

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E
DOS MATERIAIS - PPGEMM

"Torquímetro Girante com Transmissão de Sinal sem Contato Elétrico"

por

Ricardo Lastra Olsen

Engenheiro Eletricista

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais - PPGEMM.

**PORTO ALEGRE
1992**

TORQUÍMETRO GIRANTE COM TRANSMISSÃO DE SINAL SEM CONTATO
ELÉTRICO

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais
- PPGEMM, como parte dos requisitos para obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Ciência dos Materiais - Instrumentação Eletro-Eletrônica

por

Ricardo Lastra Olsen, Engenheiro Eletricista

Esta DISSERTAÇÃO foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Ciência dos Materiais - Instrumentação Eletro-Eletrônica e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:



Ildon Guilherme Borchardt

Doutor em Ciências, ITA - SP

Professor do DEMET / UFRGS

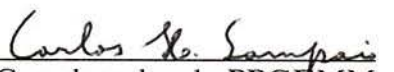
Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jorge Amoreti Lisboa - Instituto de Física / UFRGS

Prof. Dr. Álvaro de Almeida Sales - DELET - Escola de Engenharia / UFRGS

Prof. Dr. Carlos Westphal - Instituto de Informática / UFRGS

Prof. Dr. Ildon Guilherme Borchardt - PPGEMM / UFRGS


Coordenador do PPGEMM
Prof. Dr. Carlos Sampaio

AGRADECIMENTOS:

Ao CNPq que financiou a bolsa de estudos e parte das verbas deste trabalho.

À FAPERGS que financiou parte deste trabalho.

Ao PPGEMM e ao DEMET que proporcionaram o ambiente de trabalho.

Aos professores Ildon Guilherme Borchardt e Renato Machado de Brito, por indicarem os rumos deste trabalho e pelo inestimável apoio técnico.

Ao colega Eng. Carlos Roberto Cauduro, pelo auxílio no projeto mecânico do torquímetro e na colagem dos extensômetros.

Ao Eng. José Rogério Araújo, pelo suporte na parte burocrática.

Ao colega Eng. Fernando Martins Bauer, pelo auxílio no projeto da placa de aquisição de dados.

Aos colegas Eng. Luís Cássio Modernel Sarate e Eng. Édson Schuller, pelas sugestões e interesse demonstrado.

Às demais pessoas do Laboratório de Instrumentação, professores e funcionários do PPGEMM e da Escola de Engenharia, que de alguma maneira tenham contribuído para que este trabalho tenha se concretizado.

Dedico este trabalho à minha avó
Ibrahima Duarte Lastra

Resumo

- Este trabalho analisa aspectos de projeto e construção de um torquímetro girante para aplicações que exijam boa precisão, confiabilidade e monitoramento contínuo. Um condicionador de sinais é acoplado ao eixo girante, sendo alimentado por um transformador rotativo. A transmissão do sinal de torque, modulado em frequência, da parte girante para a estática, é feita capacitivamente, sem a utilização de contatos elétricos. Um protótipo foi construído e testado, detalhes do seu projeto elétrico e mecânico são apresentados.

Abstract

- This work examines the design and manufacturing aspects of a rotating torque-meter for applications that requires good accuracy and continuous monitoring. A signal conditioner is attached to the rotating shaft, being energized by a rotary transformer. The transmission of the frequency modulated torque signal, from the rotating shaft to the stationary housing, is established in a contactless, capacitive, way. A prototype was constructed and tested, details of the electrical and mechanical designs are shown.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTAS DE FIGURAS, FOTOS E TABELAS	10
PARTE I - INTRODUÇÃO	11
I.1. Introdução.....	11
I.2. Tipos de torquímetros	11
1.2.1. Dinamômetros de absorção	12
1.2.2. Dinamômetros de transmissão	12
I.3. Antecedentes e objetivos	14
I.3.1. Requisitos de projeto.....	15
PARTE II - O PROJETO MECÂNICO	16
II.1. O elemento transdutor de torque	17
II.1.1. Cálculo do elemento elástico	17
II.1.2. Extensômetros.....	19
II.2. O eixo do torquímetro	19
PARTE III - O PROJETO ELÉTRICO	22
III.1 O sistema de transmissão de energia ao eixo girante.....	24
III.1.1. O oscilador de potência	24
III.1.2. O transformador rotativo	24
III.1.3. O retificador-regulador	28
III.2. A excitação da ponte de extensômetros	29
III.3. O amplificador de instrumentação.....	30
III.4. O conversor tensão-freqüência.....	32
III.5. O sistema capacitivo de transmissão de sinais.....	34
III.5.1. Cálculo dos capacitores	34
III.5.2. O sistema receptor-discriminador.....	36
III.6. O conversor freqüência-tensão.....	38

PARTE IV - RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	40
IV.1. Calibração estática	40
IV.2. Ensaio dinâmico comparativo ao torquímetro padrão.....	43
IV.3. Teste de transitório	44
IV.4. Problemas encontrados.....	45
PARTE V - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
PARTE VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	49
APÊNDICES	52
APÊNDICE A - PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS INMETAL-7802.....	53
1. Hardware da placa	53
2. Utilização da placa.....	54
3. Programa exemplo de utilização da placa.....	56
4. Bibliotecas de funções utilizáveis pelo usuário	58
APÊNDICE B - PROGRAMA DIGSCOPE.....	61
1. Utilização do programa.....	61
2. Listagem do programa.....	63
APÊNDICE C - ACOPLAMENTO DE ENGRENAGENS TIPO G	71
APÊNDICE D - TRANSFORMADOR ROTATIVO PROPOSTO PELA HBM	73

LISTA DE FIGURAS

Fig. II.1 - Vista geral do torquímetro	16
Fig. II.2 - Geometria escolhida para o transdutor de torque	18
Fig. II.3 - Projeto do eixo do torquímetro, vista em corte	20
Fig. II.4 - Desenho da carcaça externa que envolve o eixo do torquímetro.....	20
Fig. III.1 - Diagrama de blocos do circuito elétrico	22
Fig. III.2 - Arranjo para transformador rotativo, proposto pela HBM.....	25
Fig. III.3 - Primário e secundário do transformador rotativo, vista em corte .	26
Fig. III.4 - Esquema elétrico do circuito retificador-regulador	29
Fig. III.5 - Circuitos da tensão de referência e da excitação da ponte de exten- sômetros	30
Fig. III.6 - Circuitos do amplificador de instrumentação e filtro passa-baixas utilizados.....	31
Fig. III.7 - Esquema elétrico do conversor tensão-freqüência.....	33
Fig. III.8 - Peças que servem de base para as placas cilíndricas concêntricas, as quais constituem os capacitores girantes	36
Fig. III.9 - Circuitos constituintes do sistema receptor-discriminador do sinal transmitido capacitivamente	37
Fig. III.10 - Conversor freqüência-tensão utilizando o LM331 da National	39
Fig. IV.1 - Bancada de teste de torquímetros	42
Fig. IV.2 - Teste dinâmico: torquímetro sob teste x torquímetro padrão.....	45
Fig. IV.3 - Transitório aplicado aos torquímetros	46
Fig. A.1 - Esquema da placa de conversão A/D INMETAL-7802.....	55
Fig. B.1 - Tela do programa DIGSCOPE.C.....	62

LISTA DE FOTOS

Foto II.1 - Aspecto do torquímetro construído	17
Foto II.2 - Eixo do torquímetro	21
Foto III.1 - Secundário do transformador rotativo montado no eixo	27

LISTA DE TABELAS

Tab. III.1 - Dimensões para o transformador rotativo sugeridas pela HBM no sistema BLM.....	25
Tab. III.2 - Consumo do condicionador de sinais embarcado	27
Tab. IV.1 - Leituras do ensaio estático.....	41
Tab. IV.2 - Valores obtidos no ensaio dinâmico	44

PARTE I - INTRODUÇÃO

I.1. INTRODUÇÃO

A medição de torque é de suma importância no meio industrial, pois é necessária para o perfeito conhecimento de como se dá a geração e transferência de potência mecânica através de eixos girantes. Características de regime e transitórias precisam ser determinadas para que se possa projetar otimamente sistemas que utilizem motores. Em muitas aplicações é necessário monitorar continuamente o torque no sistema, para se efetuar o controle desta variável ou para que se faça a análise das vibrações presentes, o que permite prever possíveis falhas com alguma antecedência.

Todas estas razões levam à necessidade de se ter transdutores de torque acoplados ao sistema. Existem, hoje, muitos métodos para medição de torque, eles foram se desenvolvendo a partir da introdução do freio de Prony no século XVIII, e vem evoluindo rapidamente na última década, principalmente na parte de métodos de medição sem utilização de contato elétrico.

I.2. TIPOS DE TORQUÍMETROS

Os dispositivos de medição de torque podem, segundo Gindy ^[8], ser classificados em duas grandes categorias: dinamômetros de absorção e dinamômetros de transmissão.

Dinamômetro de absorção (*absorption dynamometers*) é o caso em que a carga é substituída pelo dispositivo de medição, isto é, toda energia mecânica produzida é absorvida pelo dinamômetro. Este tipo de torquímetro, portanto, embora confiável, é bastante limitado em termos de aplicabilidade, pois não opera sob condições reais de funcionamento, apenas é utilizado em situações de teste.

Dinamômetro de transmissão (*transmitting dynamometers, in-line torque transducer*) caracteriza-se quando o dispositivo de medição é colocado em algum lugar adequado, em série, entre a fonte primária de energia e a carga.

1.2.1. DINAMÔMETROS DE ABSORÇÃO

Alguns exemplos de torquímetro que utilizam o princípio da absorção são:

Freio de Prony (*Friction Brake, Prony Brake*): um cilindro giratório ligado ao eixo, é envolvido por uma cinta presa de um lado a um medidor de força e de outro a pesos de contrabalanceamento. O torque é dado pela diferença entre os valores de força em repouso e na velocidade desejada, multiplicada pelo raio do cilindro. É utilizado em potências de até 200 HP e velocidades entre 1000 e 2000 RPM.

Freio Hidráulico (*Hydraulic Brake, Froude Brake*): um rotor ligado ao eixo girante é colocado em um carcaça cheia com algum líquido, a carcaça, então, tende a girar, forçada pelo líquido movimentado pelo rotor, o torque é proporcional à força necessária para evitar o giro da carcaça. Aplica-se para potências de até 25000 HP e velocidades em torno de 10000 RPM.

Freio à Hélice (*Fan Brake*): mesmo princípio do freio hidráulico, mas utilizando uma hélice (turbina) para movimentar uma massa de ar dentro de uma carcaça. Até 200 HP, 2000 RPM.

Freio D-C (*D-C brake*): o eixo girante é conectado a um gerador d-c, o torque determinado a partir da potência gerada, descontando as perdas elétricas, ou pelo torque de reação da carcaça do gerador. Utilizado para até 30000 HP, 750-4000 RPM.

Freio por Eddy-Current (*Eddy-Current Brake, magnetic-drag brake*): ao eixo girante é acoplado um disco metálico dentado, onde são induzidas correntes elétricas pelos enrolamentos do estator, é produzida uma força eletromagnética que tende a arrastar o estator no mesmo sentido de rotação do eixo. O torque é determinado a partir força necessária para se evitar o giro do estator. Normalmente utilizado para até 300 HP, e velocidades em torno de 6000 RPM.

1.2.2. DINAMÔMETROS DE TRANSMISSÃO

São todos, exceção feita aos transdutores com resistência elétrica estacionários, baseados na medição da deformação angular que ocorre no eixo, proporcional ao torque, graças à propriedade da elasticidade linear dos metais, submetidos à pequenas deformações. Nestas condições vale a lei:

$$T = \frac{G J}{L} \theta \quad (1)$$

onde T é o torque ao qual o eixo é submetido, G é o módulo de elasticidade de cisalhamento do material, J é o seu momento de inércia polar, e θ é a deformação angular que aparece ao longo de um comprimento, L , do eixo.

Os métodos de transdução, distinguem-se apenas pela maneira como é medida a deformação angular do eixo. Dinamômetros de transmissão aplicam-se para até 50000 HP de potência e velocidades de até 15000 RPM.

Transdutor de Torque Magnético, por Deslocamento de Fase^[8]: rodas dentadas feitas com material magnético, são colocadas em ambas as extremidades livres do eixo girante. Captadores magnéticos, produzem sinais sinusoidais com a rotação do eixo, a deformação angular do eixo produz um defasamento temporal entre estes sinais, proporcional ao torque ao qual o eixo é submetido. Não existe necessidade de contato elétrico, nem mecânico entre a parte girante e a estática, todavia possui uma resposta pobre aos transientes e baixa resolução.

TVDT^[8] (*Torsional Variable Diferencial Transformer*): a um eixo não-magnético acopla-se três peças tubulares de material magnético que completam-se com lados à 45°, formando 2 pequenos gaps no caminho magnético, de maneira que quando ocorre uma deformação no eixo, a relutância magnética aumente em um dos gaps e diminua no outro. Colocando-se enrolamentos, primários e secundários, de transformador separados por estes gaps, ocorrem alterações nas tensões induzidas nos enrolamentos secundários conectados diferencialmente, surgindo, então, uma tensão proporcional ao torque no eixo.

Transdutor de Torque Fotoelétrico, por Deslocamento de Fase^{[8][20][22]}: é semelhante ao transdutor magnético por deslocamento de fase, sendo que os pulsos são gerados por 2 fotocélulas que recebem luz refletida por padrões de listras colocados no eixo girante.

Transdutor de Torque Fotoelétrico, por Variação de Iluminação^{[8][20]}: dois discos idênticos, preenchidos com um padrão segmentado, que torna translúcida a metade de suas áreas, intercalam o caminho da luz produzida por uma fonte luminosa adequada, até uma fotocélula, a qual abrange vários segmentos. O torque no eixo afeta diretamente a quantidade de luz que incide na fotocélula.

Transdutores de Torque por Resistência Elétrica, Estacionários^{[6][8]}: são baseados na reação da carcaça da fonte primária de energia mecânica (um motor, em geral).

Extensômetros de resistência elétrica são aplicados à partes projetadas para sofrerem deformações quando ocorre esta reação.

Transdutores de Torque por Resistência Elétrica, Girantes: extensômetros de resistência elétrica são aplicados a um elemento elástico, adequadamente projetado, em série com o eixo e ligados em ponte de Wheatstone, convertendo a deformação em um sinal de tensão elétrica. Este sinal é transmitido, de alguma maneira, ao estator por exemplo: por transformador rotativo^{[3][13]}; por transmissão via RF (telemetria)^{[10][23]}; através de um conjunto de escovas e anéis coletores^[1]; por transmissão ótica^[20]; por via de anéis capacitivos^[11]. Geralmente é necessário utilizar-se de algum tipo de modulação na transmissão do sinal.

I.3. ANTECEDENTES E OBJETIVOS

Dentro^[20] e fora^{[20][21][22][23]} do país, têm sido recentemente publicados trabalhos sobre torquímetros com transmissão de sinal sem contato elétrico. Em nosso Estado, outros trabalhos sobre torquímetros^{[1][2]} e sobre o problema da transmissão do sinal em eixos girantes^{[3][7][19]} já foram realizados, dentro do Laboratório de Instrumentação do PPGEMM/UFRGS, sendo que estes assuntos constituem uma das linhas de pesquisa deste laboratório.

Já se domina a questão do projeto e construção do elemento elástico para transdutores de torque estáticos e dinâmicos, a transmissão de sinais através de anéis coletores e escovas e através da utilização de transformadores rotativos. A utilização, entretanto, de contatos eletromecânicos (escovas e anéis) para realizar a transmissão do sinal possui muitos problemas intrínsecos ao método, como o desgaste das escovas que leva à necessidade da execução de manutenção regular no equipamento e o ruído de fundo que aparece devido à variação das resistências de contato das escovas. Para evitar estes problemas procura-se realizar a transmissão do sinal sem contato elétrico entre a parte estática e a parte rotativa do torquímetro^{[7][3][13]}.

Esta dissertação tem por objetivo levar adiante esta linha de pesquisa, visando, dominar a tecnologia projeto e fabricação de mais um tipo de torquímetro, onde um condicionador de sinais é colocado junto ao eixo girante para que a transmissão do sinal seja feita, sem contato elétrico, utilizando-se algum tipo de modulação.

I.3.1. REQUISITOS DE PROJETO

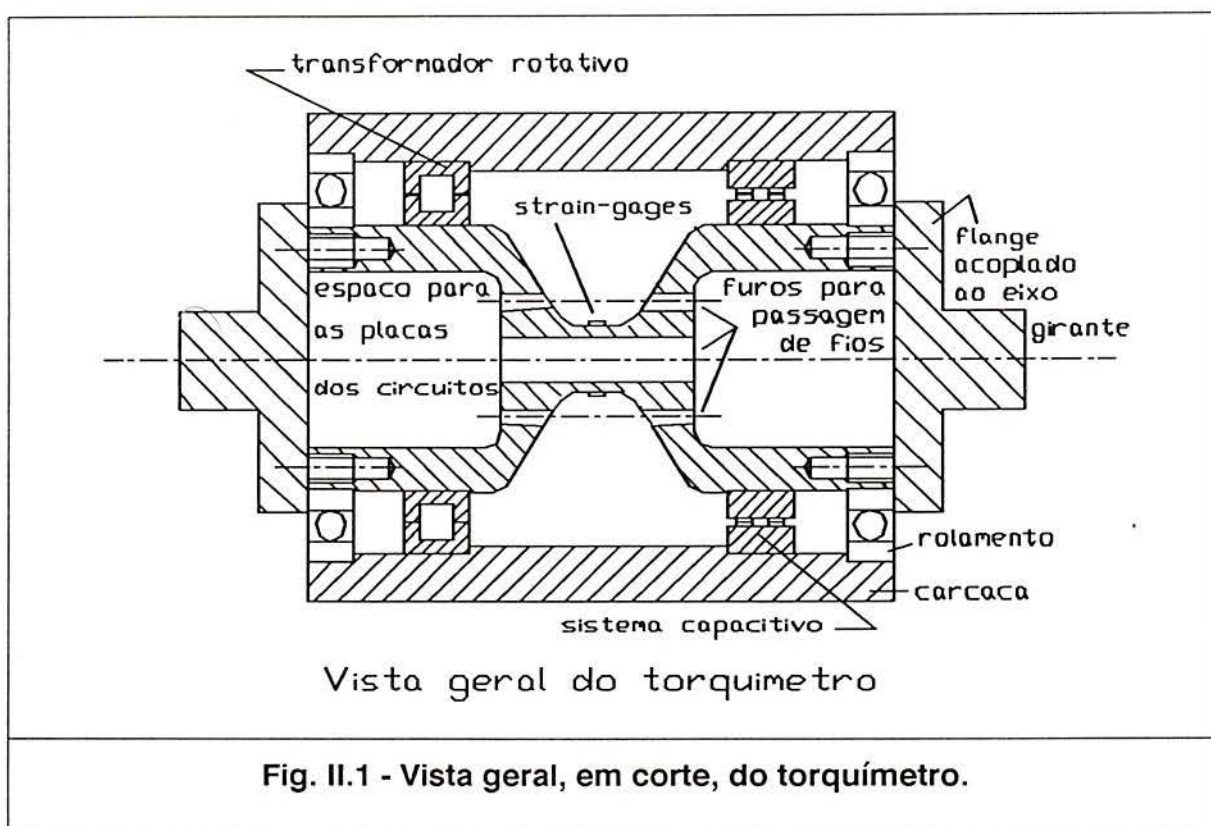
Os requisitos impostos para a construção do torquímetro foram os seguintes:

- a) não existência de contato elétrico na transmissão do sinal entre o eixo girante e a parte estática do sistema;
- b) pequenas dimensões, baixo momento de inércia, alta frequência de ressonância;
- c) robustez;
- d) torque nominal de 100 N.m, velocidade nominal de 2000 RPM;
- f) alta linearidade;
- g) permita o monitoramento contínuo, ou seja, não haja necessidade de manutenção por longos períodos de tempo;
- h) baixo custo de fabricação;

PARTE II - O PROJETO MECÂNICO

O projeto mecânico do torquímetro foi delineado a partir dos seguintes principais requisitos:

- a) o elemento transdutor de torque deve proporcionar a sensibilidade adequada aos 100 N.m de torque nominal;
- b) o eixo do torquímetro deve prever espaço para as placas que contém os circuitos do condicionador de sinais embarcado;
- c) o sistema de acoplamento do torquímetro ao eixo girante deve eliminar a influência de desalinhamentos que possam existir nos mesmos;



d) o torquímetro deve poder ser facilmente montado e desmontado para permitir alterações e futuros desenvolvimentos na parte eletrônica.



Foto II.1 - Aspecto do torquímetro construído.

Uma vista geral em corte do torquímetro com a indicação dos seus componentes pode ser vista na figura II.1.

II.1. O ELEMENTO TRANSDUTOR DE TORQUE

Utilizou-se como elemento de transdução um transdutor de torque à base de extensômetros de resistência elétrica (*strain-gages*). Este tipo de transdutor é adequado pois possui alta sensibilidade e possibilita medições dinâmicas ^[13]. Alternativas ópticas para transdução de torque ^{[21][22]} podem ser interessantes, e mais adequadas, para aplicações de baixa resolução.

II.1.1. CÁLCULO DO ELEMENTO ELÁSTICO

A geometria escolhida para o elemento elástico foi a do tipo cilíndrica oca, ver figura II.2, pois esta permite a sensibilidade adequada aos 100 N.m nominais sem que o

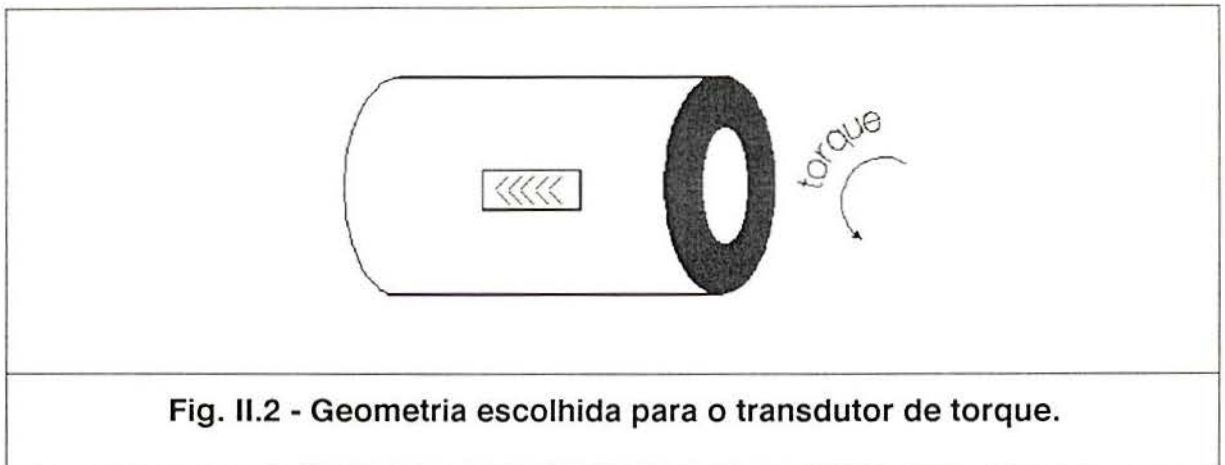


Fig. II.2 - Geometria escolhida para o transdutor de torque.

diâmetro externo fique muito pequeno, o que seria o caso na geometria cilíndrica maciça, dificultando a colagem dos *strain-gages* [1].

A equação de projeto utilizada foi a seguinte [1]:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 M_n S_g}{\pi \tau_e (1 - (d/D)^4)}} \quad (2)$$

onde:

τ_e - tensão cisalhante de escoamento;

M_n - torque nominal;

S_g - coeficiente de segurança;

D - diâmetro externo do cilindro

d - diâmetro interno do cilindro

Isolando-se o d em (2), tem-se:

$$d = D \sqrt[4]{1 - \frac{16 M_n S_g}{\pi \tau_e D^3}} \quad (3)$$

O torque nominal é de 100 N.m, o coeficiente de segurança utilizado foi de 5 devido aos transientes de torque [12] serem normalmente mais altos que o torque em regime permanente, a tensão cisalhante de escoamento para o material utilizado (aço 4340) é de

400MPa. Com estes valores, atribui-se um valor para o diâmetro externo e calcula-se através da eq.(3) o valor do diâmetro interno do cilindro. Para $D = 20$ mm, um valor adequado para permitir a colagem dos *strain-gages*, obtém-se $d = 13.44$ mm.

Após a construção do eixo do torquímetro mediu-se $D = 20,4$ mm e $d = 13,6$ mm.

II.1.2. EXTENSÔMETROS

Utilizaram-se extensômetros da marca KYOWA, tipo KFC-2-D2-11, especiais para medição de torque (já vêm dispostos, dois a dois, à 45 graus), duas unidades da mesma caixa (lote nº Y1337-231), com as seguintes características: compensação de temperatura para aço inoxidável, coeficiente de dilatação térmica aferido: $10,8$ ppm/ $^{\circ}$ C, comprimento da resistência: 2 mm, resistência elétrica: $120\Omega \pm 0,4\Omega$, gage factor: $2,03 \pm 1\%$.

Note-se que foram utilizados extensômetros de 120Ω apenas pelo fato de estes estarem facilmente disponíveis na época da montagem, melhor seria utilizar extensômetros com resistência de 350Ω pois, obviamente, consomem menos corrente elétrica para uma mesma tensão de excitação, reduzindo, em muito, a potência necessária no secundário do transformador rotativo, já que a ponte de extensômetros é o principal fator determinante no consumo da parte giratória.

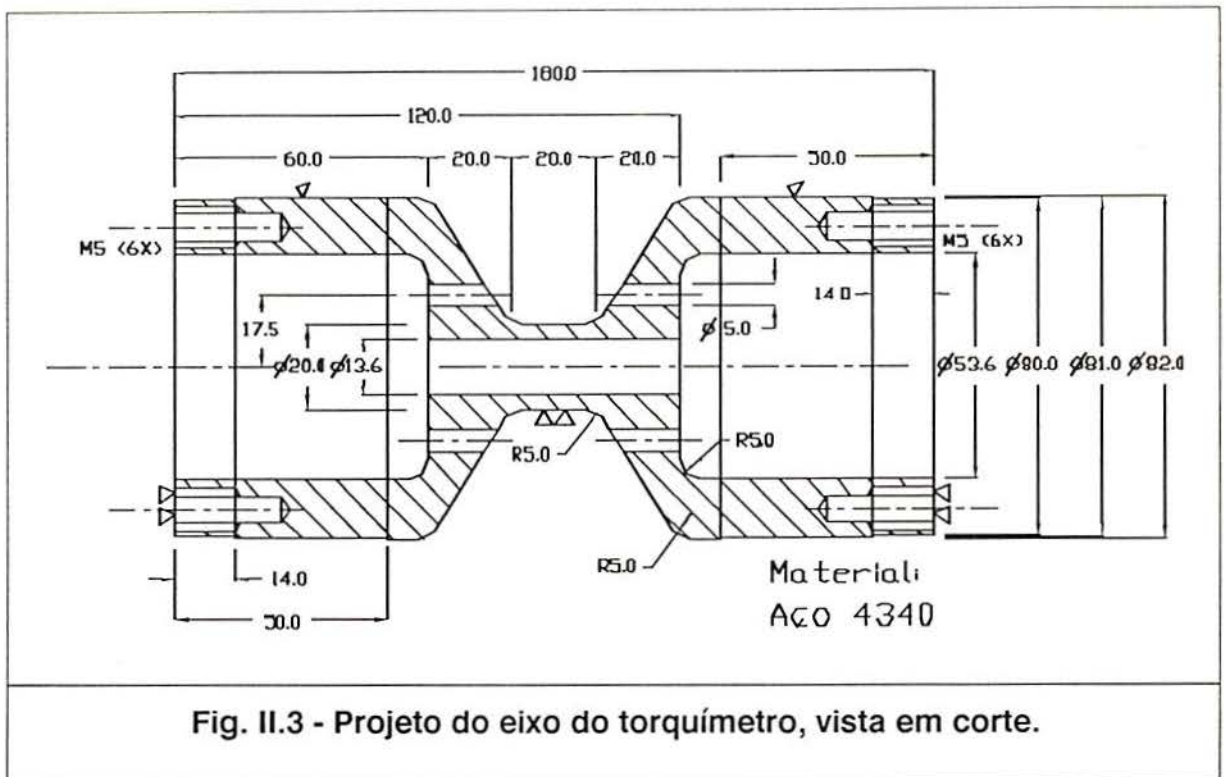
A cola utilizada foi a do tipo epóxi EP210 da Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), Epóxi é a cola mais adequada, pois proporciona maior durabilidade, menor ocorrência de fissuras e melhor adesão. O tempo de colagem foi de 1:30h à temperatura de 180° C, o resfriamento foi feito dentro do forno, até atingir a temperatura ambiente. Como proteção aos extensômetros utilizou-se M-COAT-A, também da HBM.

A sensibilidade do transdutor construído, é de $9,85 \mu\text{V/V}$.

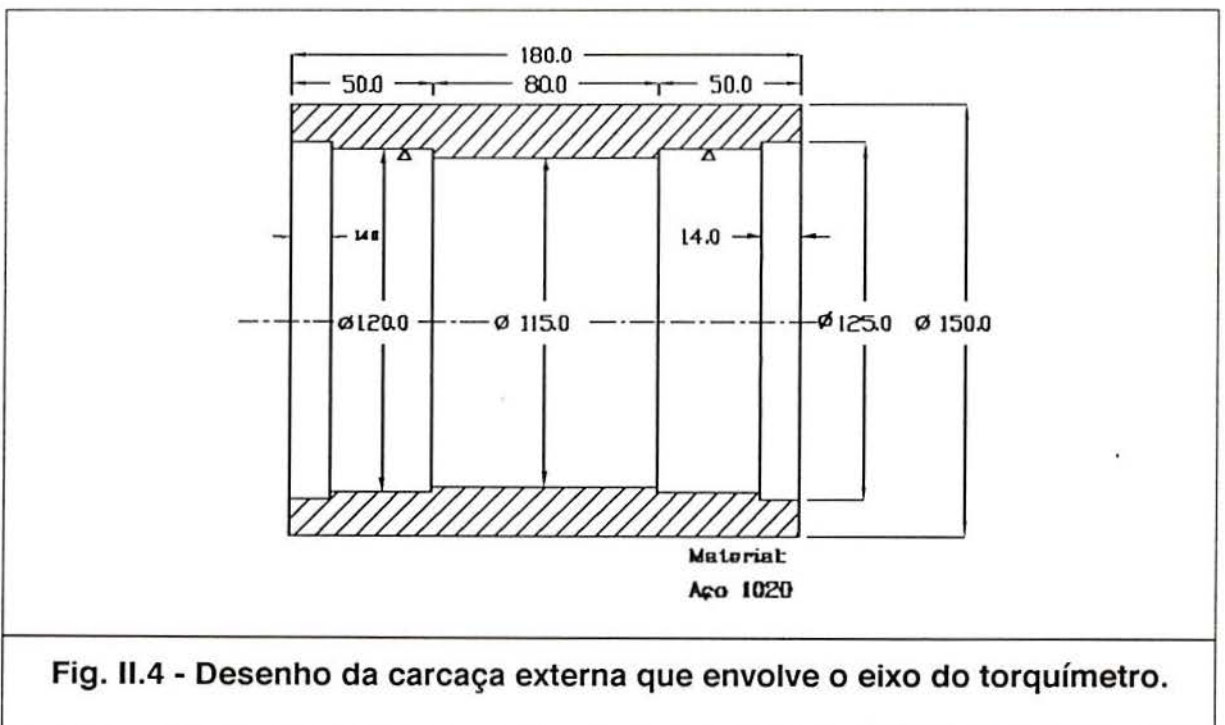
II.2. O EIXO DO TORQUÍMETRO

A vista em corte do eixo do torquímetro está mostrada na figura II.3, a carcaça que envolve o eixo pode ser vista na figura II.4.

No centro do eixo pode-se observar o elemento elástico utilizado, com comprimento de 20 mm para permitir, com alguma folga, a colagem dos extensômetros.



O espaço para as placas eletrônicas é de 5cm de diâmetro, suficiente para abrigar até 3 circuitos integrados de 14 pinos e mais alguns componentes discretos em cada placa, por 6cm de comprimento, o que permite a colocação de até 3 placas de cada lado, totalizando um máximo de 6 placas.



O condicionador D.C. utilizado necessitou de apenas duas placas, mas o espaço de até 6 placas do protótipo permite a utilização de circuitos mais complexos, se necessário,

por exemplo um amplificador do tipo *lock-in*, que em muito aumentaria a resolução do torquímetro.

Existem 4 furos para passagem de fios, 6 furos tipo M5 de cada lado para fixação aos flanges que são acoplados ao eixo girante, há ainda ressaltos para a fixação do transformador rotativo, dos capacitores cilíndricos e dos rolamentos.

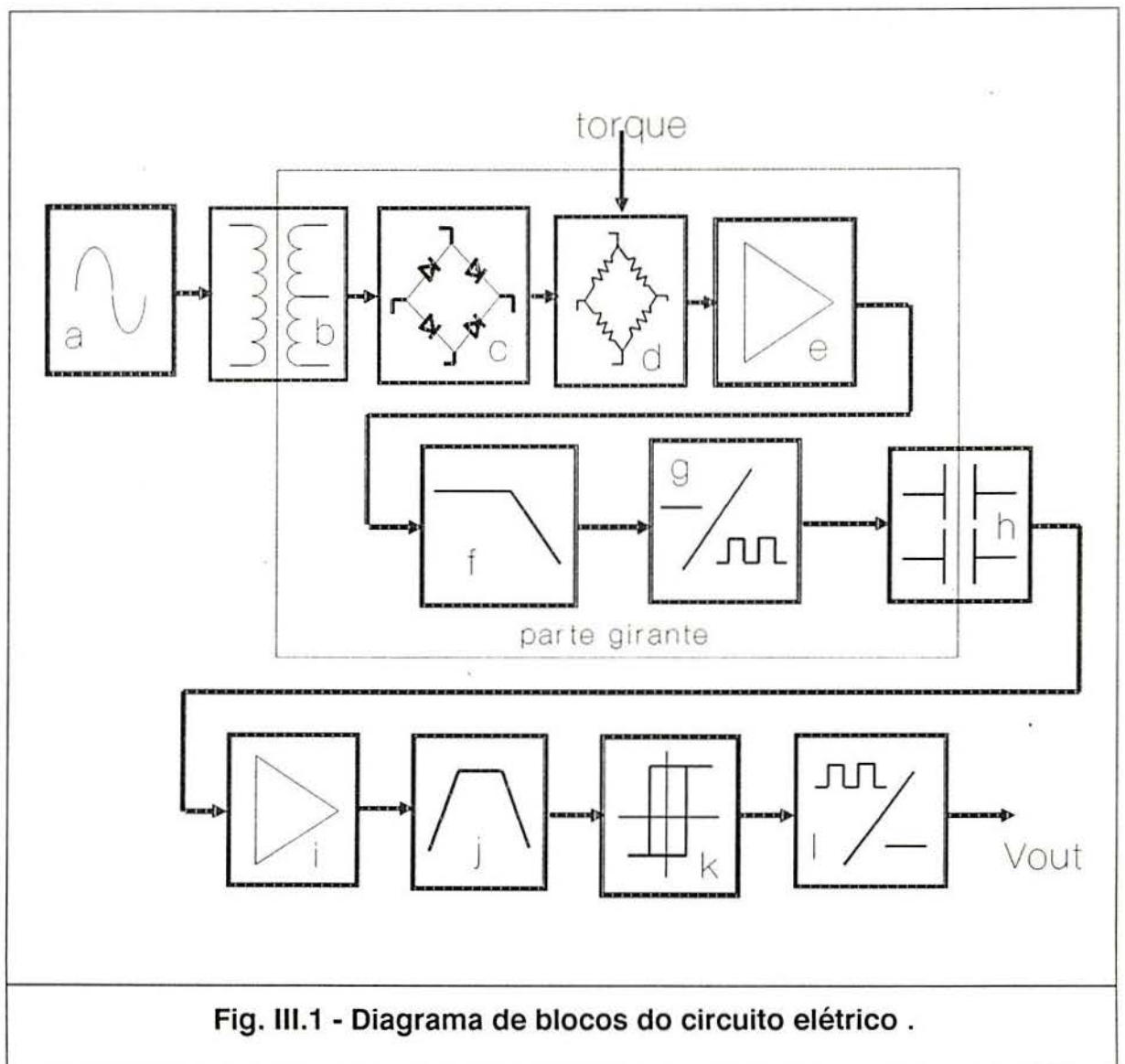


Foto II.2 - Eixo do torquímetro

PARTE III - O PROJETO ELÉTRICO

Para a elaboração do projeto da parte elétrica do torquímetro levou-se em conta os seguintes principais fatores:

i) o sinal de saída em tensão deve ser de:



-10V para um torque de -100N.m

0V para 0N.m

+ 10V para + 100N.m

ii) limitou-se o espaço disponível para as placas que contém os circuitos a, no máximo, 3 placas de 5cm de diâmetro;

iii) o consumo da parte que gira solidária ao eixo deve ser baixo;

iv) os componentes da parte giratória devem ser de pequenas dimensões e massa, pois estarão sujeitos a uma força centrífuga proporcional à sua massa e à distância ao centro da placa;

v) os componentes utilizados devem ter custo acessível e, de preferência, serem de fácil obtenção no mercado nacional.

Um diagrama de blocos dos circuito elétrico é mostrado na figura III.1, os blocos representados são:

a- oscilador de potência, fornece energia ao sistema;

b- transformador rotativo, transfere energia para o eixo girante;

c- retificador e regulador, fornece tensão d.c. regulada à ponte de extensômetros e aos demais circuitos acoplados ao eixo do torquímetro;

d- transdutor de torque: 4 extensômetros de resistência elétrica ligados em ponte completa de wheatestone;

e- amplificador de instrumentação, amplifica o sinal da ponte, elimina tensões de modo comum;

f- filtro passa-baixas, necessário principalmente para eliminar ruídos gerados pelo transformador rotativo.

g- conversor tensão-freqüência, converte o sinal de tensão em um sinal de 5kHz a 15kHz;

h- acoplamento capacitivo diferencial, passa o sinal de torque para a parte estática;

i- amplificador diferencial amplifica o sinal em frequência que vem dos capacitores;

j- filtro passa-banda, elimina ruídos que estão fora da banda de 5kHz a 15kHz;

k- comparador com histerese, reconstitui o sinal em frequência desconsiderando pequenas variações provocadas por ruídos;

l- conversor frequência-tensão, reconstrói o sinal em tensão na faixa de -10V a +10V.

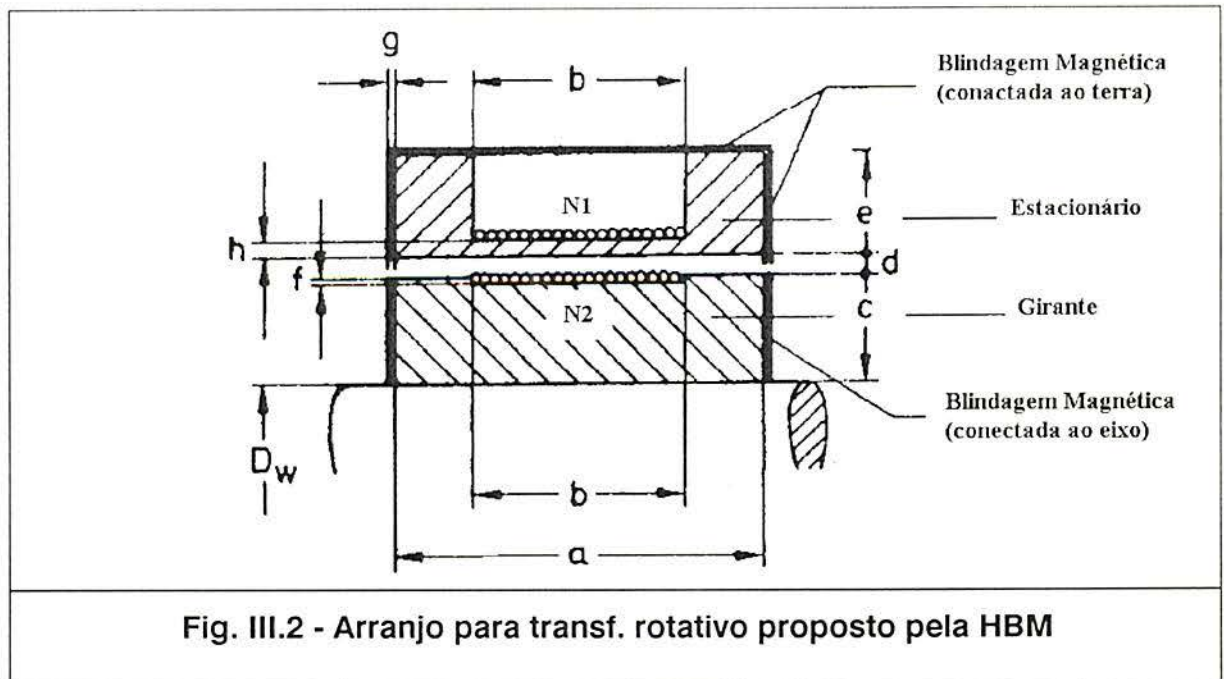
III.1 O SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA AO EIXO GIRANTE

Este sistema, que fornece as tensões de +12V e -12V necessárias ao funcionamento do condicionador de sinais colocado junto ao eixo girante, é composto pelo oscilador de potência, pelo transformador rotativo e pelo circuito retificador-regulador de tensão.

III.1.1. O OSCILADOR DE POTÊNCIA

Como oscilador de potência para gerar a tensão necessária no primário do transformador rotativo foi utilizado um gerador de áudio marca General Radio, modelo 1308-A, que pode fornecer até 200 Watts RMS de potência, de 0 até 20kHz. Para um correto funcionamento do circuito embarcado, utilizou-se uma tensão senoidal de 100V pico-a-pico no gerador, 10kHz, o que proporciona uma tensão simétrica de +/- 36V pico-a-pico no secundário do transformador rotativo.

III.1.2. O TRANSFORMADOR ROTATIVO



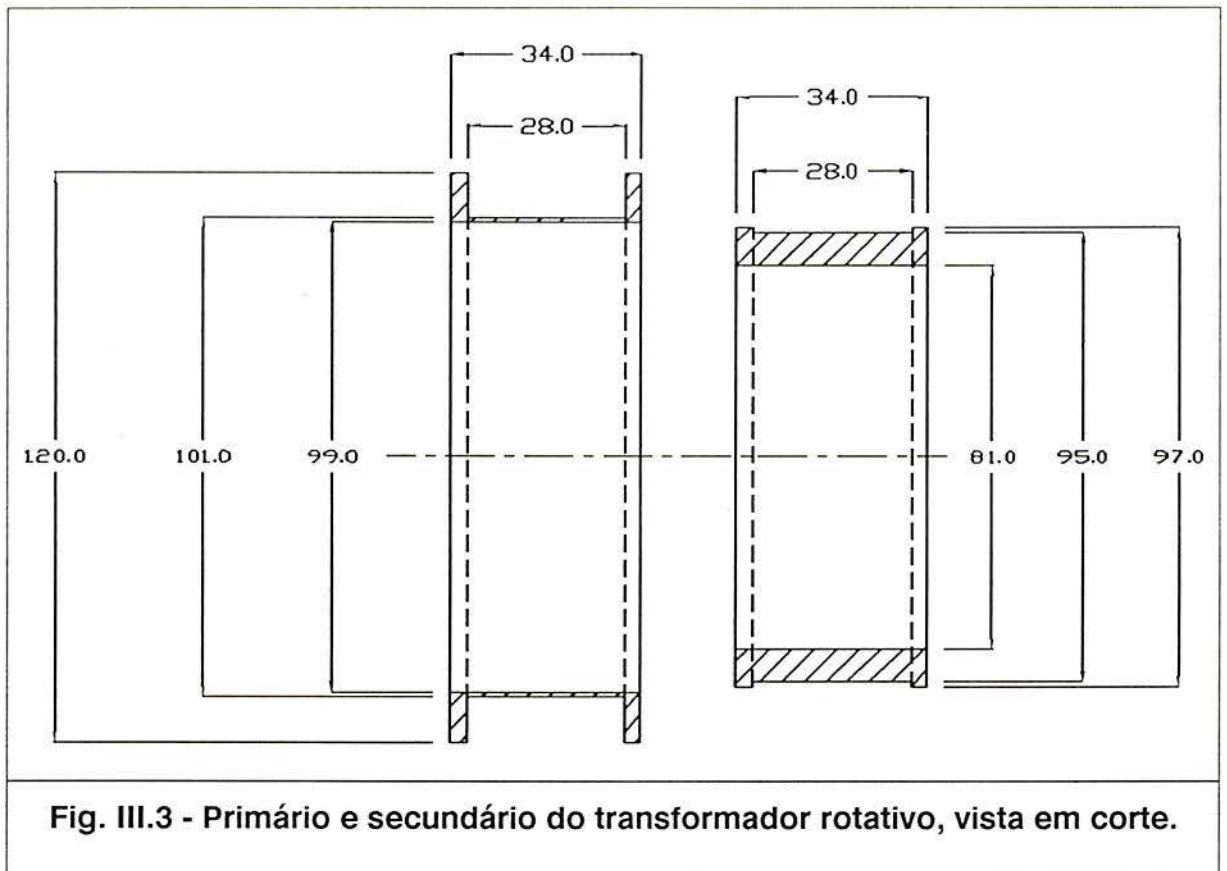
Para o projeto do transformador rotativo, baseou-se em um sistema de transmissão de energia indutivo, sem núcleo magnético, sugerido pela HBM ^[10], ver fig. III.2, para utilização em seu sistema BLM de medição de torque.

A tabela III.1, mostra os valores propostos, pela HBM, para as dimensões do transformador.

D_w [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	e [mm]	f [mm]	g [mm]	h [mm]	N_{esp}	d [mm]	N_{cam}
25	30	17	8	1,5	8	0,8	$\geq 0,5$	1	240	0,2	3
50	40	22	11	2,0	10	0,7	$\geq 0,5$	1,5	170	0,25	2
100	52	30	15	2,5	15	0,5	$\geq 0,5$	2	120	0,25	1
200	75	45	22	3,5	25	1	$\geq 0,5$	3	85	0,5	1

Tabela III.1 - Dimensões sugeridas pela HBM no sistema BLM.

Pode-se ver o projeto mecânico do transformador rotativo construído na figura III.3.



As dimensões do primário e do secundário, o diâmetro dos fios e o número de espiras foram determinados de acordo com o sugerido pela HBM, adaptando-se os valores às medidas do torquímetro. O diâmetro do eixo de 81mm, faz com que se utilize valores intermediários entre 50 e 100mm na tabela III.1. As dimensões, magneticamente importantes para o funcionamento do transformador, que foram utilizadas são: diâmetro do eixo, $D_w = 81\text{mm}$; largura do enrolamento, $b = 28\text{mm}$; distância entre as partes rotativa e estacionária, $d = 1\text{mm}$; espessura da parte que retém o enrolamento primário, $h = 1\text{mm}$; altura do rebaixamento para abrigar o enrolamento secundário, $f = 1\text{mm}$; distância do enrolamento secundário ao eixo, $c = 8\text{mm}$; número de espiras utilizado, $N_{\text{esp}} = N_1 = N_2 = 150$ espiras, tanto no primário quanto no secundário; diâmetro do fio, $d = 0,25\text{mm}$; número de camadas, $N_{\text{cam}} = 2$.

Não foi utilizada blindagem no transformador, por considerar-se a distância entre este e o sistema de transmissão capacitiva suficientemente grande para evitar interferências. Todavia, a principal interferência encontrada foi a indução do sinal do transformador diretamente na ponte de extensômetros, por isto, recomenda-se a execução da blindagem do transformador rotativo em montagens semelhantes no futuro.

Note-se que o BLM da HBM coloca 54V/15kHz no primário do transformador e o seu circuito embarcado tem um consumo certamente menor que o do circuito que será alimentado pelo transformador projetado.

f(khz)	3,0	5,0	7,0	8,5	10	12,5	15,0	20,0
Ipp(A)	1,26	0,99	0,87	0,75	0,69	0,62	0,57	0,47
Vpp(V)	84	84	88	90	96	104	110	120

Tab.III.2 - Consumo do condicionador de sinais embarcado

Neste transformador, optou-se por experimentar utilizar núcleo não-magnético, conforme recomendado pela HBM, utilizou-se nylon, poderia ser empregado também o teflon, estes materiais são relativamente baratos e fáceis de usar em relação, por exemplo ao aço.

Comparando outras experiências com o uso de núcleos magnéticos ^{[3][19][25]} para os transformadores rotativos com os bons resultados obtidos sem estes, verifica-se que não compensa a utilização de núcleo magnético quando se deseja transferir baixas potências, pois as perdas por correntes parasitas são altas e o custo de se laminar corretamente o transformador para eliminá-las é proibitivo em baixa escala de produção. Sem laminação, os rendimentos com e sem núcleo magnético são semelhantes, então, é melhor usar a opção mais barata e mais prática.



Foto III.1 - Secundário do transf. rotativo montado no eixo.

Na tabela III.2 são mostrados os valores pico-a-pico de tensão e corrente mínimos no primário do transformador rotativo necessários para o funcionamento do condicionador de sinais embarcado, para várias freqüências de excitação.

Pelos resultados da tabela III.2, verifica-se que a utilização de baixas freqüências (< 10 kHz), ocasionam um significativo aumento na corrente que passa pelo primário do transformador rotativo, isto pode representar um problema de aquecimento do transformador. Após a utilização do torquímetro, durante certo tempo, com uma freqüência de excitação de 10kHz, verificou-se, ao desmontá-lo, uma dilatação na parte que abriga o enrolamento do primário do transformador, devida ao aquecimento do cobre em contato com esta peça, que é feita de nylon e apresenta uma espessura de apenas 1mm. Esta dilatação causou dificuldades para desmontar o torquímetro e poderia ter ocasionado um friccionamento das peças do primário e secundário do transformador. Passou-se, a partir deste fato, a operar com uma freqüência de excitação de 15kHz, não observou-se, daí em diante, mais este tipo de problema.

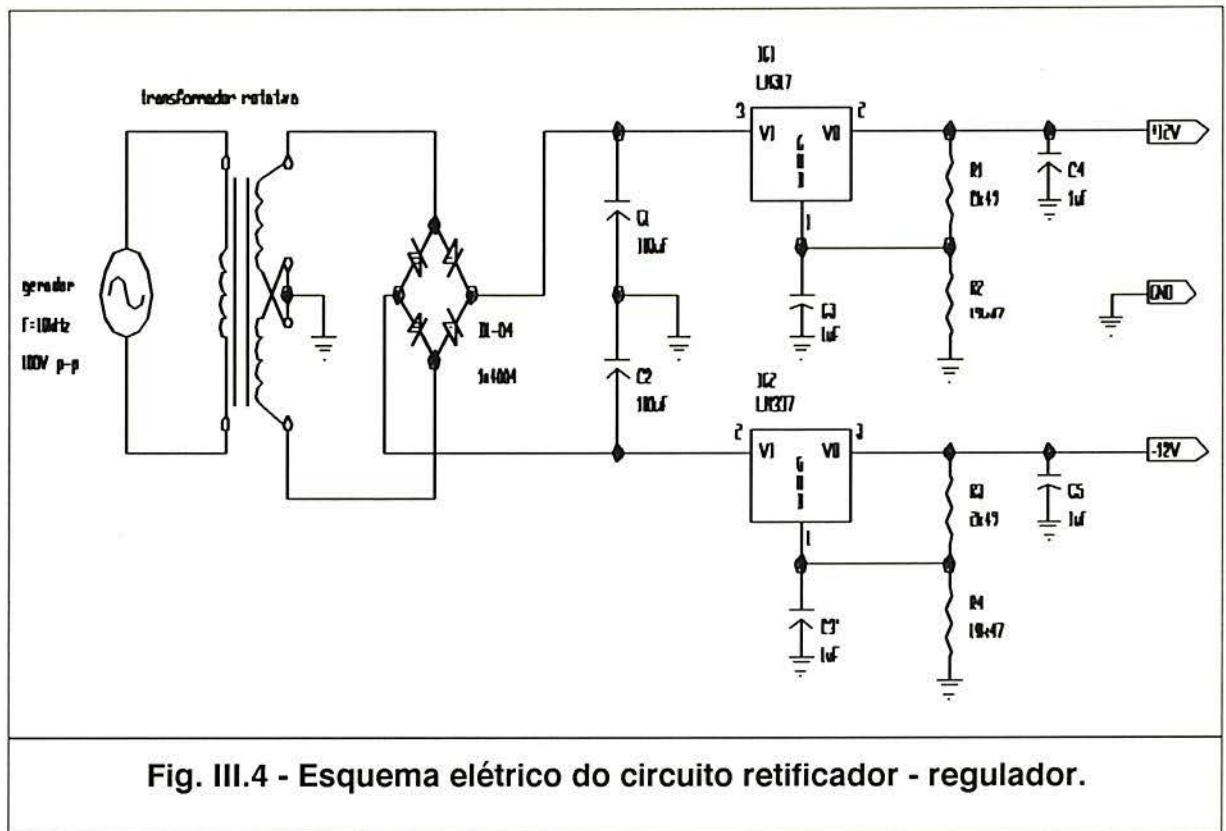
O problema de aquecimento é crítico também, e talvez principalmente, pelo fato de afetar a ponte de extensômetros e todo o circuito de condicionamento do sinal embarcado, resultando num elevado drift térmico, desde o momento em que o circuito é energizado até que a temperatura no interior do torquímetro se estabilize.

A utilização de freqüências mais altas acaba esbarrando no fato de que a tensão de excitação começa a ficar alta e no problema do custo do oscilador de potência, que necessitará de transistores de potência mais caros para operar em freqüências maiores.

III.1.3. O RETIFICADOR-REGULADOR

Para retificar o sinal senoidal, freqüência de 10kHz, proveniente do secundário do transformador rotativo utilizou-se um retificador de onda completa com diodos 1n4004 (D1-D4). Como reguladores de tensão utilizou-se o par LM317/LM337 (IC₁, IC₂), optou-se por estes reguladores por permitirem um ajuste preciso e por terem uma performance superior aos da serie 78XX. Estes reguladores possuem uma regulação (pior caso) de 25mV [17][18].

Ajustou-se as tensões de saída para +12V e -12V, necessários ao funcionamento dos componentes do condicionador de sinais. Os capacitores utilizados são de tântalo, pelos seguintes motivos: possuem uma alta relação capacitância/tamanho; apresentam baixa impedância em alta freqüência; são completamente sólidos, ao contrário dos capacitores



eletrolíticos, que possuem eletrólito líquido, fator que pode ocasionar problemas ao serem submetidos a um centrifugamento. Os resistores são de filme metálico, de 1%. O ripple verificado é menor que 0.05%.

O circuito do retificador-regulador pode ser visualizado na figura III.4.

III.2. A EXCITAÇÃO DA PONTE DE EXTENSÔMETROS

A ponte de extensômetros de resistência elétrica é excitada por uma tensão de 5V, adequada à dissipação de potência dos mesmos, que são de 120Ω.

Para se obter os 5V, aproveitou-se uma tensão de referência estável de -10V, necessária para o circuito conversor tensão-freqüência. Estes circuitos são mostrados na figura III.5.

A tensão de referência é obtida por um diodo zener, D5, que grampeia -5V na entrada não-inversora de um amplificador operacional, RC4558 (IC6), esta tensão é duplicada pela configuração do operacional, sendo de mesmo valor os resistores R8 e R9, obtendo-se assim -10V. O zener é polarizado com uma corrente de aproximadamente 1,3mA através do resistor R7.

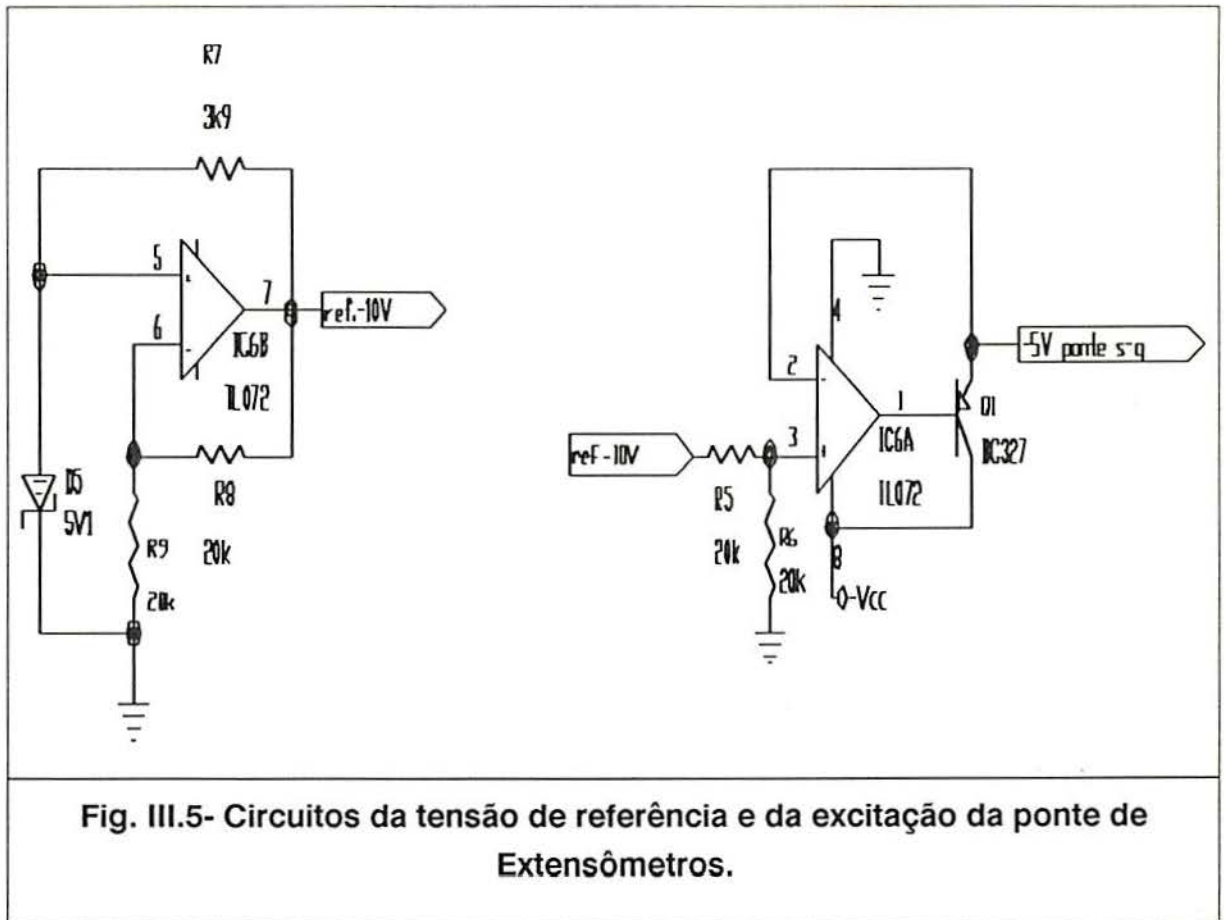


Fig. III.5- Circuitos da tensão de referência e da excitação da ponte de Extensômetros.

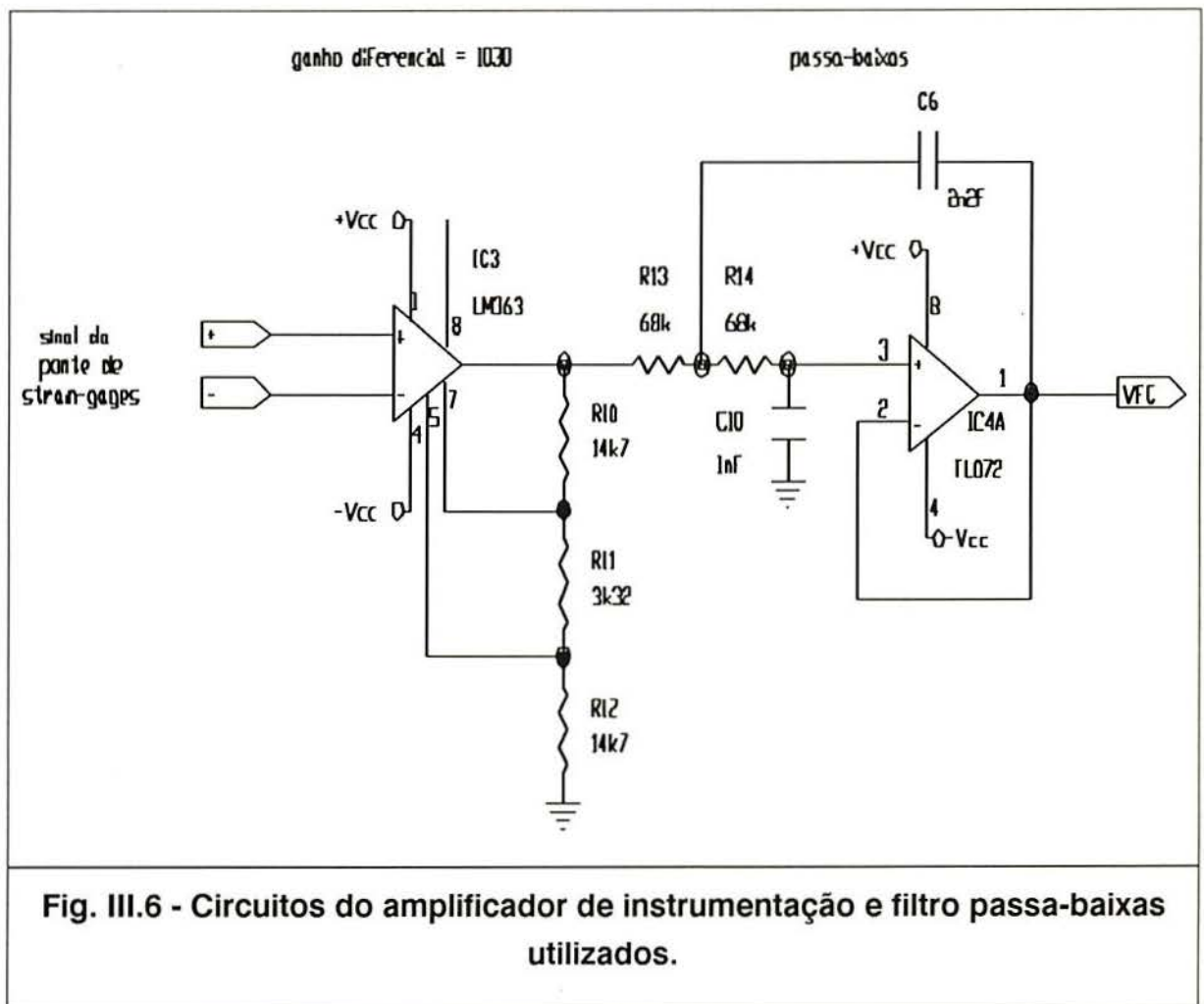
Esta tensão de -10V é colocada num divisor resistivo ($R5$ e $R6$), obtendo-se -5V , para alimentar os extensômetros são necessários $41,6\text{mA}$, logo é necessário utilizar-se um buffer, que é composto pelo outro amplificador operacional contido em $IC6$ mais um transistor ligado a este como *buffer* de corrente, $Q1$.

Todos os resistores devem ser de filme metálico, 1%, exceto $R7$ que pode ser de carbono 10%.

III.3. O AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO

Para o estágio de amplificação, optou-se por utilizar um amplificador de instrumentação monolítico, o circuito integrado da National Semiconductor LM363-100 ($IC3$). Este amplificador possui ganho interno de 100 vezes, mas foi utilizada uma configuração onde o ganho pode ser ajustado através de 3 resistores externos, $R10, R11, R12$.

Como a sensibilidade da ponte é de $9,85\mu\text{V/V}$ por Nm , e a excitação é de 5V , para ter-se na saída deste estágio 50mV/Nm necessita-se de um ganho de 1015 vezes.



O ganho do amplificador de instrumentação é dado pela seguinte equação [15]:

$$G = 100 \left(1 + 2 \frac{R_{10}}{R_{11}} + \frac{R_{10}}{50k} \right) \quad (4)$$

sendo que $R_{10} = R_{12}$.

Os valores utilizados foram $R_{10} = R_{12} = 14k7\Omega$ e $R_{11} = 3k32\Omega$, totalizando o ganho de 1015 vezes ao sinal de entrada.

A opção por um amplificador de instrumentação monolítico, mais cara, justifica-se pelas boas características apresentadas, difíceis de se obter através de um circuito construído com amplificadores operacionais e resistores, já que num circuito monolítico os resistores internos são casados e ficam todos submetidos a uma mesma temperatura [5]. Outra vantagem do circuito monolítico é o menor espaço de montagem que o mesmo ocupa, no caso, permitindo que numa placa de 5cm de diâmetro fossem colocados o amplificador de instrumentação, um filtro passa-baixas e o conversor tensão-freqüência.

Após a amplificação do sinal colocou-se um filtro passa-baixas ativo, butterworth de segunda ordem, ganho 1, com frequência de corte em 1500Hz. Este filtro, constituído pelo amplificador operacional IC4a, é necessário devido ao ruído (10kHz) gerado pelo transformador rotativo, que é induzido diretamente na ponte de extensômetros, pois é levado através do eixo do torquímetro, que é um condutor elétrico e magnético. Este ruído deveria, por ser comum aos 4 extensômetros, ser eliminado pela característica diferencial da ponte e do amplificador de instrumentação, todavia esta captação de ruído pode ser atribuída à fiação de conexão dos extensômetros e ao fato do ruído, pela posição relativa dos extensômetros, poder entrar mais forte em algum(ns) extensômetro(s). Para evitar estes problemas, deve-se executar a fiação com extremo cuidado, utilizando fios com malha aterrada até o mais próximo possível dos extensômetros, recomenda-se ainda a blindagem magnética do transformador rotativo.

O circuito do amplificador de instrumentação e do filtro passa-baixas está mostrado na figura III.6.

III.4. O CONVERSOR TENSÃO-FREQÜÊNCIA

O circuito integrado VFC32KP (IC5) da Burr Brown, é o conversor tensão-freqüência utilizado. Para o VFC32KP é especificada uma não linearidade máxima de +/- 0.01 %FS em 10kHz, um *drift* térmico de ganho típico de 75 ppm do FS/°C e um *drift* de offset de +/- 3 ppm do FS/°C [4]. O circuito do conversor pode ser visto na figura III.7.

A saída em freqüência do conversor é dada por [4]:

$$F_o = \frac{V_{in} - V_{ref}}{7,5 R_{15} C_9} \quad (5)$$

As demais equações para o cálculo dos componentes são:

$$C_9 = \frac{33 \cdot 10^6}{f_{max}} - 30 \quad (\text{pF}) \quad (6)$$

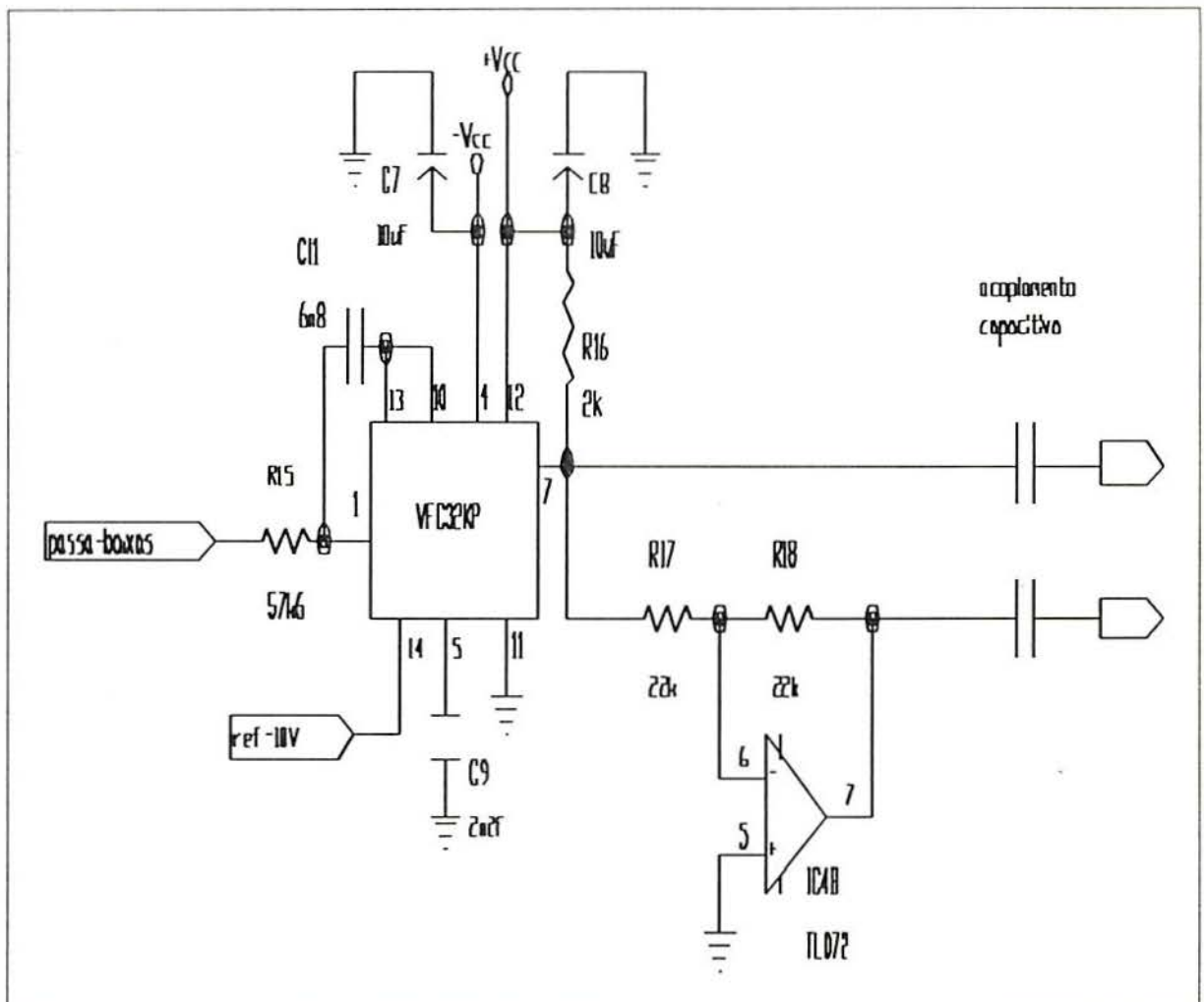


Fig. III.7 - Esquema elétrico do conversor tensão-freqüência.

$$C_{11} = \frac{10^5}{f_{\max}} \quad (\text{nF}) \quad (7)$$

Para que a saída seja:

15kHz para $V_{in} = 5V$

10kHz para $V_{in} = 0V$

5KHz para $V_{in} = -5V$

utilizou-se:

$V_{ref} = -10V$

$$C_9 = 2n2F$$

$$C_{11} = 6n8$$

$$R_{15} = 60,6k\Omega$$

$$R_2 = 2k\Omega$$

Ajusta-se a tensão de referência para compensar o desbalanço inicial da ponte de *strain-gages*, este ajuste deve ser feito pela combinação de resistores no valor de R_8 do circuito da tensão de referência, pois a introdução de *helipots* ou outros tipos de resistores variáveis com partes móveis é temerária nos circuitos que sofrem acelerações devido à rotação do eixo do torquímetro.

A saída do conversor é jogada diretamente num dos capacitores de transmissão do sinal e recebe uma inversão de polaridade, através de IC4b, para ser colocada no outro capacitor, a fim de se obter uma saída diferencial nos capacitores.

III.5. O SISTEMA CAPACITIVO DE TRANSMISSÃO DE SINAIS

A parte de transmissão do sinal de medição por via capacitiva é constituída por dois capacitores excitados de forma diferencial, por um circuito receptor-discriminador e pelo conversor frequência-tensão. Este sistema de transmissão de sinais é adequado graças à imunidade à variação de amplitude em sinais modulados em frequência. Folgas no eixo e ruídos externos, além do gerado pelo transformador rotativo, são fatores que podem alterar a amplitude do sinal. Uma alternativa para a modulação em frequência é a modulação sigma-delta ^{[14][26]}, que digitaliza o sinal e facilita a transmissão serial pois pode converter e restaurar o sinal utilizando apenas 1 bit, mas numa taxa de amostragem relativamente alta, é também um conversor bastante barato e não necessita de resistores casados.

III.5.1. CÁLCULO DOS CAPACITORES

Os capacitores de transmissão do sinal devem ser dimensionados para possuírem uma impedância não exageradamente alta na frequência de operação, pois quanto maior

esta impedância mais susceptível ao ruído será o circuito. Algo menor que $5M\Omega$ é razoável, sem que isto implique em uma área muito grande para os capacitores.

Uma capacitância de 10pF em 10kHz, de acordo com a expressão:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (8)$$

proporciona uma impedância de aproximadamente $1,6M\Omega$.

A expressão para o cálculo de um capacitor de placas cilíndricas é a seguinte [9]:

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 l}{\ln(b/a)} \quad (9)$$

onde:

l é a largura das placas;

a é o diâmetro do cilindro interno;

b é o diâmetro do cilindro externo;

ϵ_0 é a constante dielétrica do ar que vale $8,9 \cdot 10^{-12} C^2/N.m^2$.

Uma separação entre os cilindros de 1mm é suficiente para não haver contato entre eles. Para que sejam colocados na metade do espaço disponível entre o eixo e a carcaça do torquímetro, as dimensões devem ser:

$$a = 100mm$$

$$b = 102mm$$

para um largura $l = 5mm$ consegue-se uma capacitância de 14pF, um valor que proporciona uma impedância de $1,13M\Omega$ em 10kHz.

Observe-se que uma pequena variação no diâmetro dos cilindros, ou seja, na distância entre as placas, altera significativamente a capacitância. Por exemplo: sem alterar os outros parâmetros, apenas mudando b para 101mm, obtém-se uma capacitância de 28pF, o dobro do valor conseguido para $b = 102mm$. A distância entre as placas é um fator que depende apenas da tecnologia de construção disponível, desta maneira, jogando-se

apenas com este parâmetro, pode-se reduzir o diâmetro e a largura das placas, sem perdas na capacitância obtida.

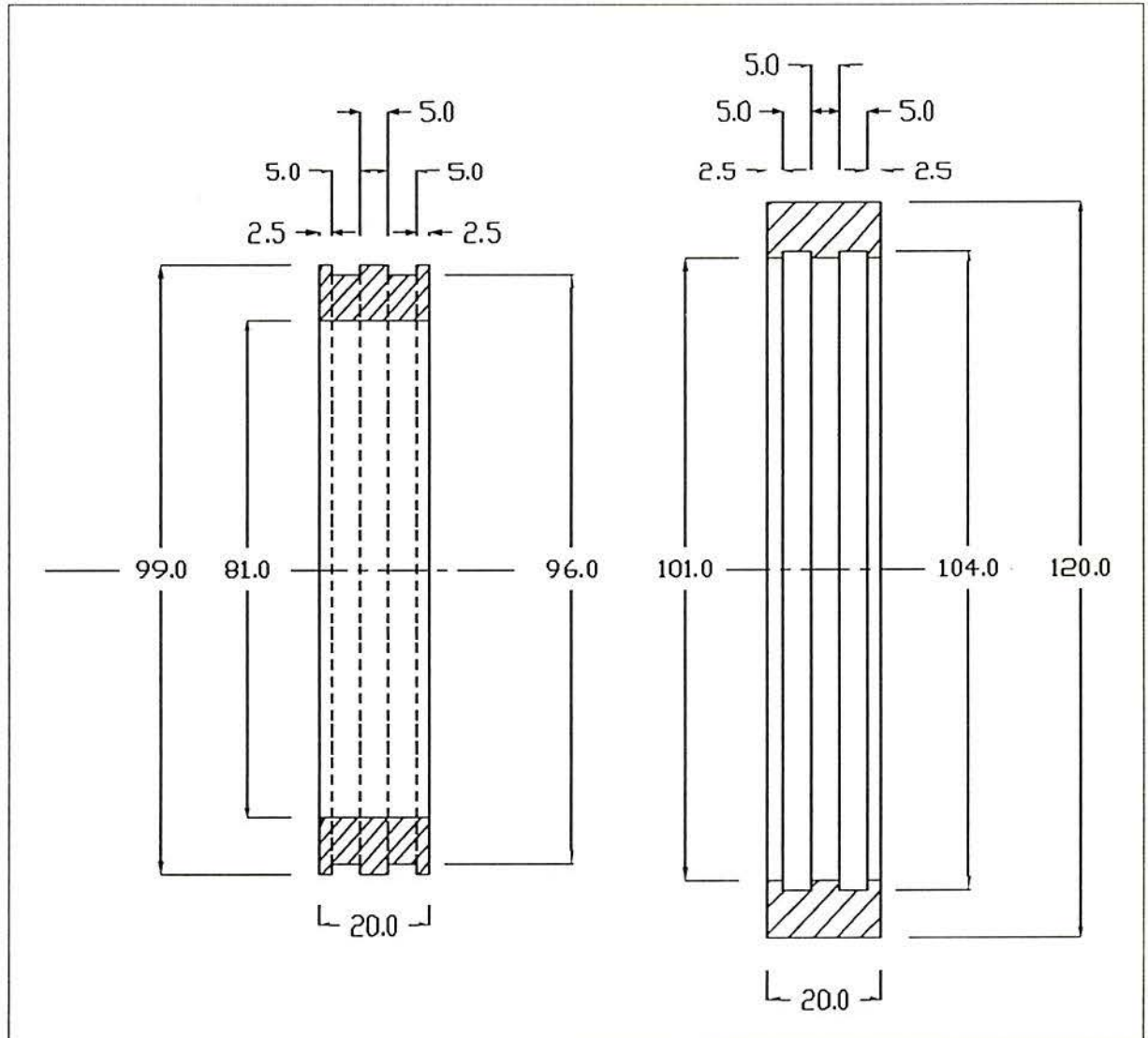


Fig. III.8 - Peças que servem de base para as placas cilíndricas concêntricas as quais constituem os capacitores girantes.

O desenho do projeto mecânico dos capacitores é o mostrado na figura III.8.

III.5.2. O SISTEMA RECEPTOR-DISCRIMINADOR

O sistema receptor-discriminador do sinal transmitido por via capacitiva tem a função de tratar este sinal a fim de torná-lo adequado a ser passado ao conversor frequên-

cia-tensão. Como pode ser visto na figura III.9, este sistema constituído por blocos casca-

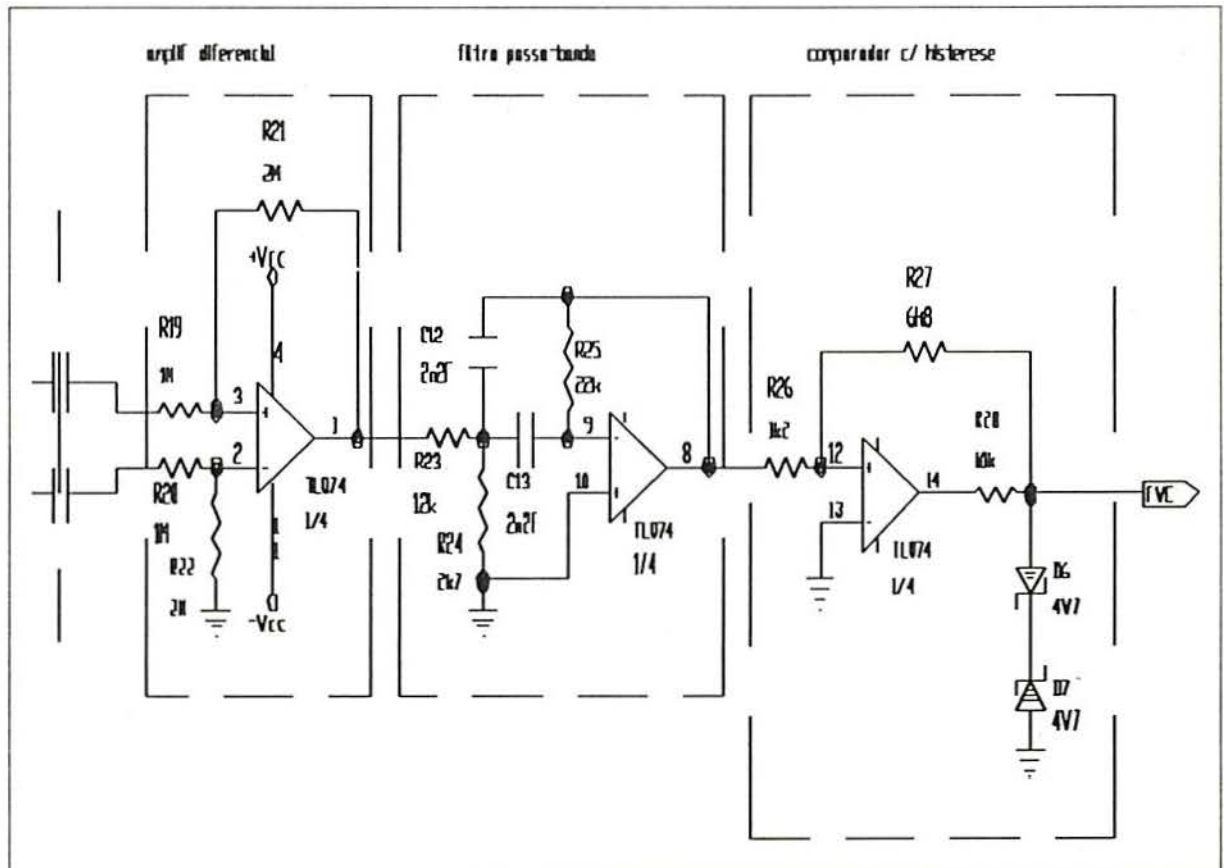


Fig. III.9 - Circuitos constituintes do sistema receptor-discriminador do sinal transmitido capacitivamente.

teados: um amplificador diferencial, um filtro passa-banda e um comparador com histerese.

O amplificador diferencial transforma o sinal diferencial que é passado pelos capacitores em uma tensão referenciada ao terra do circuito. A impedância de entrada deste amplificador deve ser da ordem da impedância apresentada pelos capacitores na frequência do sinal transmitido. Esta impedância de entrada não pode ser muito elevada pois isto reduz a imunidade a ruídos. O valor utilizado para os resistores de entrada R19 e R20 foi de $1M\Omega$.

O filtro passa-banda visa eliminar ruídos indesejáveis que estejam fora da banda de frequências utilizada (5-15kHz), por exemplo o ruído de 60Hz da rede. O filtro utilizado é o do tipo *multiple-feedback* de segunda ordem, o qual utiliza apenas um amplificador operacional. Os componentes utilizados são comuns e não há necessidade de se efetuar a sintonia do filtro pois a sensibilidade da frequência central, f_0 , e do fator de qualidade, Q , em relação à variação nos valores dos componentes é baixa para Q , sendo que o Q utilizado é de 1,66^[24]. As frequências de corte do filtro estão em 4kHz e 16kHz.

O circuito comparador com histerese foi acrescentado para eliminar os ruídos espúrios ainda presentes no sinal após a filtragem. O comparador só muda de estado para tensões, em módulo, maiores do que 1V, ou seja, a janela de histerese é de 2V. Este circuito produz na saída uma tensão, com a frequência do sinal originalmente transmitido, limpa e adequada a ser levada ao conversor frequência-tensão.

III.6. O CONVERSOR FREQUÊNCIA-TENSÃO

O conversor frequência-tensão é o circuito que efetua a demodulação do sinal transmitido através dos capacitores rotativos, produzindo uma saída em tensão (-10V a + 10V), mensurável por um DPM ou por um multímetro digital.

O circuito integrado utilizado foi o LM331 da National Semiconductor Corporation, este *chip* poderia ter sido utilizado, também como conversor tensão-frequência no condicionador de sinais embarcado, já que é mais barato e mais comum de ser encontrado no mercado do que os *chips* da Burr-Brown, só não foi usado por falta de disponibilidade no momento de projeto e montagem do condicionador. O método de conversão utilizado apresenta uma não linearidade máxima de 0,01% do FS, é o circuito proposto pelo manual da mesma National ^[16], com uma correção de ganho e de *offset*. Este circuito pode ser visualizado na figura III.10.

A tensão de saída é dada pela seguinte equação:

$$V_{out} = - f_{in} 2,09V C_{15} \frac{R_{35} R_{34}}{R_{32} + R_{33}} \quad (10)$$

Os valores utilizados foram:

$$R_{35} = 412k\Omega$$

$$R_{32} = 82k\Omega$$

$$R_{33} = 50k\Omega, \textit{ helipot}$$

$$R_{34} = 6k8\Omega$$

$$C_{15} = 20nF$$

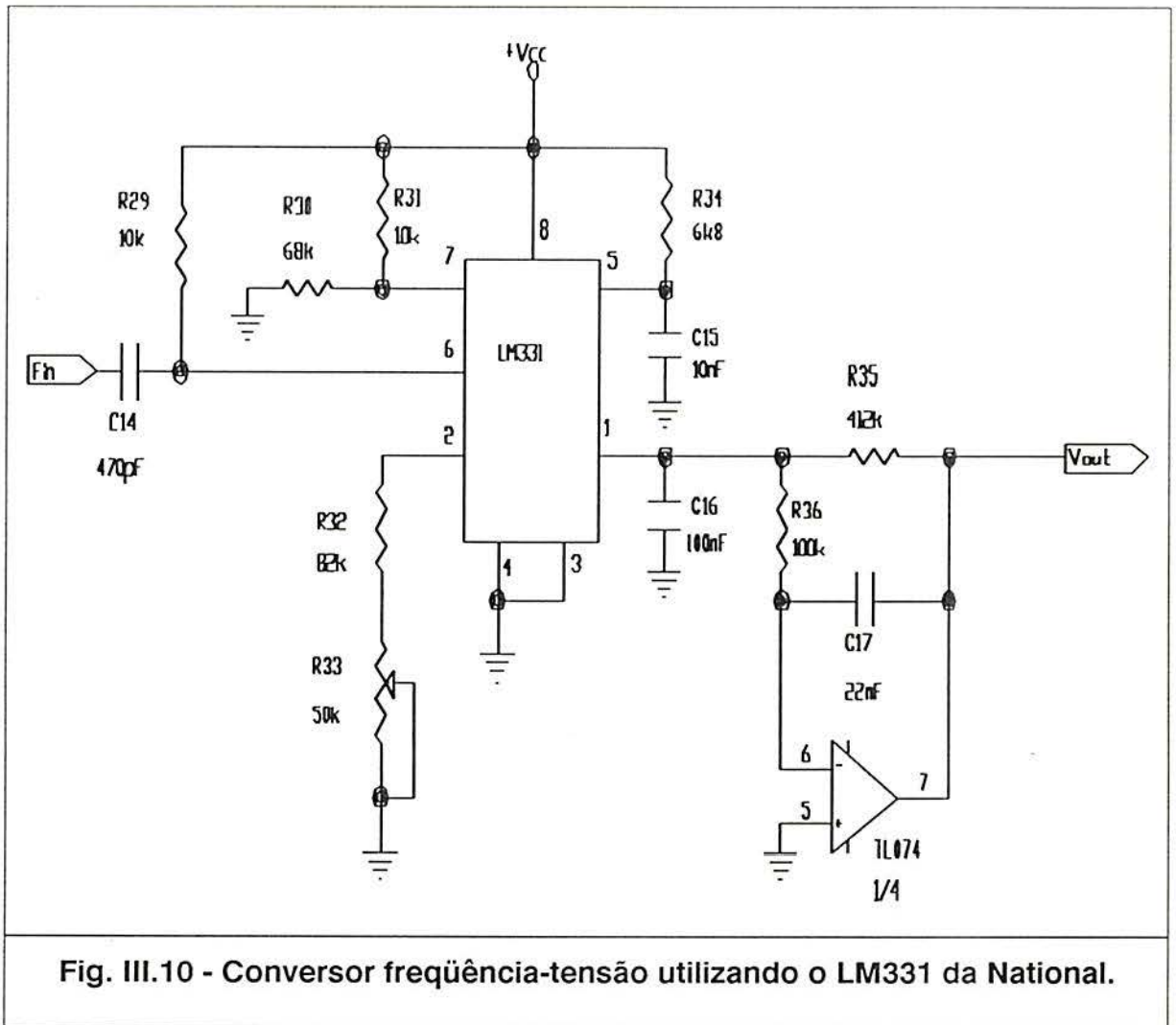


Fig. III.10 - Conversor frequência-tensão utilizando o LM331 da National.

PARTE IV - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

IV.1. CALIBRAÇÃO ESTÁTICA

A calibração estática do torquímetro foi executada fixando-se ao mesmo um braço de alavanca de $R = 0,500\text{m}$. Na extremidade deste pendurou-se um suporte sobre o qual adicionavam-se pesos conhecidos. O condicionador de sinais do torquímetro foi ligado à placa de aquisição de dados INMETAL - 7802 (ver apêndice A) em um microcomputador. Como o conversor da placa é de 12 bits, na faixa utilizada, de 0 a 5V, a resolução é de: $5\text{V}/2^{12} = 1,2\text{mV}$, ou 0,024% do fundo de escala. As leituras (médias, máximas e mínimas) obtidas na colocação e na retirada dos pesos podem ser vistos na tabela IV.1. Para cada peso colocado, coletou-se 100 amostras em intervalos de 1ms. O torque foi calculado com base na massa, m , dos pesos, no braço de alavanca, R , e na aceleração da gravidade, g , estimada em $9,8066 \text{ m/s}^2$.

$$T = m \cdot g \cdot R \quad (11)$$

A curva de calibração é dada pela seguinte equação:

$$T = \frac{V_1 - b}{m} \quad (12)$$

onde T é o torque que se deseja calcular a partir da tensão lida, V_1 , b é o ponto onde a reta cruza o eixo vertical e m é o coeficiente linear da reta, sendo que m e b são dados por [6]:

$$m = \frac{N \sum V_1 T - \sum T \sum V_1}{N \sum T^2 - (\sum T)^2} \quad (13)$$

$$b = \frac{(\sum V_1)(\sum T^2) - (\sum T V_1)(\sum T)}{N \sum T^2 - (\sum T)^2} \quad (14)$$

onde N é o número total de amostras, no caso $N = 28$ pontos x 100 amostras para cada ponto = 2800.

Os desvios padrões, S , para V_1 , m , b e T são calculados por:

massa [kg]	leituras de torque na subida			leituras de torque na descida		
	média [V]	máxima [V]	mínima [V]	média [V]	máxima [V]	mínima [V]
0,0	0,000	0,003	-	0,006	0,009	0,001
1,0	0,250	0,253	0,247	0,255	0,258	0,250
3,0	0,743	0,747	0,737	0,751	0,755	0,746
4,0	0,995	0,999	0,990	0,995	0,999	0,991
6,0	1,476	1,480	1,473	1,482	1,486	1,479
7,0	1,724	1,728	1,719	1,734	1,741	1,726
9,0	2,210	2,214	2,205	2,229	2,236	2,221
10,0	2,461	2,464	2,455	2,475	2,492	2,469
12,0	2,952	2,961	2,940	2,962	2,977	2,945
13,0	3,199	3,211	3,181	3,205	3,209	3,200
15,0	3,689	3,962	3,683	3,687	3,702	3,678
18,0	4,425	4,430	4,419	4,412	4,431	4,391
19,0	4,659	4,672	4,651	4,649	4,653	4,645
20,0	4,897	4,900	4,893	4,890	4,895	4,885
20,4	4,986	4,990	4,982	-	-	-

Tabela 4.1 - Leituras do ensaio estático.

Para cada ponto: 100 amostras.

Resolução do conversor: $5V/2^{12} \text{ bits} = 0,0012V$.

$$S_{V_1}^2 = \frac{1}{N} \sum (m T + b - V_1)^2 \quad (15)$$

$$S_m^2 = \frac{N S_{V_1}^2}{N \sum T^2 - (\sum T)^2} \quad (16)$$

$$S_b^2 = \frac{S_{V_1}^2 \sum T^2}{N \sum T^2 - (\sum T)^2} \quad (17)$$

$$S_T = \frac{S_{V_1}^2}{m^2} \quad (18)$$

os valores calculados a partir dos dados experimentais, são:

$$m = 0,04984 \frac{V}{N.m}$$

$$b = 0,016 V$$

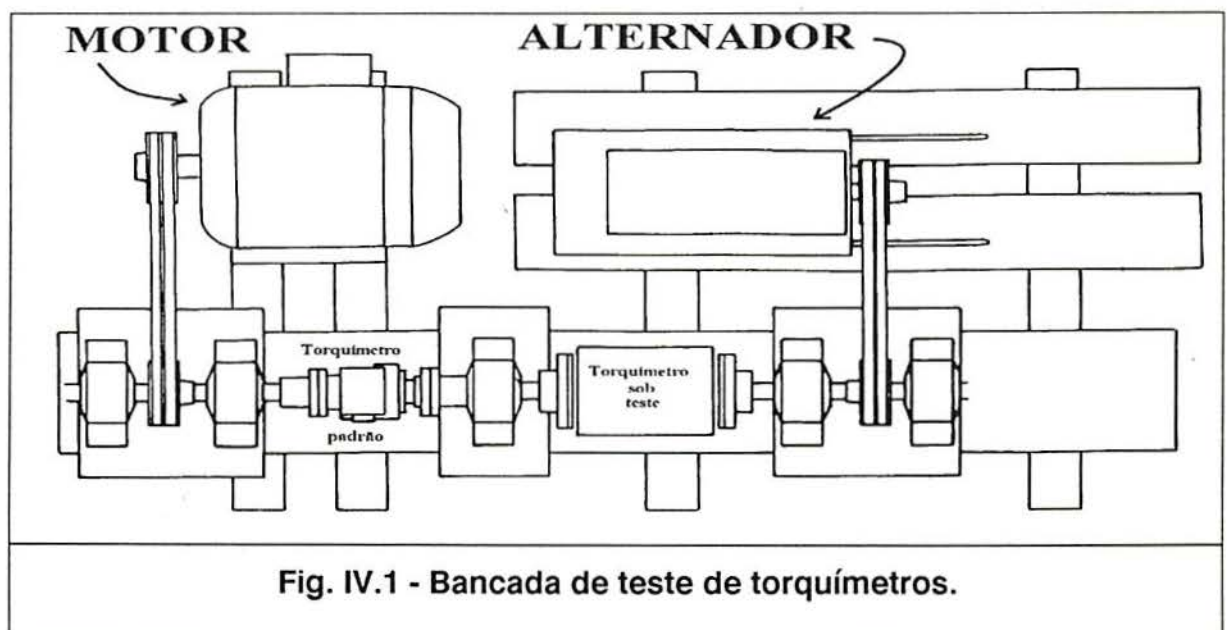
$$S_m = 5,62 \cdot 10^{-6} \frac{V}{N.m}$$

$$S_b = 0,34 \text{ mV}$$

$$S_{V_1} = 9,35 \text{ mV}$$

$$S_T = 0,19 \text{ N.m}$$

Os valores de S_m e S_b são muito baixos e podem ser desprezados. Considerando os limites de ± 3 desvios padrões, o torque pode ser estimado pela seguinte equação, a partir da tensão lida:



$$T = \frac{V_1 - 0,016 V}{0,04984 \frac{V}{N.m}} \pm 0,57 N.m \quad (19)$$

Pode obter-se medidas com maior exatidão, executando-se uma integração do sinal por um certo período de tempo, pois o ruído de fundo é repetitivo, e tende a, na média, se cancelar.

Tomando-se os valores médios da tabela IV.2, verifica-se uma histerese máxima de 0,38% do fundo de escala e uma não-linearidade máxima de 0,48%, também relativa ao fundo de escala.

IV.2. ENSAIO DINÂMICO COMPARATIVO AO TORQUÍMETRO PADRÃO

Realizou-se um ensaio dinâmico, utilizando-se uma bancada de teste de torquímetros, desenvolvida no Laboratório de Instrumentação do PPGEMM/UFRGS, a qual tem o seu esquema mostrado na figura IV.1, ela é composta de um motor e de um gerador (alternador), conectados através de um eixo, onde é possível inserir ou acoplar transdutores de torque.

Foram inseridos no eixo da bancada, o torquímetro em teste e um torquímetro para servir como padrão de comparação, o modelo T30FN da HBM (classe 0.2^[11]). Os torquímetros foram conectados a seus respectivos condicionadores de sinais, e ligados a uma placa de aquisição de dados em um microcomputador do padrão IBMPC-XT.

Na tabela IV.2. são mostrados os dados de torque coletados nos torquímetros sob teste e padrão, para várias cargas ligadas ao gerador, todas as medidas foram feitas sob uma velocidade de 1900 RPM. São mostradas também as diferenças percentuais encontradas, em relação ao valor correspondente e em relação ao fundo de escala de 100 N.m.

Os valores mostrados na tabela IV.2 são valores médios de uma amostragem de 1000 valores durante um intervalo de tempo de 1s. Este tratamento em termos de valor médio é necessário pois instantaneamente o torque não é o mesmo para os dois torquímetros, por dois motivos: existe uma grande oscilação em torno do valor médio de torque devido aos problemas de alinhamento existentes na bancada, sendo que estes transitórios não se propagam uniformemente ao longo do eixo girante devido aos acoplamentos utilizados; o acoplamento do torquímetro padrão com o eixo ocasiona, ainda o aparecimento de um atraso na propagação da onda de deformação. Estes fatores são melhor comentados no tópico seguinte, sobre transitórios.

Na fig. IV.2 são mostrados em forma gráfica os valores da tabela IV.2.

carga no gerador [W]	torq. padrão, P [N.m]	torq. sob teste, T [N.m]	diferença % $\frac{ T-P }{P} * 100$	dif.relat. ao F.S. $\frac{ T-P }{100.N.m} * 100$
600	07,18	07,34	2,16	0,16
920	09,09	08,99	1,08	0,10
1500	12,71	12,71	0,02	0,00
2000	15,88	15,61	1,73	0,27
2500	19,11	18,96	0,79	0,15
3000	22,85	22,45	1,73	0,40
3600	26,77	26,69	0,31	0,08
3920	28,95	29,17	0,76	0,22
		média	1,07	0,17

Tabela IV.2 - Valores obtidos no ensaio dinâmico.

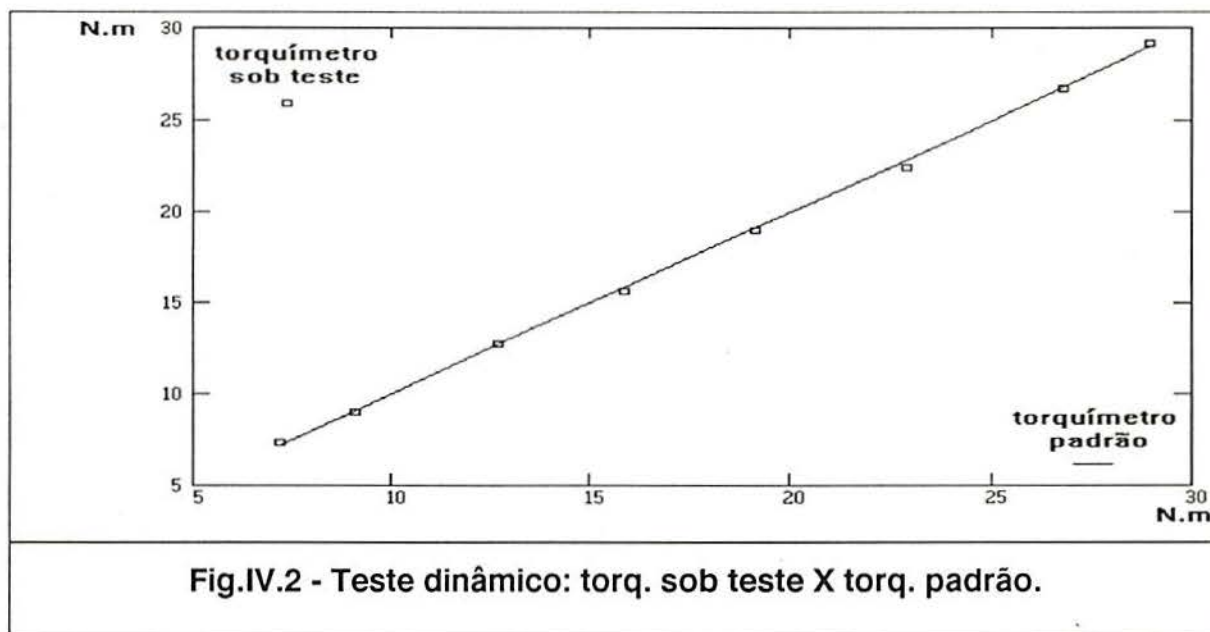
IV.3. TESTE DE TRANSITÓRIO

Neste teste foi utilizado o mesmo equipamento do ítem anterior. Para facilitar a medição de transitórios, foi desenvolvido um programa (DIGSCOPE), que funciona de modo semelhante a um osciloscópio digital, possuindo muitas funções e ajustes idênticos a estes, tais como: volts por divisão, segundos por divisão, nível de disparo, número de canais ativos, taxa de aquisição de dados, salvamento dos dados amostrados em disco, entre outros. O programa faz uso da placa de aquisição de dados INMETAL-7802, e das bibliotecas de funções em linguagem C, criadas para abstrair o acesso, em baixo nível, à placa.

Com o eixo girando a uma velocidade de 1500 RPM, aplicou-se subitamente uma carga ao gerador, o que produz um transitório de torque no eixo.

Os sinais coletados pelo micro são mostrados, graficados, na figura IV.3. Observe-se que os sinais estão representados com o seu nível d.c. alterado, para facilitar a visualiza-

ção simultânea das respostas dos torquímetro ao transitório. A amostragem foi executada durante 6s, sendo que o intervalo entre cada amostra é de 2ms.



Analisando-se os dados digitalizados deste gráfico, descobriu-se um atraso entre os sinais, este atraso ocorre pela propagação do torque ao longo do eixo. O torquímetro padrão, por estar mais próximo do local onde é gerada a potência mecânica (motor), produz um sinal adiantado em relação ao torquímetro testado, em cerca de 20ms. O valor relativamente alto deste atraso temporal, pode ser explicado pela existência de um acoplamento não-rígido entre o torquímetro padrão e o eixo, feito com dois flanges costurados com uma mangueira de borracha. Este acoplamento funciona ainda como um filtro passa-baixas, impedindo a propagação das componentes de frequências mais altas da onda de deformação, por isto se observa o sinal um pouco mais "limpo", gerado pelo torquímetro testado.

Pela figura IV.2, ainda, pode-se verificar que quando é aplicada a carga ao eixo, surge um transitório que decai após decorridos aproximadamente 3s, neste momento, o sinal de torque mostra-se mais instável do que antes de existir carga no eixo, isto é, as oscilações são maiores, provavelmente introduzidas pelo gerador.

IV.4. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Um problema que foi verificado foi o acentuado *drift* térmico que ocorre quando é ligado o torquímetro. Este fenômeno pode ser explicado, pelo aquecimento que ocorre no cobre do transformador rotativo, principalmente no primário, o que é normal devido a alta corrente necessária para compensar a baixa eficiência do transformador, e agravado pelo fato do sistema possuir muita massa, conseqüentemente alta inércia térmica. Para que

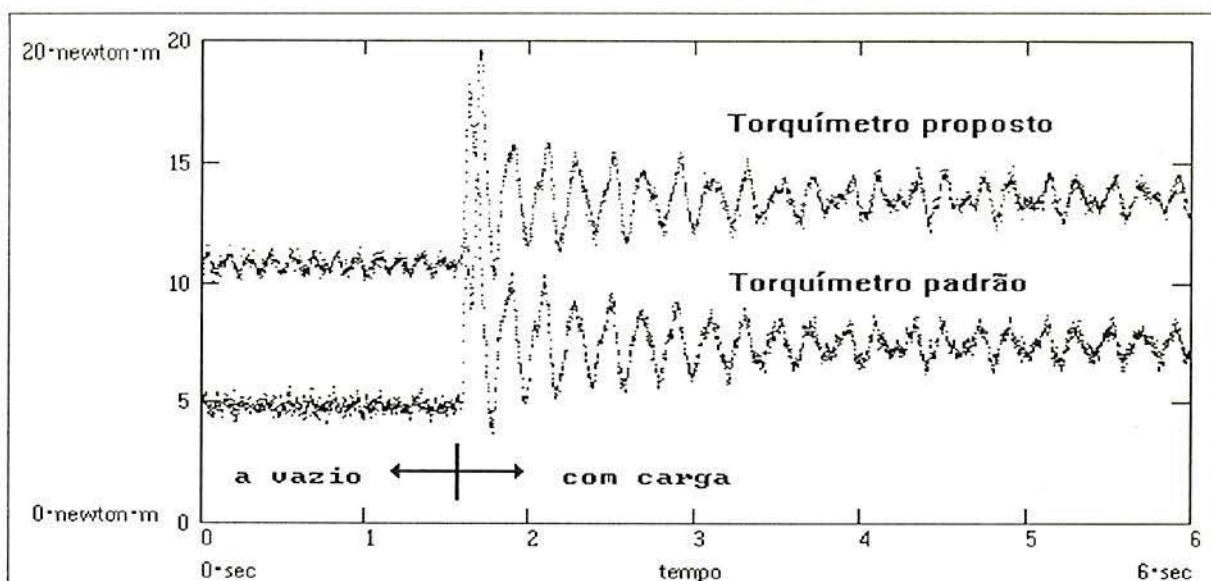


Fig.IV.3 - Transitório aplicado aos torquímetros

o sistema estabilize termicamente é necessário esperar cerca de 25 minutos após a energização do mesmo.

Pode-se atacar este problema, no transformador, aumentando-se a frequência de excitação, aumentando-se a bitola do fio no primário, e/ou ainda, aumentando-se o número de espiras do primário e a tensão aplicada, reduzindo a corrente, de modo a reduzir-se as perdas no cobre, mantendo-se a potência transmitida. Utilizar componentes eletrônicos menos sensíveis às variações de temperatura, embora mais caros, também diminuiria o problema. Recomenda-se ainda, fazer aberturas na carcaça do torquímetro para facilitar a saída do ar aquecido.

Foi observada a presença de um ruído quando se colocou o sistema a girar na bancada de teste de torquímetros, este fator foi minimizado através do aterramento adequado das carcaças do motor, do torquímetro, bem como da base da bancada de torque.

PARTE V - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos levam às seguintes conclusões sobre o torquímetro construído:

- a) permite monitorar torque em eixos girantes por longos períodos de tempo, sem necessidade de qualquer tipo de manutenção;
- b) é indicado somente para aplicações onde exista a possibilidade de intercalá-lo entre a fonte primária de energia mecânica e a carga;
- c) o projeto mecânico, por se tratar de um primeiro protótipo, não é adequado para um produto comercial, devendo ser refeito de maneira a reduzir otimizadamente as suas dimensões finais;
- d) a faixa de erro (3 desvios padrões) obtida foi de 0,5% do fundo de escala, para uma medida instantânea, podendo ser melhorada através da integração do sinal, pois existe a presença de um ruído que tende a, na média, se cancelar;
- e) fica por ser resolvido, ainda, para comercialização do torquímetro, o problema de drift térmico, discutido no item IV.4

Alguns campos de aplicação deste tipo de torquímetro seriam: fábricas de motores, mancais e engrenagens (avaliação de perdas na transferência de potência); indústrias de laminação e celulose (monitoração e controle de torque), outras indústrias em geral (monitoração de torque, análise de vibrações visando a manutenção preventiva de máquinas).

Para trabalhos futuros, sugere-se a colocação da ponte de extensômetros e do condicionador de sinais diretamente sobre o eixo girante, de maneira que não haja a necessidade de abrir-se o eixo para a colocação do transdutor de torque, já que em muitos casos esta possibilidade nem sequer existe, e de qualquer forma, a colocação de um

elemento novo intercalado no eixo, representa uma significativa alteração do sistema original, alterando a frequência de ressonância do mesmo, agravando desalinhamentos e produzindo maior atrito nos mancais. Isto ampliaria enormemente o campo de utilização do torquímetro.

Para que esta solução sugerida funcione satisfatoriamente, se faz necessário utilizar um amplificador com uma resolução muito boa (ppm), pois o eixo original, de maneira genérica muito espesso, não proporcionará a sensibilidade adequada, recomenda-se a utilização de um amplificador do tipo lock-in. Os princípios de transmissão de sinal e energia aqui apresentados, poderão ser aproveitados, pois sua utilização foi bem sucedida.

PARTE VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ARAÚJO, J.R. Transdutores estáticos e dinâmicos de torque. Porto Alegre, PPGEMM/UFRGS, 1986. 88p. Diss. maestr.
- [2] BASSANI, I.A. Estudo do elemento estático tipo cruciforme vazado. Porto Alegre, PPGEMM/UFRGS, 1987. 108p. Diss. maestr.
- [3] BRITO, R.M. et al. Torquímetro rotativo com transferência de sinais por transformador. Proposta de uma geometria alternativa para os transformadores girantes. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS - ABM. Belo Horizonte, 1989. p.119-29.
- [4] BURR BROWN. Burr-Brown IC databook. Sec. 10, PDS-372E.
- [5] CONNER, D. Monolithic instrumentation amplifiers. EDN. Mar. 1991. p.82-8.
- [6] DOEBELIN, E. O. Measurement systems. New York, Hill, 1981.
- [7] GEESDORF, G. Introdução ao estudo do transformador rotativo para transferência de sinal em torquímetros dinâmicos. Porto Alegre, PPGEMM/UFRGS, 1988. 68p. Diss. maestr.

-
- [8] GINDY, S.S. Force and torque measurement, a technology overview - Part II - Torque. Experimental Techniques. July 1985. p.9-15.
- [9] HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Física. Vol. 3, 3^a ed. Rio de Janeiro, 1983. p.94.
- [10] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK. The BLM Modular System for Brushless Measured-Value Transmission, Operating Manual.
- [11] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK. T30FN Torquemeter, Operating Manual.
- [12] LEUNG, W.S. An experimental investigation of transient torques. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. v. IM-36, n.1, Mar. 1987. p.44-6.
- [13] LUDEWIG, H. Contactless torque measurement. Engineering Science and Industry. v.18, n.1. p. 7-10.
- [14] MARGAN, E. Single-bit, oversampling A-to-D converter. Electronics World + Wireless World. Aug. 1989. p.814-7.
- [15] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. Linear databook. 1982. p.4.13-7.
- [16] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. Linear databook. 1982. p.8.251-61. (331)
- [17] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. Voltage regulator handbook. 1982. p.10.10-7.
- [18] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. Voltage regulator handbook. 1982. p.10.62-6.

-
- [19] OLSEN, R.L. et al. Modelo para cálculo e projeto de transformador rotativo. In: 46^o CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS - ABM. São Paulo, Set. 1991. Anais. p.377-87.
- [20] PONGE-FERREIRA, W.J.A.; TU, C.C-C. Torquímetro Dinâmico Óptico em Frequência Modulada. In: 6^o CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Belo Horizonte - 1986. Anais. p. 287-92.
- [21] REED, G. Torque measurement in rotating shafts - the optical alternatives. Design Engineering. May. 1989. p.69-72.
- [22] RUDD, R.E. et al. Fiber optic torquemeter design and development. ISA Transactions. v. 28. n.2. 1989 . p.19-23.
- [23] SCHABERL, W. Non-contact torque measurement on a test-rig for electrical drives. RAM. v.5, n.2. 1989. p.33-6.
- [24] STOUT, D.F.; KAUFMAN, M. Handbook of operational amplifier circuit design. New York, McGraw-Hill, 1976.
- [25] STUART, T.A.; KING, R.J.; SHAMSEDDIN, H. Rotary transformer design with fixed magnetizing and/or leakage inductances. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. v. AES-22, n.5. Sept. 1986. p. 565-72.
- [26] WEIR, R. Sigma-delta conversion. Electronics World + Wireless World. Dec. 1989. p. 1196-9.

APÊNDICES

APÊNDICE A - PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS INMETAL-7802

Esta placa de aquisição de dados foi desenvolvida como um *add-in* para microcomputadores do tipo IBMPC, XT ou AT, para facilitar a obtenção e o processamento de dados provenientes de torquímetros dinâmicos e medidores de velocidade de rotação. Esta placa, em conjunto com o *software* adequado possibilita a execução de testes estáticos, dinâmicos e transitórios do torquímetro construído, e de outros que venham a ser produzidos, comparativamente a um torquímetro padrão.

1. Hardware da Placa:

O conversor analógico/digital utilizado foi o ADC7802 da Burr Brown, que é um conversor A/D de 12 bits, 4 canais, com tempo de conversão típico de 10ms.

O esquema elétrico da placa é mostrado na figura A.1. O esquema de seleção de endereços foi aproveitado da placa padrão de desenvolvimento PPDI-2, sendo que os endereços base das portas de I/O da placa podem ser ajustados a partir de DIP switches presentes na placa, de acordo com o seguinte esquema, sendo que quando a DIP está em ON corresponde ao nível lógico 0, e quando está em OFF corresponde ao nível lógico 1.

Número da DIP switch - Linha de endereço de I/O no PC:

1 - A03

2 - A04

3 - A05

4 - A06

5 - A07

6 - A08

7 - reservada

8 - reservada

No protótipo contruído foi utilizado o endereço base 300h, que corresponde a: DIP 6 OFF e as demais ON, todavia um outro endereço livre poderia ser aproveitado. Para obter-se os endereços do conversor deve-se realizar os seguintes cálculos:

low byte: end. base + 5

high byte: end. base + 7

O ADC7802 funciona no modo transparente, o pino de busy (ocupado) não é utilizado, pois este sinal pode ser monitorado diretamente pelo barramento de dados. O clock interno do conversor é aproveitado utilizando-se um resistor ligado ao pino 23 do conversor, a frequência do clock é dada pelo valor do resistor, no caso utilizou-se $47k\Omega$, o que proporciona uma frequência de aproximadamente 2MHz.

Uma tensão de referência estável termicamente de 5V é utilizada, sendo que é obtida por um circuito com o regulador LM723, pode ser visto também na figura 1.

As entradas analógicas são protegidas por um esquema de janela de diodos, sendo que a faixa de tensões de entrada é de 0 até 5 Volts, portanto não devem ser aplicadas tensões negativas nestas entradas. Em cada entrada existe uma filtragem analógica para evitar problemas de aliasing, constituída de um filtro passa-baixas com frequência de corte (-3dB) em aproximadamente 7kHz.

2. Utilização da Placa:

Para executar uma conversão deve-se seguir os seguintes passos:

a- realizar uma operação de escrita no endereço do low byte do conversor, sendo que o valor escrito deve corresponder ao canal em que se deseja executar uma conversão.

Exemplo prático, em linguagem C:

```
/* dá início à conversão no canal 1. */
```

```
outportb(0x0305, 1);
```

b. esperar que o conversor termine a conversão, o que pode ser monitorado pela flag de busy, a qual pode ser lida no endereço do high byte, bit 7; ou seja, enquanto o bit 7 do high byte estiver em 1, o conversor está ocupado, e quando este passar a ter o valor 0, o byte alto da conversão já estará disponível no barramento de dados.

Exemplo:

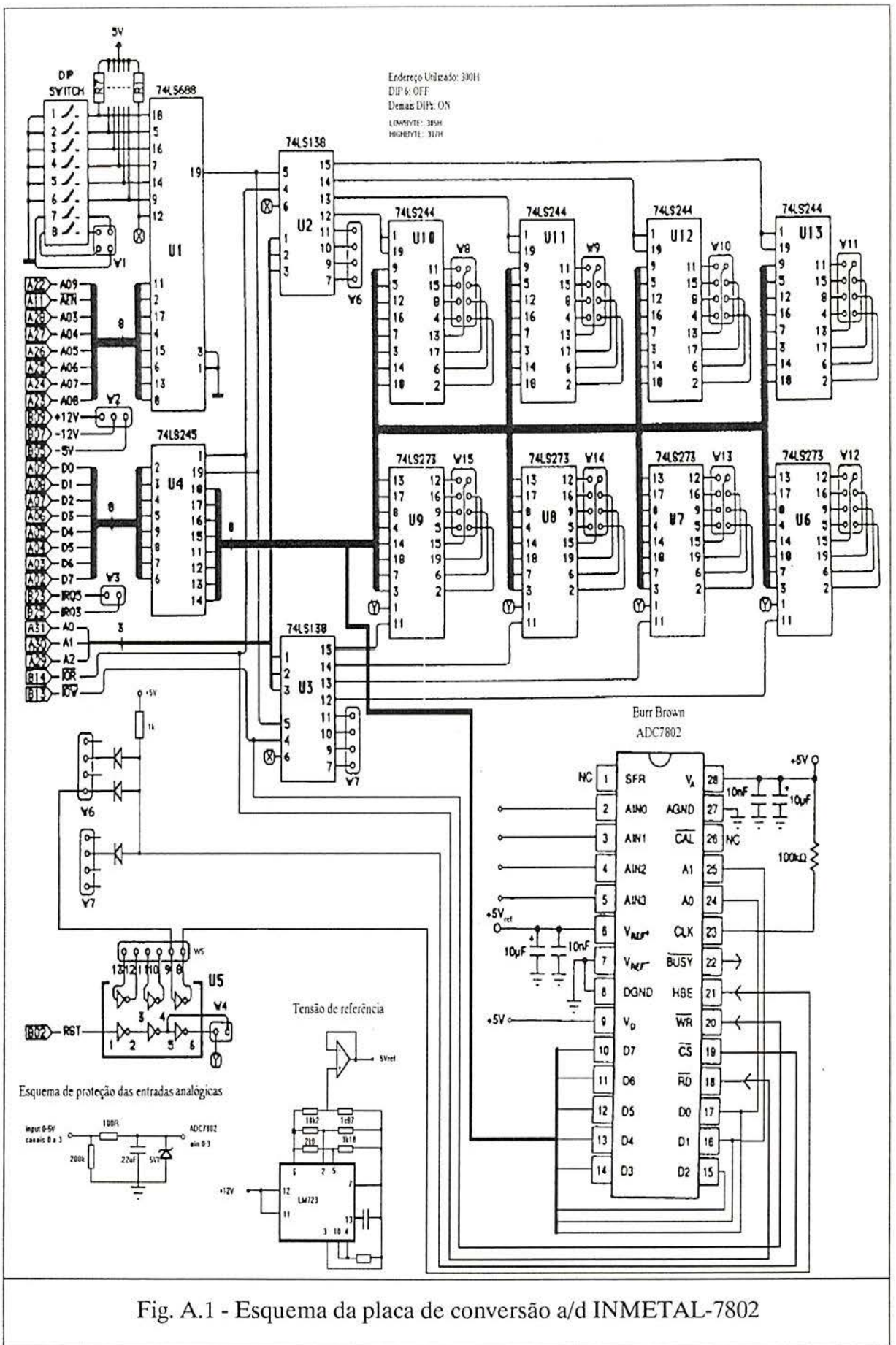


Fig. A.1 - Esquema da placa de conversão a/d INMETAL-7802

```
while ( inportb(0x0307) = 0x80 ) { /* não faz nada */ }
```

c. ler o high byte e em seguida o low byte.

Exemplo:

```
hbyte = inportb(0x0307); /* lê byte alto */
```

```
lbyte = inportb(0x0305); /* lê byte baixo */
```

```
valor = hbyte*256 + lbyte /* calcula valor convertido */
```

A velocidade de obtenção dos dados é dependente da velocidade com que o micro é capaz de ler e armazenar os dados gerados pelo conversor.

3. Programa Exemplo de Utilização da Placa:

```
/* Programa demonstrativo de utilizacao da placa de conversao A/D
   ADC7802: 12 bits, 4 canais

   Projeto da placa:
       Ricardo L. Olsen
       Fernando M. Bauer
   Montagem:
       Ricardo L. Olsen
   Software:
       Ricardo L. Olsen, marco de 1992
*/

# include <DOS.H>
# include <CONIO.H>

/* Enderecos de acesso 'a placa de conversao */
# define HBYTE 0x307
# define LBYTE 0x305

float testa_vel_conversao();
unsigned int read_channel( int );
int ii;

main()
{
  unsigned int i,j, ainput_bin;
  float ainput_volts;

  clrscr();

  testa_vel_conversao();

  gotoxy(1,3);
  while(!kbhit()) {
    for (i=0;i<=3;i++){
      ainput_bin= read_channel(i);
      ainput_volts= (float) ainput_bin * 5 / 0x1000;
```



```

printf("analog input in hex   channel: %d = %x   \n",i,ainput_bin);
printf("analog input in volts channel: %d = %f   \n",i,ainput_volts);
    }
    gotoxy(1,3);
}
}

/* Rotina de leitura de um canal do conversor
Entrada: numero do canal de entrada ( 0 - 3 )
Saida:  valor convertido em binario
*/
unsigned int read_channel(int ch)
{
    unsigned char hbyte,lbyte;
    /* da inicio a conversao */
    outportb(LBYTE,ch);
    /* espera final da conversao e le o byte alto */
    while ( (hbyte=inportb(HBYTE)) >= 0x80)
        { }
    /* le o byte baixo */
    lbyte=inportb(LBYTE);
    /*      ii++; */
    /* retorna o valor convertido numa palavra de 16 bits */
    return hbyte*256+lbyte ;
}

# define ITERACOES 50000
float testa_vel_conversao()
{
    unsigned long int i;
    unsigned long ti,tf;
    unsigned int hbyte,v;
    float veloc;

    printf("Evaluating a/d conversion time!");
    i=1;
    ti=biostime(0,0);
    do {
        /*
        outportb(LBYTE,0);
        while ( inportb(HBYTE) >= 0x80) {}
        */

        disable();
        /* da inicio a conversao */
        outportb(LBYTE,0);
        /* espera final da conversao e le o byte alto */
        while ( (hbyte=inportb(HBYTE)) >= 0x80) { }
        /* le o byte baixo e coloca o valor convertido na memoria */
        v= hbyte * 256 + inport(LBYTE);
        enable();
        i++;
    } while (i<ITERACOES) ;
    tf=biostime(0,0);

    veloc= (float) (tf-ti)/18.2/ITERACOES;

    printf ("\rAprox. max sampling frequency: %f kHz\n", (1e-3)/veloc);
    printf ("Sampling time: %f micro segundos",1000000*veloc);

    return veloc;
}

```

4. Bibliotecas de Funções Utilizáveis pelo Usuário:

```

/* Modulo de bibliotecas para utilizacao com a placa INMETAL-7802      */
/* Rotinas disponiveis                                               */
/* read_channel, acquire                                             */
/* Ricardo Olsen abril/92                                          */
# include <alloc.h>
# include <dos.h>
/* Programacao do timer 8253
   040h - counter 0
   041h - counter 1
   042h - counter 2
   043h - control register
   Programacao da 8259
   020h -
   021h - mascara de interrupcoes: 0-habilita, 1-mascara.
*/

/* Variaveis e definicoes globais */

# define INTMASK 0x021 /* localizacao da mascara de interrupcoes da 8259*/
# define TTICK 0x01c /* localizacao do vetor de int da IRQ0 (timer tick)*/
# define CTRL_TIMER0_PORT 0x043 /* porta de controle do timer 8253 */
# define DATA_TIMER0_PORT 0x040 /* porta de dados do timer 0 do 8253 */

# define HBLOC 0x0307 /* Localizacao das portas de I/O onde esta */
# define LBLOC 0x0305 /* o conversor A/D da placa INMETAL-7802 */

int far * paux;
unsigned int val_convertido,cmax;

/* Rotinas de atendimento da interrupcao IRQ0: leitura do conversor A/D */
/* Entrada: nada */
/* Saida: valor convertido colocado na memoria */

void interrupt IRQ0 (void)
{
  unsigned int hbyte,ch;
  disable();
  for (ch=0;ch<=cmax;ch++) {
    /* da inicio a conversao no canal 0 */
    outportb(LBLOC,ch);
    /* espera final da conversao e le o byte alto */
    while ( (hbyte=inportb(HBLOC)) >= 0x80);
    /* le o byte baixo, calcula e coloca o valor convertido na memoria */
    *paux++ = (unsigned int)( (hbyte << 8) + inportb(LBLOC));
  }
  enable();
}

void interrupt IRQ0_lcanal (void)
{
  unsigned int hbyte;
  disable();
  /* da inicio a conversao no canal 0 */
  outportb(LBLOC,0);
  /* espera final da conversao e le o byte alto */
  while ( (hbyte=inportb(HBLOC)) >= 0x80);
  /* le o byte baixo, calcula e coloca o valor convertido na memoria */
  *paux++ = (unsigned int)( (hbyte << 8) + inportb(LBLOC));
  enable();
}

/* Rotina de aquisicao de dados.
   Utiliza timer 0 para gerar interrupcoes em intervalos constantes.

```

```

Pressupoe memoria alocada no heap para guardar dados convertidos.
Reprograma a frequencia do timer 0 do 8253 do XT.
Desvia vetor de interrupcao (001Ch : timer tick) da IRQ 0
para a rotina IRQ0.
Entradas: ponteiro para localizacao dos dados na memoria,
          numero de canais, frequencia de aquisicao desejada,
          numero de amostras por canal.
Saida:   valores amostrados colocados na memoria
Exemplo de chamada tipico:
    unsigned int far *p;
    ...
    p=farmalloc(sizeof(int)*numero_de_canais*numero_de_amostras);
    if (p=NULL) { falta de memoria }
    adquiere(p,numero_de_canais,numero_de_amostras,freq_de_aquisicao);
    ... uso dos dados ...
    farfree(p); libera memoria para outra aquisicao

Funcionamento garantido:
6kHz de freq. de aquisicao para 1 canal em um XT-10MHz
Se for necessario maior velocidade utilizar um computador
mais rapido (386, por exemplo) ou usar a rotina
read channel que nao faz uso de interrupcao e permite
maior rapidez de conversao.
*/

void adquiere(int far *ploc, int canais, unsigned int freq_aq, unsigned int
n_amostras )
{
    unsigned long vetor_original;
    unsigned int n;
    unsigned char msb,lsb;
    unsigned long freqck0= 1193182;          /* freq de clock do timer 0      */

    /* maior freq aquis possivel: ? - depende da velocidade do micro */
    /* menor freq aquis possivel: 19Hz                                  */
    if ( canais>4 || freq_aq<19 )
        { cprintf("\n\r Erro de chamada - rotina adquiere! ");
          getch();
          exit(1);
        }

    cmax=canais-1;
    paux=ploc;
    vetor_original=
        (unsigned long)getvect(TTICK); /* salva vetor de interrupcoes */
    disable();                       /* desabilita interrupcoes na CPU */
    outportb(INTMASK,0x01);          /* mascara IRQ0 na 8259          */
    /* altera o vetor de interrupcoes 01Ch */
    if (canais==1) setvect(TTICK,IRQ0_lcanal);
        else setvect(TTICK,IRQ0);

    n=(unsigned int)(freqck0/freq_aq+0.5); /* calcula divisor por n do timer*/
    msb=(unsigned char)(n/256);         /* calcula msb e lsb de n      */
    lsb=(unsigned char)(n-msb*256);
    outportb(CTRL_TIMER0_PORT,0x36);    /* reprograma freq do timer    */
    outportb(DATA_TIMER0_PORT,lsb);
    outportb(DATA_TIMER0_PORT,msb);

    enable();                          /* habilita interrupcoes na CPU */

    outportb(INTMASK,00);              /* habilita todas as int de hw na 8259 */

    /* executa aquisicao ate completar o numero de amostras desejadas */
    while (paux<ploc+canais*n_amostras) {}

    outportb(INTMASK,0x01);           /* mascara e desabilita int de hw */
    disable();

```

```
outportb(CTRL_TIMER0_PORT,0x36); /* reprograma freq original do timer */
outportb(DATA_TIMER0_PORT,0xFF); /* 18.2 interrupcoes por segundo */
outportb(DATA_TIMER0_PORT,0xFF);

setvect(TTICK,vetor original); /* restaura vetor original */
outportb(INTMASK,0x00); /* habilita as interrupcoes de hardware */
enable();
} /* acquire */

/* Rotina de leitura de um canal do conversor A/D (placa INMETAL - 7802)
Entrada: numero do canal de entrada ( 0 - 3 ).
Saida: valor convertido em binario na variavel global val_convertido.
Obs.: rotina otimizada para maior velocidade de conversao.
esta rotina nao utiliza interrupcao.
*/

void read_channel(int ch)
{
unsigned int hbyte;

/* da inicio a conversao */
outportb(LBLOC,ch);
/* espera final da conversao e le o byte alto */
while ( (hbyte=inportb(HBLOC)) >= 0x80) { }
/* le o byte baixo e retorna o valor convertido numa palavra de 16
bits
na variavel global val_convertido */
val_convertido = (hbyte << 8) + (unsigned int) inport(LBLOC);
} /* read_channel */

/* ----- FIM DO MODULO ----- */
```

APÊNDICE B - PROGRAMA DIGSCOPE

1. Utilização do programa

Este programa permite a visualização, na tela do computador, de um conjunto de dados amostrados por uma placa de aquisição de dados, no caso a INMETAL-7802, mas pode ser facilmente adaptado para funcionar com outros dispositivos de aquisição de dados, alterando-se apenas a parte de rotinas de I/O.

A operação do programa é bastante fácil para pessoas acostumadas a lidar com osciloscópios, sejam eles digitais ou não, todas as opções de ajuste disponíveis são mostradas na mesma tela, sendo acionadas pela letra inicial das palavras mostradas no lado direito da tela, ver figura b.1.

As opções disponíveis são:

Volts por divisão: é a escala das ordenadas, o valor mostrado na tela é o valor em volts de cada divisão (1/10 do total da tela). Pode ser aumentado pela tecla [+] e reduzido pela tecla [-]. Estão disponíveis as escalas de 2mV/div, 20mV/div, 200mV/div, 2V/div e 5V/div.

Segundos por divisão: escala das abcissas, o valor mostrado é o valor em segundos de cada divisão da tela. Também é aumentado pela tecla [+] e reduzido por [-]. Valores possíveis: 1ms/div, 10ms/div, 100ms/div, 1s/div e 10s/div.

Trigger: seleciona a utilização, ou não, do disparo da amostragem pelo cruzamento de um valor de tensão. As teclas [+] e [-] ligam e desligam o trigger.

Level: é o valor de tensão, em décimos de volt, ajustado para o disparo da amostragem. Ajustado pelas teclas [+] - aumenta 1 decimo de volt, [-] - diminui 1 decimo de volt, [*] - aumenta 1 volt, [/] - diminui 1 volt.

Channels: número de canais em que se deseja realizar amostragem, vai de 1 até 4 para o caso da placa disponível. Teclas: [+] - aumenta 1 canal, [-] - diminui 1 canal.

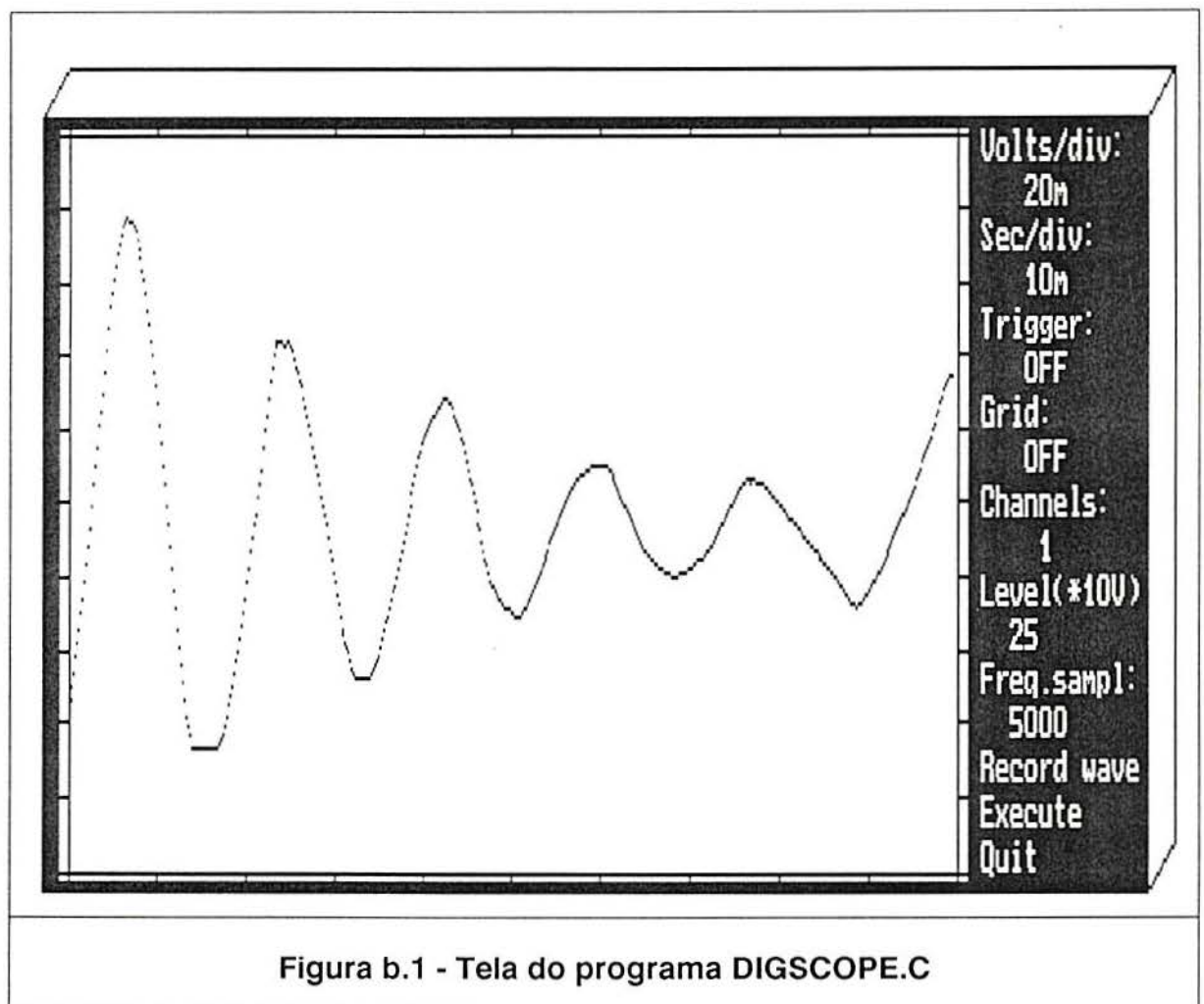
Grid: permite mostrar a grade de divisões sobre toda a tela, facilita a identificação visual dos valores de tempo e tensão elétrica. [+] e [-] mostram e removem a grade.

Sampling Frequency: valor da frequência de amostragem, é o número de amostras feitas em cada canal ativo, durante um segundo. Teclas: [+] - aumenta 10Hz, [-] - diminui 10Hz, [*] - aumenta 1000Hz, [/] - diminui 1000Hz.

Record wave: permite gravar em disco os dados amostrados. São criados um arquivo para cada canal ativo, contendo os valores amostrados em volts, é criado também um arquivo contendo o número de amostras gravadas por canal e o período de amostragem, em segundos, utilizado para obtê-las. O programa permite que o usuário forneça os nomes dos arquivos. Todos os arquivos criados são colocados no diretório corrente do DOS.

Execute: dá a partida imediata na amostragem, caso o trigger estiver desligado, caso contrário, passa a aguardar que a entrada cruze pelo nível de trigger para iniciar a amostragem. Continua amostrando até que seja pressionada alguma tecla.

Tecla espaço: congela a última tela amostrada, permite que o usuário analise visualmente os dados e decida se os grava ou parte para novas amostragens.



2. Listagem do programa

```

/*.....

Modulo de rotinas que implementam um osciloscopio digital.
Utiliza a placa de conversao a/d INMETAL 7802.
Ricardo Lastra Olsen, junho de 1992.
.....*/

/*.....*/

/* Arquivos de inclusao necessarios. */
# include <dos.h>
# include <math.h>
# include <float.h>
# include <alloc.h>
# include <ctype.h>
# include <string.h>
# include <graphics.h>
# include <stdio.h>

# define TRUE 1
# define FALSE 0

/* codigos dos menus: */

/* codigos das teclas: */
# define ENTER 13
# define ESC 27

/* declaracao de funcoes nao-int e externas. */
float fabso(float);
/* estas funcoes pertencem ao modulo de bibliotecas da */
/* placa INMETAL-7802 (modulo de I/O). */
extern void far read_channel(int);
extern void far adquĩre(unsigned int far *,int,unsigned int,unsigned int);
extern void far rele(unsigned int, int);
/* variavel global do modulo de I/O. */
extern unsigned int val_convertido;

/*.....*/

/* Adquire e mostra dados, semelhante a um osciloscopio digital. */
void osciloscopio(void)
{
static float voltspordiv=2, secpordiv=1e-3;
static char trigger=FALSE;
static unsigned int freq=1000,ncanais=1,nivel=25;
char grid=FALSE, tecla, sfreq[7], nomearq[9];
int xse, yse, xid, yid, xtext, ytext, maxy, final_esc, i, k, direction,
font, charsize;
float d=1e-5, j=0, xesc, yesc, l, fatforma;
unsigned int namostras;
unsigned int far *pontamostras;
unsigned int far *px;
double temp,s;
FILE * fp[4];

inicio:

inigraficos();

```

```

fatforma=(float)getmaxy()/getmaxx();
xse=10; yse=20; xid=getmaxx()-20; yid=getmaxy()-5;
setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
bar(0,0,getmaxx(),getmaxy());
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTCYAN);
bar3d(xse,yse,xid,yid,15,1);
setcolor(BLACK); setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
bar(xse+10,yse+(int)(10*fatforma),xid-100,yid-(int)(10*fatforma));

xtext=xid-100+8; ytext=yse+(int)(10*fatforma);

setcolor(LIGHTCYAN);
xse+=15; yse+=(int)(15*fatforma); xid-=105; yid-=(int)(15*fatforma);
rectangle(xse, yse, xid, yid);
for( j=xse; (int)j<=xid; j+=(float)(xid-xse)/10 )
  { line((int)j,yse,(int)j,(int)(yse-5*fatforma));
    line((int)j,yid,(int)j,(int)(yid+5*fatforma));
  }
for( j=yse; (int)j<=yid; j+=(float)(yid-yse)/10 )
  { line(xse,(int)j,xse-5,(int)j);
    line(xid,(int)j,xid+5,(int)j);
  }

setcolor(BLACK); setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTCYAN);
direction=HORIZ DIR; font= DEFAULT_FONT; charsize = 1;
setttextstyle(font,direction,charsize);
moveto(xtext,ytext); outtext("Volts/div:");
moveto(xtext,ytext+20); outtext("Sec/div: ");
moveto(xtext,ytext+40); outtext("Trigger: ");
moveto(xtext,ytext+60); outtext("Grid: ");
moveto(xtext,ytext+80); outtext("Channels:");
moveto(xtext,ytext+100); outtext("Level(*10V)");
moveto(xtext,ytext+120); outtext("Freq.sampl:");
moveto(xtext,ytext+140); outtext("Record wave");
moveto(xtext,ytext+150); outtext("Execute ");
moveto(xtext,ytext+160); outtext("Quit ");

moveto(xtext,ytext+10);
if(fabso(voltspordiv-5)<d) outtext(" 5 ");
if(fabso(voltspordiv-2)<d) outtext(" 2 ");
if(fabso(voltspordiv-0.2)<d) outtext(" 200m ");
if(fabso(voltspordiv-0.02)<d) outtext(" 20m ");
if(fabso(voltspordiv-0.002)<d) outtext(" 2m ");
moveto(xtext,ytext+30);
if(fabso(secpordiv-10)<d) outtext(" 10 ");
if(fabso(secpordiv-1)<d) outtext(" 1 ");
if(fabso(secpordiv-0.1)<d) outtext(" 100m ");
if(fabso(secpordiv-0.01)<d) outtext(" 10m ");
if(fabso(secpordiv-0.001)<d)outtext(" 1m ");
moveto(xtext,ytext+50);
if (trigger==TRUE) outtext(" ON ");
else outtext(" OFF ");
moveto(xtext,ytext+70); outtext(" OFF ");
moveto(xtext,ytext+90);
switch (ncanais) { case 1: outtext(" 1 ");break;
                  case 2: outtext(" 2 ");break;
                  case 3: outtext(" 3 ");break;
                  case 4: outtext(" 4 ");break;
                  }
moveto(xtext,ytext+110); itoa(nivel,sfreq,10);
outtext(" "); outtext(sfreq);
moveto(xtext,ytext+130); itoa(freq,sfreq,10);
outtext(" "); outtext(sfreq);

for(;;)
  {
  tecla=0;
  switch(toupper(getch()))

```



```

{
case 'V': /* Ajusta escala de volts por divisao. */
/* '+' e '-' aumeta ou diminui. */
while (tecla!=ENTER)
{
if(!kbhit()) { bar(xtext,ytext+10,xtext+90,ytext+18);
moveto(xtext,ytext+10);
if(fabs(voltspordiv-5)<d)
outtext(" 5 ");
if(fabs(voltspordiv-2)<d)
outtext(" 2 ");
if(fabs(voltspordiv-0.2)<d)
outtext(" 200m ");
if(fabs(voltspordiv-0.02)<d)
outtext(" 20m ");
if(fabs(voltspordiv-0.002)<d)
outtext(" 2m ");
}
else { tecla=getch();
if (tecla=='+' && voltspordiv <1) voltspordiv*=10;
if (tecla=='+' && voltspordiv==2) voltspordiv=5;
if (tecla=='-' && voltspordiv==5) voltspordiv=2;
else { if (tecla=='-' && voltspordiv>2.1e-3)
voltspordiv /=10;
}
}
}
break;
case 'S': /* Ajusta o intervalo de tempo mostrado na tela. */
/* '+': vezes 10, '-': divide por 10. */
while (tecla!=ENTER)
{
if(!kbhit()) { bar(xtext,ytext+30,xtext+90,ytext+38);
moveto(xtext,ytext+30);
if(fabs(secpordiv-10)<d) outtext(" 10 ");
if(fabs(secpordiv-1)<d) outtext(" 1 ");
if(fabs(secpordiv-0.1)<d) outtext(" 100m ");
if(fabs(secpordiv-0.01)<d) outtext(" 10m ");
if(fabs(secpordiv-0.001)<d)outtext(" 1m ");
}
else { tecla=getch();
if (tecla=='+' && secpordiv<10) secpordiv *=10;
if (tecla=='-' && secpordiv>1.1e-3) secpordiv /=10;
}
}
break;
case 'T': /* '+', '-': aciona ou nao o trigger. */
while (tecla!=ENTER)
{
if(!kbhit()) { bar(xtext,ytext+50,xtext+90,ytext+58);
moveto(xtext,ytext+50);
if (trigger==TRUE) outtext(" ON ");
else outtext(" OFF ");
}
else { tecla=getch();
if (tecla=='+' || tecla=='-') trigger=!trigger;
}
}
break;
case 'G': /* '+', '-': liga ou desliga grade na tela do oscilosc. */
while (tecla!=ENTER)
{
if(!kbhit()) { bar(xtext,ytext+70,xtext+90,ytext+78);
moveto(xtext,ytext+70);
if (grid==TRUE) { outtext(" ON ");
desenhagrade(xse,yse,xid,yid,TRUE);}
else { outtext(" OFF ");
desenhagrade(xse,yse,xid,yid,FALSE);}
}
}
}

```

```

    }
    else { tecla=getch();
           if (tecla=='+' || tecla=='-') grid=!grid;
    }
}
break;
case 'C': /* Ajusta numero de canais, 1,2,3 ou 4. */
while (tecla!=ENTER)
{
if(!kbhit()) { bar(xtext,ytext+90,xtext+90,ytext+98);
               moveto(xtext,ytext+90);
               switch (ncanais) {
                   case 1: outtext(" 1 ");break;
                   case 2: outtext(" 2 ");break;
                   case 3: outtext(" 3 ");break;
                   case 4: outtext(" 4 ");break;
               }
}
else { tecla=getch();
       if (tecla=='+' && ncanais<4) ncanais++;
       if (tecla=='-' && ncanais>1) ncanais--;
}
}
break;
case 'F': /* Ajusta frequencia de aquisicao. */
/* '+', '-' : aumenta ou diminui 10Hz na freq. */
/* '*', '/' : aumenta ou diminui 1000Hz na freq. */
while (tecla!=ENTER) {
itoa(freq,sfreq,10);
if (!kbhit()) {
bar(xtext,ytext+130,xtext+90,ytext+138);
moveto(xtext,ytext+130); outtext(" "); outtext(sfreq);
}
else { tecla=getch();
       if (tecla=='+' && freq<20000) freq+=10;
       if (tecla=='-' && freq>20) freq-=10;
       if (tecla=='*' && freq<20000) freq+=1000;
       if (tecla=='/' && freq>20) freq-=1000;
}
}
break;
case 'L': /* Ajusta nivel de trigger. */
/* '+', '-' : aumenta ou diminui .1V no nivel. */
/* '*', '/' : aumenta ou diminui 1V no nivel. */
while (tecla!=ENTER) {
itoa(nivel,sfreq,10);
if (!kbhit()) {
bar(xtext,ytext+110,xtext+90,ytext+118);
moveto(xtext,ytext+110); outtext(" "); outtext(sfreq);
}
else { tecla=getch();
       if (tecla=='+' && nivel<50) nivel+=1;
       if (tecla=='-' && nivel>1) nivel-=1;
       if (tecla=='*' && nivel<=40) nivel+=10;
       if (tecla=='/' && nivel>=10) nivel-=10;
}
}
break;
case 'Q': goto final; /* Sai do osciloscopio. */
case 'E': /* Executa e grafica, e se desjado, salva amostragem. */

namostras=10*secpordiv*freq;

/* Tenta alocar memoria para armazenar os pontos */
pontamostras= farmalloc( sizeof(int)*ncanais*namostras );
/* maior freq aquis possivel: 20kHz */
/* menor freq aquis possivel: 19Hz */
if ((pontamostras==NULL) || ncanais<0 || ncanais>4

```

```

        || freq<19 || freq*ncanais>20000 )
{ closegraph();
  puts("Erro de chamada ou nao ha' memoria suficiente ");
  getch(); goto inicio;
}

/* calcula escalas p/ grafico. */
maxy= yid-yse;
xesc= (float)(xid-xse-2)/(namostras);
yesc= (float)(maxy-2)*5/(10*voltspordiv*0xFFF);
final_esc=(int)namostras*xesc;

while(!kbhit()) { /* Enquanto nao houver tecla pressionada.*/
  /* Executa a aquisicao. */
  if (trigger==TRUE) /* Espera trigger */
    /* 81.9 = 0xFFF / 50 */
    trigg((unsigned int)(nivel*81.9),0,1);
  acquire(pontamostras, ncanais, freq, namostras);

  /* grafica a aquisicao. */
  setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
  bar(xse+1,yse+1,xid-1,yid-1);
  setviewport(xse+1,yse+1,xid-1,yid-1,1);
  px=pontamostras;
  switch (ncanais) {
    case 1: for (l=0;l<final_esc;l+=xesc) {
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
    } break;
    case 2: for (l=0;l<final_esc;l+=xesc) {
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
    } break;
    case 3: for (l=0;l<final_esc;l+=xesc) {
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
    } break;
    case 4: for (l=0;l<final_esc;l+=xesc) {
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
      putpixel((int)(l), (int)(maxy-yesc*(px++)),
        LIGHTCYAN);
    }
  } /* switch (namostras) */
  setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
  setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTCYAN);
} /* while (!kbhit())*/

/* Se pressionada 'espaco' e depois 'R' ou so 'R': */
/* Executa salvamento das amostras em arquivo no disco */
/* Cada canal e' salvo em um arquivo separado */
/* O tamanho (numero de amostras e salvo em outro aruivo.*/
/* Estes formatos facilitam a leitura no MATHCAD */
tecla=getch();
/* Se pressionado espaco congela e espera proxima tecla. */
if( tecla==' ' ) { while (!kbhit) {}; tecla=getch(); }
/* Se pressionado 'R' grava dados. */
if( 'R'==toupper(tecla) && pontamostras != NULL ) {

```

```

closegraph();
puts("Gravacao de dados em arquivo em disco.");
puts("Sera'criado 1 aquivo de dados para cada canal.");
puts("E 1 arquivo c/ o numero de amostras em cada canal.");
puts("Estes formatos facilitam a leitura no MATHCAD.");
puts("Usar nomes default [S/N] ?");
tecla=getch();

if (toupper(tecla)=='N') {
/* Abre arquivos usando nomes fornecidos pelo usuario. */
puts("Entre com o nome do arquivo, no formato usual: ");
puts("ate 8 caracteres, ponto, mais 3 da extensao.\n");
for (i=0;i<=ncanais-1;i++) {
printf("Nome do arq. que contera' dados do canal %d:\n",
i+1);
scanf("%s", &nomearg);
while ( (fp[i]=fopen(nomearg,"w"))==NULL) {
puts("Erro! Nao e'possivel abrir o arquivo!");
puts("Tente outro nome:\n");
scanf("%s", &nomearg);
}
}
puts("Nome do arq. que contem o numero de dados:\n");
scanf("%s",&nomearg);
while ( (fp[4]=fopen(nomearg,"w"))==NULL) {
puts("Erro! Nao e'possivel abrir o arquivo!");
puts("Tente outro nome:\n");
scanf("%s", &nomearg);
}
} /* if */
else { /* Abre arquivos usando nomes default. */
for (i=0;i<=ncanais-1;i++) {
switch (i) {
case 0: strcpy(nomearg,"CH1.DAT"); break;
case 1: strcpy(nomearg,"CH2.DAT"); break;
case 2: strcpy(nomearg,"CH3.DAT"); break;
case 3: strcpy(nomearg,"CH4.DAT");
}
while ( (fp[i]=fopen(nomearg,"w"))==NULL) {
puts("Erro! Nao e'possivel abrir o arquivo!\n");
getch(); goto libera;
}
} /* for */
while ( (fp[4]=fopen("sizefile.dat","w"))==NULL) {
puts("Erro! Nao e'possivel abrir o arquivo!\n");
getch(); goto libera;
}
} /* else */

/* Ajusta ponteiro para a area de dados amostrados. */
px=pontamostras;
/* Escreve os dados, cada canal em um arquivo. */
for (k=1; k<=namostras; k++) {
for (i=0; i<=ncanais-1; i++, px++) {
fprintf(fp[i],"%f \n", (float)((float)*px *5/0xFF));
}
}
/* Escreve tamanho dos arquivos (numero de amostras). */
fprintf(fp[4],"%u \n",namostras);
/* Escreve periodo de amostragem, em segundos. */
fprintf(fp[4],"%f \n", (float)1/freq);

/* Fecha todos os arquivos de dados. */
fcloseall();
/* Libera area de memoria ocupada pela */
/* ultima amostragem. */
farfree(pontamostras);
/* Remonta a tela grafica. */
}

```

```

        goto inicio;
    } /* if */
else ungetch(tecla); /* Devolve ultima tecla pressionada */
                    /* (!='R') ao buffer de teclado. */

libera:
    /* Libera area de memoria ocupada pela */
    /* ultima amostragem. */
    farfree(pontamostras);
    break;
default: break;
} /* switch*/

} /* for */

final: getch(); fcloseall(); closegraph();
} /* osciloscopio */

float fabso(float numero)
{ numero= (numero>0)? numero:-numero; return (numero);
}

desenhagrade(int xse, int yse, int xid, int yid, char flag)
{
float j, kx=(float)(xid-xse)/10, ky=(float)(yid-yse)/10;
if (flag) {
    setcolor(LIGHTCYAN);
    for( j=xse+kx; (int)j<xid; j+= kx ) line((int)j,yse+1,(int)j,yid-1);
    for( j=yse+ky; (int)j<yid; j+= ky ) line(xse+1,(int)j,xid-1,(int)j);
}
else {
    setcolor(BLACK);
    for( j=xse+kx; (int)j<xid; j+= kx ) line((int)j,yse+1,(int)j,yid-1);
    for( j=yse+ky; (int)j<yid; j+= ky ) line(xse+1,(int)j,xid-1,(int)j);
}
setcolor(BLACK);
return (0);
} /* desenhagrade */

/* Espera ultrapassar um nivel de sinal (level) 0 - FFF )
/* em um canal(channel) */
/* slope 0: - (descida) 1: + (subida) */
trigg(unsigned int level, int channel, int slope)
{ unsigned int val_anterior;

do
{
    read_channel(channel);
    val_anterior=val_convertido;
    read_channel(channel);
} while (! (
    slope?
        (val_convertido<=level && level <= val_anterior) /* descida */
        :
        (val_convertido>=level && level >= val_anterior) /* subida */
    ));
} /* trigger */

/*.....*/

/* Inicializa modo grafico na resolucao 640x200. */
inigraficos()
{ int graphdriver, graphmode, graph_error;

graphdriver = CGA; graphmode = CGAHI;
initgraph(&graphdriver,&graphmode,"c:\\lpro\\tc");
graph_error = graphresult();
if (graph_error<0) { puts(grapherrormsg(graph_error)); exit(1); }

```

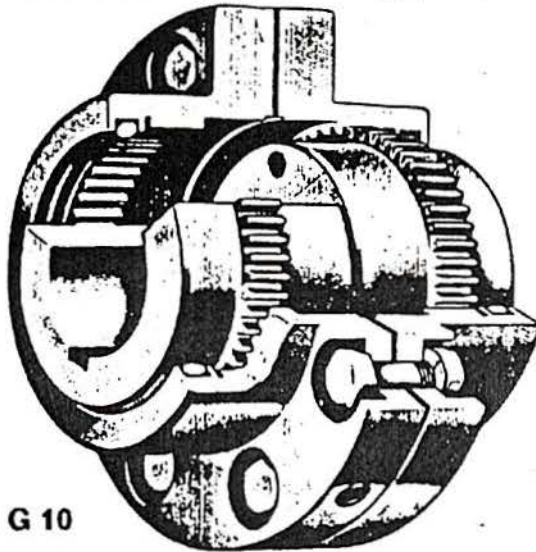
```
setbkcolor(BLACK); setcolor(WHITE);  
} /* inigraficos */  
/*.....Fim do modulo DIGSCOPE.C.....*/
```

APÊNDICE C - ACOPLAMENTO DE ENGRENAGENS TIPO G

Instruções para seleção
tamanhos de 10 à 1300

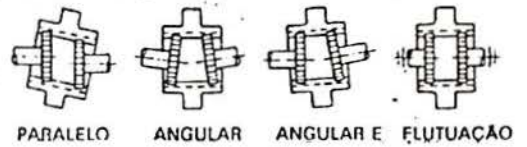
Acoplamentos de Engrenagens
Tipo G

Manual de Servi
Novembro de 198



G 10

CAPACIDADE DE DESALINHAMENTO — Os Acoplamentos FALK de engrenagens acomodam desalinhamentos paralelos e angulares permitindo flutuação axial.



DENTES ABAULADOS — Os dentes são cortados com precisão, em ângulo de pressão de 20°, segundo as normas AGMA tendo a superfície abaulada para uma grande capacidade de carga e desalinhamento.

CUBOS — De aço completamente usinados com capacidade de grande furos.

INTERCAMBIABILIDADE — As tampas usinadas com alta precisão permitem e garantem a intercambiabilidade, inclusive com produtos de fabricantes de acoplamentos de qualidade.



G 10

Parafusos embutidos

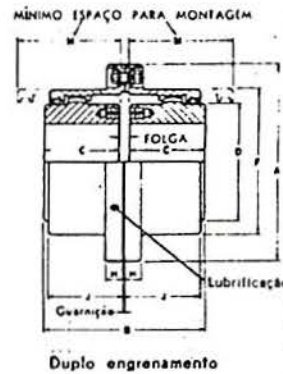


G 20

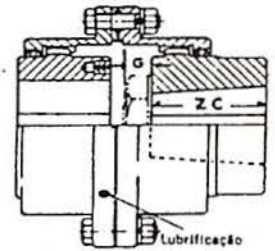
Parafusos salientes

FLANGES

O pedido deve especificar se as flanges são para parafusos embutidos ou salientes.



Engrenamento simples
G 51 e G 52 — Eixo flutuante



Para motores com eixos cônicos — G 10 e G 20
Informar quando pedir medidas ZC e G

ENTREGA — Para a maioria dos tamanhos a entrega é imediata do estoque.

Tamanho	HP à 100 rpm	Máx. Veloc. rpm	Furo * max. mm	Peso em KG.		DIMENSÕES EM MILÍMETROS — TIPOS G 10 E G 20												Desalinhamentos máximos permitidos	
				G 10	G 20	A	B	C	D	F	H	J	M	Folga	Paralelo	Angular			
																	mm	mm	
10G 1	8	8000	35	4	4	116	80	38	51	69	16	37	49	3	0.13	0.13			
15G 1	24	6500	54	8	9	152	105	51	76	98	19	51	62	3	0.13	0.13			
20G	50	5600	67	14	14	178	127	62	95	124	19	63	75	3	0.25	0.25			
25G	90	5000	83	23	26	213	159	77	117	148	22	76	92	5	0.25	0.25			
30G	150	4400	95	36	39	240	187	91	140	173	22	90	106	5	0.31	0.40			
35G	200	3900	114	55	59	279	219	105	159	200	29	106	130	6	0.31	0.40			
40G	300	3600	130	82	86	317	248	121	184	230	29	121	149	6	0.31	0.50			
1045G	480	3200	165	127	137	346	278	135	233	274	26	123	165	8	0.31	0.50			
1050G	650	2900	178	177	191	389	314	153	254	306	38	141	183	8	0.31	0.50			
1055G	850	2650	197	238	250	425	344	168	279	334	38	158	203	8	0.31	0.80			
1062G *	1100	2450	222			506	457	188	305	366	25	169	229	8	0.31	0.80			
1078G *	1600	2150	254			486	527	451	356	425	26	195		10	0.31	0.80			

* Os tamanhos 10 e 15 G são fornecidos sem furos extratores
* Chaveta quadrada.

* Os tamanhos 100 e 1070 são fornecidos apenas no Tipo G 20

APÊNDICE D - TRANSFORMADOR ROTATIVO PROPOSTO PELA HBM ^[10]

4.3 Expanded systems

4.3.1 Inductive transmission of operating voltage

The operating voltage for the measured-value transmitter can be transmitted to it inductively by means of air-core coils. The MD 3555 or MD 18 N unit supplies a square-wave voltage of 54 V/15 kHz. Instead of a battery in the battery box there is a rectifier which comprises 4 diodes of type 1N 4003 and a 33 μ F, 35 V/Ta capacitor. All the components can be housed in the battery box. Two holes can be drilled in the box for the coil wires to pass through. It is advisable to encapsulate the finished circuit in the battery box with silicone rubber. It can be removed again easily when necessary.

Suitable designs for the transmission coils and coil formers are shown in Fig. 4.4. A guide to dimensions is given in Table 4.2 and the complete circuitry is shown in Fig. 4.5.

The electromagnetic field from the operating-voltage transmission system should be carefully screened because otherwise it will interfere with transmission of the measured signals. Fig. 4.4 shows the best arrangement for screening plates; simple sheet steel is quite sufficient in most cases. If the interference is excessive, however, use Mumetal instead. The screening plates of the rotating part must have an electrically conductive connection to the shaft. The screening on the stator part must be connected to machine ground.

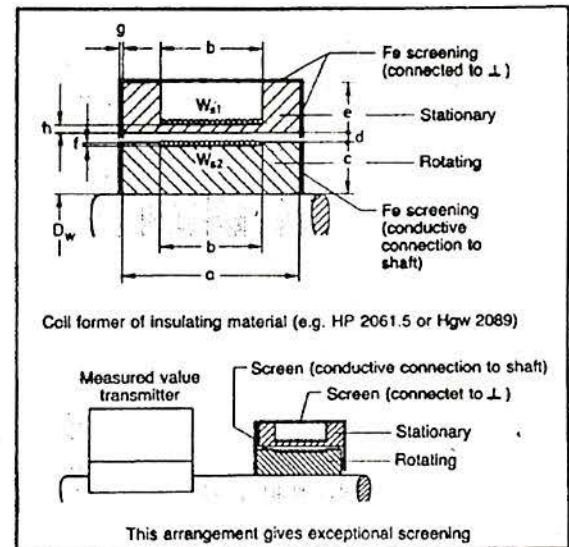


Fig. 4.4: Proposed design for an operating-voltage transmission system.

Note:

For inductive transmission of operating voltage, screening is normally unnecessary if the distance between the operating-voltage transmission system and the measured-signal transmission system is greater than the coil diameter of the operating-voltage transmission system.

Shaft diameter D_w [mm]	a	b	c	d	e	f	g	h	No. of turns $W_{s1} = W_{s2}$	Wire diameter [mm]	No. of layers
25	30	17	8	1,5	8	0,8	$\geq 0,5$	1	240	0,2	3
50	40	22	11	2,0	10	0,7	$\geq 0,5$	1,5	170	0,25	2
100	52	30	15	2,5	15	0,5	$\geq 0,5$	2	120	0,25	1
200	75	45	22	3,5	25	1	$\geq 0,5$	3	85	0,5	1
400	100	60	30	5,0	50	1,5	$\geq 0,5$	4	60	1,0	1

Table 4.2: Dimensions of the operating-voltage transmission system.

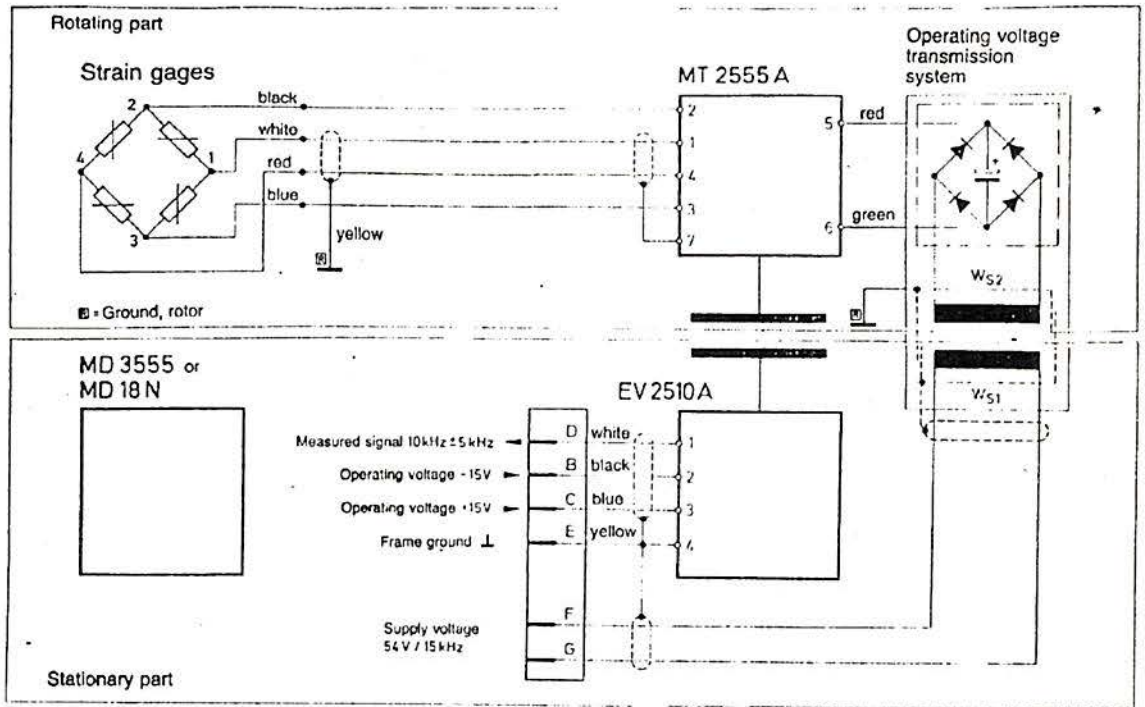


Fig. 4.5: Circuitry for transmission of measured signals and inductive transmission of operating voltage