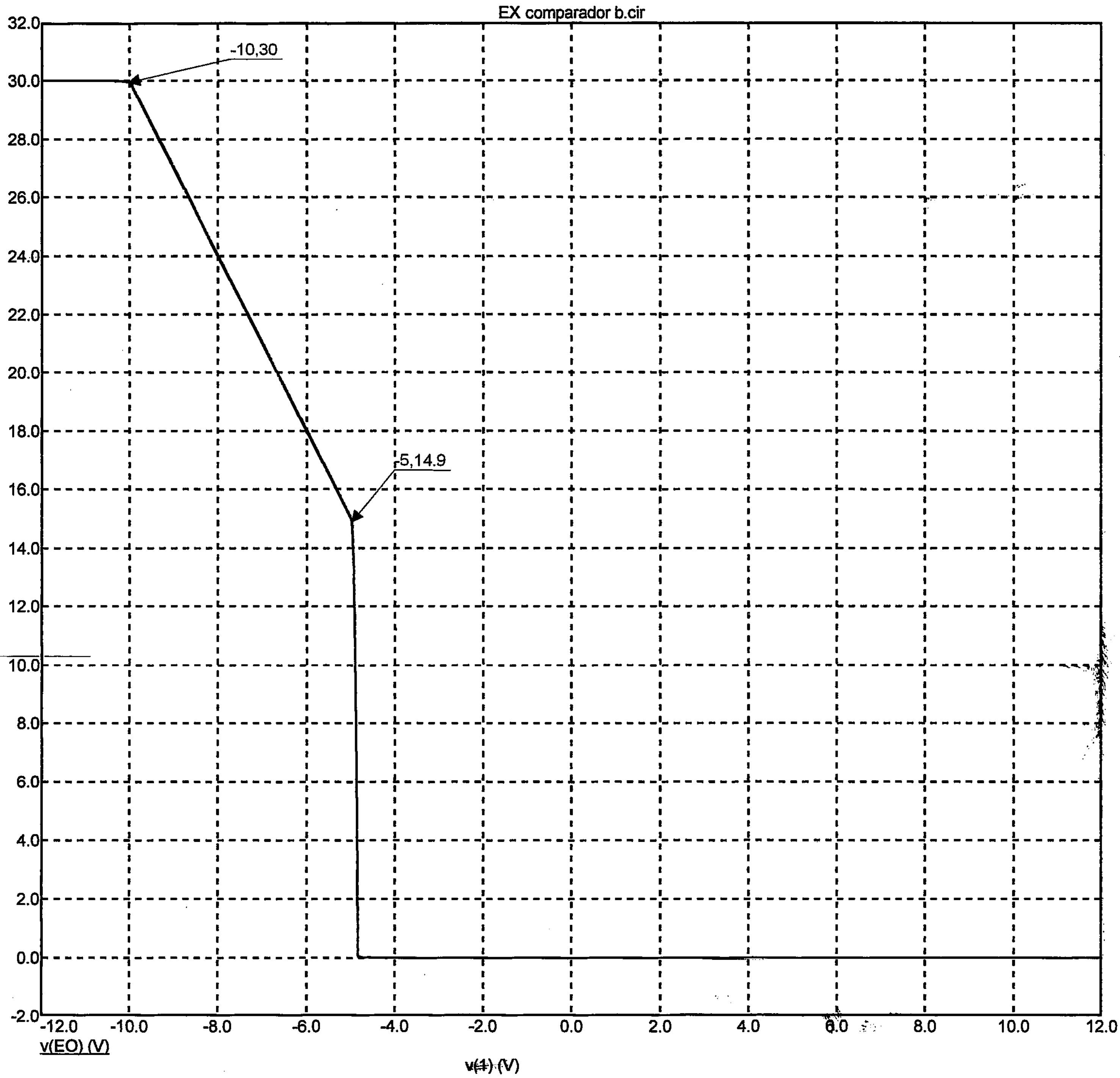
$$li = -9\,\frac{15}{27} \rightarrow li = -5$$

Usando (1): $lo = -3(-5) = 15$

Gráfico lo x li:




R1
15k
R2
27k
ei
eo
R3
18k
30
D1
Vref
9


EX comparador b.cir
-10,30
-5,14.9
32.0
30.0
28.0
26.0
24.0
22.0
20.0
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
-2.0
-12.0
-10.0
-8.0
-6.0
-4.0
-2.0
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
v(EO) (V)
v(1) (V)