

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

CARLOS EDUARDO BEVILACQUA RODRIGUES

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**JIGA AUTOMÁTICA PARA TESTES DE FONTES
CHAVEADAS**

Porto Alegre

2009

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

**JIGA AUTOMÁTICA PARA TESTES DE FONTES
CHAVEADAS**

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Yeddo Braga Blauth

Porto Alegre

2009

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

CARLOS EDUARDO BEVILACQUA RODRIGUES

JIGA AUTOMÁTICA PARA TESTES DE FONTES CHAVEADAS

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Yeddo Braga Blauth, UFRGS

Doutor pela UFSC – Florianópolis - Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Yeddo Braga Blauth, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil

Engenheiro Eletricista Brás Felipe Patta Rosa

Gestor do departamento de comunicações óticas – Digital S/A Indústria eletrônica

Prof. Dr. Valner Brusamarelo, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil

Porto Alegre

2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Prof. Dr. Yeddo Braga Blauth pela orientação no desenvolvimento deste projeto e por proporcionar conhecimento profissional.

Agradeço a Digitel S/A Indústria Eletrônica por propiciar condições para o desenvolvimento deste projeto, agradeço também aos profissionais engenheiros, colegas de trabalho por passarem seus conhecimentos técnicos no intuito de aperfeiçoar este trabalho.

Agradeço aos meus pais, João Batista A. Rodrigues. e Leda Maria B. Rodrigues pelo apoio incondicional durante toda a minha graduação.

Agradeço a minha esposa e ao meu filho, Gisele Buffon e Gabriel Buffon pela compreensão durante todo esse tempo, no qual estive maior parte do tempo ausente em função dos estudos e trabalhos.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a implementação de uma jiga de testes automáticos para fontes chaveadas. A jiga simulará a carga necessária pela fonte, realizando automaticamente a leitura da tensão de saída da fonte e os cálculos de regulação de carga, regulação de linha e regulação dinâmica de carga. Para o processo de diagnóstico o usuário poderá configurar os níveis mínimos e máximos de tensões aceitáveis para cada fonte, através de uma interface que poderá ser visualizada em qualquer PC.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. DEFINIÇÕES PRELIMINARES	3
2.1. REQUISITOS DE DESEMPENHO DE FONTES CHAVEADAS	4
2.1.1. REGULAÇÃO DE LINHA	4
2.1.2. REGULAÇÃO DE CARGA	6
2.1.3. REGULAÇÃO DINÂMICA DE CARGA	8
2.2. MÉTODO PADRÃO E NÃO AUTOMÁTICO DE TESTES	10
3. VIABILIDADE TÉCNICA	14
3.1. MÉTODOS APLICÁVEIS	14
3.2. ANÁLISE DE MÉTODOS	15
4. PROJETO	16
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA JIGA DE TESTES	16
4.2. ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA IMPLEMENTADO	25
4.3. MÓDULO DE POTÊNCIA	27
4.3.1 CARGA ATIVA	29
4.3.2 DISSIPACÃO TÉRMICA	34
4.3.3 RESISTÊNCIA SHUNT	36
4.4. MÓDULO DE CONTROLE	38
4.4.1 HARDWARE	39
4.4.2 SOFTWARE	44
4.5. MÓDULO DE GERÊNCIA	52
5. ENSAIOS	57
5.1. TESTE DE REGULAÇÃO DE CARGA	58
5.2. TESTE DE REGULAÇÃO DE LINHA	61
5.3. TESTE DE REGULAÇÃO DINÂMICA DE CARGA	65
5.4. PROTÓTIPO IMPLEMENTADO	66
6. CONCLUSÃO	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – CIRCUITO EQUIVALENTE DA FONTE CHAVEADA	3
FIGURA 2.1.1.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS TESTES DE REGULAÇÃO DE LINHA.....	6
FIGURA 2.1.2.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS TESTES DE REGULAÇÃO DE CARGA ...	7
FIGURA 2.1.3.1 – TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA	9
FIGURA 2.1.3.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS TESTES DE REGULAÇÃO DINÂMICA DE CARGA	10
FIGURA 4.1.1.2 – ESQUEMÁTICO DO MÓDULO DE POTÊNCIA	18
FIGURA 4.1.1.3 – ESQUEMÁTICO DO MÓDULO DE CONTROLE	19
FIGURA 4.2.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA	25
FIGURA 4.2.2 – FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....	26
FIGURA 4.3.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO DE POTÊNCIA.....	28
FIGURA 4.3.1.1 – FONTE DE CORRENTE	29
FIGURA 4.3.1.2 – CIRCUITO DE POTÊNCIA REALIMENTADO	30
FIGURA 4.3.1.3 – CIRCUITO DE FILTRAGEM E AMPLIFICAÇÃO.....	31
FIGURA 4.3.1.4 – RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO FILTRO PASSA-BAIXAS	33
FIGURA 4.3.2.1 – CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE	35
FIGURA 4.4.1.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO MÓDULO DE CONTROLE.....	39
FIGURA 4.4.1.2 – HARDWARE DO MÓDULO DE COMUNICAÇÃO SERIAL.....	42
FIGURA 4.4.2.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA OPERACIONAL DA PLACA DE CONTROLE	45
FIGURA 4.4.2.2A – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO DO SISTEMA OPERACIONAL EMBARCADO	48
FIGURA 4.4.2.2B – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO QUE APLICA O TESTE DE REGULAÇÃO DE CARGA	49
FIGURA 4.4.2.2C – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO QUE APLICA O TESTE DE REGULAÇÃO DE LINHA MÍNIMO.....	49
FIGURA 4.4.2.2D – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO QUE APLICA O TESTE DE REGULAÇÃO DE LINHA MÁXIMO	50
FIGURA 4.4.2.2E – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO QUE APLICA O TESTE DE REGULAÇÃO DE LINHA NOMINAL.....	50
FIGURA 4.4.2.2F – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO QUE APLICA O TESTE DE REGULAÇÃO DINÂMICA DE CARGA.....	51
FIGURA 4.5.1 – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO DO SOFTWARE DE GERÊNCIA	53
FIGURA 4.5.2 – PROCESSO DE ACESSO A PORTA SERIAL NO WINDOWS	54
FIGURA 5.1 – CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE DE GERÊNCIA	58
FIGURA 5.1.1 – ANDAMENTO DO TESTE DE REGULAÇÃO DE CARGA.....	59
FIGURA 5.1.2 – RESULTADO DO TESTE DE REGULAÇÃO DE CARGA.....	60
FIGURA 5.2.1 – ANDAMENTO DO TESTE DE REGULAÇÃO DE LINHA	63
FIGURA 5.2.2 – RESULTADO DO TESTE DE REGULAÇÃO DE LINHA	64
FIGURA 5.3.1 – ANDAMENTO DO TESTE DE REGULAÇÃO DINÂMICA DE CARGA	65
FIGURA 5.3.2 – RESULTADO DO TESTE DE REGULAÇÃO DINÂMICA DE CARGA	66
FIGURA 5.4.1 – MÓDULO DE POTÊNCIA DA JIGA DE TESTES	67
FIGURA 5.4.2 – MÓDULO DE CONTROLE DA JIGA DE TESTES.....	68

LISTA DE SIGLAS

- FCC – FONTE CHAVEADA.
- CA – CORRENTE ALTERNADA.
- CC – CORRENTE CONTÍNUA.
- NPN – JUNÇÃO BIPOLAR.
- CLI – LINHA DE COMANDO.
- API'S – FUNÇÕES DE ACESSO A BIBLIOTECAS.
- NXP – FABRICANTE DE COMPONENTES ELÊTRONICOS.
- LCD – DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO.
- IO's – PORTAS DE ENTRADA E SAÍDA DE DADOS.
- I2C – INTER-INTEGRATED CIRCUIT.
- SMARTCARD – CARTÃO DE MEMÓRIA INTELIGENTE.
- JTAG – JOINT TEST ACTION GROUP.
- CAN – CONTROLLER AREA NETWORK.
- SDCARD – SOLID DISK CARD.

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.4.1.1 – CARACTERÍSTICAS DOS CONVERSORES ANALÓGICOS – DIGITAIS E DO DIGITAL - ANALÓGICO	41
TABELA 4.4.1.2 – TABELA COM OS SINAIS DO PADRÃO RS232	43
TABELA 4.4.1.3 – CONFIGURAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL	44
TABELA 4.4.2.1 – COMANDOS DISPONÍVEIS NA CLI.....	56

1. INTRODUÇÃO

A persistente busca pelo aumento da produtividade dentro do universo industrial possibilita constantes oportunidades para o desenvolvimento de soluções de engenharia dentro de uma linha de produção. O aumento da produtividade na indústria está relacionada à otimização da linha de produção, tendo como objetivo a maximização dos lucros e a ascensão no mercado.

O desenvolvimento destas soluções de engenharia se concentra na automação de processos, o que resulta em aumento da produção e diminuição dos custos de fabricação.

O processo de fabricação de produtos eletrônicos é composto de etapas hierárquicas, que vão desde a confecção da placa de circuito impresso até os testes de validação dos produtos. Para agilizar esta validação observa-se a necessidade da automação de testes tanto do produto final como dos módulos que o compõem.

Com este objetivo será apresentada neste trabalho uma jiga automática de testes para a validação das fontes chaveadas utilizadas na Digitel S/A Indústria Eletrônica.

Como consequência pretende-se diminuir o tempo e aumentar a confiabilidade dos testes realizados nas fontes em linha de produção, acarretando em melhorias no controle de qualidade dos produtos e aumento da produção.

A jiga tem como principal característica simular a carga específica de cada fonte, possibilitando desta forma uma operação versátil. A jiga será capaz de realizar a monitoração dos níveis de tensões nos terminais bem como enviar dados para um PC.

1.1 Estrutura do Trabalho.

Os capítulos que seguem estão estruturados da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** apresentada a caracterização das fontes chaveadas bem como os testes pertinentes.
- **Capítulo 3:** realiza uma análise dos métodos que podem ser utilizados para a simulação de carga.
- **Capítulo 4:** apresenta um diagrama geral da jiga de testes e o detalhamento de cada módulo constituinte.
- **Capítulo 5:** mostra os resultados obtidos, realizando cada teste proposto. Apresenta também o protótipo desenvolvido.
- **Capítulo 6:** apresenta as conclusões deste trabalho.

2. DEFINIÇÕES PRELIMINARES

Uma fonte chaveada pode ser caracterizada em regime permanente como uma fonte de tensão CC, de acordo com o circuito equivalente mostrado na figura 2.1.

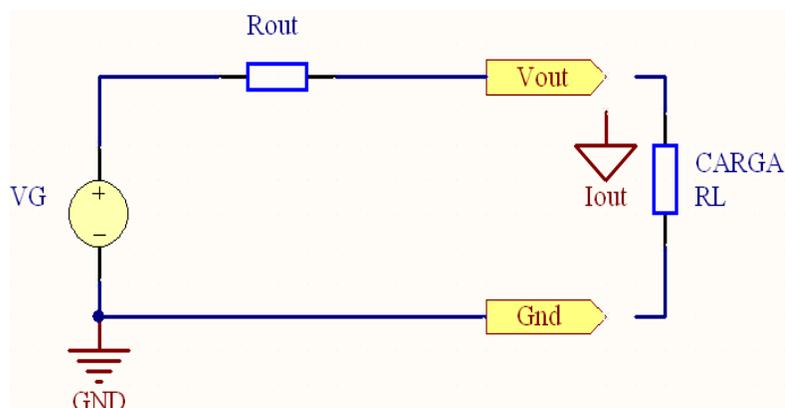


Figura 2.1. Circuito Equivalente da Fonte Chaveada.

Como pode-se ver na figura 2.1, o circuito equivalente de uma fonte chaveada tem uma unidade geradora de tensão chamada “ V_G ”, em série com uma resistência de saída “ R_{out} ”. Do ponto de vista de operação, à medida que a corrente “ I_{out} ” aumenta a tensão de saída da fonte “ V_{out} ”, medida nos terminais da fonte, diminui.

Visto que a tensão de saída da fonte diminui com o aumento da carga, observa-se a necessidade da realização de testes de aplicação de cargas e de medição da tensão de saída, de maneira que se garanta que a fonte esteja dentro das especificações de projetos. Desta forma o principal objetivo da jiga de testes é automatizar ensaios que permitam o cálculo da regulação da tensão de saída sob diversas condições, as quais serão discutidas nos capítulos seguintes.

2.1 Requisitos de Desempenho de Fontes chaveadas.

Visando atingir principalmente as indústrias de telecomunicações, este projeto será direcionado as necessidades de validação das FCC presentes em qualquer equipamento de telecomunicação, podendo também ser utilizada para testes de fontes lineares. Assim, neste trabalho, será assumido o padrão de testes Telebrás. No sistema de documentação Telebrás, o qual está disponível para consulta no site da ANATEL do ministério das comunicações do Brasil, está contido o número de prática 240-501-509, que possui o seguinte título:

“Procedimentos de testes e inspeções de fontes de corrente contínua de 12v”.

Nesta prática está contida toda a padronização para fontes de tensão e corrente contínua, desde as especificações mecânicas até o dimensionamento de componentes, porém as informações de interesse do ponto de vista deste projeto estão especificadas no capítulo 8. Especificamente os testes que serão considerados para o desenvolvimento do projeto da jiga são indicados nos itens: 8.06; 8.08 [1].

No item 8.06 são propostos testes de regulação de linha e regulação de carga, onde se varia a tensão de alimentação e a carga. A variação da carga é feita de forma estática.

No item 8.08 é proposto o teste de regulação dinâmica da carga, indicando quais os valores percentuais de cada patamar de carga.

2.1.1 Regulação de Linha.

O teste de regulação de linha consiste na verificação dos diferentes níveis de tensões de saída das fontes chaveadas, diante da variação da tensão de alimentação [9]. Para que seja possível realizar a comparação entre as tensões de saída para as diferentes tensões de alimentação é necessário manter a potência nominal nos três ensaios, ou seja, aplicar a mesma

carga. Portanto a medida de regulação de linha deve ser adquirida a partir dos três valores de tensão de alimentação:

A mínima tensão de alimentação resultará em um valor mínimo de tensão de saída.

- **Mínima tensão de alimentação:** $V_{in}(min) \rightarrow V_{out}(min)$

A máxima tensão de alimentação resultará em um valor máximo de tensão de saída.

- **Máxima tensão de alimentação:** $V_{in}(max) \rightarrow V_{out}(max)$

A tensão nominal de alimentação resultará em um valor de tensão de saída nominal.

- **Tensão Nominal de alimentação:** $V_{in}(nom) \rightarrow V_{out}(nom)$

Onde:

$V_{out}(min)$ → É a mínima tensão de saída.

$V_{out}(max)$ → É a máxima tensão de saída.

$V_{out}(nom)$ → É a tensão de saída nominal.

A aplicação das diferentes tensões de alimentação irá gerar diferentes tensões de saída, portanto a regulação de linha das fontes pode ser obtida através da equação abaixo, onde “ $V_{out}(nom)$ ”, é a tensão de saída projetada.

$$R_{Linha}\% = \frac{V_{out}(max) - V_{out}(min)}{V_{out}(nom)} \times 100 \Big|_{\Delta V_{in}} \quad (2.1.1.1)$$

A caracterização deste teste pode ser visualizada na figura 2.1.1.1, onde está indicado o ponto de aplicação da tensão de alimentação e o ponto de leitura do nível de tensão de saída.

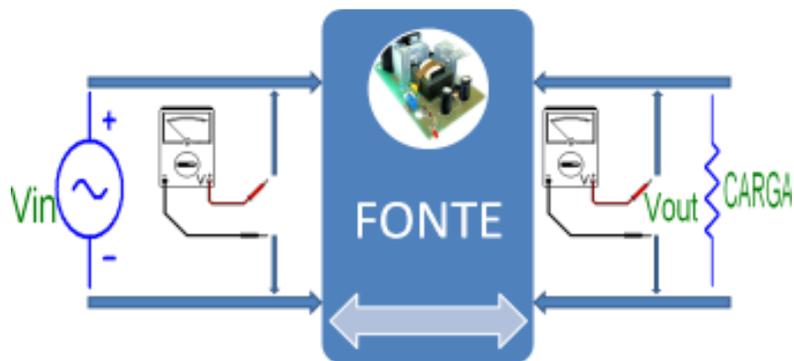


Figura 2.1.1.1 Caracterização dos Testes de Regulação de Linha.

2.1.2 Regulação de Carga.

O teste de regulação de carga tem como objetivo verificar qual a variação da tensão de saída das fontes chaveadas e lineares devido à variação de carga. Em outras palavras o objetivo é verificar como se comporta a tensão de saída diante das exigências de potência[9].

Portanto para a realização desta medida a tensão de alimentação da fonte deve ser mantida no seu valor nominal, $V_{in}(nom)$. A seguir deve-se aplicar os diferentes valores de carga aos terminais da fonte sob teste, para que se possa medir as tensões de saída em dois diferentes casos, conforme descrito abaixo:

- Meia carga: $V_{in}(nom) \rightarrow I_{out}(min) \rightarrow V_{out}(max)$
- Carga Nominal: $V_{in}(nom) \rightarrow I_{out}(max) \rightarrow V_{out}(min)$

Onde:

$V_{out}(min)$ → É a mínima tensão de saída.

$V_{out}(max)$ → É a máxima tensão de saída.

$V_{in}(nom)$ → É a tensão nominal de alimentação.

$I_{out}(min)$ → É a corrente de saída correspondente ao valor de meia carga.

$I_{out}(max)$ → É a corrente de saída correspondente ao valor nominal da carga.

A aplicação dos dois diferentes valores de carga resulta em valores diferentes na tensão de saída da fonte. De posse das medidas de tensão de saída, pode-se calcular a regulação de tensão através da equação 2.1.2.1. Os valores de meia carga e carga nominal são 50% e 100%, respectivamente. A tensão de saída nominal $V_o(nom)$ é a tensão para a qual a fonte foi projetada, valor ideal de tensão.

$$R_{carga} \% = \frac{V_{out}(max) - V_{out}(min)}{V_{out}(nom)} \times 100 \Big|_{\Delta I_{out}} \quad (2.1.2.1)$$

A caracterização deste teste pode ser visualizada na figura 2.1.2.1, onde são indicados os pontos de medidas e as aplicações de cargas.

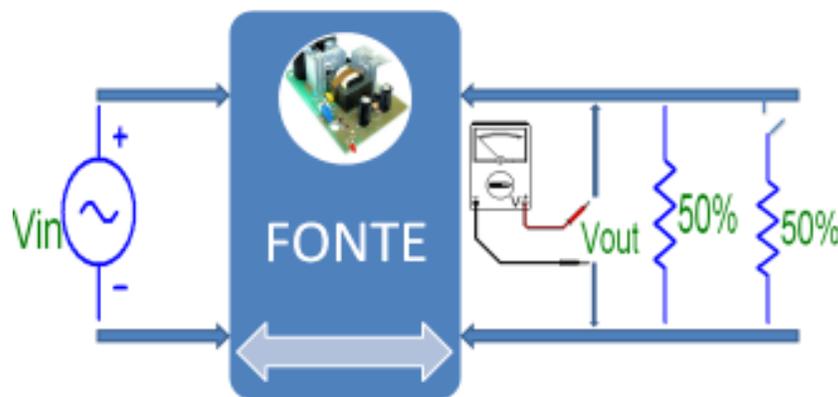


Figura 2.1.2.1 Caracterização dos Testes de Regulação de Carga.

2.1.3 Regulação Dinâmica de Carga.

O teste de regulação dinâmica de carga tem o objetivo de verificar a resposta dinâmica da tensão de saída das fontes chaveadas sob a aplicação de um degrau de carga[9]. A diferença deste teste para o teste de regulação de carga é a aplicação dinâmica do degrau de carga. Este degrau de carga irá ocasionar um período transitório no valor da tensão de saída. Portanto o requisito de qualidade neste teste é o tempo necessário para que a tensão de saída volte ao seu valor de tensão em regime permanente. Abaixo tem-se a descrição do teste:

- Meia carga para carga nominal: $V_{in}(nom) \rightarrow \frac{I_{out}(min)}{I_{out}(max)} \rightarrow t_e$

- Carga Nominal para meia carga: $V_{in}(nom) \rightarrow \frac{I_{out}(max)}{I_{out}(min)} \rightarrow t_e$

Onde:

$I_{out}(min)$ → É a mínima corrente de saída.

$I_{out}(max)$ → É a máxima corrente de saída.

$V_{in}(nom)$ → É a tensão nominal de alimentação.

t_e → É o tempo que a tensão de saída irá demorar a estabilizar.

O tempo de estabilização pode ser visto na figura 2.1.3.1.

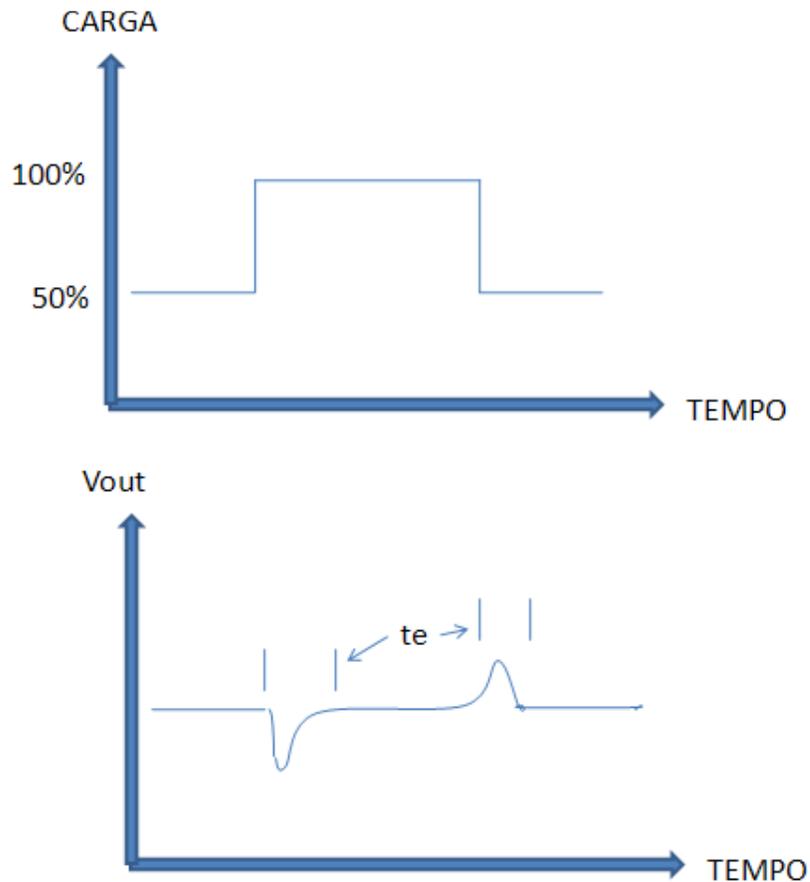


Figura 2.1.3.1 Tempo de Estabilização da Tensão de Saída.

Portanto é possível ver que em ambos os casos ocorrerá uma variação na tensão de saída que ocasionará em um tempo de estabilização do seu valor nominal.

Em fontes chaveadas esse tempo de estabilização t_e é devido ao atraso da ação do controle da tensão.

Um diagrama esquemático deste teste pode ser visto na figura 2.1.3.2, onde é possível observar os pontos de aplicação do degrau de carga e os pontos de medidas.

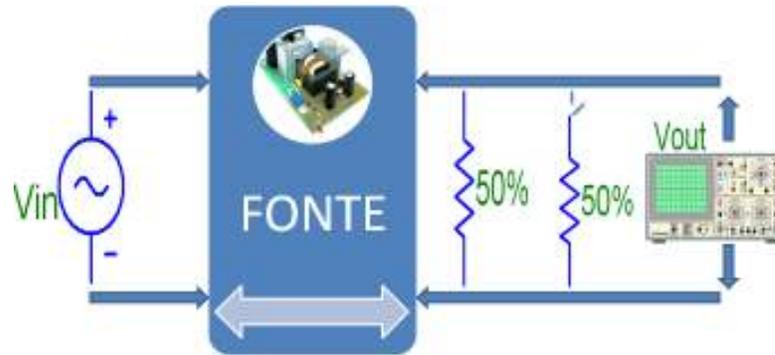


Figura 2.1.3.2 Caracterização dos Testes de Regulação Dinâmica de Carga.

2.2 Método Padrão e Não Automático de Testes.

O procedimento não automático para a realização dos testes de fontes chaveadas, apresentam sua versão não automática da forma que será apresentada neste item. Conforme mencionado anteriormente a realização de forma não automática destes testes pode ser considerada como fonte de erros, pois está suscetível a falhas humanas, assim como frear o processo produtivo de uma linha de validação de fontes, dentro de uma indústria. O processo não automático que será descrito neste item toma como base testes realizados em uma indústria eletrônica de telecomunicações. O procedimento passo a passo de forma sucinta será abordado, para que posteriormente possa-se realizar a caracterização da jiga de testes automática.

a) Obtenção dos valores de tensão de saída para regulação de linha.

Objetivo:

- Verificar se os ajustes de tensão de saída da FCC estão dentro do mínimo e máximo garantido para valores máximos e mínimos da tensão de alimentação.

Considerações Preliminares:

- Instrumentos: Voltímetro CC e Carga Artificial, Variador de Tensão (Variac);
- A variação da tensão de entrada é feita com o variador de tensão;
- A leitura dos valores de tensão de saída é feita com o Voltímetro;
- A Carga Artificial é constituída de um conjunto de resistores de potência;

Procedimento:

- A carga artificial é conectada a saída da FCC;
- A FCC é conectada à rede CA através do Variador de Tensão;
- O variador de tensão é ajustado para valor mínimo de tensão de alimentação garantido pela fonte sob teste;
- O voltímetro é conectado na saída da FCC;
- A carga artificial é conectada nos terminais da fonte e ajustada para a corrente nominal da FCC;
- Anota-se a tensão lida no voltímetro;
- Repetem-se os procedimentos anteriores ajustando agora o variador de tensão para o valor nominal de tensão da fonte e para o valor máximo;

b) Obtenção dos valores de tensões de saída para a regulação de carga.

Objetivo:

- Verificar a estabilidade na tensão de saída da FCC para a variação da carga aplicada;

Considerações preliminares:

- Instrumentos: Voltímetro CC, Amperímetro CC e carga artificial;

- O Voltímetro realiza a leitura de tensão de saída;
- O Amperímetro realiza a leitura da corrente na carga;
- A carga artificial realiza a simulação da carga;

Procedimento:

- Coloca-se o voltímetro CC na saída da FCC;
- Coloca-se a carga artificial na saída da FCC com o amperímetro em série;
- Tensão de entrada no valor nominal;
- Ajusta-se a carga artificial para drenar corrente de saída no valor de 50% do valor nominal;
- Anotam-se os valores de tensão para esse valor de carga;
- Repete-se o teste regulando o valor da carga artificial para 100% do valor nominal da corrente;

c) Obtenção dos valores de tensões de saída para a regulação dinâmica de carga.

Objetivo:

- Verificar a recuperação da FCC, ou seja, o tempo para a tensão de saída atingir o valor nominal após uma variação brusca em sua carga.

Considerações preliminares:

- Instrumentos: osciloscópio com memória, voltímetro CC, amperímetro CC e carga artificial;
- Os tempos medidos devem ser medidos a partir do início do transitório;
- O osciloscópio realiza a obtenção do tempo de estabilização, graficamente;

- O Voltímetro realiza a leitura da tensão de saída;
- O amperímetro realiza a leitura da corrente de carga;

Procedimento:

- Coloca-se o osciloscópio na saída da FCC;
- Coloca-se a carga artificial (com a conexão que permita obter um degrau de 50% da corrente de saída) na saída da FCC com o amperímetro em série;
- Liga-se a FCC a rede com tensão nominal;
- Ajusta-se a carga artificial de modo que se obtenha 50% da sua corrente nominal;
- Provoca-se um degrau crescente de 50% da corrente de saída, e anotam-se os resultados;
- Provoca-se um degrau decrescente de 50% (desde 100% para 50%) da corrente de saída, e anotam-se os resultados;

3. VIABILIDADE TÉCNICA

3.1 Métodos Aplicáveis

A seguir serão apresentadas duas formas diferentes para simulação de cargas em jigas de testes:

- 1- Carga estática, onde são usados resistores de potência. Neste caso a carga tem valores fixos, ou seja, somente podem ser testadas fontes de mesma potência.
- 2- Cargas variáveis, neste caso a solução apresenta uma fonte de corrente como carga, ou seja, a corrente de carga pode ser variada e com isso pode-se testar fontes com potências diferentes.

Analisando a forma não automática de realização dos testes destaca-se a necessidade do uso de resistores de potência com valores diferentes. Para a utilização de uma jiga desse tipo é necessária a conexão manual dos resistores aos terminais da fonte, realizando a medida dos níveis de tensão de saída da fonte com o voltímetro, e posteriormente compara-se a medida realizada com os valores especificados para aquela fonte, ou seja, o processo torna-se lento e trabalhoso.

Observou-se que existem indústrias de pequeno e médio porte que ainda apresentam a forma não automática, citada anteriormente, para processos desse tipo.

Existem alguns produtos no mercado que oferecem soluções de automação desse tipo de processo, porém apresentam características mais restritas de operação, ou seja, não atendem todos os requisitos de carga limitando-se a uma determinada potência. Por outro lado, existem soluções mais completas, são jigas que realizam todos os testes necessários além de disponibilizar alguns recursos, como uma interface de usuário no próprio equipamento, uma maior interatividade do operador além de ter o princípio de funcionamento baseado em carga ativa, ou seja, oferece simulação linear de carga atendendo a qualquer valor

de potência, não excedendo naturalmente a potência máxima, assumindo ainda característica de carga indutiva e capacitiva. Todos esses recursos acabam tornando esse tipo de equipamento um investimento muito alto para pequenas e médias indústrias que não possuem como produto principal a fabricação de fontes.

3.2 Análise de Métodos

Levando-se em conta os aspectos colocados acima, observou-se que o desenvolvimento de uma solução que atenda os requisitos de comportamento de carga ativa e realize os testes necessários, disponibilizando ainda uma interface amigável e de fácil configuração com baixo custo de investimento por parte da indústria, terá fácil aceitação dentro de uma linha de produção. Tais vantagens servem como motivação para o desenvolvimento desse projeto.

Visto que cargas estáticas são limitantes no que diz respeito a potência das fontes, optou-se pelo desenvolvimento de uma fonte de corrente, ou seja, uma simulação de carga variável.

As vantagens em usar fonte de corrente são uma maior linearidade na simulação de carga, redução do hardware além de simplificação na topologia do projeto, visto que com cargas estáticas seria necessário um cansativo equacionamento da rede resistiva, através da lei de Ohm, para alcançar os valores de carga desejados.

4. PROJETO

A análise dos requisitos necessários para a realização dos testes permite definir o escopo do projeto.

Primeiramente defini-se a potência máxima que a jiga terá a capacidade de operar, e em seguida será especificado o valor de tensão da fonte sob teste que a jiga será capaz de operar.

4.1 Caracterização da Jiga de Testes.

Os aspectos discutidos e analisados anteriormente, sobre os métodos de simulação de cargas em fontes chaveadas, atuam como fator caracterizador principal na topologia desta jiga de testes automática. Visto que optou-se por uma característica de carga ativa ou eletrônica na implementação deste projeto a característica de atuação da jiga deve levar em conta alguns aspectos, tais como a dissipação térmica nos componentes.

Optou-se por uma potência máxima de 120W levando-se em consideração que esta potência atende a maioria das fontes atuais desenvolvidas na Digitel S/A indústria eletrônica.

A tensão terminal poderá assumir valor dentro da faixa de 0v a 12v, porém para fins de resultados deste projeto serão considerados somente os testes realizados com fontes de tensão de saída de 12v.

Como citado anteriormente, as vantagens da aplicação de uma carga variável são diversas, tanto para suprir a necessidade de testes em fontes de potência e tensões diferentes quanto para atender os testes padronizados, citados anteriormente, a jiga poderá assumir valores intermediários de correntes até atingir os valores máximos especificados para cada fonte. A resolução da corrente, definida como os valores que a corrente poderá assumir até

alcançar a corrente máxima, será dada pela resolução do conversor digital-analógico, que será discutido no item 4.4.

É necessário também especificar a resolução da leitura da tensão terminal da fonte sob teste, visto que será necessário realizar a leitura dessa tensão com uma determinada precisão para ser possível realizar o cálculo de regulação de tensão, de carga e regulação de linha.

Levando-se em conta que um aumento na resolução de leitura do sinal de tensão terminal da fonte sob teste, aumenta-se o custo da placa de aquisição de dados e controle, definiu-se uma resolução mínima de 0,0012Volts.

Portanto pode-se caracterizar a Jiga de testes com os seguintes parâmetros:

- Tensão de entrada: 12V.
- Máxima corrente de simulação de carga: 10A.
- Mínima potência exigida da fonte sob teste: 12W.
- Máxima potência exigida da fonte sob teste: 120W.
- Tensão de alimentação: 115/220Vac.
- Executar testes de fontes chaveadas e lineares à vazio e sob carga, atuando como um circuito simulador de condições de operação das fontes sob testes.
- Oferecer um ambiente de usuário configurável, para a escolha dos parâmetros de testes.

Especificados os parâmetros globais, definiu-se o esquemático da jiga de testes. O esquema do módulo de potência pode ser visualizado na figura 4.1.1.2 enquanto que o esquema do módulo de controle pode ser visualizado na figura 4.1.1.3.



Circuito-potencia.pdf

Figura 4.1.1.2. Esquemático do Módulo de Potência.



placa_arm_pcb.pdf

Figura 4.1.1.3. Esquemático do Módulo de Controle

Na figura 4.1.1.2, os transistores T1, T2, T3 e o amplificador operacional OP1 formam a fonte de corrente. O amplificador operacional OP2 e o resistor shunt possibilitam a leitura da corrente pelo microcontrolador. Os resistores R1, R2, possibilitam condicionar a tensão que será aplicada encima do shunt. Os resistores R6, R7, R8 e R9 condicionam a tensão de saída da fonte para a posterior leitura do microcontrolador.

Os pontos designados como DA, AD0.1 e AD0.2 devem ser conectados aos pinos P0.13, P0.23 e P0.25 respectivamente, do microcontrolador mostrado na figura 4.1.1.3.

Os pontos designados como Vout e Gnd devem ser conectados a fonte que se deseja ensaiar.

Na figura 4.1.1.3, o conector P16 é conectado a porta que contém os conversores analógicos-digitais e o conversor digital-analógico, os conectores P5, P20 e P9 disponibilizam as interfaces de IO's e demais recursos do microcontrolador, porém não serão usados neste projeto. Os capacitores C25, C26, C27, C28, e osciladores X1 e X2 fazem parte do circuito de oscilação. O circuito de bateria é composto por D12, D13 e U6. O circuito de reset do microcontrolador é composto por C13, D14 e R35. Os módulos de LCD e as interfaces I2C não são usadas. Na figura 4.1.1.3 é apresentado o módulo de alimentação e regulação da tensão. Tem-se ainda na figura 4.1.1.3 as interfaces SERIAIS, SMARTCARD, JTAG, CAN, PS2, SDCARD o teclado e os leds.

Nos capítulos seguintes serão discutidos em detalhes cada módulo que compõem a jiga de testes.

4.2 Estruturação do Sistema Implementado.

A estrutura do sistema pode ser visualizada através de um diagrama de blocos, onde cada bloco possui uma entrada e uma saída, o diagrama é apresentado na figura 4.2.1

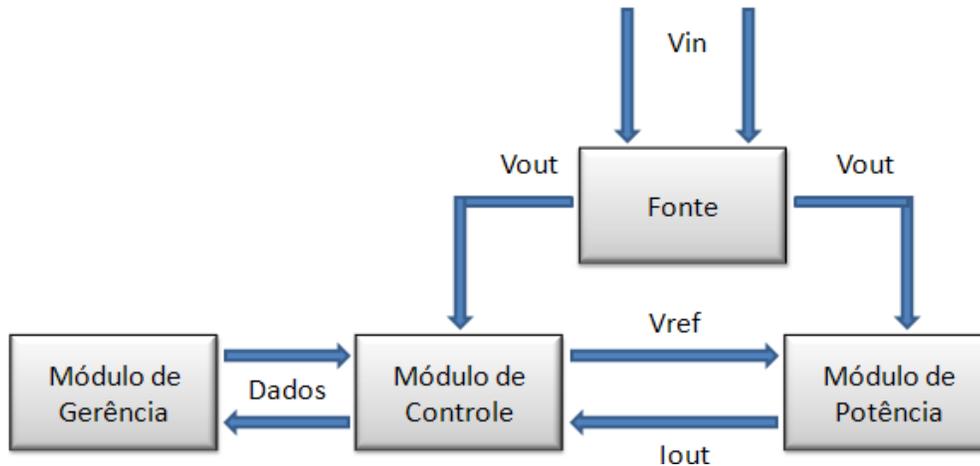


Figura 4.2.1. Diagrama de Blocos do Sistema.

Uma análise de cada bloco pode ser realizada separadamente. Portanto definiu-se um módulo de controle e aquisição de dados, que é responsável pela leitura dos valores de tensões e corrente, um módulo de potência que contém o circuito de potência e condicionamento dos sinais e finalmente um módulo de gerência, que é responsável pela interface de testes e apresentação dos resultados.

O funcionamento do sistema deve seguir um determinado fluxo, ou seja, a realização dos testes é feita de forma ordenada, visto que existem testes que necessitam do sucesso de um determinado teste anterior. O fluxograma da figura 4.2.2 mostra o funcionamento do sistema especificando a ordenação dos testes.

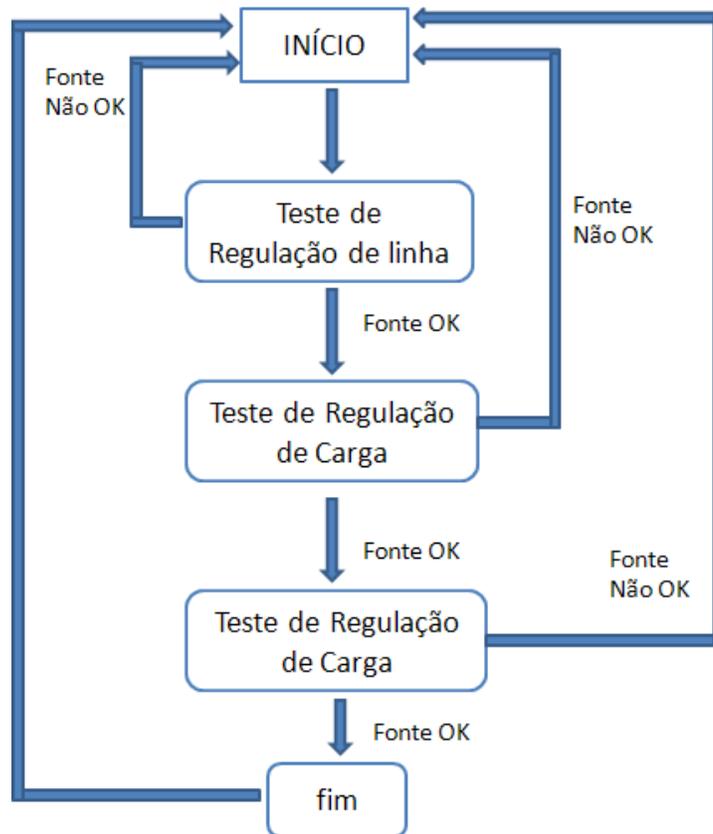


Figura 4.2.2. Fluxograma do Funcionamento do Sistema.

Na figura 4.2.2 pode ser visto que para a realização do teste de regulação de carga é necessário que se execute primeiro o teste de regulação de linha, visto que, esse teste realiza as medidas de tensão de saída das fontes sob a condição de variação da tensão de alimentação possibilitando, portanto a realização do teste de regulação de carga que é aplicado sob mesma tensão de alimentação. O teste de regulação dinâmica de carga é opcional.

Para a realização dos testes é necessária a configuração dos parâmetros da fonte que será testada, os quais são especificados abaixo:

$V_{in}(nom)$ → Tensão de alimentação nominal.

$V_{in}(max)$ → Tensão de alimentação máxima.

$V_{in}(min)$ → Tensão de alimentação mínima.

$V_{out}(nom)$ → Tensão de saída nominal.

$R(\%)$ → Regulação de carga e de linha.

Além destes parâmetros o usuário deverá especificar quais testes serão realizados.

Além dos parâmetros citados anteriormente existem recursos de seleção de carga, ou seja, os teste podem ser realizados com 0%%, 10%%, 50% e 100%, da carga nominal, com isso abrangem-se uma quantidade maior de fontes que poderão ser submetidas aos testes automáticos.

4.3 Módulo de Potência.

Visando o desenvolvimento da carga ativa, neste capítulo será discutida a topologia do módulo de potência [2]. Será discutida a escolha dos componentes e a análise de funcionamento do circuito.

O módulo de potência pode ser caracterizado através do diagrama de blocos da figura

4.3.1

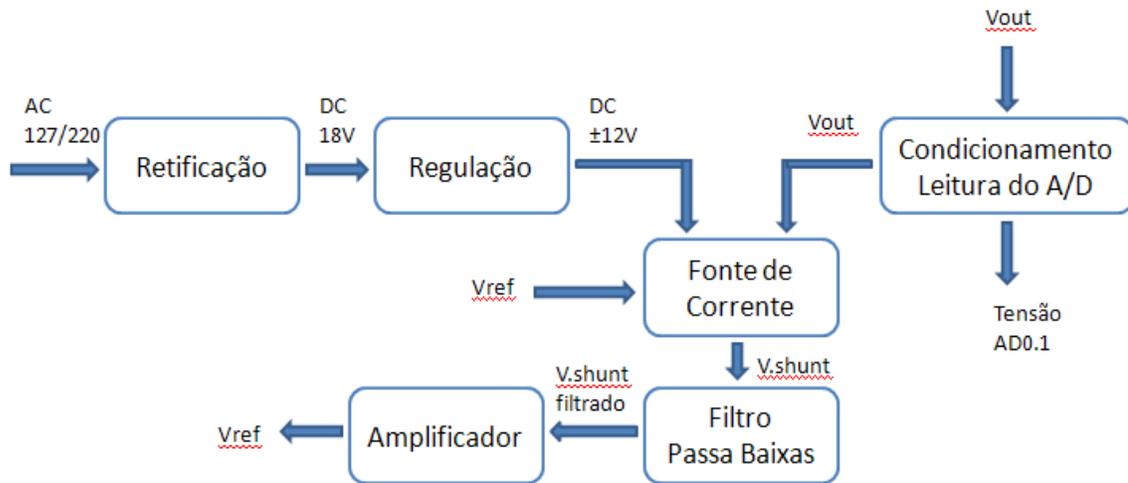


Figura 4.3.1. Diagrama de Blocos do Circuito de Potência

Como pode ser visto na figura 4.3.1 o módulo de potência é composto por um bloco retificador da tensão da rede seguido de um regulador de tensão LM 7812 para a tensão positiva e um LM7912 para a tensão negativa, sendo que a regulagem é em 12 Volts. A tensão retificada serve para alimentar os amplificadores operacionais da fonte de corrente e do amplificador.

O bloco seguinte é responsável pela aplicação da tensão em cima do shunt, ou seja, esse bloco que ajusta a tensão de referência, a qual é fornecida pelo módulo de controle, para que proporcione a corrente de saída adequada para a fonte sob teste.

Do ponto de vista da fonte de corrente é necessário aplicar a tensão de saída da fonte sob teste para que possa ser drenada a corrente necessária para o seu teste. A fonte de corrente fornece a tensão aplicada ao shunt para um filtro passa baixas que realiza a tarefa de eliminar altas frequências provenientes da tensão de saída da fonte sob teste. Após a filtragem do sinal de tensão que controla a corrente, foi projetado um amplificador, o qual condiciona o sinal possibilitando a posterior leitura através de um conversor analógico/digital, situado no módulo de controle. Projetou-se ainda um bloco de condicionamento do sinal de tensão de saída proveniente da fonte sob teste, onde se ajusta a tensão para níveis adequados que

possam ser lidos por um segundo conversor analógico-digital, também situado no módulo de controle.

4.3.1 Carga Ativa.

Para a variação da carga na fonte de corrente optou-se pela utilização de um transistor Bipolar de potência. Definidos o sensor de corrente e o transistor de potência que irá drenar a corrente da fonte sob teste, um modelo simplificado da fonte de corrente é mostrado na figura 4.3.1.1.

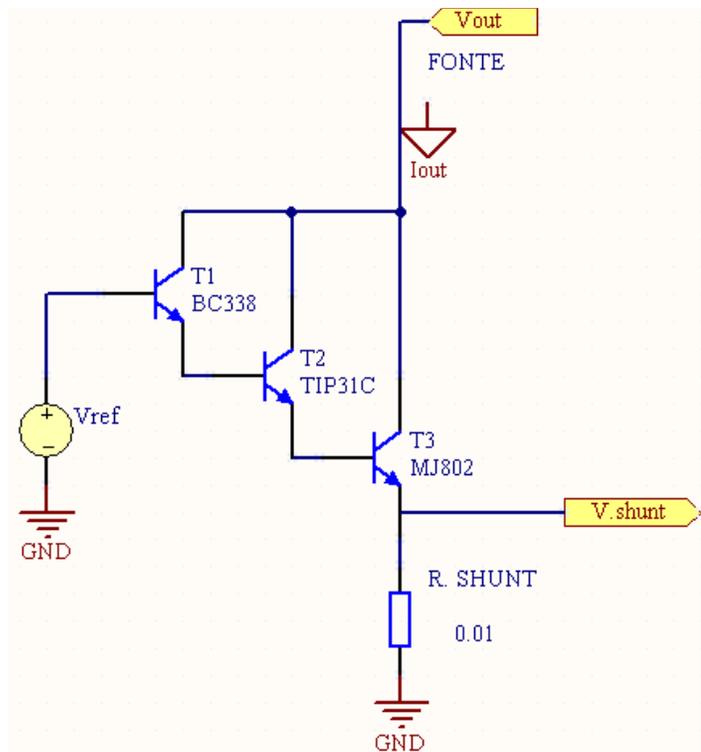


Figura 4.3.1.1. Fonte de Corrente.

A corrente de carga, denominada como I_{out} será regulada através da tensão encima do resistor Shunt, denominada V_{shunt} , visto que esta tensão irá estabelecer uma determinada

corrente no emissor do transistor de potência e este irá aumentar a corrente de coletor, a qual está ligada diretamente na fonte sob teste. A tensão V_{ref} irá determinar qual a tensão no resistor shunt.

Foi necessária a utilização de transistores na configuração “Darlington”, para fornecer a corrente de base necessária para o transistor de potência MJ802, visto que o seu ganho é muito baixo.

Para a regulação da tensão sobre o resistor shunt optou-se pela implementação de um sistema de realimentação da tensão V_s , através de um amplificador operacional.

Optou-se por um amplificador operacional de fácil aquisição e que oferecesse uma tensão de offset menor que 5mV. Escolheu-se então o LM741. A figura 4.3.1.2 mostra o circuito com a realimentação negativa.

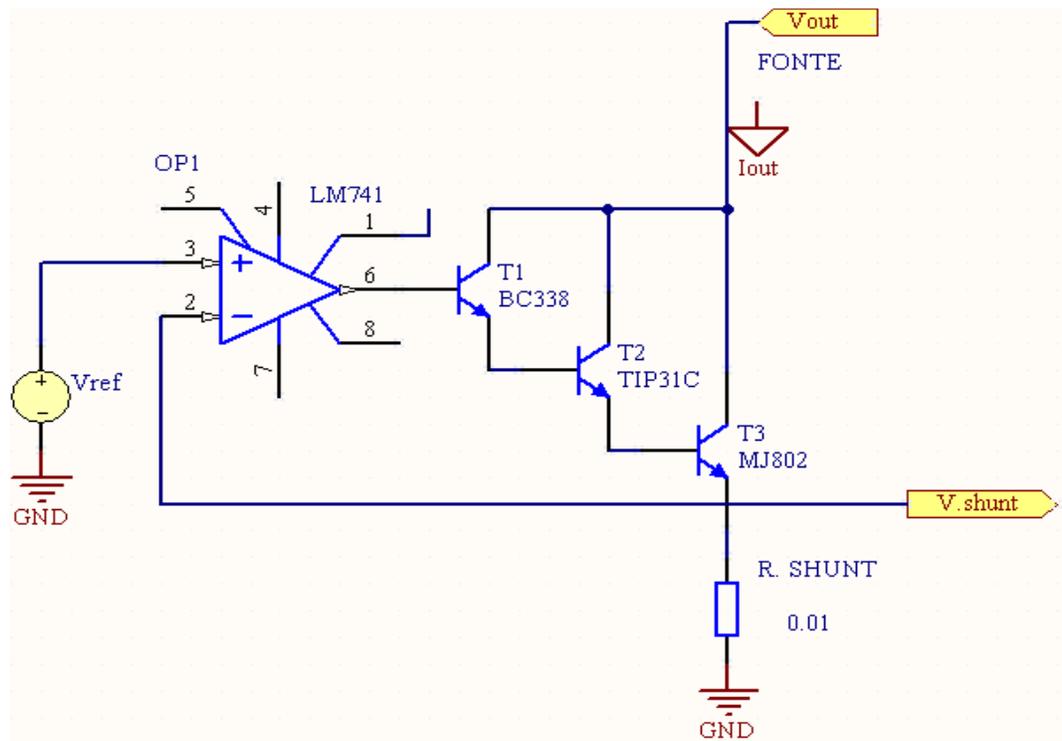


Figura 4.3.1.2 Circuito de Potência Realimentado.

A realimentação negativa indica que a tensão de referência V_{ref} será subtraída do valor de realimentação V_{shunt} , e o erro aparecerá na saída do amplificador operacional. Com isso garante-se que a tensão de referência será aplicada sobre o shunt.

Optou-se por um divisor resistivo para a adequação da tensão de referência, já que a resistência do shunt é muito baixa e a tensão de atuação do módulo de controle é 3V.

O circuito do filtro passa-baixas e do amplificador que são responsáveis pelo condicionamento da tensão V_{shunt} , são mostrados na figura 4.3.1.3

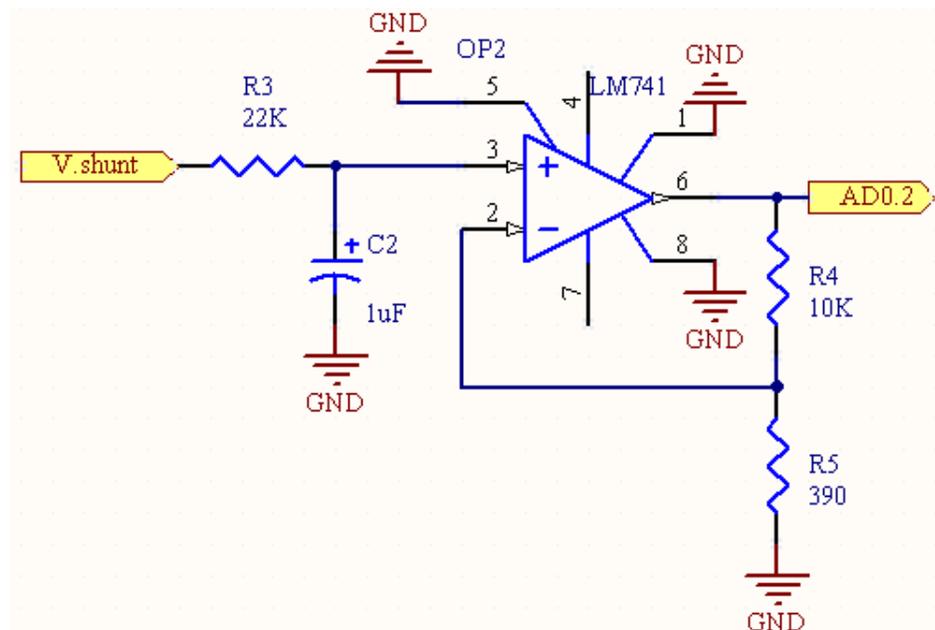


Figura 4.3.1.3 Circuito de Filtragem e Amplificação.

O filtro passa-baixas foi projetado para rejeitar ruído de alta frequência proveniente da fonte sob teste. Portanto projetou-se um filtro de primeira ordem com um pólo em 50hz.

O equacionamento do filtro pode ser realizado através da sua equação diferencial da seguinte forma:

A equação de malha do filtro é:

$$V_{shunt}(t) = V_r(t) + V_c(t) \quad (4.3.1.1)$$

Sabendo que a corrente no capacitor é:

$$I_c(t) = C \frac{dV_c(t)}{dt} \quad (4.3.1.2)$$

E ainda que a corrente no resistor e no capacitor é aproximadamente igual, temos:

$$I(t) = I_c(t) \quad (4.3.1.3)$$

Com isso a equação de malha do circuito fica:

$$V_{shunt}(t) = RC \frac{dV_c(t)}{dt} + V_c(t) \quad (4.3.1.4)$$

Para achar a função de transferência do filtro temos aplicar a propriedade da derivada de laplace, resultando em:

$$(RC)S V_c(S) + V_c(S) = V_{shunt}(s) \quad (4.3.1.5)$$

E finalmente podemos escrever a função de transferência como:

$$\frac{V_c(S)}{V_{shunt}(s)} = \frac{1}{RC} \frac{1}{(S + \frac{1}{RC})} \quad (4.3.1.6)$$

O pólo da função de transferência é dado por:

$$p = \frac{1}{RC} \quad (4.3.1.7)$$

E a constante de tempo do filtro é:

$$T = RC \quad (4.3.1.8)$$

Portanto optou-se por um pólo em 50hz, visto que nesta frequência elimina-se a maior parte do ruído oriundo da fonte. Para um capacitor de 1uF, tem-se o valor do resistor calculado da seguinte forma:

$$50 = \frac{1}{R10^{-6}} \Rightarrow R = 20K\Omega \quad (4.3.1.9)$$

Portanto escolheu-se o valor comercial de:

$$R = 22K\Omega.$$

Substituindo os valores do capacitor e do resistor na função de transferência temos:

$$\frac{V_C(S)}{V_{shunt}(S)} = \frac{\frac{1}{RC}}{\left(S + \frac{1}{RC}\right)} = \frac{45,45}{(S + 45,45)} \quad (4.3.1.10)$$

Para plotar a resposta em frequência fazemos $S \rightarrow jw$, e a função de transferência resulta em:

$$\frac{V_C(jw)}{V_{shunt}(jw)} = \frac{2\pi 45,45}{(jw + 2\pi 45,45)} \quad (4.3.1.11)$$

O gráfico da resposta em frequência pode ser visto na figura 4.3.1.4

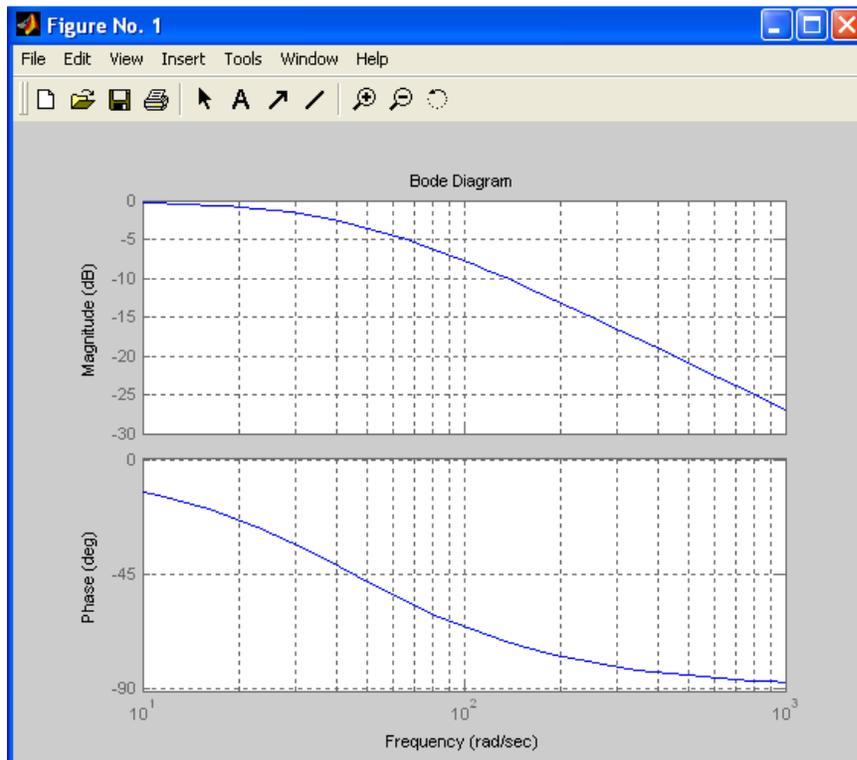


Figura 4.3.1.4 Resposta em Frequência do Filtro Passa-Baixas.

O amplificador operacional deste bloco foi projetado para proporcionar o ganho inverso ao do divisor de tensão formado por R1 e R2, com a intenção de amplificar a tensão para o mesmo nível da tensão de referência.

4.3.2 Dissipação Térmica.

Projetou-se um dissipador de calor para diminuir a resistência térmica entre o encapsulamento do transistor de potência bipolar MJ802 e o ambiente [9].

Do ponto de vista do transistor a potência dissipada na pastilha semicondutora é transformada em calor. O calor flui para as partes mais frias como o encapsulamento e o ambiente, portanto se houver uma resistência muito grande entre o encapsulamento e o meio ambiente existirá um aumento da temperatura na junção do componente fazendo com que este seja danificado.

Para evitar-se que a temperatura ultrapasse o limite máximo de temperatura na junção deste componente projetou-se um dissipador da seguinte forma:

Sabe-se que a temperatura máxima da junção é de 150°C. A potência máxima de operação do transistor é 120W. Deve-se ser considerada ainda a temperatura ambiente estimada em 40°C.

O cálculo térmico é realizado através do circuito elétrico equivalente demonstrado na figura 4.3.2.1.

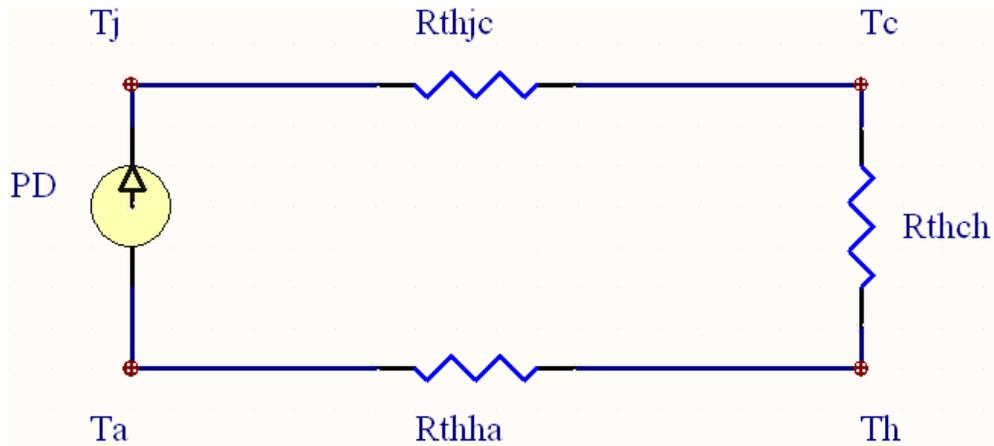


Figura 4.3.2.1 Circuito Elétrico Equivalente.

O circuito da figura 4.3.2.1 representa o equivalente elétrico do circuito térmico e pode ser calculado através da equação 4.3.2.1:

$$T_j - T_a = P_D * (R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}) \quad (4.3.2.1)$$

Onde:

T_j → É a temperatura máxima da junção – 150°C.

T_a → É a temperatura ambiente – 45°C.

P_D → É a potência média dissipada no interior do componente – 120Watts.

R_{thjc} → É a resistência térmica entre a junção e o encapsulamento – $0,875 \frac{^{\circ}C}{W}$.

R_{thch} → É a resistência térmica entre o encapsulamento e o dissipador.

R_{thha} → É a resistência térmica entre o dissipador e o ambiente.

As resistências térmicas R_{thjc} e a R_{thha} são fornecidas pelo fabricante do componente e podem ser obtidas no manual do mesmo. A resistência térmica R_{thha} deve ser fornecida pelo fabricante do dissipador.

O manual do transistor de potência MJ802 não fornece a informação sobre a resistência térmica entre o encapsulamento e o dissipador, considerou-se, portanto que a

superfície do transistor é praticamente plana e que o acoplamento entre o encapsulamento e o dissipador, através de pasta térmica não gera perdas. O manual fornece informação da resistência térmica entre a junção e o encapsulamento que é: $R_{thjc} = 0,875 \frac{^{\circ}C}{W}$

Portanto o cálculo de R_{thha} pode ser obtido da seguinte forma:

$$T_j = P_D * (R_{thjc} + R_{thha}) + T_a \quad (4.3.2.2)$$

Sabendo que a temperatura máxima da junção é 200°C, pode-se realizar os testes para o valor máximo de temperatura de junção de 150°C, por exemplo.

Substituindo os valores, tem-se:

$$150 = 200 * (0,875 + R_{thha}) + 40 \quad (4.3.2.3)$$

O resultado da equação é:

$$R_{thha} = 0,325 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Visto que não foi possível realizar a aquisição de um dissipador dessa magnitude optou-se pela utilização de um cooler.

4.3.3 Resistência Shunt.

Para realizar a medida da corrente de carga optou-se por um resistor tipo Shunt, como mencionado anteriormente. O shunt possui uma resistência baixa além de uma variação de resistência muito pequena frente à variação de temperatura. O resistor Shunt utilizado na leitura da corrente de carga pode ser caracterizado pela equação abaixo:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)] \quad (4.3.3.1)$$

Onde:

$\alpha_1 \rightarrow$ É o coeficiente de temperatura do material.

$t_1 \rightarrow$ É a temperatura no instante 1.

$t_2 \rightarrow$ É a temperatura no instante 2.

$R_1 \rightarrow$ É a resistência do shunt na temperatura t_1 .

$R_2 \rightarrow$ É a resistência do shunt na temperatura t_2 .

Os dados de temperatura e resistência além da variação de temperatura com a resistência são especificados no manual do componente. A temperatura t_1 é a temperatura ambiente 25°C , nesta temperatura temos a resistência $R_1 = 0.01\Omega$. A tolerância de resistência para valores menores que 0.05Ω é $\pm 5\%$, retirado do manual do componente. Portanto a resistência shunt na temperatura ambiente pode ter o valor máximo de 0.0105Ω . A temperatura t_2 fornece o valor da variação da resistência menos o valor na temperatura ambiente, e é retirada do manual através da inspeção gráfica para os valores de operação que se deseja. Sabendo que a corrente máxima que irá passar pelo shunt é 10A e que a tensão é 100mV , pode-se determinar a potência dissipada no componente através da equação de potência:

$$P_D = 10 * 100 \times 10^{-3} = 1\text{Watt} \quad (4.3.3.2)$$

Através do gráfico fornecido pelo fabricante no manual do shunt e sabendo qual a potência que será dissipada obtém-se o valor de $t_2 \approx 25 + 5 \approx 30^\circ\text{C}$.

Para o Shunt tem-se o coeficiente de temperatura igual à $\alpha_1 = 25\text{ppm} = \frac{25}{1 \times 10^6}$

Finalmente o cálculo da variação da resistência pode ser calculado da seguinte forma:

$$R_2 = 0.0105 \left[1 + \frac{25}{1 \times 10^6} (30 - 25) \right] \quad (4.3.3.3)$$

O valor de R_2 , que é a resistência final, onde está contida a variação devido à temperatura fica:

$$R_2 = 0.010501$$

Portanto para o valor da tensão no shunt igual a 100mV tem-se uma corrente máxima igual a:

$$I_{out} = \frac{100 \times 10^{-3}}{0.010501} = 9.52A \quad (4.3.3.4)$$

Para corrigir o valor de corrente deve-se aumentar o valor da tensão em cima do shunt para 105mV, a partir deste valor recalcula-se o valor de R_2 , da seguinte forma:

$$P_D = 10 * 105 \times 10^{-3} = 1,05Watt \quad (4.3.3.5)$$

Do gráfico, tem-se:

$$t_2 \approx 25 + 5 \approx 30^\circ C.$$

O valor de R_2 , fica:

$$R_2 = 0.0105 \left[1 + \frac{25}{1 \times 10^6} (30 - 25) \right] = 0.010501 \quad (4.3.3.6)$$

E recalculando o valor da corrente, tem-se:

$$I_{out} = \frac{105 \times 10^{-3}}{0.010501} = 10A \quad (4.3.3.7)$$

4.4 Módulo de Controle.

Neste item será discutida a topologia do módulo de controle, o modo de funcionamento da placa de aquisição de dados e as características dos componentes [3].

A análise do módulo de controle é dividida em dois itens: Hardware e Software.

No primeiro item serão discutidas as características do hardware utilizado e sua topologia, e no item a seguir será apresentado o Software desenvolvido para a plataforma utilizada.

4.4.1 Hardware.

O hardware do módulo de controle é caracterizado através do diagrama de blocos mostrado na figura 4.4.1.1.

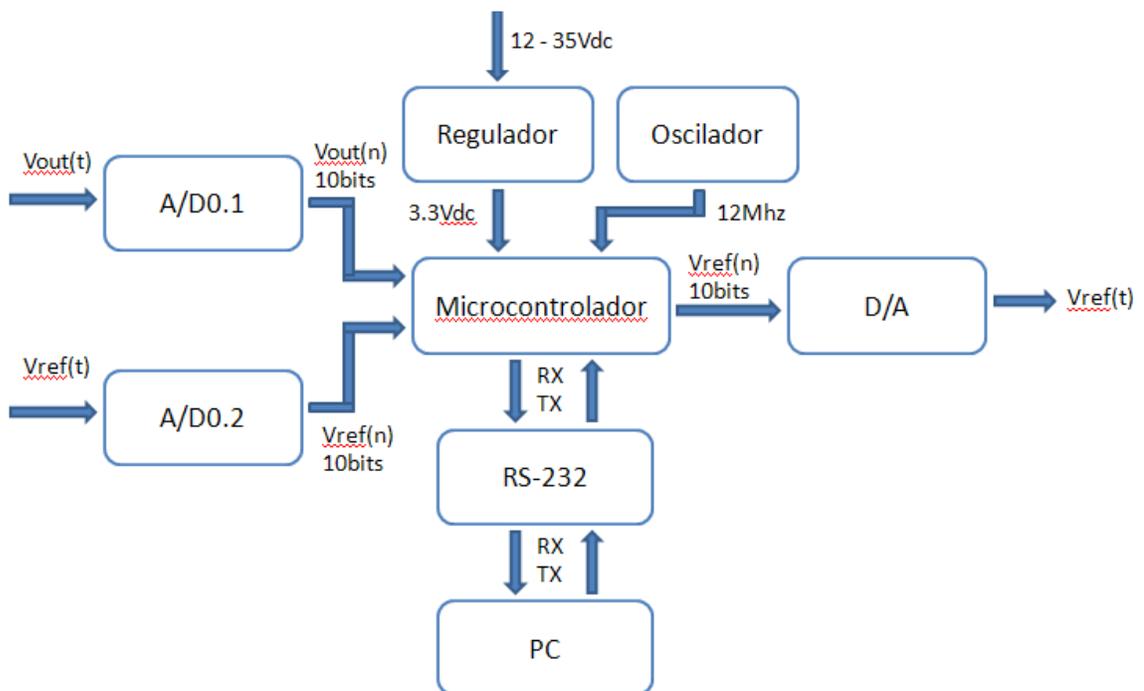


Figura 4.4.1.1 Diagrama de Blocos do Módulo de Controle.

Como pode ser visto na figura 4.4.1.1 o módulo de controle possui dois conversores analógico-digital independentes para a aquisição dos dados de interesse que servirão na realização dos testes de regulação propostos.

Os conversores de valores analógicos de tensão para valores digitais e o conversor de valores digitais para valores analógicos, internos ao microcontrolador, são representados externamente na figura 4.4.1.1 para facilitar o entendimento do módulo.

Levou-se em consideração, na escolha do microcontrolador da placa de controle, a característica de abrangência de funcionalidades, ou seja, os recursos oferecidos como, por exemplo, conversores analógico-digitais internos, bem como a experiência de já ter trabalhado com essa plataforma, visto que o tempo de desenvolvimento do projeto era pequeno.

Portanto optou-se por um microcontrolador de 32bits da família ARM7 da NXP, que é uma indústria fabricante de circuitos integrados e outros componentes, denominado LPC2378.

Esse microcontrolador possui inúmeros recursos, como por exemplo, três interfaces seriais, sete conversores analógicos-digitais de 10Bits, um conversor digital-analógico de 10 Bits, oscilador interno e externo, interface de programação JTAG, e etc.

A alimentação do microcontrolador, como pode ser visto na figura 4.4.1.1, é proveniente de um regulador de tensão de 3.3Vdc.

O controle sobre a carga ativa é feito através de um conversor digital-analógico de 10bits, e a comunicação com o módulo de gerência é realizada através de uma interface serial, os quais serão discutidos posteriormente.

O microcontrolador disponibiliza dois modos de utilização de osciladores. Uma possibilidade é o oscilador interno de 32khz, no qual não há a necessidade de um circuito externo com capacitores e cristal, porém o clock é baixo. Outro modo de operação é com clock externo, o qual se apresenta com o valor máximo de 72Mhz.

Escolheu-se o modo de operação com clock externo com um cristal de 12Mhz. O microcontrolador apresenta ainda um PLL interno, o qual multiplica o clock de entrada.

Portanto o clock final do LPC2378, depois da multiplicação do PLL pelo clock externo, é de 48Mhz.

A tabela 4.4.1.1 mostra as características dos conversores analógico-digitais e do conversor digital-analógico que foram utilizados para a aquisição dos dados e controle da corrente da carga ativa.

CONVERSOR	QUANTIDADE	RESOLUÇÃO	AMOSTRAGEM	INTERVALO(v)
ANALÓGICO/DIGITAL	7	10BITS	2 KS/s	0 – 3.3
DIGITAL/ANALÓGICO	1	10BITS	2 KS/s	0 – 3.3

Tabela 4.4.1.1 Características dos conversores analógicos-digitais e do digital-analógico.

A frequência do conversor analógico-digital e do conversor digital-analógico foi configurada em 22khz a partir do clock principal do microcontrolador. O microcontrolador necessita de 11 períodos para realizar a conversão de uma amostra de 10bits, com isso a frequência de amostragem, considerando os períodos de conversão, fica 2khz. Para a frequência de amostragem dada pode-se calcular o tempo necessário para a aquisição de uma amostra, que é simplesmente o inverso da frequência de amostragem.

$$T_A = \frac{1}{2000} = 500 \times 10^{-6} \text{segundos} \quad (4.4.1.1)$$

Estabeleceu-se um período de aquisição de amostras na realização de cada teste de 0.5s. Para o tempo de aquisição de amostras projetado pode-se definir o número de amostras necessário para realizar a análise dos resultados na realização dos testes de regulação, dado pela equação 4.4.1.2:

$$N^\circ \text{Amostras} = \frac{0.5}{500 \times 10^{-6}} = 1000 \quad (4.4.1.2)$$

Outra característica do módulo de controle é a comunicação com o módulo de gerência, a qual é dada através da interface serial. Na figura 4.4.1.2 pode ser visto o hardware do módulo de comunicação serial.

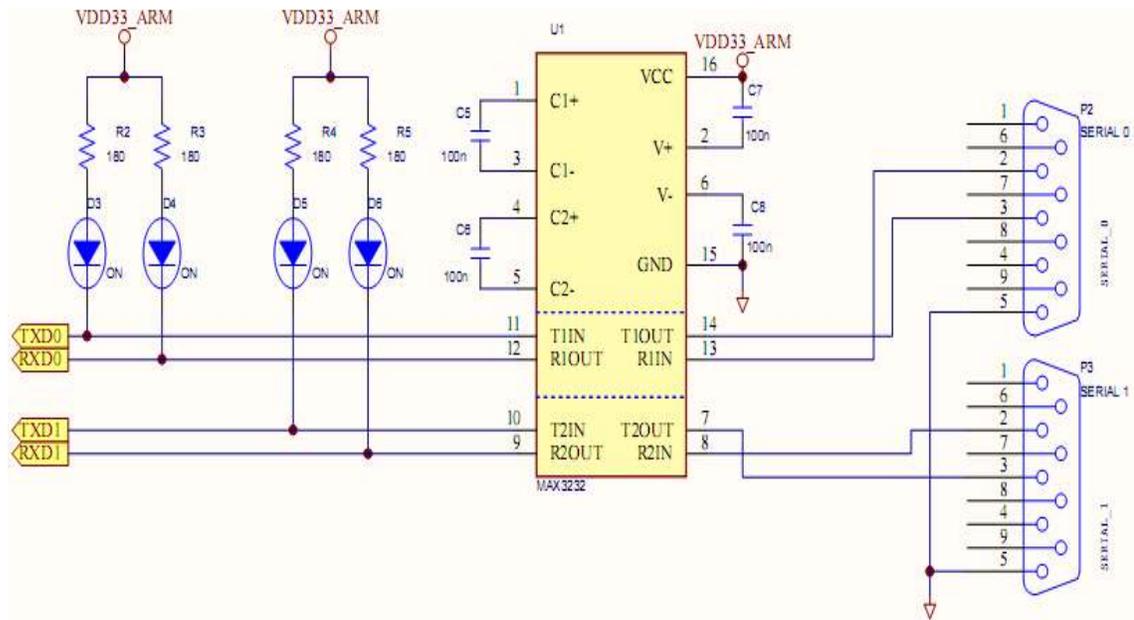


Figura 4.4.1.2 Hardware do Módulo de Comunicação Serial.

Na figura 4.4.1.2 pode ser visto que o módulo de comunicação serial apresenta um circuito integrado para converter os níveis de tensão do sinal de comunicação serial padrão TTL do microcontrolador para os níveis de tensão do padrão de comunicação RS232, utilizado pelo PC. O circuito integrado utilizado foi o MAX3232.

Esse circuito integrado disponibiliza a conversão de duas entradas seriais padrão TTL para padrão RS232 ao mesmo tempo, portanto podemos ter dois canais de comunicação serial, porém neste projeto é usada somente uma, que é a serial de número zero, demonstrada na figura 4.4.1.2.

O padrão de comunicação serial RS232 apresenta os sinais representados na tabela 4.4.1.2 [10].

Sinal	Significado
SG ou GND	Terra
TD ou TX	Transmissão de dados
RD ou RX	Recepção de dados
DTR	Terminal de dados pronto
DSR	Conjunto de dados pronto
RTS	Pronto para enviar (computador)
CTS	Envie os dados (modem)
DCD	Portadora detectada
RI	Indicador de telefone tocando
FG	(Frame Ground)

Tabela 4.4.1.2 Tabela com os Sinais do Padrão RS232.

A configuração da interface serial foi projetada para atender as especificações padrão de comunicação serial, com relação a sua taxa de transferência de dados.

A configuração da interface de comunicação serial pode ser vista na tabela 4.4.1.2.

SERIAL	BITS POR SEGUNDO	BITS DE DADOS	PARIDADE	BITS DE PARADA
Serial 0	57600	8	NENHUM	1
Serial 1	NÃO USADA	NÃO USADA	NÃO USADA	NÃO USADA

Tabela 4.4.1.3 Configuração da Comunicação Serial.

4.4.2 Software.

O software embarcado na placa de controle foi desenvolvido baseado em uma plataforma já existente, a qual é proprietária da Digitel S/A Indústria Eletrônica [6].

Para a implantação deste sistema na placa de controle foi necessário desenvolver novos drives e implementar uma nova rotina de clock, onde possibilitou-se a partida do processador em decorrência do novo clock.

O diagrama de blocos da figura 4.4.2.1 mostra o funcionamento do sistema operacional da placa de controle.

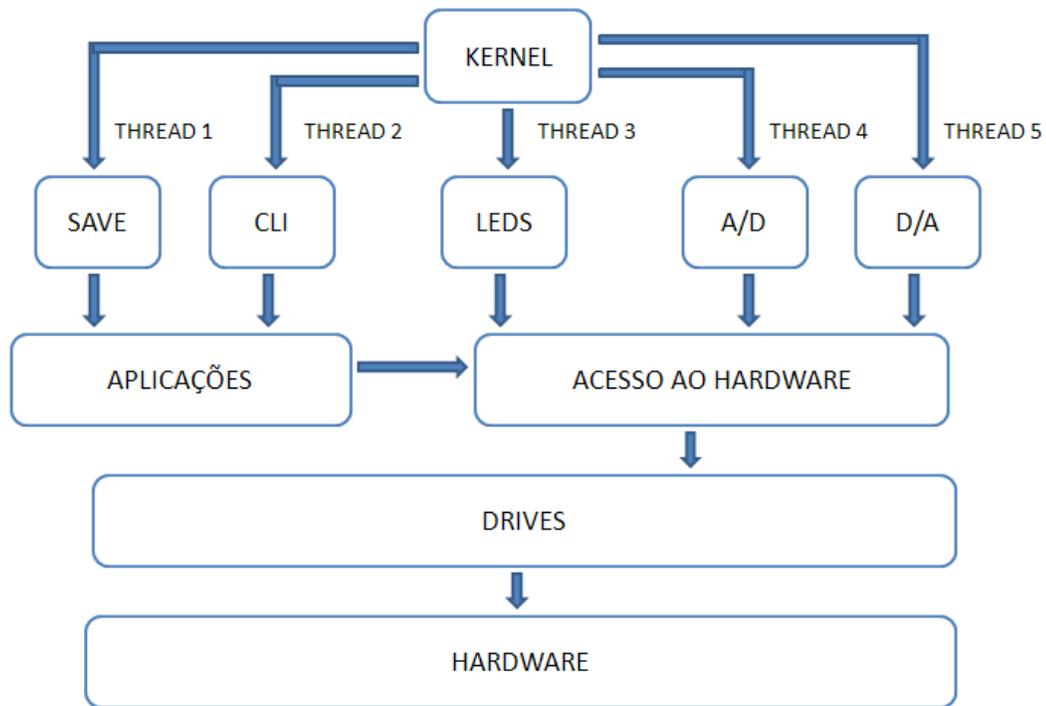


Figura 4.4.2.1 Diagrama de Blocos do Sistema Operacional da Placa de Controle.

Como pode ser visto na figura 4.4.2.1 o kernel do sistema operacional é responsável pela gerência dos processos ativos, como por exemplo, o processo de controle dos conversores analógicos para digital e digital para analógico. O hardware é protegido pela camada de acesso para evitar erros na camada de aplicação, quando essa quisesse acessar o hardware.

O processo descrito como “save” tem o objetivo de aplicar as configurações de usuário no hardware, ou seja, a partir de comandos de escrita em hardware disponibilizados pela “comand line interface” (CLI). O processo de “save” salva as configurações em memória para que posteriormente o kernel chamar o processo que irá usar essas configurações, aplicando então as configurações através da camada de acesso.

A “comand line interface” (CLI), deste produto fornece todos os comandos referentes as aplicações que estão implementadas neste sistema. Os comandos disponibilizados pela CLI podem ser visualizados na tabela 4.4.2.1.

COMANDO	FUNÇÃO
CARGA	Aplica e lê a carga no módulo de controle
CURRENT	Lê a corrente de saída da fonte sob teste.
TENSAO	Lê a tensão de saída da fonte
Vout	Aplica e lê a tensão de saída da fonte sob teste
Vin	Aplica e lê a tensão de entrada da fonte sob teste
REG_CARGA	Aplica e lê a regulação máxima de carga (%)
REG_LINHA	Aplica e lê a regulação máxima de linha (%)
ADGANHO	Aplica e lê o ganho do AD0.2
ADVGANHO	Aplica e lê o ganho no AD0.1
DAGANHO	Aplica e lê o ganho no DA
TE	Aplica e lê o tempo de estabilização máximo.

REGCARGA	Aplica o teste de regulação de carga
REGLINHAMIN	Aplica o primeiro teste de regulação de linha
REGLINHAMAX	Aplica o secundo teste de regulação de linha
REGLINHANOM	Aplica o teste final da regulação de linha
REGDINCARGA	Aplica o teste de regulação dinâmica de carga.

Tabela 4.4.2.1 Comandos Disponíveis na CLI.

Esses comandos servem para configurar os parâmetros para a realização dos testes e também para realizar a aplicação dos mesmos durante o processo de validação, porém os comandos “TENSAO”, ”CURRENT”, ”ADGANHO”, ”ADVGANHO” e ”DAGANHO”, são comandos de depuração do hardware e portanto não fazem parte dos parâmetros de teste.

A seguir será apresentado o fluxograma do sistema operacional embarcado , bem como dos aplicativos desenvolvidos, tendo em vista um melhor entendimento do algoritmo deste software. O fluxograma foi desmembrado em seis figuras, onde a figura 4.4.2.2a mostra o fluxograma do sistema operacional responsável pela aplicação dos parâmetros dos testes. A figura 4.4.2.2b mostra o fluxograma do aplicativo que aplica o teste de regulação de carga. A figura 4.4.2.2c mostra o fluxograma do aplicativo que aplica o teste de regulação de linha com tensão de alimentação mínima. A figura 4.4.2.2d mostra o fluxograma do aplicativo que aplica o teste de regulação de linha com tensão de alimentação máxima. A figura 4.4.2.2e mostra o fluxograma do aplicativo que aplica o teste de regulação de linha com tensão de

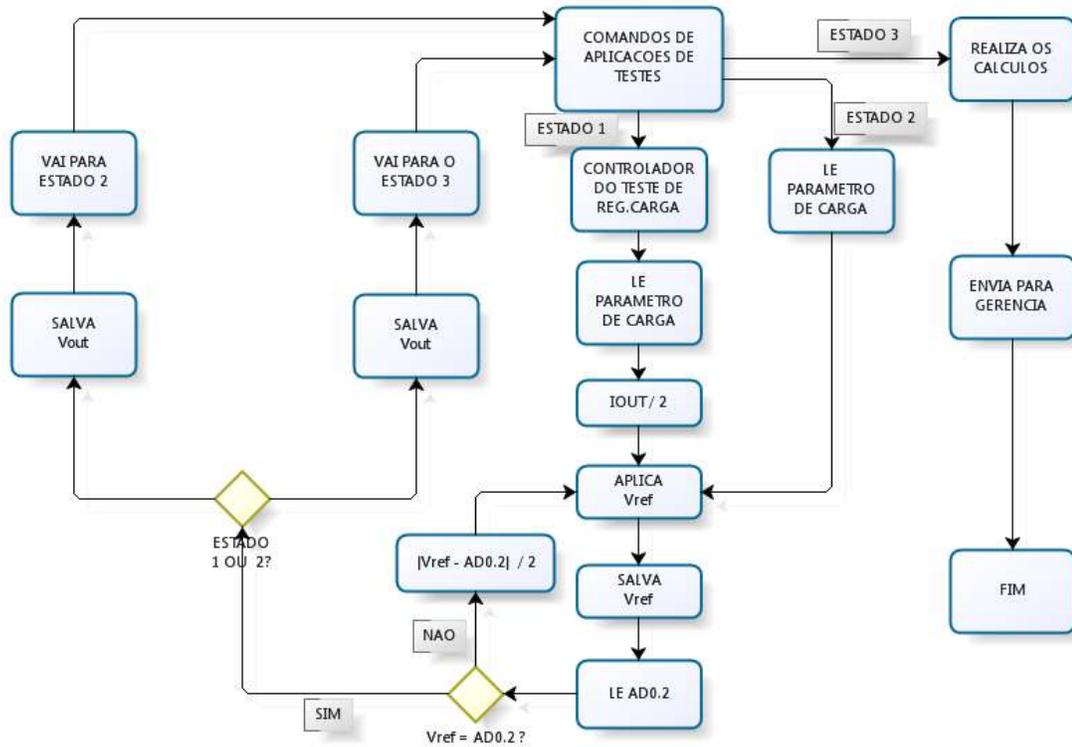


Figura 4.4.2.2b Fluxograma do Algoritmo que Aplica o Teste de Regulação de Carga.

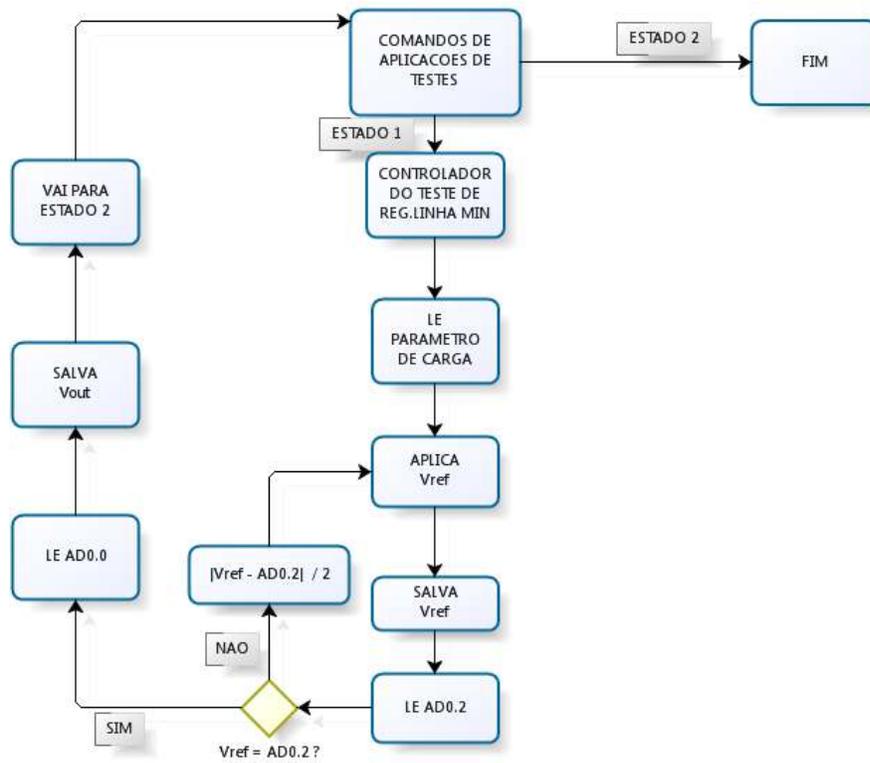


Figura 4.4.2.2c Fluxograma do Algoritmo que Aplica o Teste de Regulação de Linha Mínima.

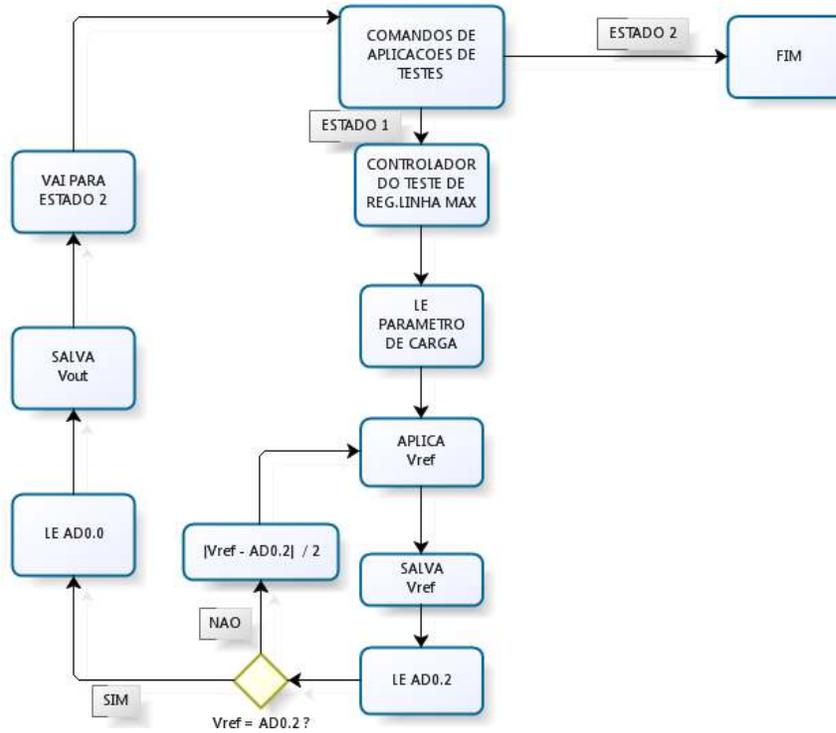


Figura 4.4.2.2d Fluxograma do Algoritmo que Aplica o Teste de Regulação de Linha Máxima.

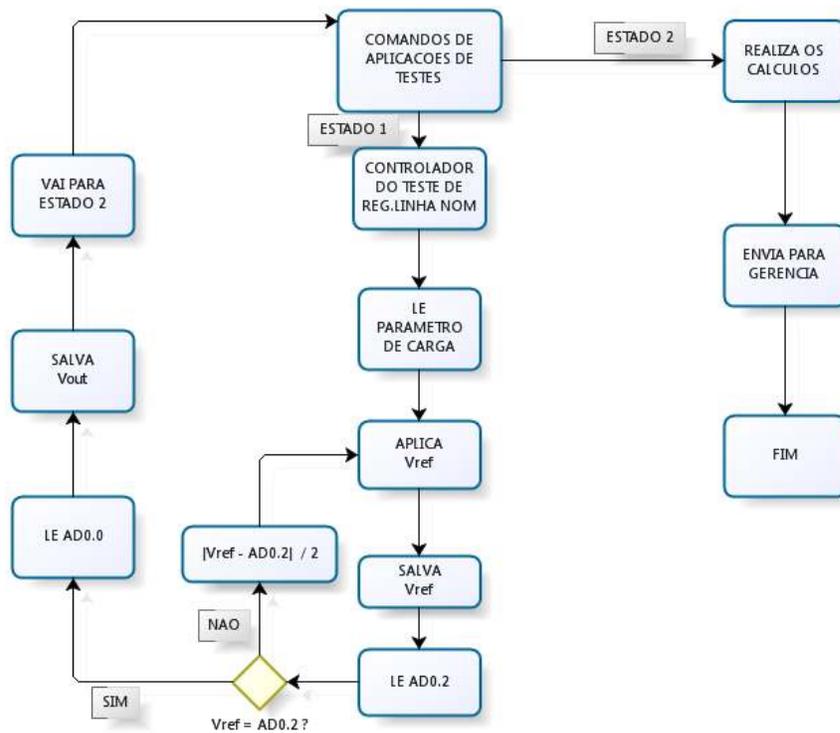


Figura 4.4.2.2e Fluxograma do Algoritmo que Aplica o Teste de Regulação de Linha Nominal.

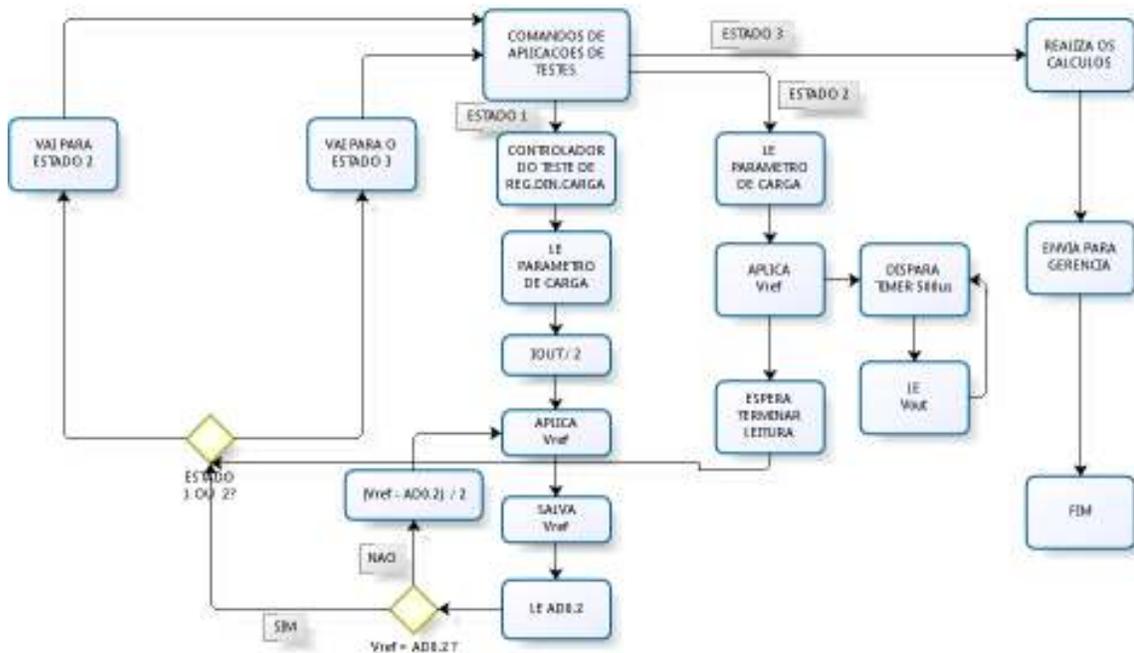


Figura 4.4.2.2f Fluxograma do Algoritmo que Aplica o Teste de Regulação Dinâmica de Carga.

Pode-se perceber na figura 4.4.2.2 que o teste de regulação de linha foi dividido em três, visto a necessidade da troca da tensão de alimentação da fonte por parte do operador. Portanto a divisão deu-se em um teste de regulação de linha com tensão de alimentação mínima, após com tensão de alimentação máxima e por último com tensão de alimentação nominal, o qual executa os cálculos de regulação e mostra o diagnóstico do teste.

Outra característica importante é o diagnóstico dos testes, os quais são efetuados ao final de cada etapa e não ao final das 3 etapas, desta forma pode-se identificar um diagnóstico negativo e finalizar o processo de diagnóstico sem a necessidade de efetuar todos os testes. Isto é interessante no processo de validação à medida que se deseja otimizar o tempo.

O controle da corrente de saída da fonte é realizado através da leitura da tensão em cima do shunt como já discutido anteriormente, portanto além da realimentação analógica foi implementado um controle digital da seguinte forma:

- Após a leitura da corrente de saída da fonte através da tensão no shunt o algoritmo verifica qual a diferença em módulo entre a tensão de referência aplicada e a leitura realizada.

- Após a obtenção dessa diferença o algoritmo divide esse valor pela metade, achando a média simples

- A média entre esses valores é aplicada na tensão de referência.

Desta forma obtém-se o controle da corrente de saída da fonte sob teste de forma aceitável, porém essa não é a forma ótima de realização desse controle. Um estudo mais aprofundado através do modelamento da planta e desenvolvimento de um PID digital apresentaria resultados melhores, porém tendo em vista o tempo disponível para este projeto não foi possível a realização deste estudo.

4.5 Módulo de Gerência.

Neste capítulo será discutida a topologia do módulo de gerência, que consiste basicamente na aplicação dos parâmetros configurados pelo usuário com as características de cada fonte sob teste e realiza a gerência dos testes efetuados pelo módulo de controle, enviando comandos de aplicação de testes de forma ordenada, como já discutido anteriormente, e fornecendo informações necessárias ao usuário operador da jiga de forma que este possa interpretar de forma visual o diagnóstico de cada teste.

Este módulo foi desenvolvido em linguagem de programação direcionada a objetos [4], onde cada objeto é responsável por uma função pré-determinada, basicamente o que se deseja é capturar os eventos que venham a ocorrer com esses objetos. Entendem-se como objetos formas gráficas que apresentam determinadas características, como por exemplo:

- Combobox;

- EditBox;

Na figura 4.5.1 pode-se perceber que o software envia comandos de gerência ao software embarcado na placa de controle delegando quais procedimentos devem ser realizados, resultando em uma cadeia de eventos.

Primeiramente o software de gerência envia comandos de configuração de parâmetros de cada fonte, após são enviados comandos de aplicação dos testes. Após o envio do comando de realização de algum dos testes de regulação o software de gerência fica aguardando a resposta com o diagnóstico do teste e finalmente mostra na tela.

Como já dito anteriormente o módulo de gerência utiliza bibliotecas disponíveis no sistema operacional Windows para o acesso a porta serial, com isso o módulo de gerência é composto do software de gerência mais a biblioteca de acesso a porta serial mais as funções de acesso a biblioteca serial, denominadas API's.

O procedimento de acesso a porta serial através de bibliotecas disponíveis no Windows é mostrado na figura 4.5.2.

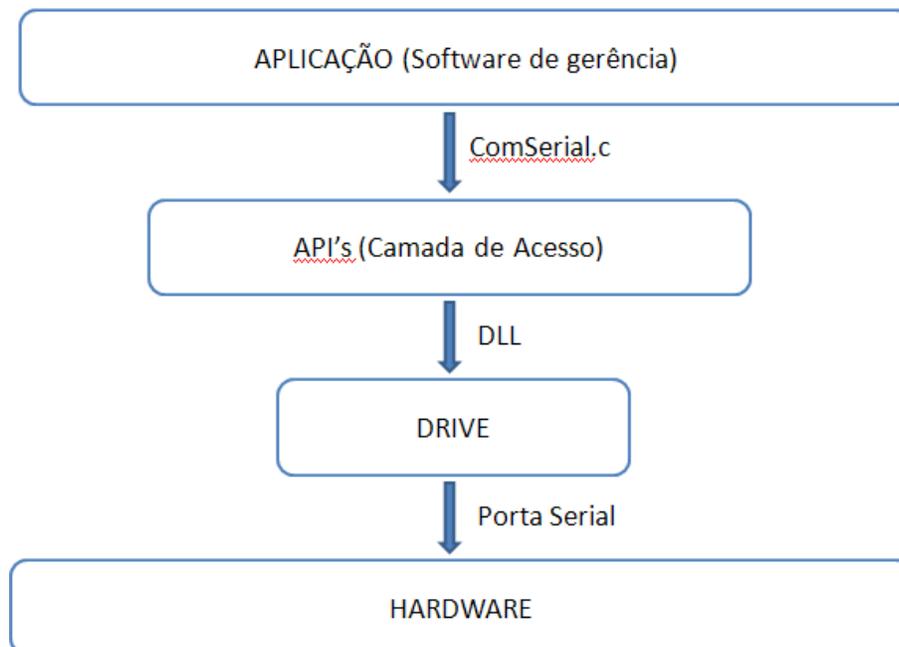


Figura 4.5.2 Processo de Acesso a Porta Serial no Windows.

As API's utilizadas foram obtidas na Internet no site da ferramenta de compilação utilizada, juntamente com a biblioteca de acesso a serial. Essas funções foram desenvolvidas de forma genérica, ou seja, qualquer usuário que desenvolva uma aplicação nessa plataforma de desenvolvimento poderá utilizar essas funções facilmente, podendo obter desta forma quais as portas seriais estão disponíveis no PC, além da configuração das mesmas.

O software de gerência apresenta uma interface de fácil configuração e entendimento, esta pode ser vista na figura 4.5.3

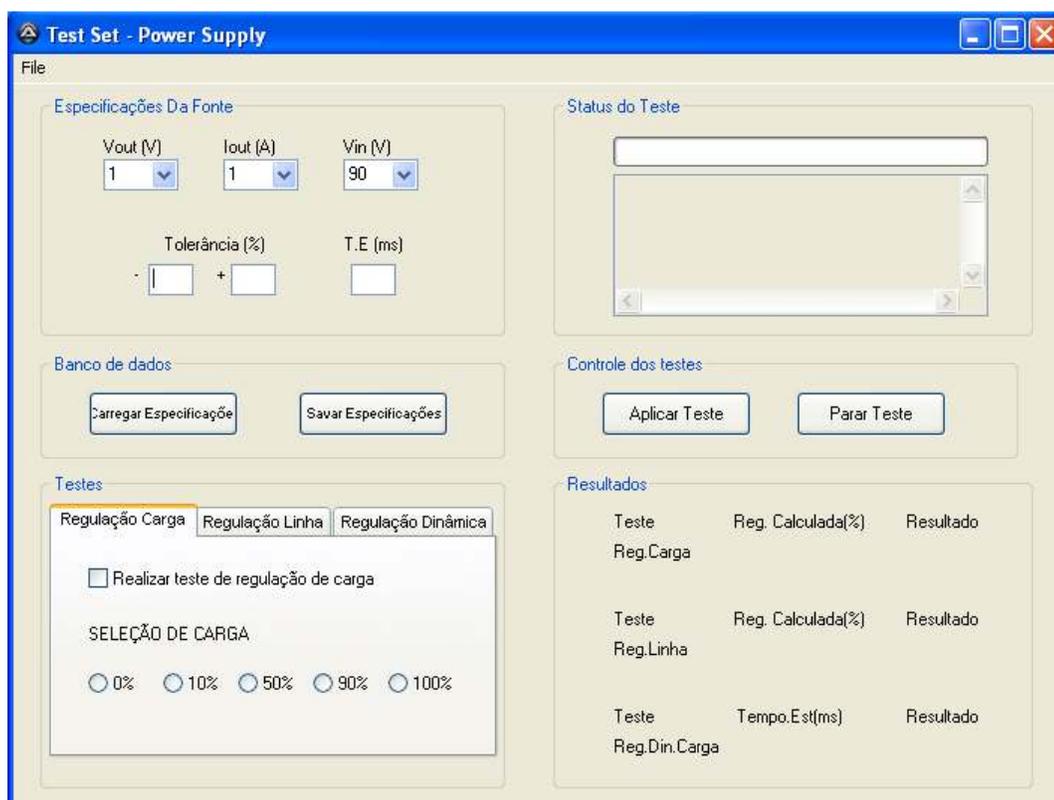


Figura 4.5.3 Interface de Usuário do Software de Gerência.

Na figura 4.5.3, pode-se ver no canto superior esquerdo da janela do software de gerência os parâmetros que devem ser configurados pelo operador no que diz respeito a cada fonte sob teste, tais como a tensão de saída, a tensão de alimentação no caso do teste de

regulação de linha, assim como os parâmetros de regulação de tensão máxima, que servem como parâmetro para a realização do diagnóstico da fonte. Logo abaixo pode ser visto a tabela com informações referentes a cada teste especificamente, nesta tabela o operador deverá configurar quais os testes serão realizados e quais os valores percentuais de carga que cada teste deverá utilizar.

Do lado direito da janela tem-se o status em tempo real dos testes que estão ocorrendo, com informações enviadas da CLI do módulo de controle para o módulo de gerência.

O diagnóstico de cada teste será mostra no canto inferior direito, onde serão apresentados os resultados com informações de cada teste.

5. ENSAIOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados finais obtidos no projeto, ressaltando principalmente as características de aplicação da carga e leitura dos valores de tensão de saída da fonte sob teste, as quais são as características de maior importância da jiga de testes.

Para isto foram realizados os três testes implementados na jiga, os quais serão demonstrados abaixo.

A fonte para testes utilizada foi fornecida pela Digitel S/A Indústria Eletrônica, e é uma das fontes componentes do processo de validação.

Os parâmetros que serão utilizados nos testes foram definidos levando-se em conta a capacidade de simulação de carga e leitura máxima de tensão, esses parâmetros podem ser vistos a seguir:

- **Vout = 12Volts**
- **Iout = 2 Ampéres**
- **Te = 10ms**
- **Regulação = -10% e +10%**
- **Realizar teste de regulação de carga.**
- **Carga = 100%**
- **Realizar teste de regulação de Linha.**
- **Carga = 100%**
- **Realizar teste de regulação dinâmica de carga.**
- **Carga = 100%**

Na figura 5.1 pode ser vista a configuração dos parâmetros assim com a seleção dos testes.

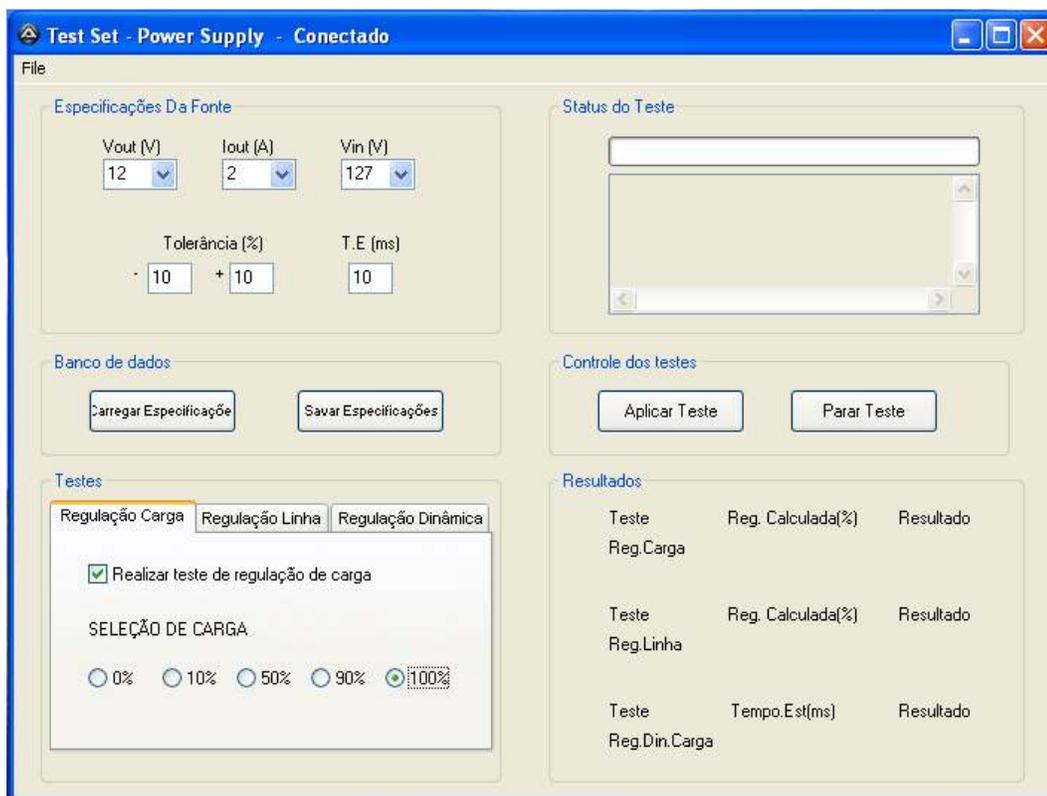


Figura 5.1 Configuração do Software de Gerência.

5.1 Teste de Regulação de Carga

A figura 5.1.1 apresenta o andamento do teste de regulação de carga, com a medida da corrente de saída através de um multímetro calibrado. A figura A apresenta a corrente de saída com 50% da carga nominal e o respectivo valor de tensão de saída, enquanto a figura B apresenta a corrente de saída para 100% e o seu valor de tensão de saída.



Figura A.



Figura B.

Figura 5.1.1 Andamento do Teste de Regulação de Carga.

O resultado do teste de regulação de carga pode ser visto na figura 5.1.2

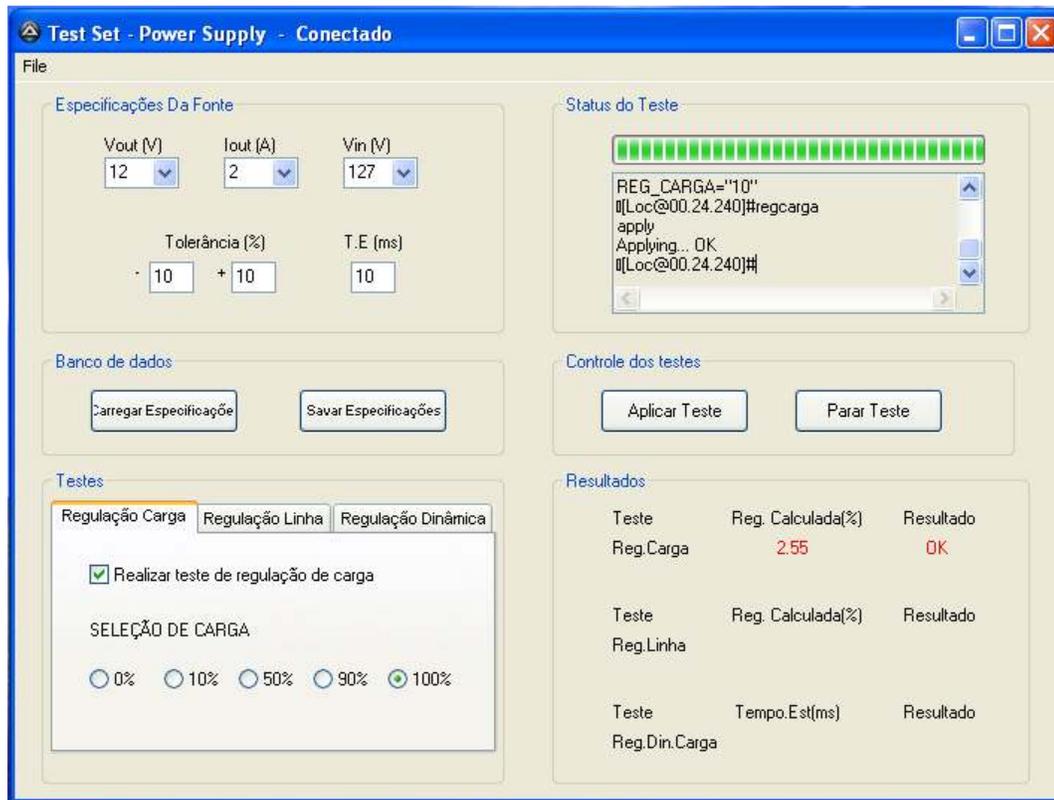


Figura 5.1.2 Resultado do Teste de Regulação de Carga.

Portanto pode-se ver que o teste de regulação de carga foi concluído com êxito e a fonte foi aprovada no teste, visto que a regulação de carga calculada ficou abaixo da máxima configurada.

Uma comparação entre os resultados obtidos e resultados calculados pode ser feita na intenção de comprovar a qualidade dos testes feitos.

O cálculo de regulação de carga para este caso pode ser obtido levando-se em consideração as medidas mostradas no andamento do teste da figura 5.1.1, e podem ser calculadas da seguinte forma:

$$R_{carga}\% = \frac{V_{out(max)} - V_{out(min)}}{V_{out(nom)}} \times 100$$

$$R_{carga}\% = \frac{11.3 - 11.0}{12} \times 100$$

$$R_{carga}\% = 2,5$$

5.2 Teste de Regulação de Linha.

A figura 5.2.1 apresenta o andamento do teste de regulação de linha, com a medida da corrente de saída nominal através de um multímetro calibrado. A figura A apresenta o primeiro teste de regulação de linha, no qual é feita a leitura da tensão de saída da fonte com tensão de alimentação mínima. Na figura B é mostrado o segundo teste de regulação de linha, o qual realiza a leitura da tensão com tensão de alimentação máxima e finalmente a figura C apresenta o terceiro teste, no qual é realizada a leitura da tensão de saída com tensão de alimentação nominal. Após a realização do teste 3 o resultado é apresentado conforme visto na figura 5.2.2



Figura A.



Figura B.



Figura C.

Figura 5.2.1 Andamento do Teste de Regulação de Linha.

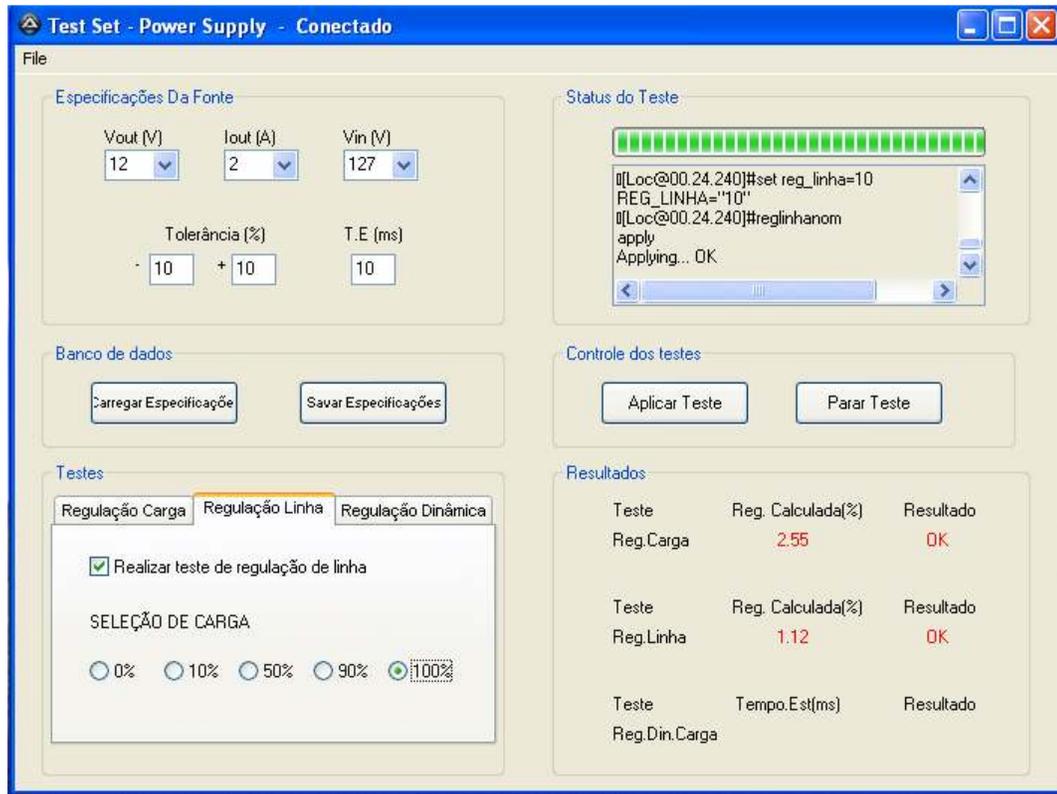


Figura 5.2.2 Resultado do Teste de Regulação de Linha.

Portanto pode-se ver que o teste de regulação de linha foi concluído com êxito e a fonte foi aprovada no teste, visto que a regulação de linha calculada ficou abaixo da máxima configurada.

Uma comparação entre os resultados obtidos e resultados calculados pode ser feita na intenção de comprovar a qualidade dos testes feitos.

O cálculo de regulação de linha para este caso pode ser obtido levando-se em consideração as medidas mostradas no andamento do teste da figura, e podem ser calculadas da seguinte forma:

$$R_{Linha} \% = \frac{V_{out(max)} - V_{out(min)}}{V_{out(nom)}} \times 100$$

$$R_{Linha}\% = \frac{10.1 - 10.0}{10.1} \times 100$$

$$R_{Linha}\% = 1$$

5.3 Teste de Regulação Dinâmica de Carga.

A figura 5.3.1 apresenta o andamento do teste de regulação dinâmica de carga, com a forma de onda da tensão de saída da fonte sob teste. O primeiro degrau da forma de onda é devido a corrente de saída com 50% da carga nominal e o segundo degrau é referente a corrente de saída para 100%. A figura C apresenta a tensão de saída da fonte quando temos 50%, enquanto a figura D apresenta a tensão de saída para 100%.

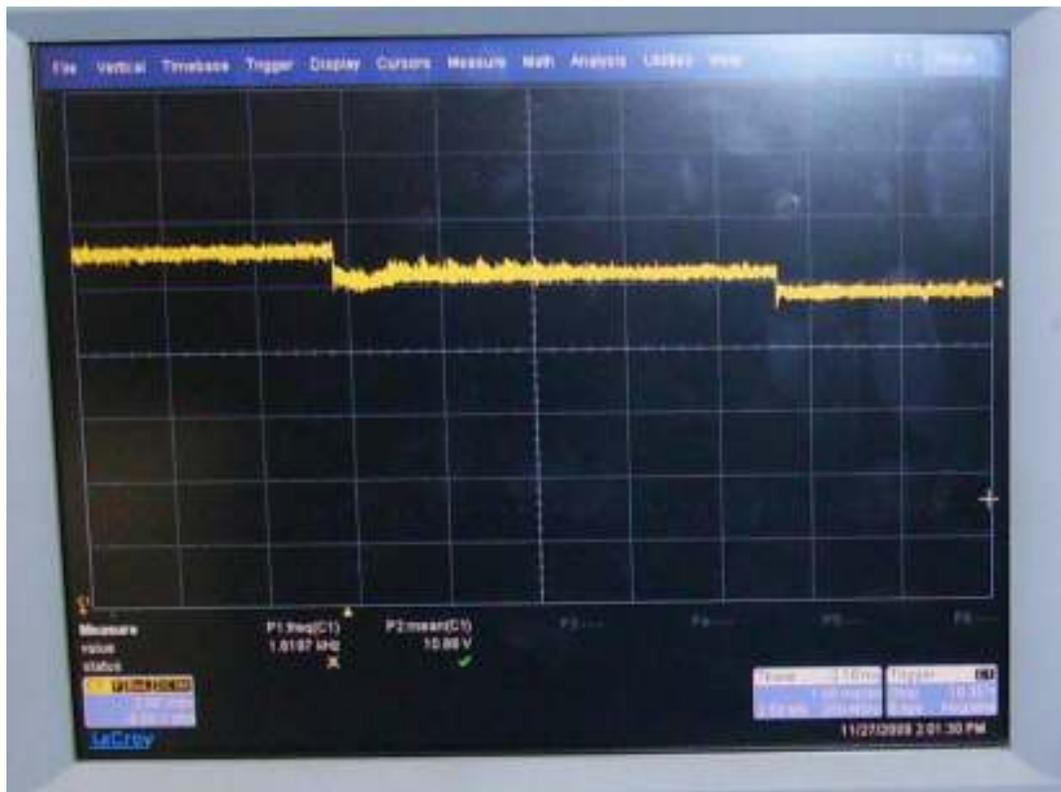


Figura 5.3.1 Andamento do Teste de Regulação Dinâmica de Carga.

O resultado do teste de regulação dinâmica de carga pode ser visto na figura 5.3.2

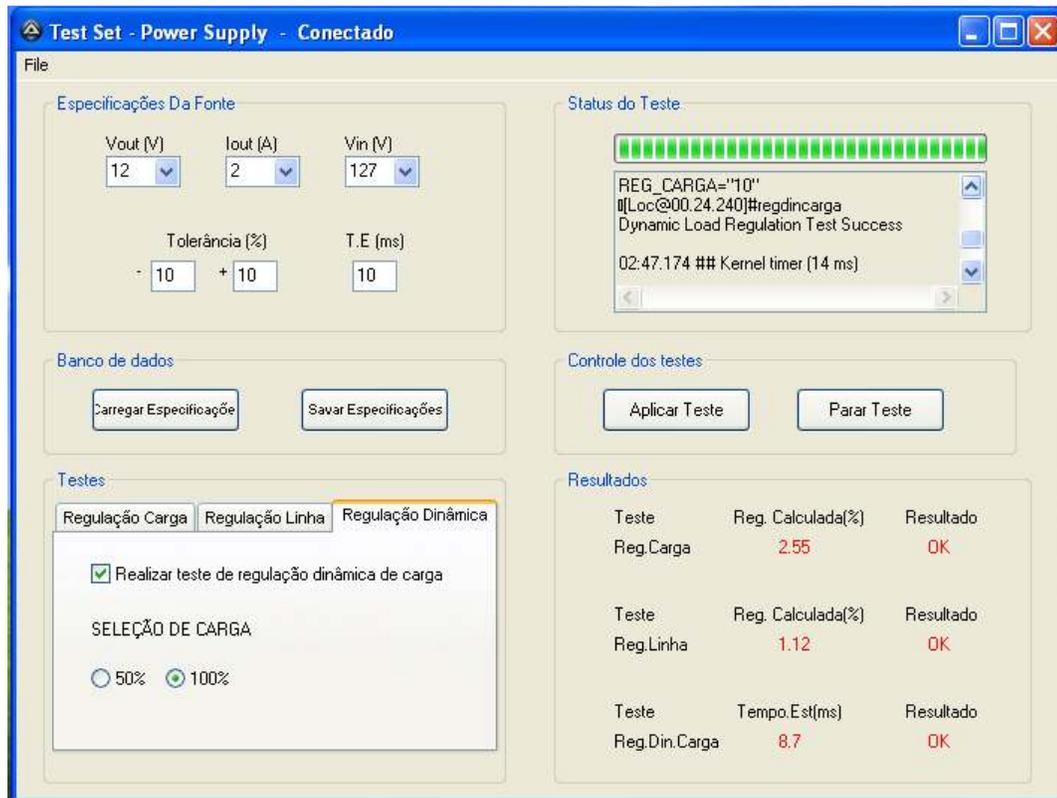


Figura 5.3.2 Resultado do Teste de Regulação Dinâmica de Carga.

Portanto podemos ver que o teste de regulação dinâmica de carga foi concluído com êxito e a fonte foi aprovada, visto que o tempo de estabilização ficou abaixo do especificado.

A partir dos resultados finais dos testes realizados podemos visualizar que a fonte foi aprovada nos três testes e, portanto pode ser validada.

5.4 Protótipo Implementado.

O protótipo implementado foi desenvolvido de forma modular como discutido anteriormente, portanto a seguir será mostrado cada módulo separadamente.

A figura 5.4.1 mostra o módulo de potência da jiga de testes automática.



Figura 5.4.1 Módulo de Potência da Jiga de Testes.

Esse módulo foi montado em uma caixa de plástico branco como demonstrado na figura 5.4.1. A caixa plástica foi dividida em dois compartimentos, um deles contém a fonte e a placa de circuito impresso que contém a carga ativa, e o outro compartimento contém o resistor shunt e o transformador da fonte da jiga. Neste compartimento foi instalado um ventilador para resfriamento dos componentes.

A conexão com o módulo de controle é feito através de um conector DB-25, onde estão disponíveis os pinos necessários ao módulo de controle. São disponibilizados bornes do tipo “Banana” para a conexão da fonte sob teste.

O módulo de controle e aquisição dos dados da carga ativa pode ser visualizado na figura 5.4.2.



Figura 5.4.2 Módulo de Controle da Jiga de Testes.

O módulo de controle foi montado em uma PCI projetada especificamente para um kit didático de desenvolvimento de projetos da família de processadores da NXP com núcleo de processamento ARM7. Neste kit podem ser vistos outros periféricos, como por exemplo, um LCD, USB, PS2 e etc., porém esses periféricos não foram usados neste projeto.

6. CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho foi apresentada a concepção de testes em fontes chaveadas com a intenção de realizar a validação destas em uma linha de produção que apresente essa necessidade. Apresentou-se então uma forma de implementar uma plataforma de testes automáticos, a qual chamou-se de Jiga de Testes.

O desenvolvimento da jiga de testes foi mostrado em módulos, onde cada módulo é responsável por uma etapa do processo.

Demonstrou-se a necessidade do módulo de potência atuando como carga ativa bem como o módulo de controle atuando como placa de aquisição de dados e controle da carga ativa e finalmente mostrou-se o módulo de gerência responsável por aplicar a configuração do operador.

Tanto o hardware quanto o software atendem os requisitos especificados neste projeto. O controle da corrente de saída da fonte sob teste não foi ótimo, porém os resultados obtidos foram satisfatórios frente a um produto que tem como objetivo testes de fábrica e não equipamento de calibração. Sugiro para trabalhos futuros que se implemente um controle PID digital para controle desta corrente.

Como mencionado anteriormente os resultados apresentados nos ensaios ocorreram da forma que era esperada no projeto, ou seja, apresentaram uma margem de erro aceitável frente a um projeto que apresentou como requisito restrição no tempo de desenvolvimento.

Portanto conclui-se que o projeto apresentou resultados satisfatórios de simulação de carga e aquisição de dados, além de suprir a necessidade principal a que esse projeto foi proposto que é a realização de testes de fontes chaveadas de forma automática.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES; “PROCEDIMENTOS DE TESTES E INSPEÇÕES DE FONTES DE CORRENTE CONTÍNUA DE 12V”; PRÁTICA NÚMERO 240-501-509 ITEM 8.06 E 8.08; VISITADO NO DIA 16 DE DEZEMBRO DE 2009; [HTTP://SISTEMAS.ANATEL.GOV.BR/SDT/NOVO/CONSULTAS/NUMERO.ASP?VARMENU=PRATICAS&VARAUX=1&NUMERO=240501509](http://sistemas.anatel.gov.br/sdt/novo/consultas/numero.asp?varmenu=praticas&varaux=1&numero=240501509).
- [2] GEORGE CLAYTON, STEVE WINDER; “OPERATIONAL AMPLIFIERS”; 2003; OXFORD; EUA.
- [3] MONSON H. HAYES; “DIGITAL SIGNAL PROCESSING”; McGraw-Hill; SCHAUM’S OUTLINES; 2001; SAN FRANCISCO; EUA.
- [4] IVOR HORTON; “BEGINNING C”; 2000; APRESS; EUA.
- [5] ANDREW N. SLOSS, DOMINIC SYMES, CHRIS WRIGHT; “ARM SYSTEM DEVELOPER’S GUIDE”; 1999 ; SAN FRANCISCO; EUA.
- [6] NXP; “LPC23XX USER MANUAL”; REV03; 2009; EUA.
- [7] KENG C. WU; “SWITCH-MODE POWER CONVERTERS”; 1998; SAN DIEGO; EUA.
- [8] MARTY BROWN; “PRACTICAL SWITCHING POWER SUPPLY DESIGN”; MOTOROLA SEMICONDUCTORS; 1997, INC; SAN DIEGO; EUA.
- [9] YEDDO B. BLAETH; “APOSTILA DE APLICAÇÕES INDÚSTRIAS DA ELETRÔNICA”; 2000; RIO GRANDE DO SUL; BRASIL.
- [10] WIKIPEDIA; “PADRÃO RS-232”, SITE: [HTTP://PT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/RS-232](http://pt.wikipedia.org/wiki/RS-232).