



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



LAÉRCIO FURINI

DISPOSITIVO DE TESTES DE REGULADORES DE TENSÃO
APLICADO A GERADORES *BRUSHLESS*

Canoas, Dezembro de 2012



LAÉRCIO FURINI

**DISPOSITIVO DE TESTES DE REGULADORES DE TENSÃO
APLICADO A GERADORES *BRUSHLESS***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Elétrica da ULBRA como um
dos requisitos obrigatórios para a obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista

Departamento:

Engenharia Elétrica

Área de Concentração

Eletrônica de Potência

Professor Orientador:

Dr. Eng. Eletr. João Carlos Verneti dos Santos – CREA-RS: RS045852-D

Canoas

2012



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do Autor: Laércio Furini

Matrícula: 062009754-0

Título: Protótipo de Testes de Reguladores de Tensão aplicado a Geradores *Brushless*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Professor Orientador:

Dr. Eng. Eletr. João Carlos Vernetti dos Santos

CREA-RS: RS045852-D

Banca Avaliadora:

Dr. Eng. Eletr. Marília Amaral da Silveira

CREA-RS: 050909-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Dr. Eng. Eletr. Nolvi Francisco Baggio Filho

CREA-RS: 139435-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Assinaturas:

Autor
Laércio Furini

Orientador
João Carlos Vernetti dos Santos

Avaliador
Marília Amaral da Silveira

Avaliador
Nolvi Francisco Baggio Filho

Relatório Aprovado em:



DEDICATÓRIA

Dedico para minha mãe e para meu pai.
Dedico para meus irmãos.



AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Terezinha e a meu pai Benó (in memoriam) por tudo o que realizaram para que eu pudesse concluir minha graduação.

Aos meus irmãos Leandro e Leonardo pelo apoio e incentivo recebido.

A Deus por possuir uma família tão unida.

Aos meus avós maternos Hermes Ortolan e Amábil Chiodi pela simplicidade e caráter, transmitindo apoio em minha vida.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao Professor Verneti pela atenção dispensada, idéias e valiosas sugestões que contribuíram para o aprimoramento deste trabalho.

A todos os professores do curso de graduação de engenharia elétrica da Universidade Luterana do Brasil - Ulbra, são docentes e pessoas de caráter ímpar, realizando e desempenhando o crescimento dos alunos deste curso, o meu reconhecimento.

Agradeço à empresa Stemac Grupos Geradores pelo empréstimo de componentes e equipamentos cedidos.

Aos colegas e amigos em especial Francisco Janke, Gustavo Imperatori, Mauro Nunes, Diego Torma, Felipe Ferreira, Rafael Barboza, Rogério Geremias, Matias Rossato e Alexandre Umsza pelas sugestões e observações valiosas.



EPÍGRAFE

Se os bens materiais não se transformarem, em nossas mãos, em promoção do bem comum, em benefício dos outros, tornam-se ídolos que nos escravizam, tornando-nos incapazes de viver plenamente.

Afastam-nos os caminhos de cristo e de seu evangelho.

A fortuna e o dinheiro são meios de realização e não fins em si mesmos. Devem ser usados, com espírito cristão, com alegria, amor, generosidade e sabedoria.

Dom Dadeus Grings



RESUMO

FURINI, Laércio. **Protótipo de Testes de Regulador de Tensão Aplicado a Geradores *Brushless***. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2012.

O setor de energia vem sendo alavancado pelo aumento crescente do consumo industrial, e aliado a todas as fontes de geração de energia estão os grupos geradores, onde geradores elétricos são acoplados a motores de combustão interna gerando eletricidade. Neste cenário, o uso de reguladores de tensão são essenciais para o funcionamento destes grupos geradores e são os responsáveis pelo correto funcionamento do equipamento. O presente projeto teve por objetivo principal desenvolver um dispositivo de testes aplicado aos reguladores de tensão. Testes de validação de funcionamento dos reguladores são realizados antes do início de fabricação e montagem dos GMG's (Grupos Motores Geradores). O trabalho envolve a elaboração de um sistema de controle para simular o funcionamento de um gerador e assim a possibilidade de testar um regulador de tensão em bancada, através deste dispositivo. O sistema funciona de forma automática, com o desenvolvimento de um supervisor em linguagem C no software Builder através do microcontrolador PIC16F877A. O sistema proporciona a verificação do correto funcionamento dos reguladores através da utilização do hardware e software desenvolvidos.

Palavras chave: Regulador de Tensão. Geradores Elétricos. Triac. Sistema de Controle, Ensaio.



ABSTRACT

FURINI, Laércio. Test Prototype of a Voltage Regulator Applied on *Brushless* Generators. Graduation Monograph of Electrical Engineering – Electrical Engineering Department. Universidade Luterana do Brasil, Canoas, RS, 2012.

The energy sector has been launched by crescent growing of industrial consumption, and linked to all sources of energy generation are the generator sets, where the electrical generators are coupled to internal combustion engines producing the electricity. At this sight, the use of the voltage regulators is essential to the function of those generator sets and are responsables by the accurate functioning of such equipment. The present project purposes to develop a test device applied to voltage regulators. The validation tests of functioning of the voltage regulators will take place before the beginning of fabrication and mounting of generator sets engines. This work involves the preparation of a control system to simulate the functioning of a generator and thereby the potentiality to test a voltage regulator on bench by this device. The system will have an automatic functioning by a supervisory developed in C programming language at Builder software by the microcontroller PIC16F877A. The system will provide the check of correct functioning of regulators by a hardware and software developed.

Key Words: Voltage Regulator. Electrical Generator. Triac. Control System, Test.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração do Galvanômetro	3
Figura 2 - Gerador Elétrico	4
Figura 3 - Armadura Girante.....	5
Figura 4 - Armadura Fixa.....	6
Figura 5 - Sistema Trifásico	8
Figura 6 - Gerador com Excitação por Escovas.....	8
Figura 7 - Gerador com Bobina Auxiliar (<i>Brushless</i>).....	9
Figura 8 - Sistema de Controle	10
Figura 9 - Sistema de malha Aberta.....	11
Figura 10 - Sistema de malha Fechada.....	12
Figura 11 - Gráfico de Resposta	13
Figura 12 - Gráfico de Impulso.....	14
Figura 13 - Gráfico de Degrau.....	14
Figura 14 - Gráfico de Rampa	15
Figura 15 - Característica Estática e Símbolo.....	17
Figura 16 - Quadrantes de Operação do TRIAC.....	18
Figura 17 - Forma de Onda da Tensão na Carga.....	19
Figura 18 - Diagrama de Blocos do TCA 785.....	20
Figura 19 - Formas de Onda do TCA 785.....	21
Figura 20 - Pinagem do Microcontrolador PIC16F877A	24
Figura 21 - Foto do Hardware do Dispositivo de Testes de Reguladores de Tensão.....	25
Figura 22 - Diagrama de Blocos	27
Figura 23 - Conexão para até 300Vca	28
Figura 24 - Conexão para até 600Vca	28
Figura 25 - Circuito Elétrico do Divisor Resistivo.....	29
Figura 26 - Circuito Elétrico de Medição do Shunt.....	29
Figura 27 - Circuito Elétrico de Interface PIC-TCA 785.....	30
Figura 28 - Tela do Supervisório - Seleção da Porta de Comunicação.....	31
Figura 29 - Tela do Supervisório - Banco de Dados.....	32
Figura 30 - Tela do Supervisório - Modo Manual.....	32
Figura 31 - Tela do Supervisório - Modo Automático	33
Figura 32 - Ambiente de Desenvolvimento MPLAB v8.66	34
Figura 33 - Gravador DII Personal Pic.....	35
Figura 34 - Fluxograma do Software.....	36
Figura 35 - Análise da Indutância	38
Figura 36 - Corrente de Excitação	38
Figura 37 - Tensão Eficaz do Gerador (Simulada)	40
Figura 38 - Tensão da Excitatriz	41
Figura 39 - Tensão da Excitatriz	41
Figura 40 - Tensão da Excitatriz	42
Figura 41 - Corrente da Excitatriz	42
Figura 42 - Corrente da Excitatriz	43
Figura 43 - Corrente da Excitatriz	43
Figura 44 - Tensão x Corrente	44
Figura 45 - Amostragem de tensão.....	44
Figura 46 - Amostragem de Corrente.....	45



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do Teste.....	40
Tabela 2 - Valores de Aceitação	40
Tabela 3 - Características	61
Tabela 4 - Descrição dos Terminais.....	61



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

rpm: Rotações por Minuto.

Triac: Triodo de Corrente Alternada.

AC: Corrente Alternada.

DC: Corrente Contínua.

SCR: Retificador Controlado de Silício.

TTL: Lógica Transistor Transistor.

MOS: Semicondutor Metal Óxido.

CMOS: Semicondutor Metal Óxido Complementar.

CI: Circuito Integrado.

PID: Proporcional Integral e Derivativo.

Vca: Tensão Alternada.

Vcc: Tensão Contínua.

USB: Universal Serial Bus

EEPROM: Memória de Leitura Programável Apagável Eletricamente.

PIC: Controlador de Interface Programável



LISTA DE SÍMBOLOS

B – *densidade de campo magnético*

e – *força eletromotriz*

F – *frequência (Hz)*

n – *rotação síncrona*

p – *número de pólos*

f_{em} – *força eletromotriz induzida*

N – *número de espiras*



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Visão Geral do Problema	2
1.2. Objetivos	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Geradores Elétricos.....	3
2.1.1 Princípio Funcionamento	5
2.1.2 Construção	6
2.1.3 Geração de Corrente Trifásica	7
2.2. Tipos de Excitação de Geradores Elétricos	8
2.2.1 Excitação com Escovas.....	8
2.2.2 Excitação sem Escovas (<i>Brushless</i>)	9
2.3. Sistemas de controle	10
2.3.1 Sistemas a Malha Aberta	11
2.3.2 Sistemas a Malha Fechada.....	11
2.3.3 Respostas Transitória e Permanente.....	12
2.3.4 Estabilidade.....	13
2.3.5 Análise da resposta de sistemas.....	14
2.4. Condicionamento de Sinais e Instrumentação	15
2.4.1 Sensores	16
2.4.2 Transdutores.....	16
2.4.3 Instrumentos de Medidas	16
2.5. Circuitos em eletrônica de potência	17
2.5.1 TRIAC (Triode Alternating Current)	17
2.5.1.1 Curva Característica e Símbolo do TRIAC	17
2.5.1.2 Modos de Disparo do TRIAC.....	18
2.5.1.3 Controle de Fase com o TRIAC	18
2.5.2 Circuito Integrado TCA 785	19
2.6. Microcontrolador PIC16F877A.....	23
2.6.1 Principais Características	23
2.6.2 Periféricos em Destaque	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1. Descrição Geral do Sistema	25
3.2. Descrição do Regulador de Tensão	26
Diagrama de Blocos	26
3.3. Descrição do Sistema de Potência.....	29
3.4. Medição de Corrente DC	29
3.5. Descrição do Sistema de Controle.....	30
3.6. Descrição do Supervisório	30
3.7. Descrição dos Sistemas Informáticos e Computacionais	33
3.7.1 Ambiente de Desenvolvimento	33
3.7.2 MPLAB IDE.....	34
3.7.3 Gravador Personal PIC.....	34
3.7.4 <i>Firmware</i>	35
3.7.5 Software.....	35



3.8.	Procedimento de Teste	36
3.9.	Análise da Indutância na Excitatriz	37
4.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
4.1.	Resultados Obtidos	39
4.2.	Tensão Eficaz AC (Simulação Gerador)	40
4.3.	Tensão DC da Excitatriz	40
4.4.	Corrente DC da Excitatriz	42
4.5.	Avaliação de Eficácia	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6.	REFERÊNCIAS	47
	GLOSSÁRIO	48
	APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE MICROCONTROLADOR PIC16F877A	49
	APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE COMUNICAÇÃO RS232	52
	APÊNDICE C – CÓDIGO FONTE BUILDER	54
	APÊNDICE D – CIRCUITOS ELÉTRICOS	59
	ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS REGULADORES DE TENSÃO	61
	ANEXO B – DIMENSÕES DO REGULADOR DE TENSÃO	62
	ANEXO C – FOTO DO REGULADOR DE TENSÃO	63



1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso de alternadores (geradores elétricos de corrente alternada) acoplados a motores de combustão interna está largamente difundido. Seu uso está associado às mais diversas aplicações e necessidades, atendendo a variados segmentos da indústria.

Como os sistemas de geração de energia a diesel atendem cargas sob regime de operação variável, é necessário o uso de reguladores de tensão junto aos geradores. As empresas que fornecem estes grupos geradores precisam montar o sistema, já que geradores e reguladores são fabricados separadamente. Na linha de montagem destes equipamentos, observa-se que os equipamentos a serem conectados deveriam estar em perfeitas condições de funcionamento, já que um defeito não previsto em um regulador de tensão, por exemplo, acarretaria na interrupção da sequência de montagem, ocasionando eventuais atrasos e, conseqüentemente, prejuízos para o fornecedor e usuário.

Neste contexto, o presente trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de um protótipo de testes de regulador de tensão para geradores de energia elétrica. O dispositivo é composto por um software de monitoramento de grandezas elétricas de tensão e corrente, onde o mesmo monitora a atuação do regulador de tensão no gerador. Através de um sistema de monitoramento da tensão do gerador, tempo de resposta e atuação do circuito regulador, pode-se levantar estimativas de falhas e erros presentes nos reguladores.

O protótipo faz a aquisição e tratamento dos dados monitorados do regulador a ser testado, entre os quais, grandezas elétricas de tensão e corrente. Proporciona, assim, uma maneira de avaliar a correta operação do regulador de tensão e determinação de tempos de respostas. O dispositivo é implementado e testes são efetuados com diferentes reguladores.

1.1. Visão Geral do Problema

Atualmente, os testes de reguladores e sua parametrização são realizados na linha de produção. Com o protótipo de testes, será elaborada uma *giga* para que os testes de reguladores sejam realizados antes dos mesmos entrarem na linha de produção, facilitando e diminuindo paradas para verificar a correta configuração do regulador. A falta de um produto que venha atender as necessidades da indústria no ramo de geradores de uma forma pontual foi a motivação para a realização de uma *giga* de testes.

Giga é um hardware desenvolvido com finalidade específica de testes, contendo componentes eletroeletrônicos dispostos para a realização de medidas.

1.2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema automatizado de teste de reguladores de tensão aplicado a geradores elétricos *brushless*.

Para realizar o presente trabalho, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Implementar uma *giga* de testes para reguladores de tensão, para minimizar problemas, como a perda de tempo na linha de montagem de grupos geradores. A partir deste protótipo será feito um pré ajuste nos reguladores de tensão a fim de maximizar o tempo em cabines de testes.

- O protótipo foi construído visando ser um meio para realizar testes nos reguladores de tensão, onde um hardware foi desenvolvido para esta atividade.

- A aplicação de conceitos de várias áreas da engenharia, foram utilizadas para a construção deste protótipo. Dentre os quais destaca-se com maior ênfase, circuitos elétricos, sistemas de controle e instrumentação eletroeletrônica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, é feita uma breve descrição do funcionamento de geradores elétricos e de sua configuração trifásica.

2.1. Geradores Elétricos

O princípio da indução eletromagnética foi descoberto na Inglaterra em 1831 por Michael Faraday, e nos Estados Unidos, mais ou menos na mesma época, por Joseph Henry. Este gerador consistia basicamente de um imã que se movimentava dentro de uma espira, ou vice versa, provocando o aparecimento de uma força eletromotriz (DT5 Características e Especificações de Geradores - WEG, 2012), como ilustra a Figura 1.

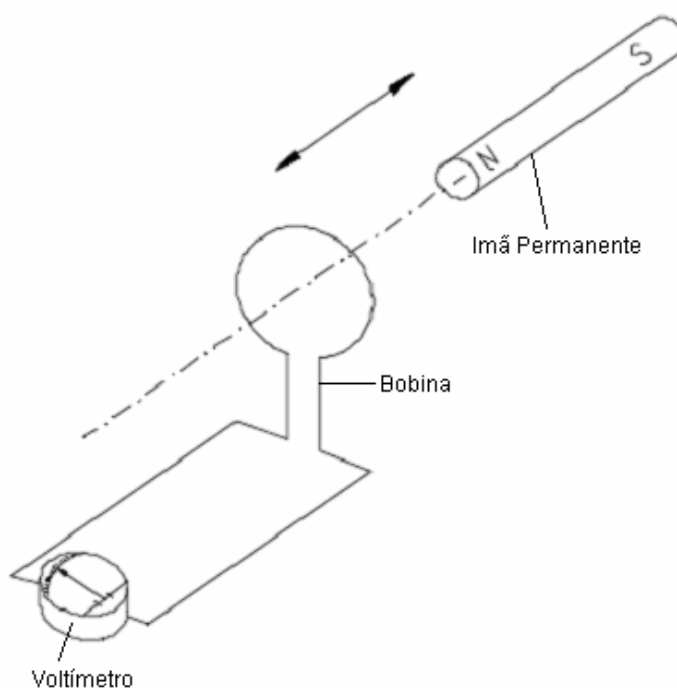


Figura 1 - Ilustração do Galvanômetro
(FONTE: <http://www.weg.net/>. Acessado em: Junho de 2012)

As máquinas elétricas são constituídas por diferentes enrolamentos ou grupos de bobinas. Na armadura encontram-se os enrolamentos nos quais

normalmente, circulam correntes alternadas. Já no enrolamento de campo podem circular tanto correntes alternadas quanto contínuas, dependendo do tipo da máquina. Podem-se destacar três tipos principais de máquinas elétricas rotativas: de corrente contínua, de indução e as síncronas (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006). Nas máquinas elétricas de corrente contínua, o enrolamento de armadura situa-se no rotor e a corrente circula no mesmo por meio de escovas. O enrolamento de campo está situado no estator e é excitado através de corrente contínua. De outro modo nas máquinas de indução, no caso de motores, a excitação atua nos enrolamentos de armadura, nos quais correntes alternadas de excitação são aplicadas diretamente a esses enrolamentos. Nos enrolamentos de campo também circulam correntes alternadas. Nestas máquinas o rotor não gira em sincronismo com o campo magnético girante criado no estator, ocorre um escorregamento do rotor em relação ao fluxo, originando corrente no rotor produzidas por indução. Essas máquinas são largamente aplicadas como motores e, no contexto de sistema elétrico de potência possuem poucas aplicações como geradores. Na Figura 2 a seguir pode-se visualizar as partes que compõem o gerador elétrico.

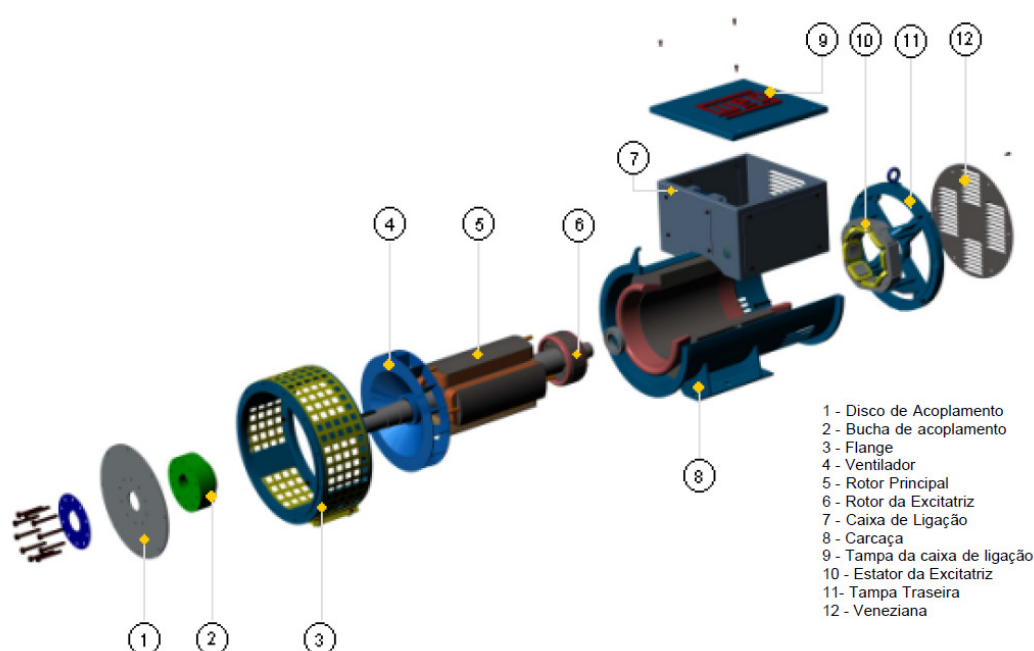


Figura 2 - Gerador Elétrico
(FONTE: Data book WEG, – pág. 98)

Nas máquinas síncronas os enrolamentos de armadura alojam-se no estator. O enrolamento de campo situa-se no rotor e nesse enrolamento circula corrente contínua, a qual é fornecida através de um sistema de excitação

(FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006). Alguns fatores de ordem prática contribuem para a definição da posição dos enrolamentos das máquinas síncronas, sendo vantajoso possuir o enrolamento de campo de baixa potência e apenas um único enrolamento no rotor e elevada potência nos enrolamentos de armadura.

2.1.1 Princípio Funcionamento

A principal característica de um gerador elétrico é a conversão de energia mecânica em energia elétrica (DT5 Características e Especificações de Geradores - WEG, 2012). A Figura 3 mostra o aspecto construtivo de um gerador elementar, o qual é constituído por uma única espira imersa em um campo magnético produzido por um ímã permanente. A espira gira em torno de seu eixo, o qual é acionado por uma fonte externa de energia mecânica. O fato de a espira girar imersa no campo do ímã permanente faz com que a distância entre os lados da espira e os polos do ímã varie, originando o efeito de um campo magnético variável no tempo. A espira móvel é denominada armadura girante.

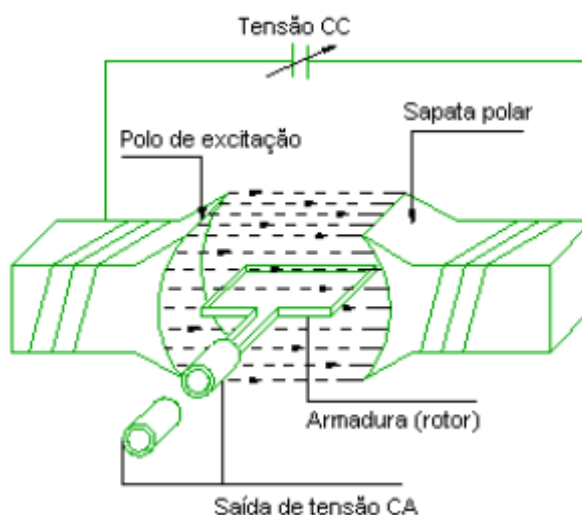


Figura 3 - Armadura Girante
(FONTE: <http://www.weg.net/>. Acessado em: Junho de 2012)

O movimento relativo entre a espira e o ímã permanente produz o efeito de um campo magnético variável através da bobina, induzindo uma força magnetomotriz (f.m.e) na mesma. Segundo a lei de Faraday, o valor instantâneo da f.e.m induzida no condutor pode ser determinado através da equação 1:

$$e = 2N.B.i.L.\text{sen}(\theta) \quad (1)$$

em que:

B – densidade de fluxo magnético;

l – comprimento ativo do condutor;

i – corrente;

N – número de espiras;

Com isso, a variação da força eletromotriz no condutor em função do tempo é determinada pela distribuição da indução eletromagnética sob um pólo.

Nos geradores de campo giratório, a tensão da armadura é retirada diretamente do enrolamento da armadura (estator) sem passar pelas escovas (Figura 4).

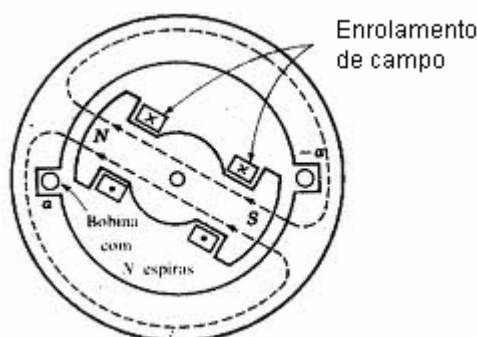


Figura 4 - Armadura Fixa
(FONTE: FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006, pág. 178)

2.1.2 Construção

Os geradores síncronos são subdivididos em geradores de pólos lisos e de pólos salientes. Os de pólos lisos operam a altas velocidades como é o caso de turbinas a vapor, são utilizados geradores síncronos de dois ou quatro pólos. Contudo os de pólos salientes possuem características de geradores hidrelétricos, operando em velocidades relativamente baixas, para que possa produzir a freqüência desejada pelo sistema elétrico no qual está interligada, necessitando de um grande número de pólos. (GROSS, 1986, p217).

Uma máquina com um par de polos terá a cada giro um ciclo completo da tensão gerada. Para máquinas de pp (pares de pólos), a cada giro, haverá pp ciclos completos de tensão do gerador. Os enrolamentos podem ser construídos com um número maior de par de pólos distribuídos alternadamente em um norte e sul, obtendo um ciclo a cada par. A freqüência da tensão gerada pode ser expressa pela equação 2.

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \quad (2)$$

Na equação 2, p é o número de pólos, n é a rotação síncrona (em rpm) e 120 é um fator de conversão para obter-se a frequência em hertz.

Nos geradores de pólos lisos, a relutância do circuito magnético do entreferro dos rotores é constante ao longo de toda a periferia do núcleo do ferro. Nos geradores de pólos salientes, os rotores apresentam variação na relutância do circuito magnético do entreferro ao longo da periferia do núcleo. Nesse rotores existem as regiões conhecidas como interpolares, onde o valor da relutância do entreferro é grande e portanto tornando visível a saliência dos pólos (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006).

Os geradores síncronos podem possuir enrolamentos de amortecimento, os quais, têm a finalidade de amortecer as oscilações que ocorrem em condições oscilatórias. Nos geradores que possuem esse tipo de enrolamento, enquanto os estes estiverem operando em regime permanente não haverá tensão nem corrente induzida nas bobinas do enrolamento de amortecimento. Qualquer situação que resulte em oscilação no rotor, tensão e corrente serão induzidas nesses enrolamentos, que assim garantem uma maior estabilidade ao gerador.

2.1.3 Geração de Corrente Trifásica

Um sistema de geração de corrente trifásica pode ser obtido a partir de três sistemas monofásicos em que as respectivas tensões estão defasadas entre si de 120° elétricos (Figura 5). A tensão induzida se refere a uma das fases, sendo que as demais fases possuem tensões com mesmas características, porém defasadas em 120 graus elétricos, pelo fato de os eixos magnéticos das fases estarem defasados de 120 graus entre si. O enrolamento deste tipo de gerador é constituído por três conjuntos de bobinas dispostas simetricamente entre si formando ângulos de 120°. Em geral o passo do enrolamento é encurtado, ou seja, os lados das bobinas não estão defasados de 180 graus (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS, 2006). A ligação dos sistemas monofásicos para obtenção do sistema trifásico é realizada de duas maneiras: ligação estrela ou ligação triângulo.

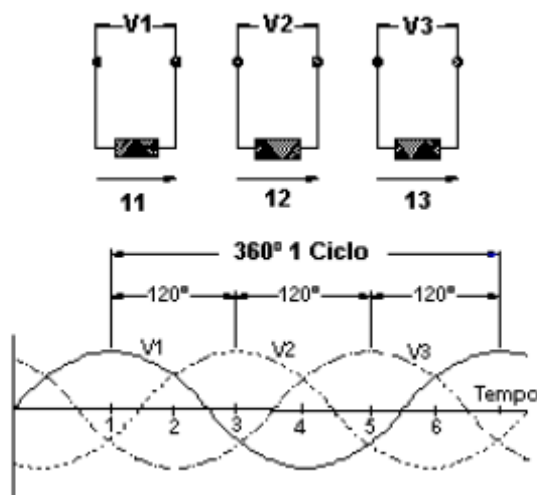


Figura 5 - Sistema Trifásico
(FONTE: <http://www.weg.net/>. Acessado em: Junho de 2012)

2.2. Tipos de Excitação de Geradores Elétricos

De modo geral, os geradores podem ser excitados com ou sem escovas. Os dois tipos de excitação são brevemente descritos a seguir.

2.2.1 Excitação com Escovas

Nos geradores excitados com escovas, o campo no rotor é alimentado em corrente contínua através das escovas e anéis coletores e a tensão alternada de saída para alimentação das cargas é retirada do estator (armadura) (DT5 Características e Especificações de Geradores - WEG, 2012). O campo é alimentado por uma fonte chamada excitatriz estática. O valor eficaz da tensão de saída do gerador é mantido constante através do regulador de tensão que supervisiona a tensão de saída e atua na excitatriz estática (Figura 6). Uma desvantagem é que exige manutenção periódica nas escovas e porta escovas.

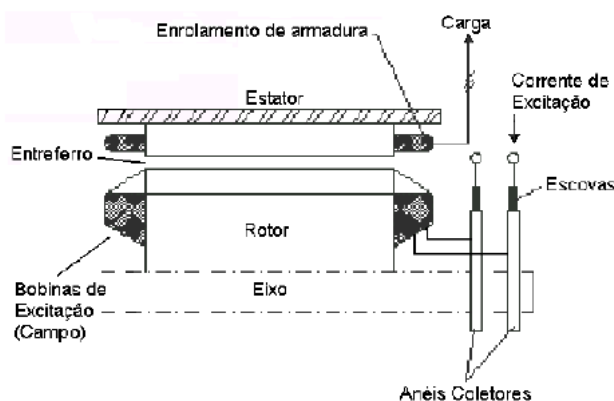


Figura 6 - Gerador com Excitação por Escovas

(FONTE: <http://www.weg.net/>. Acessado em: Junho de 2012)

2.2.2 Excitação sem Escovas (*Brushless*)

Nos geradores com excitação sem escovas, a corrente contínua para alimentação do campo é obtida através de indução magnética, sem a utilização de escovas e anéis coletores (DT5 Características e Especificações de Geradores - WEG, 2012). Este tipo de gerador possui uma excitatriz principal, com armadura girante e campo fixo. A armadura da excitatriz é montada no eixo do gerador. Possui também um circuito com diodos retificadores (diodos girantes) em seu eixo para alimentação do campo principal em corrente contínua. Estes diodos recebem tensão alternada do rotor da excitatriz principal, tensão esta induzida pelo estator da excitatriz principal que é alimentado em corrente contínua proveniente do regulador de tensão (Figura 7).

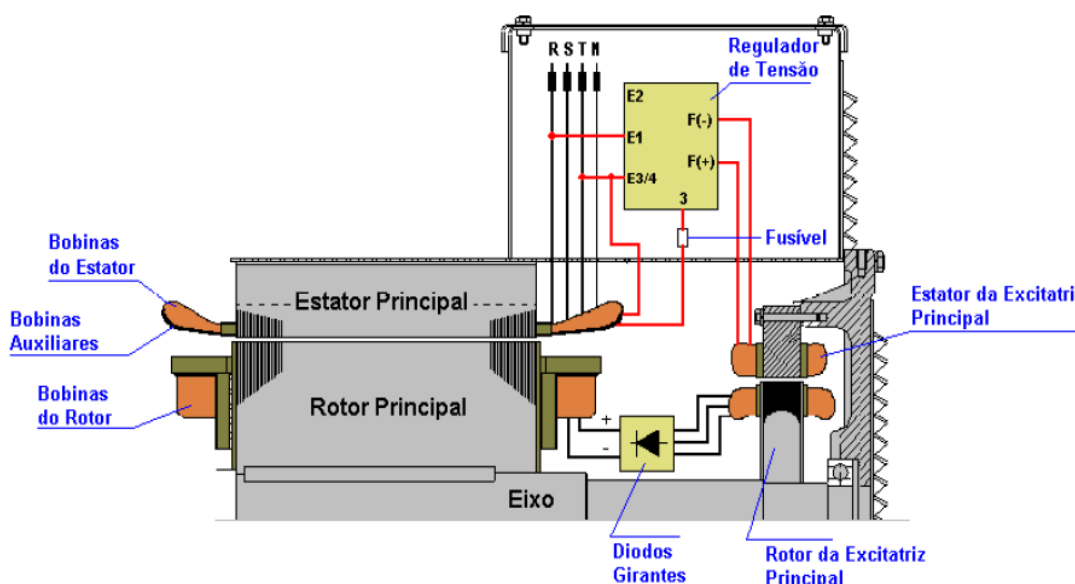


Figura 7 - Gerador com Bobina Auxiliar (*Brushless*)
(FONTE: <http://www.weg.net/>. Acessado em: Junho de 2012)

O regulador de tensão monitora constantemente a tensão de saída do gerador e atua no estator da excitatriz (DT5 Características e Especificações de Geradores - WEG, 2012). Desta maneira, o valor eficaz da tensão de saída do gerador é mantido constante. A tensão alternada de saída do gerador, para alimentação das cargas, é retirada do seu estator principal (armadura). A potência para alimentação do regulador de tensão nos geradores brushless pode ser obtida de

diferentes maneiras, as quais definem o tipo de excitação da máquina, como descrito a seguir:

- Alimentação através de bobina auxiliar: bobinas auxiliares independentes são alojadas nas ranhuras do estator principal da máquina (armadura principal). O regulador de tensão recebe tensão alternada dessas bobinas e alimenta o campo da excitatriz principal com tensão retificada e regulada.
- Alimentação através de excitatriz auxiliar a ímãs permanentes (PMG): O campo do rotor é produzido por ímãs montados no próprio eixo do gerador, e estator (armadura) fixado na tampa traseira do gerador em compartimento separado do estator principal da máquina. O regulador de tensão recebe a tensão trifásica alternada gerada no estator da excitatriz auxiliar (armadura da excitatriz auxiliar), retifica, regula e aplica a mesma no estator da excitatriz principal do gerador.
- Alimentação sem excitatriz auxiliar: A alimentação é realizada pelo próprio enrolamento de armadura da máquina, através de tap's para baixar a tensão ou TP's para redução da tensão. O regulador de tensão recebe tensão alternada de uma dessas fontes, retifica, regula e aplica a mesma no estator da excitatriz principal do gerador (campo da excitatriz principal).

A principal vantagem da utilização de geradores *brushless* está na não utilização de escovas e porta escovas conseguindo com isso manutenção reduzida.

2.3. **Sistemas de controle**

Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos reunidos com o propósito de controlar as saídas dos processos. Na sua forma mais simples, um sistema de controle fornece uma saída ou resposta para uma dada entrada ou estímulo, conforme Figura 8 (NISE, 2002).

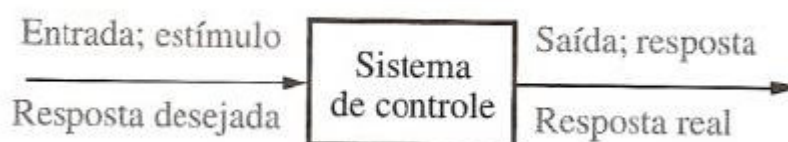


Figura 8 - Sistema de Controle

(FONTE: Nise, 2002 – pág. 2)

Os sistemas de controle são usados para facilitar o uso de algum sistema tornando possível o controle de sua resposta. Os sistemas de controle são

encontrados por toda a parte ao longo da indústria, controlando e regulando processos.

Os sistemas em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle são denominados sistemas de malha aberta. Um sistema que estabelece uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença das duas como meio de controle é denominado sistema de malha fechada (OGATA, 2010). A seguir, são descritos os dois tipos de sistemas de controle.

2.3.1 Sistemas a Malha Aberta

Em um sistema de malha aberta, o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparação com a entrada (OGATA, 2010). A Figura 9 ilustra este sistema. O controlador atua sobre um processo ou planta, a entrada é frequentemente tomada como referência, enquanto que a saída é chamada de variável controlada. Demais sinais são mostrados somados às saídas do controlador e do processo por meio de junções de adição, produzindo a soma algébrica de sinais de entrada usando sinais associados.

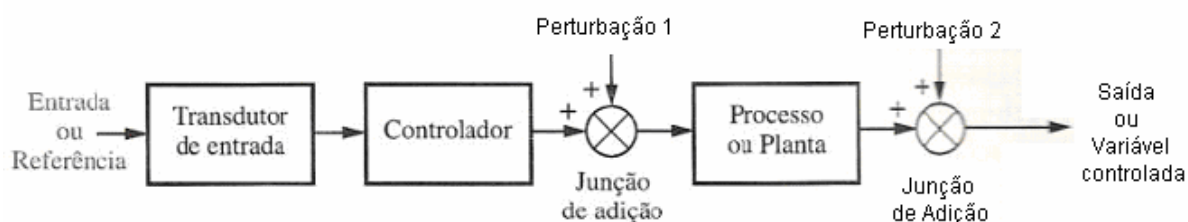


Figura 9 - Sistema de malha Aberta

(FONTE: Nise, 2002 – pág. 9)

A característica que distingue um sistema a malha aberta é que este não pode compensar a ação de quaisquer perturbações que sejam adicionados ao sinal atuante do controlador. Os sistemas a malha aberta não corrigem os efeitos de perturbações e são comandados unicamente com base na entrada.

2.3.2 Sistemas a Malha Fechada

As desvantagens dos sistemas a malha aberta, especificamente a sensibilidade a perturbações e a incapacidade de corrigir os efeitos destas perturbações, podem ser corrigidas nos sistemas de malha fechada (NISE, 2002). A Figura 10 apresenta esquematicamente um sistema de malha fechada. Neste sistema, um transdutor de entrada converte a forma de entrada na forma de processamento usada pelo controlador; na saída, o transdutor de saída realiza o

mesmo procedimento medindo a resposta de saída convertendo para o controlador. Os sistemas a malha fechada compensam perturbações medindo a resposta da saída, retornando esta medição através de um canal de retroação e comparando essa resposta com a entrada na junção de adição.

Os sistemas a malha fechada apresentam como vantagem maior precisão que os sistemas a malha aberta. Adicionalmente, possuem menor sensibilidade a ruídos, a perturbações e a mudanças nas condições ambientes (NISE, 2002). A resposta transitória e o erro de estado estacionário podem ser controlados com mais flexibilidade nestes sistemas (estas condições de operação são descritas abaixo).

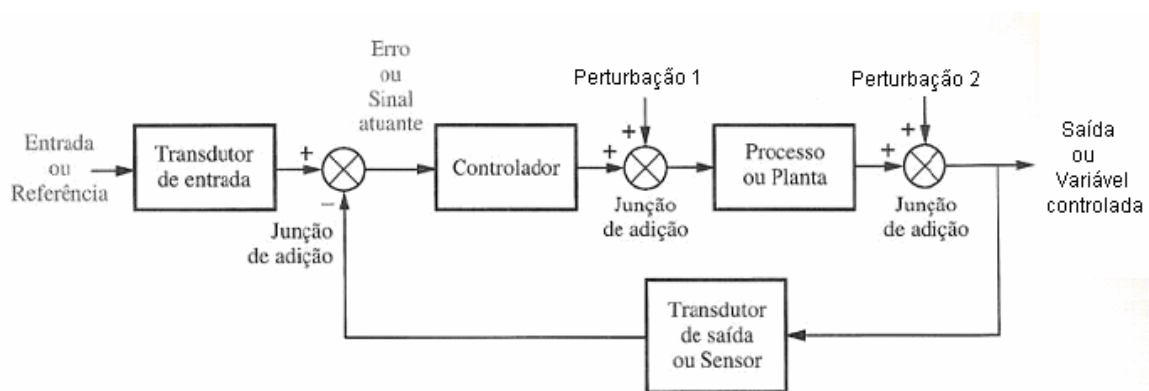


Figura 10 - Sistema de malha Fechada

(FONTE: Nise, 2002 – pág. 10)

Em muitos sistemas modernos, o controlador ou compensador é um computador digital (NISE, 2002). Sistemas de controle são dinâmicos, pois eles respondem a uma entrada submetida a uma resposta transitória antes de alcançar a resposta de estado estacionário, que geralmente se parece com a entrada.

2.3.3 Respostas Transitória e Permanente

A resposta em função do tempo de um sistema a um estímulo ou sinal de entrada pode ser decomposta em duas componentes: a resposta transitória e a resposta permanente, também conhecida como resposta forçada ou de estado estacionário. A resposta transitória é a parte inicial da resposta, que ocorre imediatamente após uma variação abrupta do sinal de entrada, podendo esta última ser oriunda de uma operação de chaveamento. O efeito transitório, como o próprio nome indica, tende a desaparecer com o passar do tempo e ocorre em virtude da presença de efeitos capacitivos (oposição a variações bruscas de tensão) e indutivos (oposição a variações bruscas de corrente) no sistema. A resposta

transitória é também conhecida como resposta natural, por depender exclusivamente da natureza dos componentes da rede do sistema (resistiva e capacitiva ou indutiva), sendo independente da fonte de excitação. O conhecimento da parcela transitória da resposta é importante, entre outros motivos, para o correto dimensionamento dos dispositivos de proteção do sistema e, também, para avaliar a estabilidade do sistema.

Após cessar a resposta transitória, permanece a outra parte da resposta que é permanentemente forçada pela fonte de excitação. Portanto, a forma da resposta permanente depende da fonte de excitação. Nesta etapa, diz-se que o sistema entra em regime de operação permanente ou de estado estacionário. É importante observar que qualquer sistema de controle físico apresenta, inerentemente, erros estacionários na resposta a certos tipos de entradas (OGATA, 2010).

2.3.4 Estabilidade

A resposta total de um sistema é a soma da resposta natural e forçada. A resposta natural descreve o modo pelo qual o sistema dissipa ou acumula energia. Como anteriormente mencionado, a forma desta resposta é dependente somente do sistema e a resposta forçada é dependente da entrada (NISE, 2002). O somatório das duas resulta na resposta completa. Para um sistema de controle, a resposta natural deve tender a zero, deixando somente a resposta forçada oscilar. Em alguns sistemas, contudo a resposta natural cresce sem limites em vez de diminuir até zero ou oscilar. Com isso, a resposta natural é tão maior que a resposta forçada, que o sistema não é mais controlado; esta condição é chamada de instabilidade.

Os sistemas de controle devem ser projetados para serem estáveis, onde sua resposta natural deve tender a zero quando o tempo tende ao infinito ou, no máximo, deve oscilar. Na Figura 11, são mostradas as respostas transitórias e de estado estacionário, juntamente com o erro estacionário.

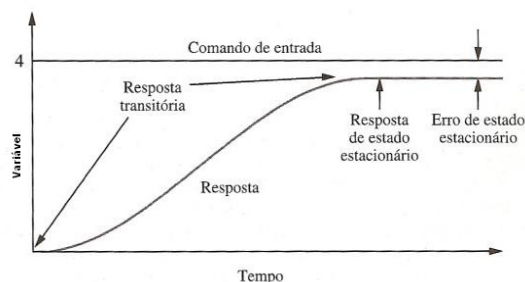


Figura 11 - Gráfico de Resposta

(FONTE: Nise, 2002 – pág. 8)

2.3.5 Análise da resposta de sistemas

Para verificar um projeto analiticamente e durante a fase de ensaios, são usados sinais de entrada (NISE, 2002). Geralmente, para analisar o desempenho de um sistema, são selecionados sinais padronizados como impulso, degrau, rampa, parábola e senóide.

Um impulso é uma função do tempo (equação 3), cujo valor é infinito no instante zero e é nula em qualquer outro instante. Esta forma de onda, mostrada na Figura 12, é usada para introduzir energia inicial em um sistema, para que a resposta completa seja formada somente pela resposta transitória do sistema.

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{para } 0 - < t < 0^+ \\ 0 & \text{nos demais casos} \end{cases} \quad (3)$$

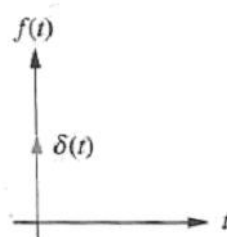


Figura 12 - Gráfico de Impulso
(FONTE: Nise, 2002 – pág. 19)

Uma entrada em degrau (Figura 13) representa um comando constante, como posição, velocidade ou aceleração. Sua expressão é mostrada na equação (4).

$$u(t) = \begin{cases} 1 & \text{para } t > 0 \\ 0 & \text{para } t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Geralmente, a resposta a um degrau é da mesma forma que a entrada.

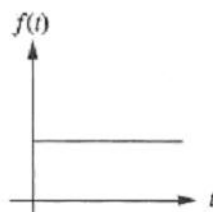


Figura 13 - Gráfico de Degrau
(FONTE: Nise, 2002 – pág. 19)

A entrada em rampa (Figura 14) representa o comando de um sinal crescendo linearmente com o tempo. A resposta a um sinal em rampa (equação 5) para teste de entrada produz informação adicional sobre o erro do estado estacionário. As entradas parabólicas também apresentam esta característica (NISE, 2002).

$$t.u(t) = \begin{cases} t & \text{para } t \geq 0 \\ 0 & \text{nos demais casos} \end{cases} \quad (5)$$

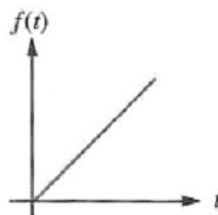


Figura 14 - Gráfico de Rampa
(FONTE: Nise, 2002 – pág. 19)

Entradas senoidais também podem ser usadas para testar um sistema físico de modo a se chegar a um modelo matemático.

Os sistemas de controle são alterados pelas flutuações nos valores dos componentes ou nos parâmetros do sistema. Tais sistemas devem ser construídos de modo que flutuações esperadas não degradem o desempenho além dos limites especificados.

2.4. Condicionamento de Sinais e Instrumentação

A instrumentação é fundamental nos processos de medições de grandezas físicas, estando presente no controle de vários sistemas.

Em muitos processos é necessário controlar variáveis, tais como tensão elétrica, corrente elétrica, temperatura ambiente, condutividade, etc.

Sensores e transdutores representam o componente sensorial dos sistemas de medição, que pertencem a um campo tecnológico denominado instrumentação. Instrumentação é o conjunto de dispositivos e técnicas utilizadas para monitorar ou controlar fenômenos físicos que ocorrem em um sistema termodinâmico (BALBINOT & BRUSAMARELO, 2006).

2.4.1 Sensores

Sensores são elementos específicos que transformam uma determinada grandeza física em uma grandeza passível de processamento (BALBINOT & BRUSAMARELO, 2006). O Sensor também pode ser definido como um dispositivo mecânico ou elétrico que responde a estímulos, não devendo atuar de forma a causar interferência na variável a ser monitorada. Dessa forma, destacam-se algumas características dos sensores, sendo:

- Sensibilidade: é a razão da variação da grandeza de entrada pela saída;
- Histerese: é a tendência de um material ou sistema de conservar as propriedades surgidas em decorrência de um estímulo na ausência deste;
- Resolução: define-se como resolução o menor intervalo entre duas medidas da grandeza física que provoca uma mudança no sinal de saída do sensor;
- Exatidão: Grau de proximidade entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro da variável a ser medida.

2.4.2 Transdutores

Transdutores podem ser definidos como um complemento de um elemento sensor com o objetivo de tornar possível a medição de determinada grandeza, ou mesmo melhorar as condições de medição (BALBINOT & BRUSAMARELO, 2006). São dispositivos que convertem um sinal de uma grandeza mensurável para um sinal correspondente em grandezas elétricas geralmente.

2.4.3 Instrumentos de Medidas

Os instrumentos sempre foram uma necessidade para qualquer atividade onde se deseja medidas precisas e resultados adequados em determinadas aplicações.

Os instrumentos são sistemas mecânicos, eletromecânicos ou eletrônicos que integram um sensor ou um transdutor a dispositivos que tem funções específicas de processamento de modo que sua saída mostre ou registre determinada variável dentro de unidades padronizadas (BALBINOT & BRUSAMARELO, 2006). São exemplos de instrumentos: Voltímetro, amperímetro, medidores de velocidade, medidores de temperatura, micrometro, etc.

Instrumentos para a medição de grandezas elétricas são ferramentas necessárias para o desenvolvimento e manutenção de produtos (BALBINOT & BRUSAMRELO, 2006). Utilizados em grande escala estão os voltímetros e amperímetros, são equipamentos indispensáveis na área de engenharia.

2.5. Circuitos em eletrônica de potência

A eletrônica de potência combina dispositivos de potência, de eletrônica e de controle. O controle eletrônico trata das características dinâmicas e de regime permanente dos sistemas de malha fechada. A parte de potência cuida dos equipamentos de potência rotativos e estáticos (RASHID, 1999).

A eletrônica de potência é primariamente baseada no chaveamento dos dispositivos semicondutores de potência (RASHID, 1999). Com o avanço tecnológico dos semicondutores de potência, as capacidades nominais e a velocidade de chaveamento dos dispositivos aumentaram significativamente.

No presente trabalho, é empregado o TRIAC como dispositivo semicondutor de potência, sendo feita a seguir uma breve descrição técnica do mesmo.

2.5.1 TRIAC (Triode Alternating Current)

O TRIAC é um dispositivo de três terminais que permite o controle de corrente alternada. Este nome é formado a partir das expressões em inglês “Triode” (de onde se extrai as letras TRI) e “Alternative Current” (que fornece as iniciais AC). O TRIAC equivale a dois tiristores (ou SCR’s, originário da expressão “Silicon Controlled Rectifier” ou Retificador Controlado de Silício) ligados em antiparalelo, montados em um único invólucro (ALMEIDA, 2006).

2.5.1.1 Curva Característica e Símbolo do TRIAC

A Figura 15 apresenta a característica estática e o símbolo do TRIAC.

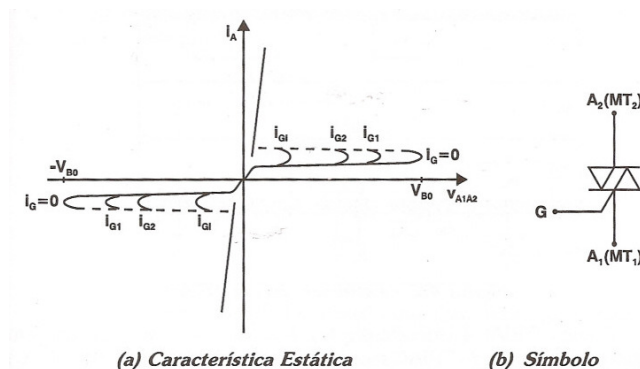


Figura 15 - Característica Estática e Símbolo

(FONTE: Almeida, 2006 – pág. 45)

Como pode ser observado na curva característica, o TRIAC pode conduzir nos dois sentidos de polarização (ALMEIDA, 2006). Este dispositivo semiconductor entra em condução de maneira análoga ao SCR, quando ultrapassa a tensão de *breakover* (V_{bo}) sem pulso no gatilho ou quando for aplicada uma corrente de gatilho. No estado de condução, o TRIAC apresenta-se quase como um curto circuito.

O TRIAC, além de conduzir em ambos os sentidos, pode ser disparado tanto por pulso positivo quanto por pulso negativo (ALMEIDA, 2006). Os terminais do TRIAC são chamados anodo 1 (A_1), anodo 2 (A_2) e gatilho (G). A terminologia terminal principal 1 (MT_1) e terminal principal 2 (MT_2) também é utilizada para os anodos.

2.5.1.2 Modos de Disparo do TRIAC

Costuma-se dizer que o TRIAC opera em quatro quadrantes. Tomando-se o terminal A_1 como referência, os quatro quadrantes são definidos pelas polaridades de A_2 e G, conforme Figura 16.

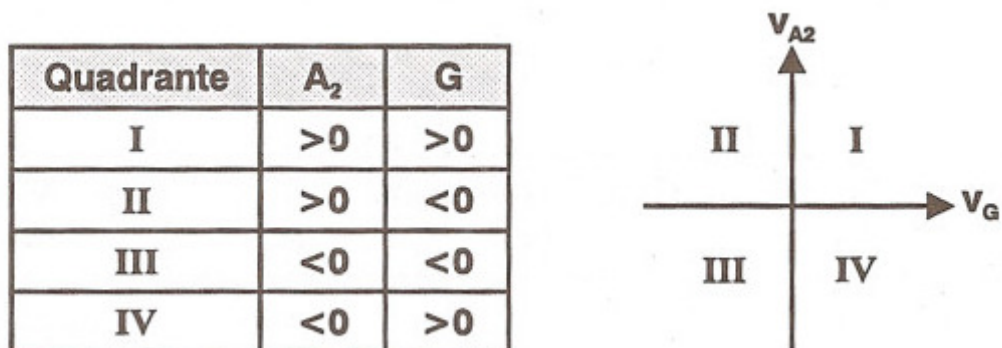


Figura 16 - Quadrantes de Operação do TRIAC

FONTE: Almeida, 2006 – pág. 47)

Os TRIAC's funcionam como chaves que podem ser controladas eletronicamente. Quando há corrente de gatilho, as chaves fecham; quando não há, as chaves permanecem abertas; só deixam conduzir no instante em que a corrente cai a zero.

2.5.1.3 Controle de Fase com o TRIAC

O TRIAC também pode ser utilizado para controle de fase de tensão alternada (ALMEIDA, 2006). Ele conduz corrente em ambos os sentidos, ou seja, o

controle de fase pode ser feito nos semiciclos positivo e negativo. Assim, pode ser aplicada corrente no gatilho, no instante em que o disparo for desejado.

Como no TRIAC o ângulo de disparo é igual nos dois semiciclos, a forma de onda da tensão na carga é simétrica (Figura 17) e, portanto, seu valor médio é nulo. O valor eficaz da tensão é obtido conforme a equação (2). Como se observa, é possível variar o valor de tensão eficaz em função do ângulo de disparo.

$$V_{eficaz} = V_{rede} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{4\pi}} \quad (2)$$

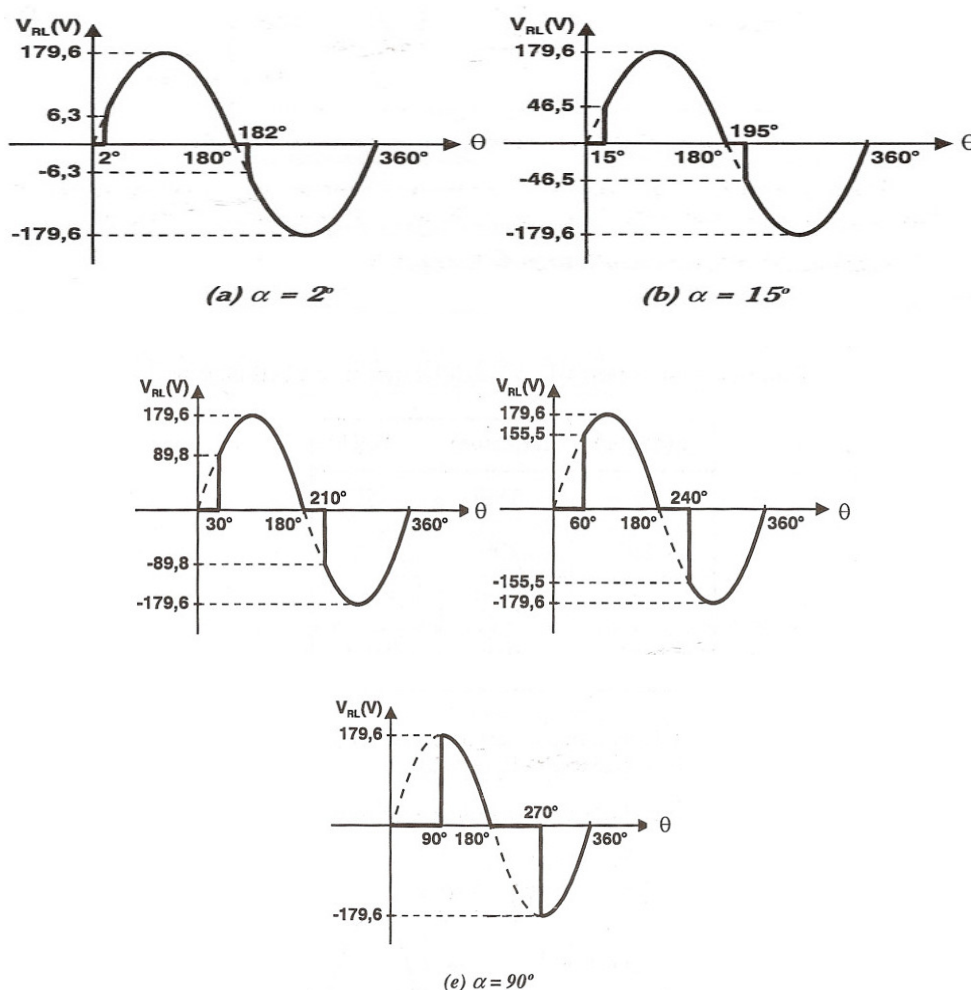


Figura 17 - Forma de Onda da Tensão na Carga
(FONTE: Almeida, 2006 – pág. 62)

2.5.2 Circuito Integrado TCA 785

O TCA 785 é um circuito integrado dedicado a circuitos de disparo de tiristores. Quando há necessidade de precisão no disparo, sincronismo com a rede de alimentação, simplificação do projeto outras aplicações, o uso deste CI mostra-se

bastante vantajoso (ALMEIDA, 2006). Algumas características do TCA 785 são descritas a seguir:

- Amplo campo de aplicações devido à possibilidade de controle externo;
- Operação em circuitos trifásicos utilizando-se três CI's;
- Compatível com LSL, TTL, MOS e CMOS;
- Duas saídas com correntes de 55mA e duas saídas complementares;
- Duração do pulso de disparo determinado por capacitor externo;
- Detecção de passagem de tensão por zero volts;
- Indicado também como “chave de ponto zero” e conversor tensão-frequência;
- Possibilidade de inibição dos pulsos de disparo;
- Faixa de tensão de alimentação de 8V a 18V;
- Consumo interno de 5mA.

A Figura 18 mostra o diagrama de blocos do TCA 785. O circuito é alimentado por fonte de tensão interna de 3,1V, assegurando independência dos parâmetros essenciais das variações na tensão de alimentação V_s (8 a 18V). O consumo de corrente (cerca de 5mA) é aproximadamente constante para toda a faixa de valores da tensão de alimentação. A tensão regulada é levada ao pino 8 através de uma resistência interna, possibilitando nos circuitos trifásicos iguais condições para o controle de todas as fases, através da ligação paralela dos CI's. Para melhorar a supressão de RF, um capacitor pode ser colocado entre o pino 8 e terra (ALMEIDA, 2006).

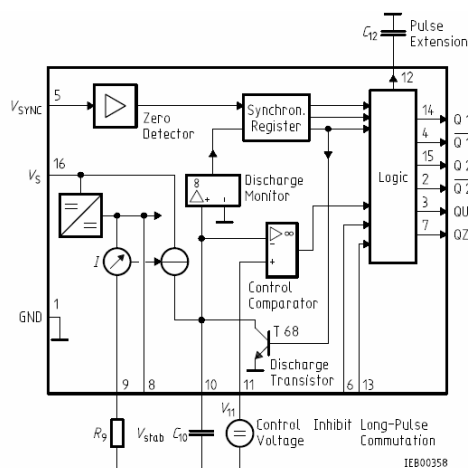


Figura 18 - Diagrama de Blocos do TCA 785

(FONTE: Siemens *Datasheet* TCA 785)

Na Figura 19 são ilustradas as formas de onda do TCA 785.

A sincronização é obtida através de um detector de zero (pino 5) altamente sensível, conectado a um registrador de sincronismo.

O gerador de rampa (cujo controle está na unidade lógica) consiste essencialmente de uma fonte controlada de corrente constante, que carrega linearmente um capacitor externo através do pino 10 ($C_{10} \leq 5\mu F$). A corrente desta fonte é determinada por uma resistência externa no pino 9 ($R_9 = 20\Omega$ até $500k\Omega$). O tempo de subida da rampa é determinado por esta combinação RC.

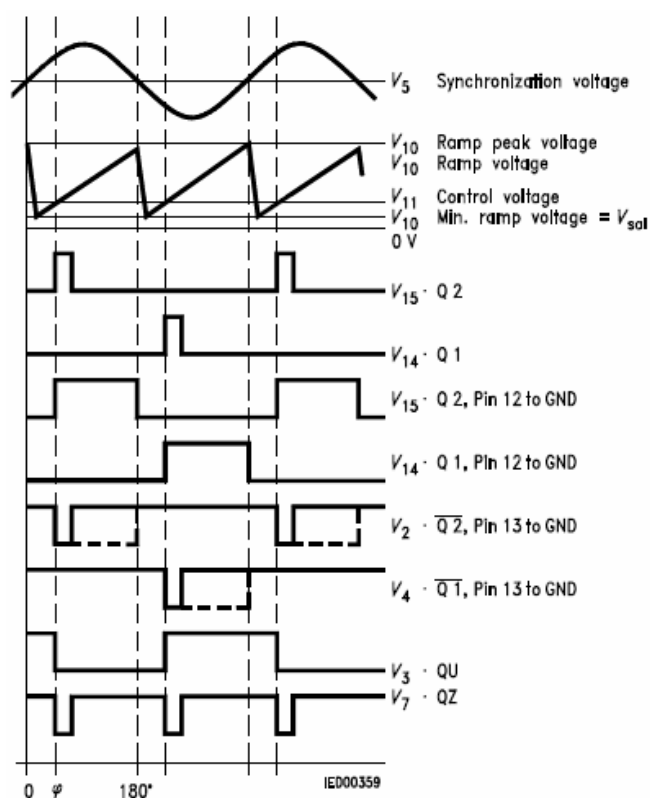


Figura 19 - Formas de Onda do TCA 785

(FONTE: Siemens *Datasheet* TCA 785)

Operando como chave de ponto zero, a lógica do registrador de sincronismo gera a informação de saída do detector zero, para ser fornecida ao circuito seguinte caso o capacitor de rampa C_{10} estiver completamente descarregado.

O comparador de controle compara a tensão de rampa com a de controle V_{11} (pino 11) e provoca a saída de pulsos de disparo via unidade lógica. Pulsos

positivos de aproximadamente 30 micro segundos, que podem ter duração alterada através do capacitor externo no pino 12, aparecem na saída A_1 (pino 14) e A_2 (pino 15). Se o pino 12 é ligado a terra, a largura de pulso pode atingir até 180° , as saídas A_1 e A_2 são afetadas por meia onda, onde a saída A_2 fornece pulsos de disparo somente se a tensão de sincronização for positiva e a saída A_1 somente se a tensão de sincronização for negativa. As duas saídas (A_1 e A_2) são seguidor de emissor e com corrente de 55 mA.

As correspondentes saídas invertidas A_1 e A_2 são em coletor aberto com corrente máxima de 1,5 mA. Se o pino 13 for ligado a terra, a largura de pulso pode atingir até 180° .

Algumas saídas podem ser inibidas através do pino 6, conectando-se este à terra. Para aplicações com TRIAC, utiliza-se a saída Z (pino 7) que é a soma lógica “NOR” das funções A_1 e A_2 .

Segue abaixo a funções de cada pino do circuito integrado TCA 785.

- **PINO 1:** Terra (GND);
- **PINO 2:** Q2 \ (saída 2 invertida);
- **PINO 3:** QU (saída U);
- **PINO 4:** Q1 \ (saída 1 invertida);
- **PINO 5:** Vsync (tensão sincronizada);
- **PINO 6:** I (inibição);
- **PINO 7:** QZ (saída Z);
- **PINO 8:** Vref (tensão estabilizada);
- **PINO 9:** R_9 (resistência de rampa);
- **PINO 10:** C_{10} (capacitância de rampa);
- **PINO 11:** V_{11} - Tensão de controle;
- **PINO 12:** C_{12} (extensão de pulso);
- **PINO 13:** L (duração de pulso);
- **PINO 14:** Q1 (saída 1);
- **PINO 15:** Q2 (saída 2);
- **PINO 16:** V_s (tensão de alimentação).

2.6. Microcontrolador PIC16F877A

Neste projeto, o micro controlador PIC16F877A é fundamental para ajustar o regulador de tensão de forma automática. Ele é um dispositivo dotado de uma inteligência programável, utilizado no controle de processos lógicos.

O micro controlador PIC16F877A possui 40 pinos, sendo 33 pinos utilizados com entrada/saída. Ele possui 35 palavras de instrução, *clock* interno de até 20 MHz, 368 *bytes* de memória de dados, 256 *bytes* de memória programa e memória *Flash*. Os pinos de saída são compatíveis com micro controladores de 28 pinos e 40/44 pinos dos modelos 16CXXX e 16FXXX.

Este micro controlador possui as seguintes características, de acordo com o *datasheet* do seu fabricante:

2.6.1 Principais Características

- Sua frequência de operação (*clock*) vai até 20MHz, resultando em uma velocidade de processamento de 5 MIPS1;
- Possui memória *flash* de programa com 8192 palavras de 14 bits, memória RAM com 368 *bytes* e memória EEPROM com 256 bytes;
- Seu conjunto de instruções RISC2 se compõe de 35 instruções;
- Pode funcionar com alimentação de 2V a 5,5V;
- Sua pinagem DIP tem 40 pinos;
- A versão mais recente do PIC16F877A contém um módulo de 2 comparadores analógicos (CMCON) e um módulo gerador de voltagem de referência (VRCON).

2.6.2 Periféricos em Destaque

- 5 conjuntos de portas de entrada e saída (total de 33 portas);
- Conversor analógico-digital de 10 *bits* de resolução e 8 canais de entrada;
- Periférico de comunicação paralela e serial (USART e MSSP);
- 2 Módulos CCP (Comparação, Captura e PWM);
- 3 *Timer's* (1 de 16 bits e 2 de 8 bits);
- *Watchdog timer*.

A razão de se escolher o micro controlador PIC16F877A foi devido às inúmeras funções que abrangem diversas aplicações, em relação aos outros micro controladores. Essa abrangência está centrada na capacidade para memória *Flash*,

memória EEPROM, no número de interrupções, no número de portas de I/O e na quantidade de canais conversores analógico/digital. A Figura 20 mostra a pinagem do micro controlador.

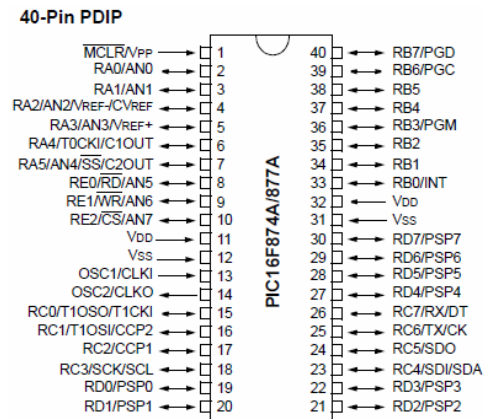


Figura 20 - Pinagem do Microcontrolador PIC16F877A

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição Geral do Sistema

No presente trabalho, foi desenvolvido um dispositivo de testes de reguladores de tensão utilizados em geradores de energia elétrica. A principal função do dispositivo desenvolvido é gerar variações de tensão através de um sistema eletrônico de gerenciamento para validar o correto funcionamento dos reguladores antes mencionados.

A Figura 21 mostra o hardware do dispositivo desenvolvido, o qual é constituído dos seguintes blocos citados abaixo:

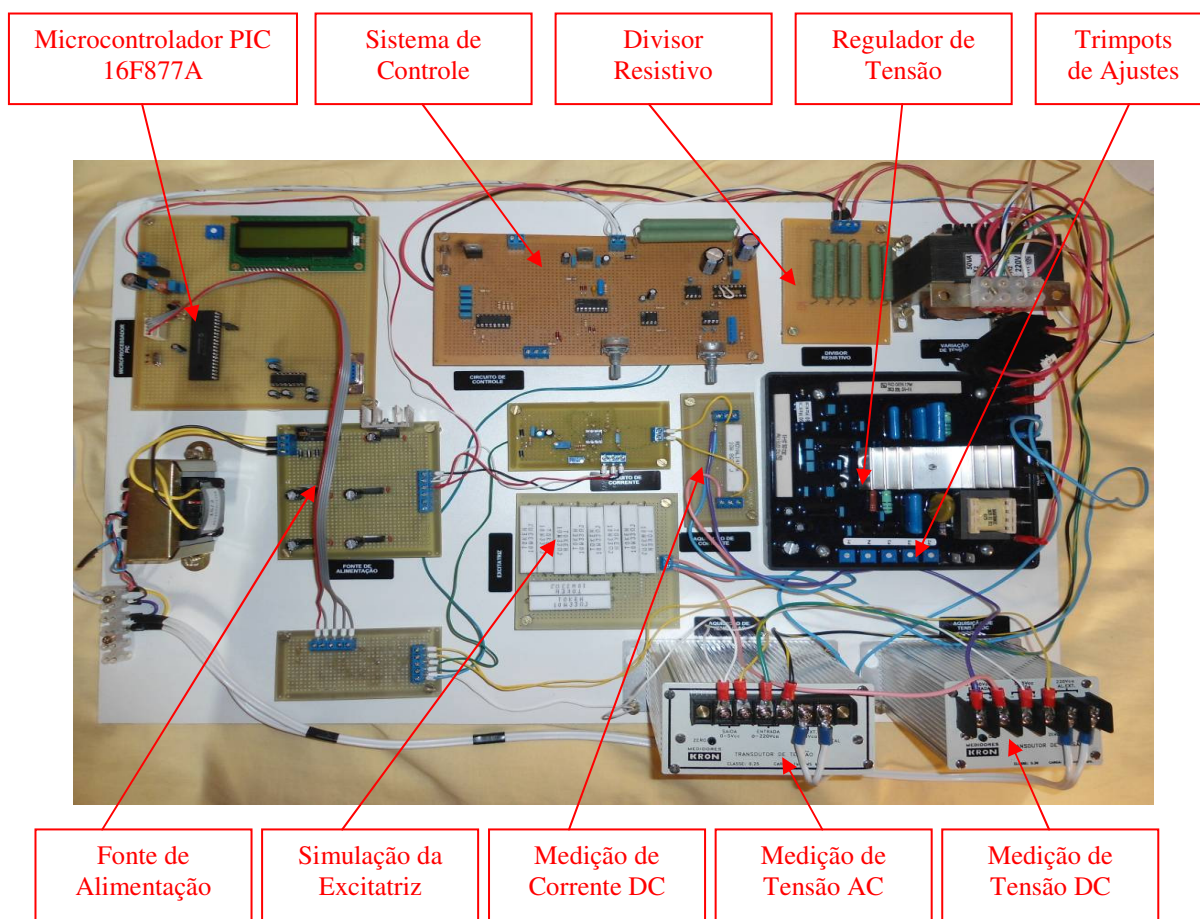


Figura 21 - Foto do Hardware do Dispositivo de Testes de Reguladores de Tensão

- Regulador de tensão, sistema de potência (divisor resistivo, simulação da excitatriz e fonte de alimentação), sistema de medição de tensão AC e DC, medição de corrente DC, sistema de controle e microcontrolador PIC.

A aplicação de um transformador de potencial na *giga* é uma maneira de proteger o circuito de potência. O transformador é um conjunto de bobinas isoladas, favorecendo a proteção, servindo como isolador.

O valor eficaz da tensão de saída do transformador de potencial é variado através do chaveamento de um TRIAC controlado pelo TCA785, sendo a tensão variável aplicada sobre um divisor de tensão resistivo. Esta variação de valor eficaz de tensão simula a operação de um gerador elétrico sob efeito de carga variável. O regulador de tensão se utiliza desta variação para seu funcionamento.

3.2. Descrição do Regulador de Tensão

O regulador de tensão analógico é um equipamento para regulação de tensão em geradores síncronos sem escovas (*brushless*). Seu circuito de controle e regulação utiliza circuitos integrados encapsulados em resina epóxi. Seu sistema de controle é implementado com trimpots que ajustam o ganho proporcional e o ganho integral.

Os reguladores de tensão apresentam as seguintes características (outras informações no anexo A): Com tensão de entrada em 170Vca, obtém-se 76,5Vcc de tensão máxima de saída. Para 280Vca de tensão de entrada, obtém-se 126 Vcc de tensão de saída, ou seja, a máxima tensão de saída é igual a $0,45 \times$ Tensão de entrada.

O regulador de tensão possui trimpots de ajustes para execução das seguintes tarefas:

- P1** – Ajuste de tensão;
- P2** – Ajuste de faixa de compensação de reativos (Droop);
- P3** – Ajuste da faixa de estabilidade;
- P4** – Ajuste da faixa de estabilidade;
- P5** – Ajuste de subfrequência

Diagrama de Blocos

O regulador de tensão apresenta algumas características de funcionamento segmentadas através de um diagrama de blocos, conforme mostrado na Figura 22.

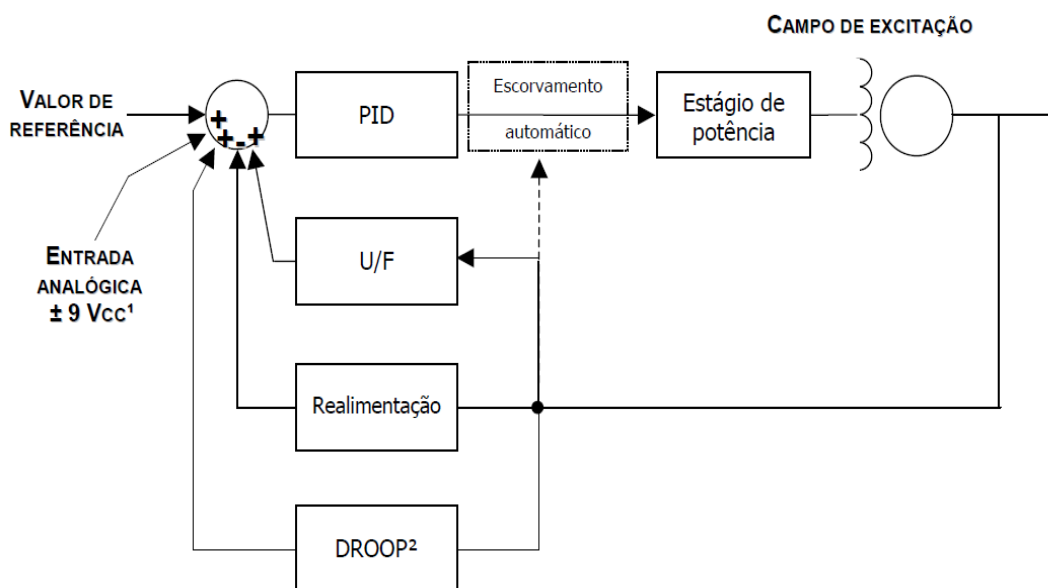
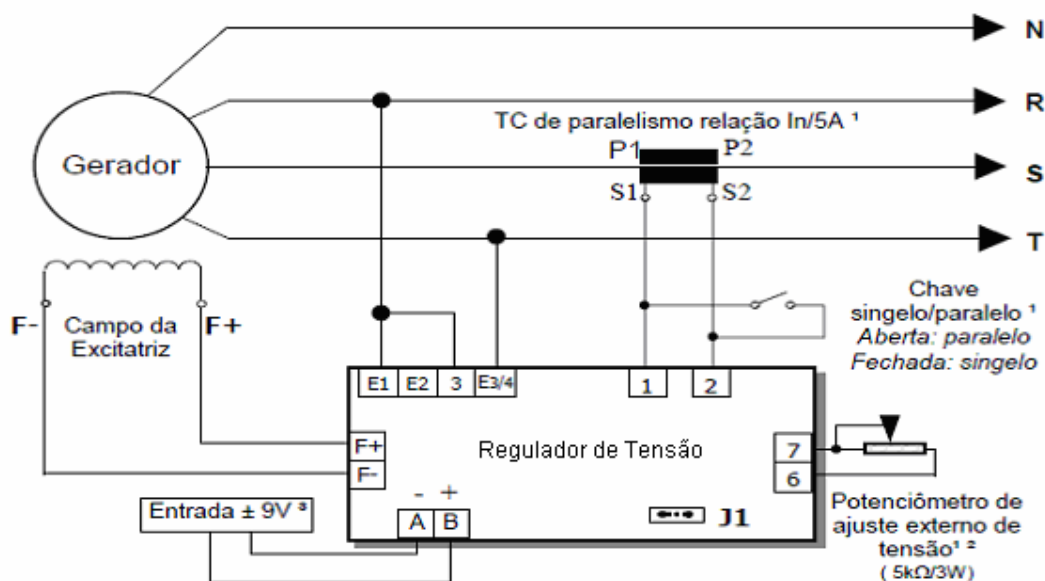


Figura 22 - Diagrama de Blocos

O regulador compara o valor real de tensão proveniente da saída do gerador com o valor teórico ajustado através do trimpot de ajuste de tensão P1; o erro é processado pela malha de realimentação, cujo valor determina o ângulo de disparo do tiristor, que varia de 0 a 180°, controlando-se desta forma a tensão de saída do gerador.

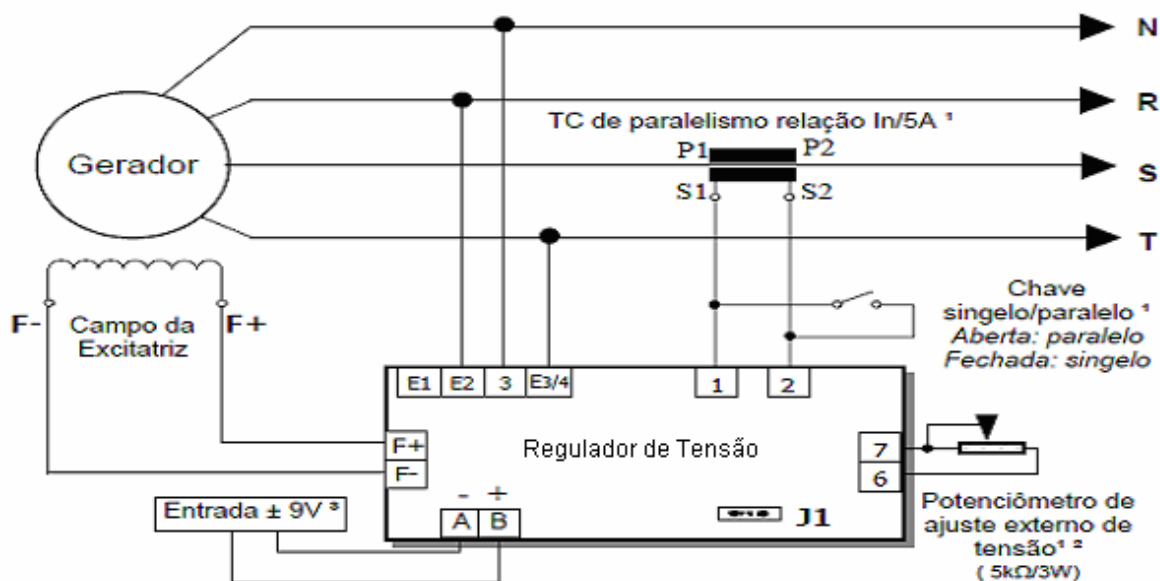
A tensão proveniente do gerador ou da bobina auxiliar, é aplicada controladamente ao campo da excitatriz do gerador através do tiristor e do diodo de roda livre. O início da geração se dá através do campo magnético, onde um transistor assume o controle de disparo fazendo a tensão do gerador subir através de uma rampa inicial durante cerca de três segundos, até atingir a tensão nominal. A partir deste momento, a malha de controle do PID manterá a tensão de saída do gerador constante dentro do valor ajustado.

A Figura 23 apresenta um esquema de conexões do regulador para tensões de operação do gerador de 160 a 300Vca. Na Figura 24, esquema similar é mostrado para tensões de 320 a 600 Vca.



Tensão de realimentação de 160 a 300Vca

Figura 23 - Conexão para até 300Vca



Tensão de realimentação de 320 a 600Vca

Figura 24 - Conexão para até 600Vca

No anexo B, são apresentadas as dimensões do regulador de tensão.

3.3. Descrição do Sistema de Potência

O hardware desenvolvido foi idealizado para gerar uma variação de tensão simulando o que ocorre no gerador. Através do chaveamento do TRIAC, mostrado na Figura 25, o valor eficaz da tensão sobre as resistências aumenta ou diminui conforme o ângulo de disparo fixado no TCA 785.

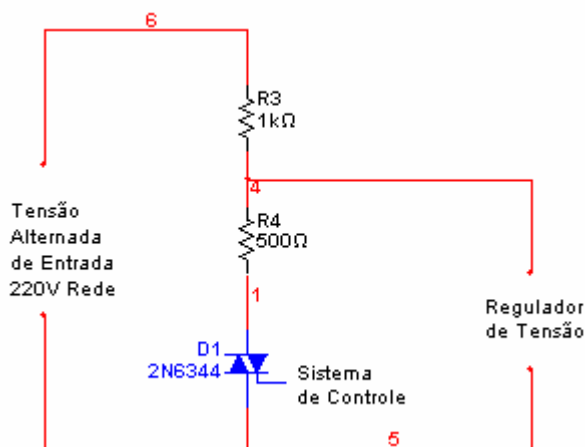


Figura 25 - Circuito Elétrico do Divisor Resistivo

O regulador de tensão aplica uma tensão contínua na bobina da excitatriz do gerador, ocasionando respectivamente uma circulação de corrente pela mesma. No protótipo de teste, foi simulada a resistência do bobinado da excitatriz do gerador, para isso foram utilizadas resistências de potência em paralelo.

3.4. Medição de Corrente DC

A medição de corrente, conforme Figura 26, do circuito foi realizada por um shunt inserido no sistema de simulação da resistência da excitatriz. Com o resistor de shunt pode-se medir uma parcela da corrente respectiva que o regulador injeta na excitatriz e utiliza-la para informar ao sistema supervisor o seu valor.

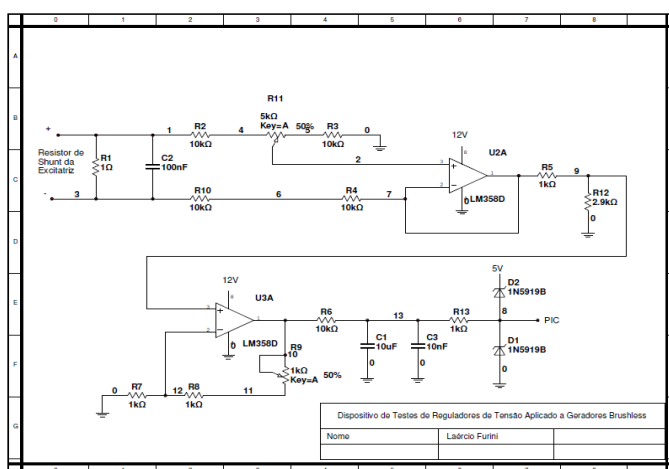


Figura 26 - Circuito Elétrico de Medição do Shunt

3.5. Descrição do Sistema de Controle

O sistema de controle utilizado e implementado no hardware é o circuito integrado da Siemens TCA 785, responsável pelo chaveamento do TRIAC. Com este componente, o ângulo de disparo do TRIAC é controlado, aumentando e diminuindo a tensão no divisor resistivo.

Com o sistema de gerenciamento eletrônico realizado pelo microcontrolador PIC, mostrado na Figura 27, é realizado o controle de disparo do ângulo do TCA, através de um pulso PWM. Com este processo são obtidos as tensões mínimas e máximas para o pino 11 responsável pelo controle do TCA. O código fonte do microcontrolador pode ser consultado no apêndice A e B.

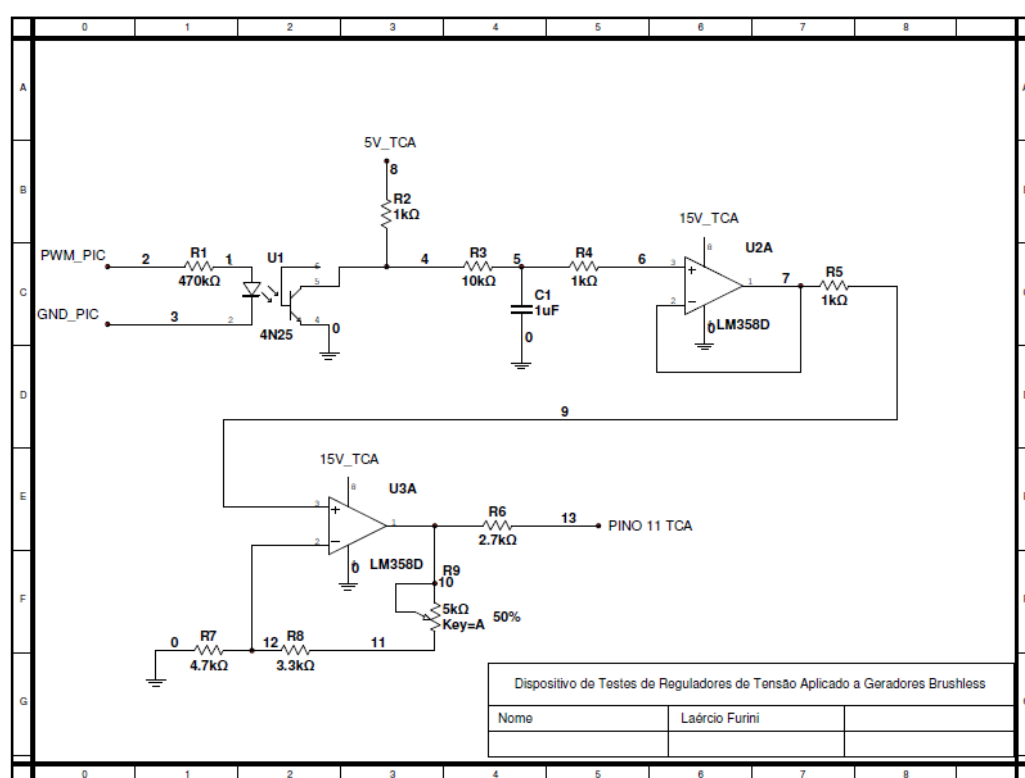


Figura 27 - Circuito Elétrico de Interface PIC-TCA 785

O circuito elétrico do sistema de controle está mostrado no apêndice C.

3.6. Descrição do Supervisório

O software implementado no microcomputador tem duas funções principais: servir de interface entre o usuário e o dispositivo de teste e efetuar os cálculos necessários para a determinação dos valores de parâmetros envolvidos. Foi desenvolvido com o método de programação orientada a objetos com a linguagem C++, permitindo facilmente a construção de interfaces gráficas, e variados recursos. O compilador utilizado para o desenvolvimento foi o C++ builder, componente do

pacote Embarcadero RAD Studio 2010. Esta linguagem e compilador foram escolhidos pela fácil utilização e onde a mesma tem grande desenvolvimento ao longo do curso.

Com o supervisor desenvolvido no software Builder C++, medições de tensão AC e DC e corrente DC realizadas são amostradas em gráficos. Um banco de dados foi gerado para cadastrar os reguladores de tensão a serem submetidos aos testes. Através do software, poderá ser atribuído ao teste realizado, se o regulador de tensão está aprovado e reprovado.

Na tela inicial do software desenvolvido é possível alterar as configurações de comunicação, selecionando a porta a ser utilizada, utilizando um cabo conversor USB/RS232, seleciona-se a porta disponível para ser usada, conforme Figura 28.



Figura 28 - Tela do Supervisor - Seleção da Porta de Comunicação

Após a escolha da porta, é apresentada a tela do banco de dados, na qual deve-se registrar o número de série do equipamento que será testado, conforme Figura 29.



Figura 29 - Tela do Supervisório - Banco de Dados

Ao iniciar os testes, podem-se escolher duas opções: teste manual ou teste automático. No modo manual, conforme Figura 30, um cursor de tensão é arrastado fazendo a tensão do pino de controle do TCA 785 aumentar, realizando o controle de chaveamento do TRIAC. Isto ocasiona uma variação de tensão, simulando um degrau de carga no gerador.

A partir desta variação onde é arrastado o cursor de variação de tensão do gerador no software, pode-se observar graficamente na tela do supervisório os valores correspondentes de tensão e corrente da excitatriz e também o degrau de carga simulado do gerador.



Figura 30 - Tela do Supervisório - Modo Manual

No modo automático, conforme Figura 31, deve-se escolher cinco valores de tensão e seus respectivos tempos de duração e dar início ao teste. O TCA 785 será controlado para que os valores de tensão fixados realizem o chaveamento do TRIAC variando a tensão no divisor resistivo.

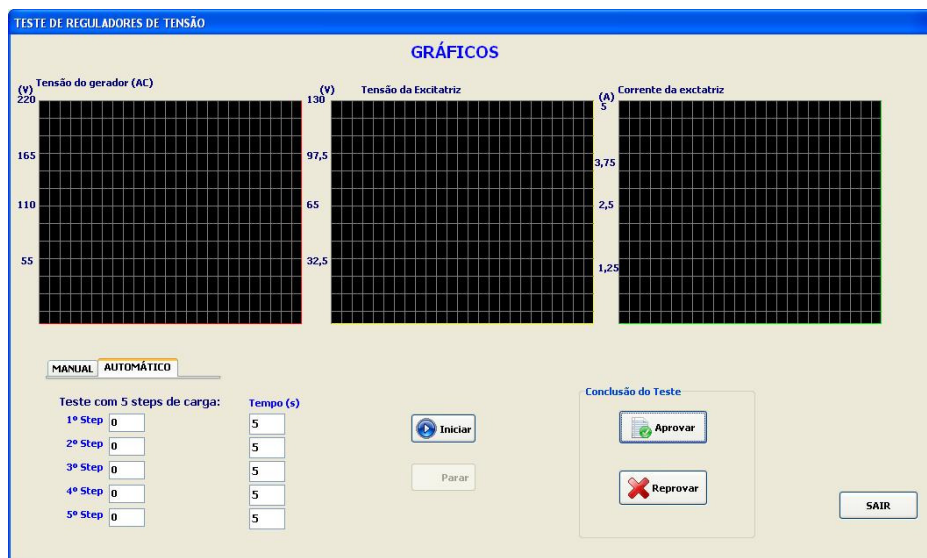


Figura 31 - Tela do Supervisório - Modo Automático

Os sinais de tensão da excitatriz e corrente são monitorados e apresentados em gráficos na tela do supervisório.

3.7. Descrição dos Sistemas Informáticos e Computacionais

A seguir, são descritos os sistemas informáticos e computacionais, os quais incluem o ambiente de desenvolvimento, o software de desenvolvimento MPLAB IDE 8.66 da Microchip, o gravador Personal PIC e firmware.

3.7.1 Ambiente de Desenvolvimento

O desenvolvimento do firmware para microcontroladores PIC16F877A foi realizado utilizando-se as ferramentas de desenvolvimento da Microchip, MPLAB IDE v8.66 e o compilador CCS. O ambiente de desenvolvimento está disponível no site www.microchip.com. Para gravação do PIC16F877A foi utilizado o kit DII da Personal PIC, gravador via porta USB.

3.7.2 MPLAB IDE

O software de desenvolvimento MPLAB IDE 8.66 da Microchip é uma ferramenta para o desenvolvimento de projetos para microcontroladores PIC. Podem-se elaborar programas em linguagem C.

A Figura 32 apresenta a tela inicial do MPLAB v8.66.

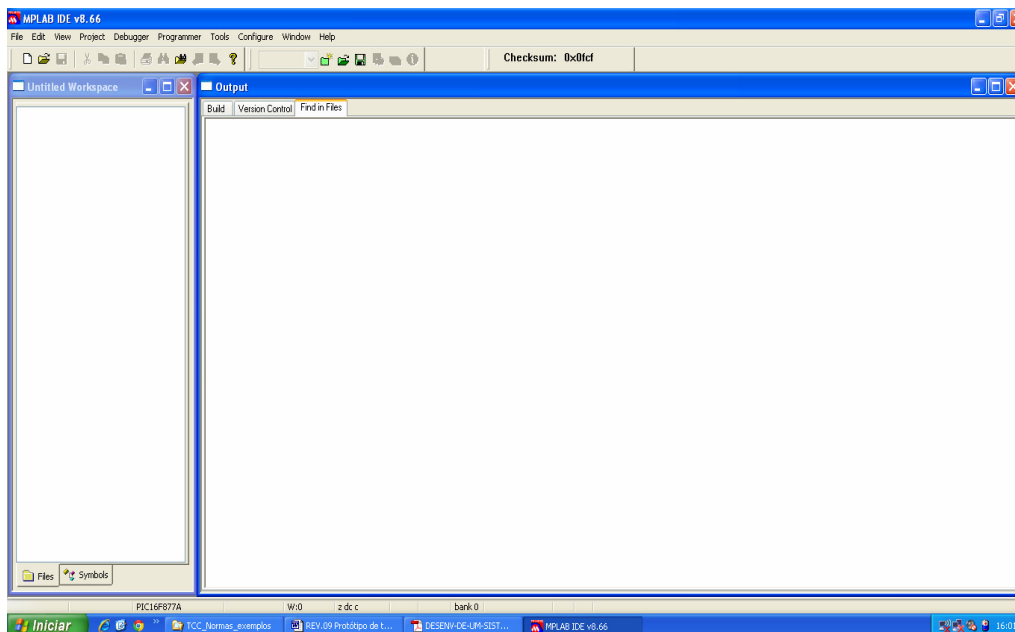


Figura 32 - Ambiente de Desenvolvimento MPLAB v8.66
(FONTE: O autor)

3.7.3 Gravador Personal PIC

O gravador DII da Personal PIC possibilita a gravação de microcontroladores da família 16F e 18F, com 40 pinos diretamente no soquete do mesmo via gravador USB.

A Figura 33 apresenta o gravador DII utilizado no projeto para gravação do microcontrolador.

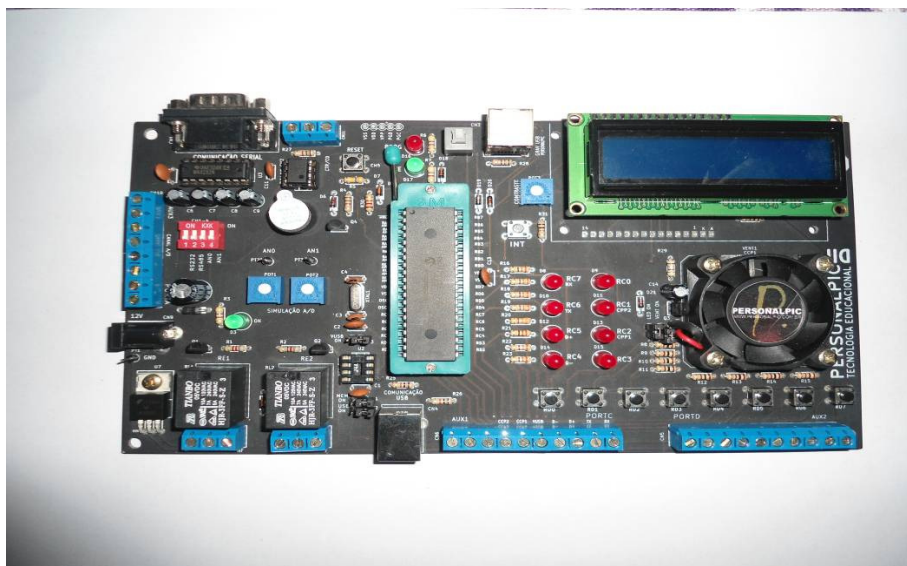


Figura 33 - Gravador DII Personal Pic

3.7.4 Firmware

As variáveis envolvidas no sistema de controle são contínuas; portanto, foi habilitada a leitura dos canais analógicos. As leituras dos canais analógicos são armazenadas em registradores. É feita a leitura de tensão AC, DC e corrente DC para amostragem nos gráficos do supervisorio.

O programa do microcontrolador PIC16F877A está mostrado no apêndice A.

3.7.5 Software

A Figura 34 na página seguinte é mostrado o fluxograma simplificado do software.

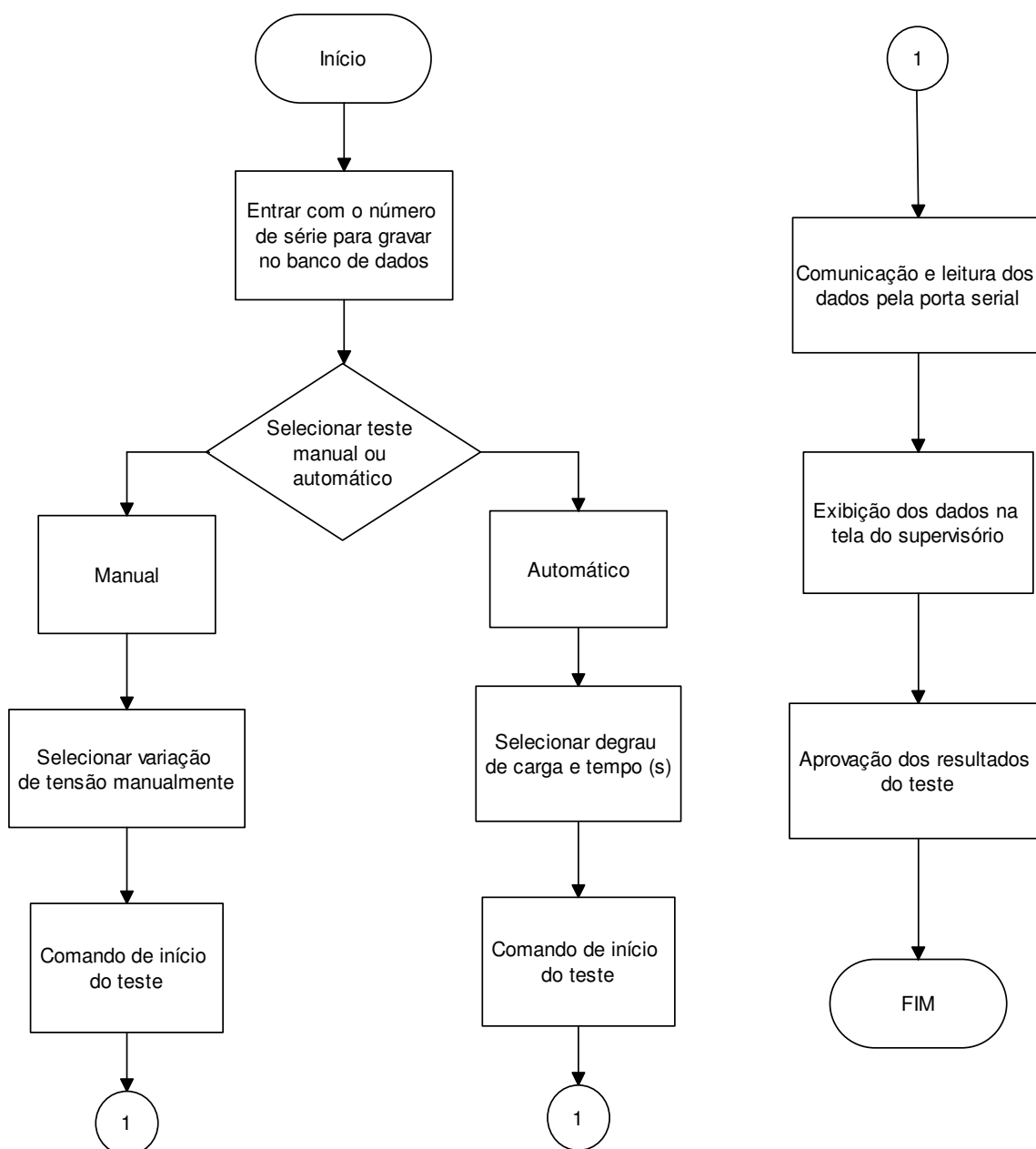


Figura 34 - Fluxograma do Software

3.8. Procedimento de Teste

O regulador de tensão é um equipamento normalmente utilizado em sistemas de operação de geradores elétricos *brushless*. O regulador foi acoplado ao protótipo desenvolvido e submetido ao teste programado.

Ao ser iniciado o supervisorio, é apresentada a tela do banco de dados para serem cadastrados os números de série dos reguladores a serem testados.

O teste é caracterizado da seguinte forma: o dispositivo gera um degrau de tensão simbolizando um afundamento de tensão do gerador. O regulador ligado a esta malha interpreta tal variação de tensão no sistema real como sendo entrada

súbita de carga no sistema. Desta maneira é iniciado o processo de atuação do regulador de tensão na excitatriz do gerador, sendo aplicadas tensão e corrente na bobina da excitatriz elevando a níveis normais de tensão a máquina geradora.

Utilizando o dispositivo, deve-se ligar o regulador de tensão ao sistema de teste e via software selecionar o degrau de tensão a ser aplicado para o teste. Também é selecionado o tempo deste degrau em segundos para verificação da forma de onda.

Na tela do supervisor são apresentados os valores de tensões e corrente em forma de gráficos para avaliação do funcionamento do regulador de tensão.

3.9. Análise da Indutância na Excitatriz

Em um sistema real a excitatriz apresenta resistência e indutância caracterizando um conjunto de espiras. No protótipo foi considerada somente a parcela da resistência para simular a excitatriz na *giga* de teste, sendo desconsiderada a parcela indutiva.

Realizando a análise da indutância na excitatriz é possível verificar que tal componente é uma parcela constante no tempo. Desta maneira, foi verificado que sua influência para fins de testes não acarretaria em diferenças e alterações nos resultados expostos. Dessa forma, optou-se por não considerar esta parcela indutiva e apenas a resistiva para a construção da *giga*.

Na figura 35 verifica-se o exposto acima com o auxílio do matlab, o AVR simboliza o regulador de tensão e M S uma função de simulação da tensão do gerador. A corrente de excitação é caracterizada como constante, onde a indutância se opõe bruscamente a variação de corrente apenas no instante inicial de funcionamento ou transitório (figura 36). Pode-se então caracterizar que a indutância é uma componente principal da bobina, mas em caráter prático, para o teste realizado a sua desconsideração não acarreta em prejuízos para a *giga*.

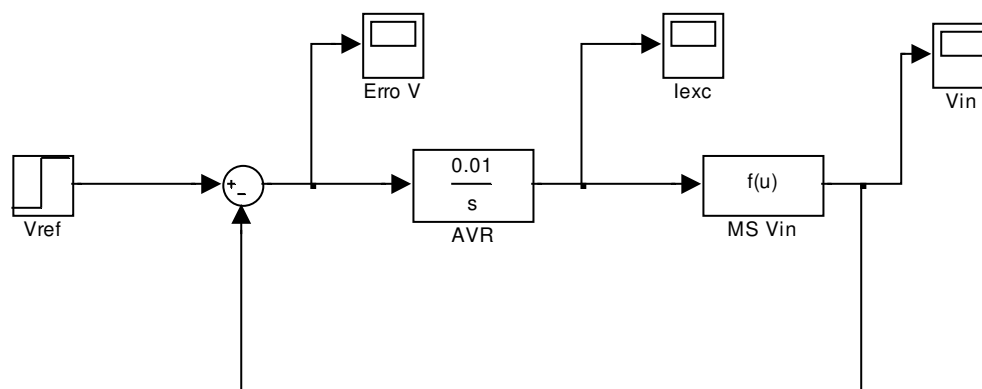


Figura 35 - Análise da Indutância

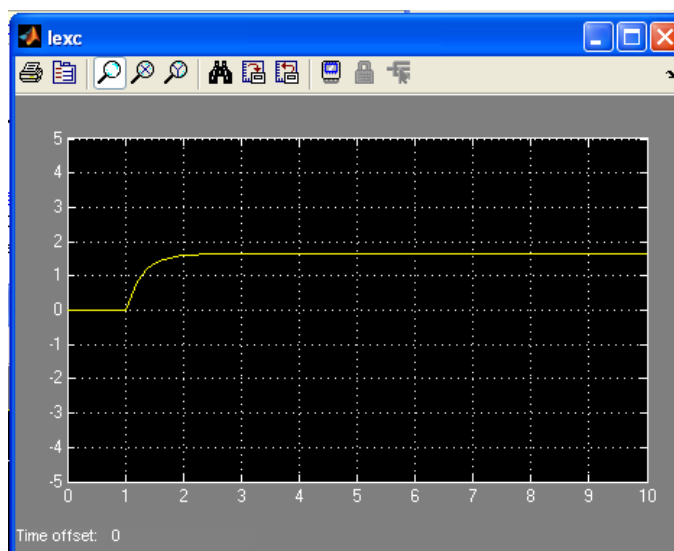


Figura 36 - Corrente de Excitação

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a montagem do protótipo e o desenvolvimento do supervisor para acionamento automático de teste do dispositivo, foram realizados testes de verificação do funcionamento do regulador de tensão, os quais serão descritos a seguir.

Os testes foram baseados na informação do fabricante do regulador de tensão, em que o regulador, ao sofrer uma brusca variação de tensão (sendo esta sua referência), aplica nos terminais da excitariz do gerador elétrico sua máxima corrente e tensão a fim de estabilizar a tensão terminal do gerador em torno de seu valor nominal.

O fabricante apresenta como valores funcionais de operação plena os seguintes dados:

- Tensão de saída: 120 Volts DC;
- Corrente de saída: 5 Ampères.

Tais valores poderão apresentar pequenas variações de tensão e corrente, assumindo os seguintes índices: oscilação de tensão: 126Vdc à 110Vdc e oscilação de corrente 5,2 à 4,5A.

4.1. Resultados Obtidos

Foram ensaiados 200 reguladores de tensão. Todos os reguladores receberam o mesmo degrau de tensão e o mesmo tempo de duração deste.

Foram utilizados os seguintes parâmetros de testes, conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Dados do Teste

Degrau	Tempo
0%	10s
50%	8s
0%	10s

No protótipo, foi selecionado o modo de operação do teste em automático e inseridos os valores desta tabela. Para todos os testes foi aplicada esta metodologia.

Cada regulador testado foi submetido à variação de carga, modeladas com os dados da Tabela 1. Um regulador é aceito se atingir os valores de tensão e corrente indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Aceitação

Validação dos Ensaios	
Tensão Excitatriz:	Aproximadamente 120Vdc
Corrente da Excitatriz:	Aproximadamente 5A

4.2. Tensão Eficaz AC (Simulação Gerador)

A tensão eficaz de saída do gerador elétrico (Figura 37) é a tensão de terminal simulada do gerador. Com esta variação aplicada ao regulador observa-se as suas respostas de corrente e tensão, comparando-se com os valores da

Tabela 2, como antes mencionado.

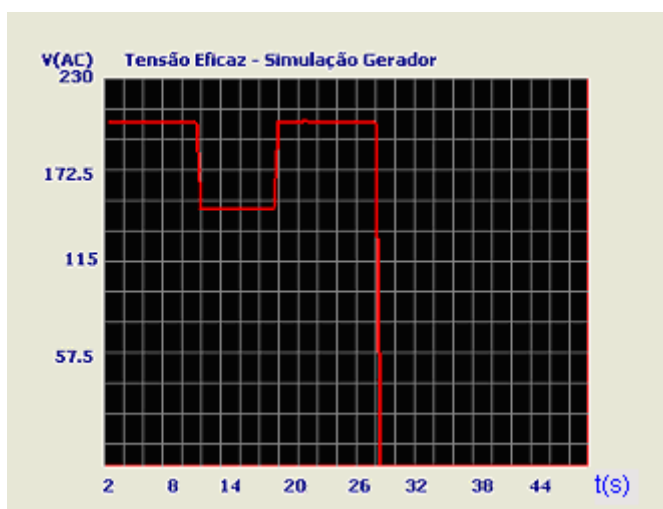


Figura 37 - Tensão Eficaz do Gerador (Simulada)

4.3. Tensão DC da Excitatriz

A tensão DC de saída do regulador é correspondente à variação da tensão do gerador elétrico. Os dados obtidos no decorrer dos testes vão sendo informados via gráficos na tela do supervisor.

Os gráficos da tensão da excitatriz são apresentados nas figuras 38 e 39. É evidenciado que o valor aproximado de 120Vdc é obtido, garantindo assim o correto funcionamento do regulador.

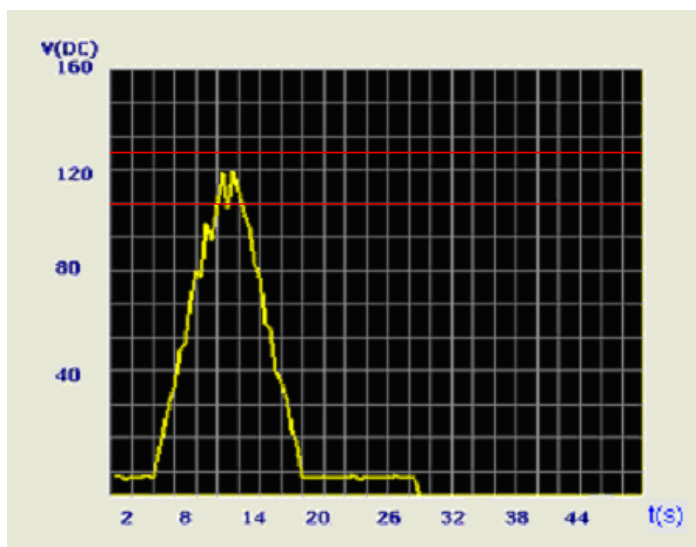


Figura 38 - Tensão da Excitatriz

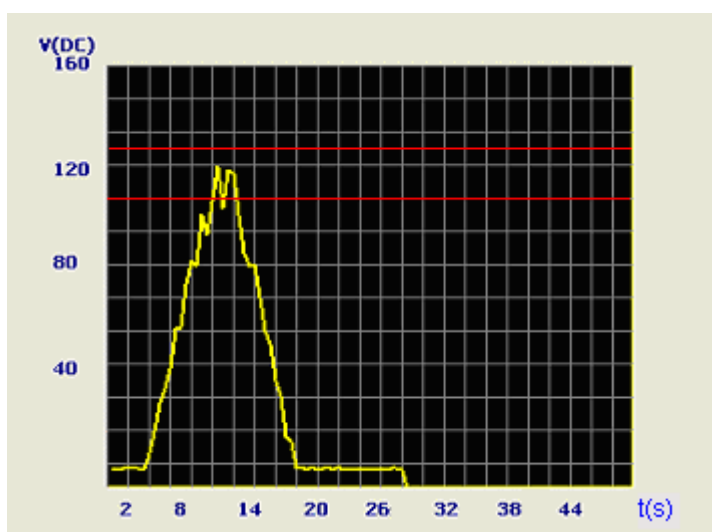


Figura 39 - Tensão da Excitatriz

No decorrer dos testes, alguns reguladores de tensão não apresentaram o funcionamento correto de operação. Tais reguladores foram identificados e separados para envio ao fabricante para análise.

A Figura 40 apresenta um exemplo de regulador com tensão inferior à recomendada pelo fabricante do equipamento, para a correta operação no sistema.

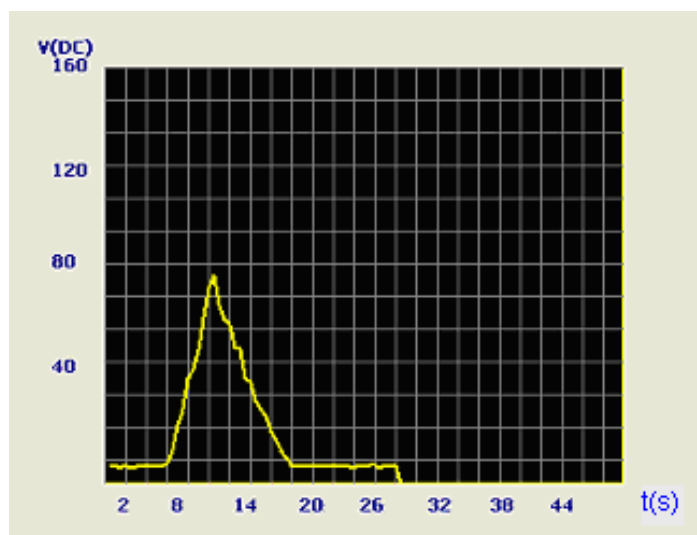


Figura 40 - Tensão da Excitatriz

4.4. Corrente DC da Excitatriz

Nas figuras 41 e 42, visualiza-se a corrente da excitatriz. Neste caso, os reguladores atendem às especificações do fabricante em termos de corrente.

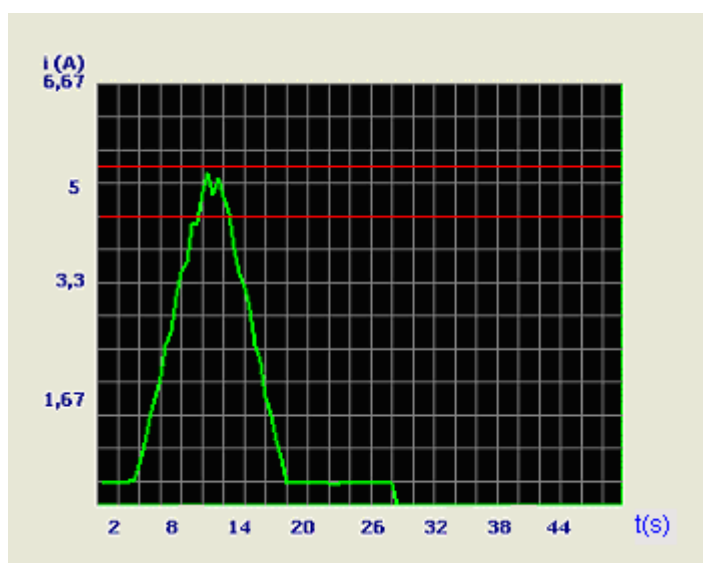


Figura 41 - Corrente da Excitatriz

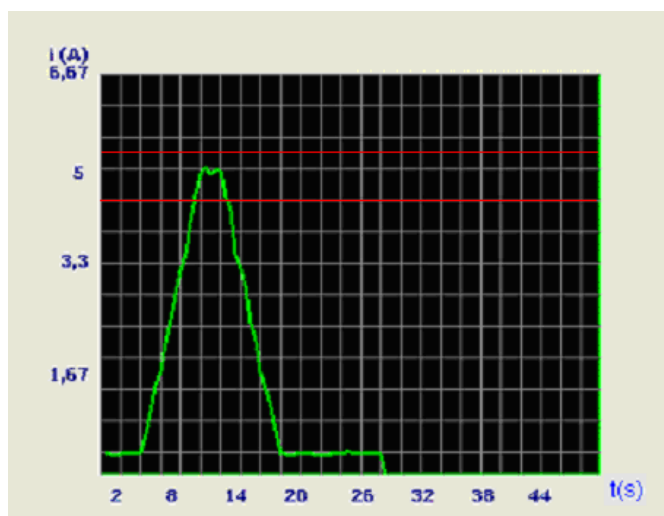


Figura 42 - Corrente da Excitatriz

A Figura 43 apresenta corrente inferior ao valor indicado pelo fabricante do equipamento, para uma correta operação do regulador no sistema.

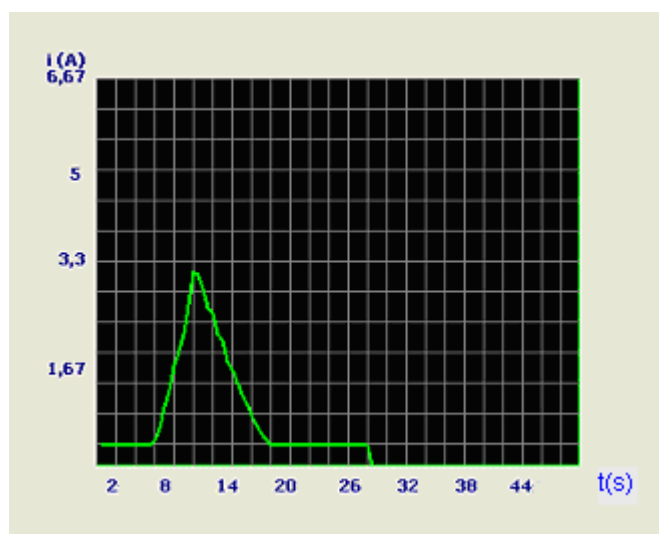


Figura 43 - Corrente da Excitatriz

Analisando a Figura 44 apresentada pelo supervisor, pode-se concluir que a corrente e a tensão estão dentro dos limites de funcionamento preconizados pelo fabricante.

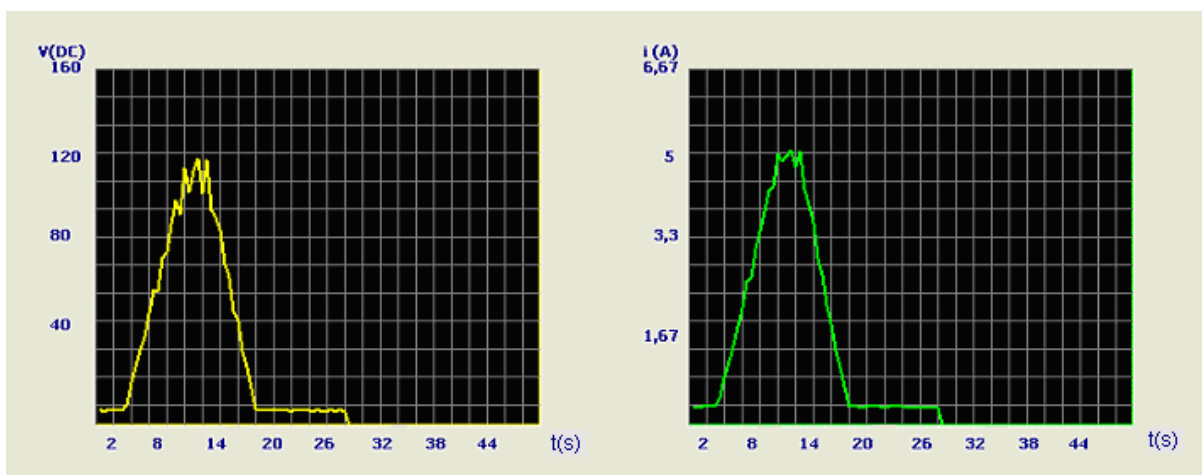


Figura 44 - Tensão x Corrente

4.5. Avaliação de Eficácia

Com os testes realizados em um lote de reguladores, é observado na Figura 45 referência de tensão e Figura 46 referência de corrente, que o dispositivo apresentou valores de funcionamento dentro dos limites aceitáveis impostas pelo fabricante, tornando o teste do regulador de tensão como funcional e aplicável para realizar testes iniciais no dispositivo.

A Figura 45 apresenta os valores de tensão alcançados por uma amostra de 50 reguladores submetidos ao degrau de carga, com os limites superior e inferior de tensão de 123Vdc e 115Vdc, respectivamente.

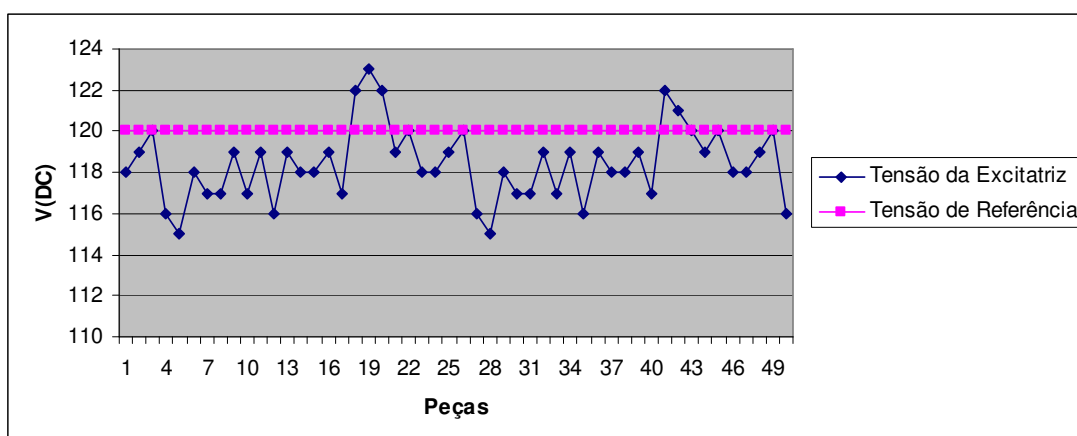


Figura 45 - Amostragem de tensão

A Figura 46 apresenta os valores de corrente alcançados por uma amostra de 50 reguladores submetidos ao degrau de carga, com os limites superior e inferior de corrente de 5,16A e 4,9A, respectivamente.

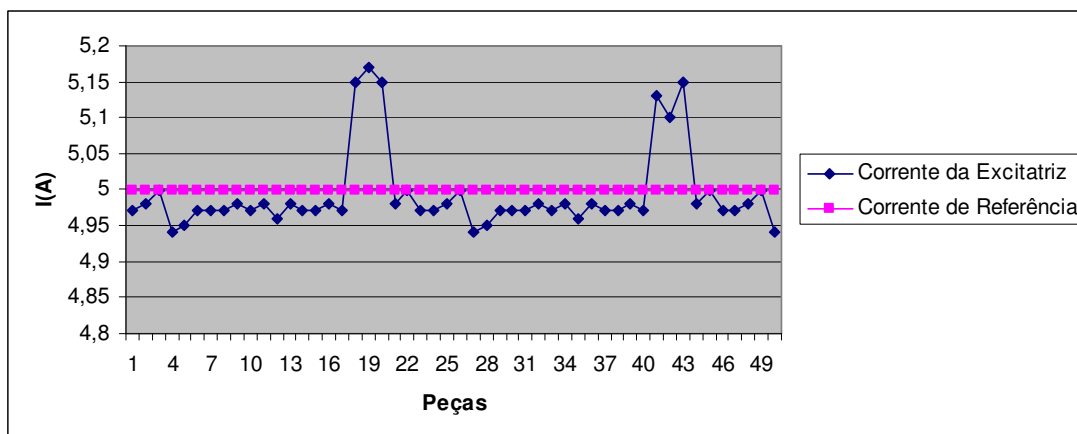


Figura 46 - Amostragem de Corrente

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentado um dispositivo de testes de reguladores de tensão aplicado a geradores *brushless*, para realização de testes em bancada. Estes testes visam facilitar e dar agilidade a uma etapa do processo de montagem de grupos geradores.

No decorrer deste trabalho, os objetivos propostos foram alcançados, ou seja, o protótipo para uso em bancada foi desenvolvido, apresentando repetibilidade e facilidade de manuseio.

O sistema implementado realiza testes no regulador de tensão, com visualização dos resultados alcançados de tensão e corrente, juntamente com os valores limites recomendado pelo fabricante. O dispositivo desenvolvido mostrou-se satisfatório para a realização dos testes em bancada.

A metodologia empregada para realizar o procedimento de teste é basicamente a aplicação de um degrau de tensão para servir como referência ao regulador, para que o mesmo inicie um processo de atuação na excitatriz do gerador elétrico. Esta atuação é caracterizada como aplicação de tensão de aproximadamente 120 volts e de corrente próxima a 5 ampères.

O sistema testa o regulador automaticamente através de um supervisorio desenvolvido para esta aplicação. Os valores de respostas são apresentados em gráficos para serem validados visualmente.

Como sugestão de futuros trabalhos, poderá ser desenvolvido um sistema de aquisição de dados e geração de relatórios detalhados, sem a influência do operador, para manipulação dos dados.



6. REFERÊNCIAS

FITZGERALD, A.E, KINGSLEY, Charles Jr, UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas**. São Paulo: BOOKMAN EDITORA, 2006.

BALBINOT, Alexandre. & BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas, v.1**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

BALBINOT, Alexandre. & BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas, v.2**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NISE, NORMAN. **Engenharia de Sistemas de Controle**, 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ALMEIDA, José Luiz Antunes de. **Dispositivos Semicondutores Tiristores Controle de Potência C.C e C.A**. 10ª edição, São Paulo: Editora Êrica, 2006.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de Potência**, São Paulo: Makron Books, 1999.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

COCIAN, Luis Fernando Espinosa. : **Manual da Linguagem C**. – Canoas: Ed. ULBRA, 2003.

NILSSON, James W. RIEDEL, Susan A. **Circuitos Elétricos** – Rio de Janeiro: LTC, 1999.

GROSS, Charles A. **Power System Analysis**. Uited States: John Wiley & Sons, 1986.

KOSOW, Irving L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 12ª edição, Rio de Janeiro: Editora Globo, 1982

WEG. DT 5 – Características e Especificações de Geradores. Disponível em: <http://catalogo.weg.com.br>. Acessado em: Junho de 2012



GLOSSÁRIO

Brushless: é o termo utilizado em geradores com sistema de excitação sem escovas.

GMG: Grupo Motor Gerador é o termo utilizado para grupos geradores.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE MICROCONTROLADOR PIC16F877A

```
#include <16f877a.h>
#device ADC=8
#use delay(clock=20000000)
#use Fast_io (D)
#use Fast_io (C)
#use Fast_io (B)
#use Fast_io (D)
#fuses hs, nowdt,put
#include<lcd_4bits.h>
#include<serial.h>
#define MAX_TENSAO_GERADOR (220*0.003921568627451) //TENSAO EM VOLTS
#define MAX_TENSAO_EXCITATRIZ (130*0.003921568627451) //TENSAO EM VOLTS
#define MAX_CORRENTE_EXCITATRIZ (5*0.003921568627451) //AMPERES
int8 REGISTRADOR[4];
#locate REGISTRADOR =0X20
/*
-----
VALOR |      CANAL | REGISTRADOR
-----
0X01 | RA0   | Tensão do Gerador
0x02 | RA1   | Tensão da Excitatriz
0x03 | RA3   | Corrente da Excitatriz
0x04 | RC2   | Tensão no TC785 (Saida PWM)
*/
char ct_t1=0;
char flag_t1=0;
char flag_le_adc=0;
#INT_TIMER1
void Trata_t1()
{
    ct_t1++;
    if (ct_t1>=10)// 1 segundo
        {ct_t1=0;
         flag_t1=1;
        }
    flag_le_adc=1;
}
#INLINE
void tela_inicial()
{
    cls();
    gotoxy(1,1);
    Envia_char("ENG. ELET. ULBRA");
    gotoxy(2,2);
    Envia_char("LAERCIO FURINI");
```



```
}
#INLINE
void Escreve_valores(int8 T_G,int8 T_E,int8 C_E,int8 Saida_pwm)
{
float value;
int8 tensao;
value=(float)T_G*MAX_TENSAO_GERADOR;
tensao=(int8)value;
cls();
gotoxy(1,1);
printf(Envia_char,"TG=%uV",tensao);
value=(float)T_E*MAX_TENSAO_EXCITATRIZ;
tensao=(int8)value;
gotoxy(9,1);
printf(Envia_char,"TE=%uV",tensao);
value=(float)C_E*MAX_CORRENTE_EXCITATRIZ;
gotoxy(1,2);
printf(Envia_char,"CE=%0.1fA",value);
value=(float)Saida_pwm*MAX_TENSAO_EXCITATRIZ;
tensao=(int8)value;
gotoxy(9,2);
printf(Envia_char,"SE=%uV",tensao);
}
#INLINE
void le_adcs()
{
int8 value;
//le RA0
set_adc_channel(0);
delay_us(5);
value = read_adc();
REGISTRADOR[0]=value;
//le RA1
set_adc_channel(1);
delay_us(5);
value = read_adc();
REGISTRADOR[1]=value;
//le RA3
set_adc_channel(3);
delay_us(5);
value = read_adc();
REGISTRADOR[2]=value;
}
main()
{
set_tris_a(255);
set_tris_c(0b10111011);
set_tris_d(0);
LCD_Init();
tela_inicial();
setup_timer_1 ( T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_8 );
ENABLE_INTERRUPTS(INT_TIMER1);
ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
inicial_serial();
setup_adc_ports( RA0_RA1_RA3_ANALOG );
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL );
setup_timer_2(T2_DIV_BY_4, 255, 4);//1.2KHZ
setup_ccp1(CCP_PWM);
set_pwm1_duty(REGISTRADOR[3]);
```




```
while(true)
{
//Le canais adc
if (flag_le_adc==1)
{
flag_le_adc=0;
le_adcs();
set_pwm1_duty(REGISTRADOR[3]);
}
//Escreve no display a cada segundo
if (flag_t1==1)
{
flag_t1=0;
Escreve_valores(REGISTRADOR[0],REGISTRADOR[1],REGISTRADOR[2],REGISTRADOR[3]);
}
}
}
```



APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE COMUNICAÇÃO RS232

```
#use rs232(baud=19200,parity=N,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7)
#define TM_BUFFER 32
int8 index_Serial=0;
int8 BUFFER[TM_BUFFER];
int8 REG[4];
#locate REG=0X20
void IntToStr(int8 vl ,char *s)
{int8 val;
val=vl/100;
s[0]=val+48;
vl=vl%100;
val=vl/10;
s[1]=val+48;
val=vl%10;
s[2]=val+48;
s[3]=0;
}
#INLINE
void Responde_Ao_PC()
{
char s[4];
int8 value;
if (index_Serial>1)
{
//le todos
if ( (BUFFER[0]=='A') && (BUFFER[1]=='L'))
{
IntToStr(REG[0],s);
printf("!AL:%s",s);
IntToStr(REG[1],s);
printf(":%s",s);
IntToStr(REG[2],s);
printf(":%s",s);
IntToStr(REG[3],s);
printf(":%s\r",s);
}else
//escreve setpoint
if ( (BUFFER[0]=='S') && (BUFFER[1]=='P')&&
(BUFFER[2]==':')&&(index_Serial==6))
{
if(
((BUFFER[3]>='0')&&(BUFFER[3]<='9')) &&
((BUFFER[4]>='0')&&(BUFFER[4]<='9')) &&
((BUFFER[5]>='0')&&(BUFFER[5]<='9'))
)
{
value=(BUFFER[3]-48)*100;
```




APÊNDICE C – CÓDIGO FONTE BUILDER

```
//-----  
#ifndef U_principalH  
#define U_principalH  
//-----  
#include <Classes.hpp>  
#include <Controls.hpp>  
#include <StdCtrls.hpp>  
#include <Forms.hpp>  
#include <Buttons.hpp>  
#include "CPort.hpp"  
#include "CPortCtl.hpp"  
#include <ExtCtrls.hpp>  
#include <DB.hpp>  
#include <DBTables.hpp>  
#include <DBGrids.hpp>  
#include <Grids.hpp>  
#include <DBCtrls.hpp>  
#include <Mask.hpp>  
//-----  
class TForm1 : public TForm  
{  
__published: // IDE-managed Components  
    TLabel *Label1;  
    TGroupBox *GroupBox1;  
    TBitBtn *BitBtn1;  
    TBitBtn *BitBtn2;  
    TBitBtn *BitBtn4;  
    TComPort *ComPort1;  
    TComComboBox *ComComboBox1;  
    TComComboBox *ComComboBox2;  
    TLabel *Label4;  
    TLabel *Label5;  
    TPanel *Panel1;  
    TBitBtn *BitBtn3;  
    TLabel *Label2;  
    TTable *Table1;  
    TDataSource *DataSource1;  
    TDBGrid *DBGrid1;  
    TEdit *Edit1;  
    TBitBtn *BitBtn5;  
    TBitBtn *BitBtn6;  
    TLabel *Label3;  
    TLabel *Label6;  
    void __fastcall BitBtn4Click(TObject *Sender);  
    void __fastcall BitBtn1Click(TObject *Sender);  
    void __fastcall BitBtn2Click(TObject *Sender);  
};
```



```
void __fastcall rx_buffer(String frame,int tm);
void __fastcall ComPort1RxChar(TObject *Sender, int Count);
void __fastcall FormCreate(TObject *Sender);
void __fastcall BitBtn3Click(TObject *Sender);
void __fastcall BitBtn5Click(TObject *Sender);
void __fastcall BitBtn6Click(TObject *Sender);
private:    // User declarations
public:    // User declarations
/*
int REG[16];
int TG[100];
int TE[100];
int CE[100]; */
    __fastcall TForm1(TComponent* Owner);
};
//-----
extern PACKAGE TForm1 *Form1;
//-----
#endif

//-----
#ifndef U_testesH
#define U_testesH
//-----
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>
#include <Buttons.hpp>
#include <ExtCtrls.hpp>
#include <ComCtrls.hpp>
#include <TabNotBk.hpp>
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>
#include <Buttons.hpp>
#include "CPort.hpp"
#include "CPortCtl.hpp"
#include <ExtCtrls.hpp>
#include <DB.hpp>
#include <DBTables.hpp>
#include <DBGrids.hpp>
#include <Grids.hpp>
#include <DBCtrls.hpp>
#include <Mask.hpp>
//-----
class TForm2 : public TForm
{
__published: // IDE-managed Components
    TBitBtn *BitBtn1;
    TImage *Image1;
    TTabControl *TabControl1;
    TNotebook *Notebook1;
    TLabel *Label1;
    TLabel *Label2;
    TTrackBar *TrackBar1;
    TLabel *Label3;
    TBitBtn *B_iniciar_M;
    TBitBtn *B_parar_m;
    TTimer *Timer_atualiza_graficos;
```



```
TLabel *Label4;
TImage *Image2;
TImage *Image3;
TLabel *Label5;
TLabel *Label6;
TBitBtn *BitBtn2;
TBitBtn *B_SAIR;
TTimer *Timer_M;
TBitBtn *B_iniciar_A;
TBitBtn *B_parar_A;
TTimer *Timer_A;
TEdit *Edit1;
TEdit *Edit2;
TEdit *Edit3;
TEdit *Edit4;
TEdit *Edit5;
TEdit *Edit6;
TEdit *Edit7;
TEdit *Edit8;
TEdit *Edit9;
TEdit *Edit10;
TMemo *Memo_M;
TLabel *Label7;
TLabel *Label8;
TLabel *Label9;
TLabel *Label10;
TLabel *Label11;
TLabel *Label12;
TLabel *Label13;
TGroupBox *GroupBox1;
TLabel *Label14;
TLabel *Label15;
TLabel *Label16;
TLabel *Label17;
TLabel *Label18;
TLabel *Label19;
TLabel *Label20;
TLabel *Label21;
TLabel *Label22;
TLabel *Label23;
TLabel *Label24;
TLabel *Label25;
TLabel *Label26;
TLabel *Label27;
TLabel *Label28;
TLabel *Label29;
TLabel *Label30;
TLabel *Label31;
TLabel *Label32;
TLabel *Label33;
TLabel *Label34;
TLabel *Label35;
TLabel *Label36;
TLabel *Label37;
TLabel *Label38;
TLabel *Label39;
TLabel *Label40;
TLabel *Label41;
TLabel *Label42;
TLabel *Label43;
TLabel *Label44;
```

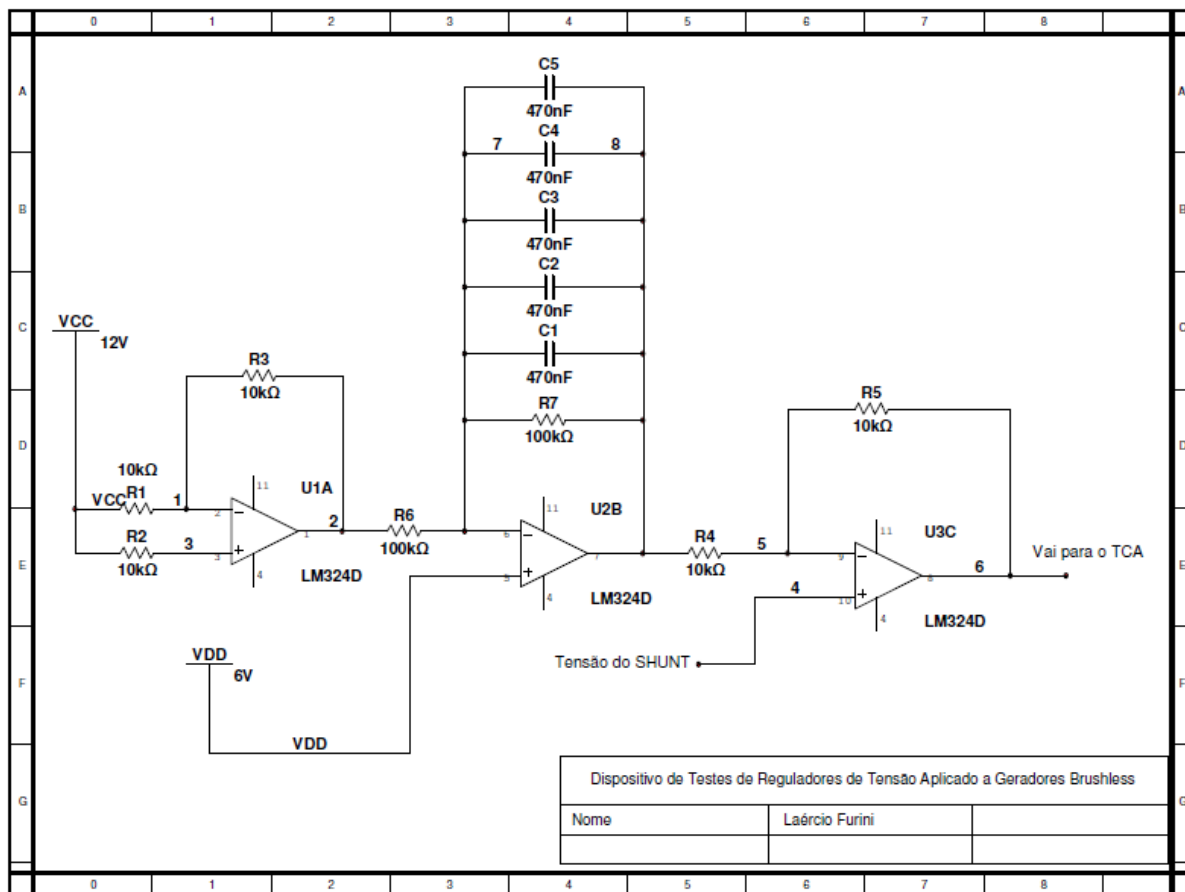


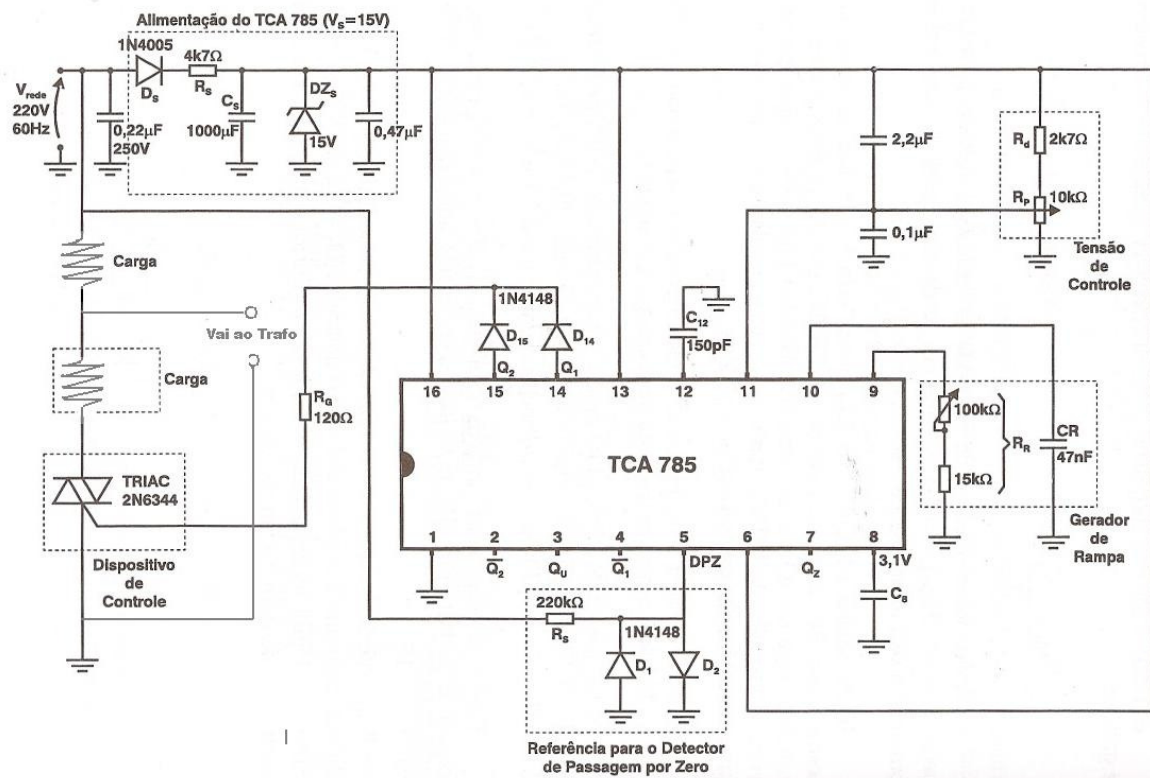
```
TLabel *Label45;
TLabel *Label46;
TLabel *Label47;
TLabel *Label48;
TLabel *Label49;
TLabel *Label50;
TLabel *Label51;
TLabel *Label52;
void __fastcall BitBtn1Click(TObject *Sender);
void __fastcall TabControl1Change(TObject *Sender);
void __fastcall TrackBar1Change(TObject *Sender);
void __fastcall B_iniciar_MClick(TObject *Sender);
void __fastcall B_parar_mClick(TObject *Sender);
void __fastcall FormShow(TObject *Sender);
void __fastcall Timer_atualiza_graficosTimer(TObject *Sender);
void __fastcall BitBtn2Click(TObject *Sender);
void __fastcall B_SAIRClick(TObject *Sender);
void __fastcall Timer_MTimer(TObject *Sender);
void __fastcall B_parar_AClick(TObject *Sender);
void __fastcall B_iniciar_AClick(TObject *Sender);
void __fastcall Timer_ATimer(TObject *Sender);
private: // User declarations
public: // User declarations
    __fastcall TForm2(TComponent* Owner);
void Passa_parametros(TComPort *ComPort_1, TTable *Table_1);
int REG[16];
int TG[100];
int TE[100];
int CE[100];
};
//-----
extern PACKAGE TForm2 *Form2;
//-----
#endif
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include <tchar.h>
//-----
USEFORM("U_principal.cpp", Form1);
USEFORM("U_testes.cpp", Form2);
//-----
WINAPI _tWinMain(HINSTANCE, HINSTANCE, LPTSTR, int)
{
    try
    {
        Application->Initialize();
        Application->MainFormOnTaskBar = true;
        Application->CreateForm(__classid(TForm1), &Form1);
        Application->CreateForm(__classid(TForm2), &Form2);
        Application->Run();
    }
    catch (Exception &exception)
    {
        Application->ShowException(&exception);
    }
    catch (...)
    {
        try
        {
            throw Exception("");
        }
    }
}
```



```
        }
        catch (Exception &exception)
        {
            Application->ShowException(&exception);
        }
    }
    return 0;
}
//-----
```


APÊNDICE D – CIRCUITOS ELÉTRICOS





ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS REGULADORES DE TENSÃO

Realimentação	: 170 a 280Vca ou 340 a 560Vca
Alimentação do circuito de potência ..:	170 a 280Vca (1Ø ou 2Ø)
Tensão de saída	: 76.5 a 126Vcc
Resistência de campo.....	: 6 até 50Ω (20°C)
Corrente nominal de operação.....	: 7,0A
Corrente de pico (máx. 10s.).....	: 10,0A
Regulação estática	: 0,5%
Resposta dinâmica ajustável	: 8 a 500ms
Frequência de operação	: 50 ou 60Hz
Proteção de subfrequência (U/F)	: Ajustável
Ajuste Droop p/ operação paralela ...:	0 a 5%
Ajuste interno de tensão	: + / - 15%
Ajuste externo de tensão	: + / - 15% (potenciômetro 5kΩ/3W e ou sinal analógico +/- 9V)
Temperatura de operação.....	: 0° a + 60°C
Supressão de EMI.....	: Filtro de Interferência Eletromagnética (filtro EMI)
Peso aproximado.....	: 0,48kg

Tabela 3 - Características

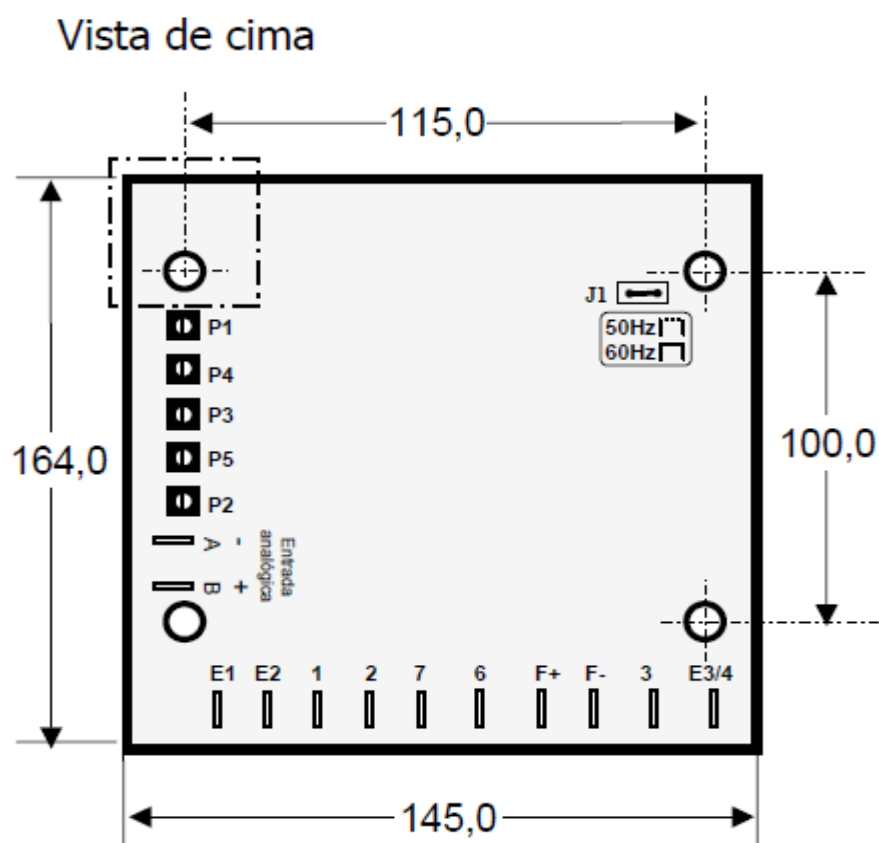
(FONTE: Grameyer, 2000 – pág. 12)

E1	: Realimentação de tensão (160 a 300Vca)
E2	: Realimentação de tensão (320 a 600Vca)
3	: Alimentação da potência
E3/4	: Realimentação de tensão
1¹	: Conexão para pólo S1 do TC, relação In/5A
2¹	: Conexão para pólo S2 do TC, relação In/5A
6 e 7	: Conexão para potenciômetro 5 kΩ/3 W
F+ e F-	: Conexão para campo do gerador
J1	: Jumper 50/60 Hz (J1 aberto = 50 Hz - fechado = 60 Hz)
A²	: Entrada analógica de tensão -9 Vcc
B²	: Entrada analógica de tensão +9 Vcc

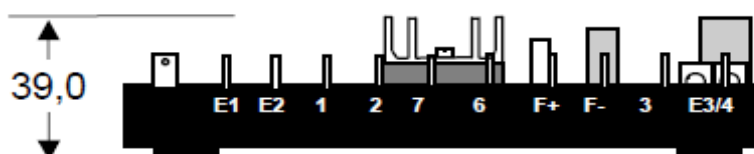
Tabela 4 - Descrição dos Terminais

(FONTE: Grameyer, 2000 – pág. 12)

ANEXO B – DIMENSÕES DO REGULADOR DE TENSÃO

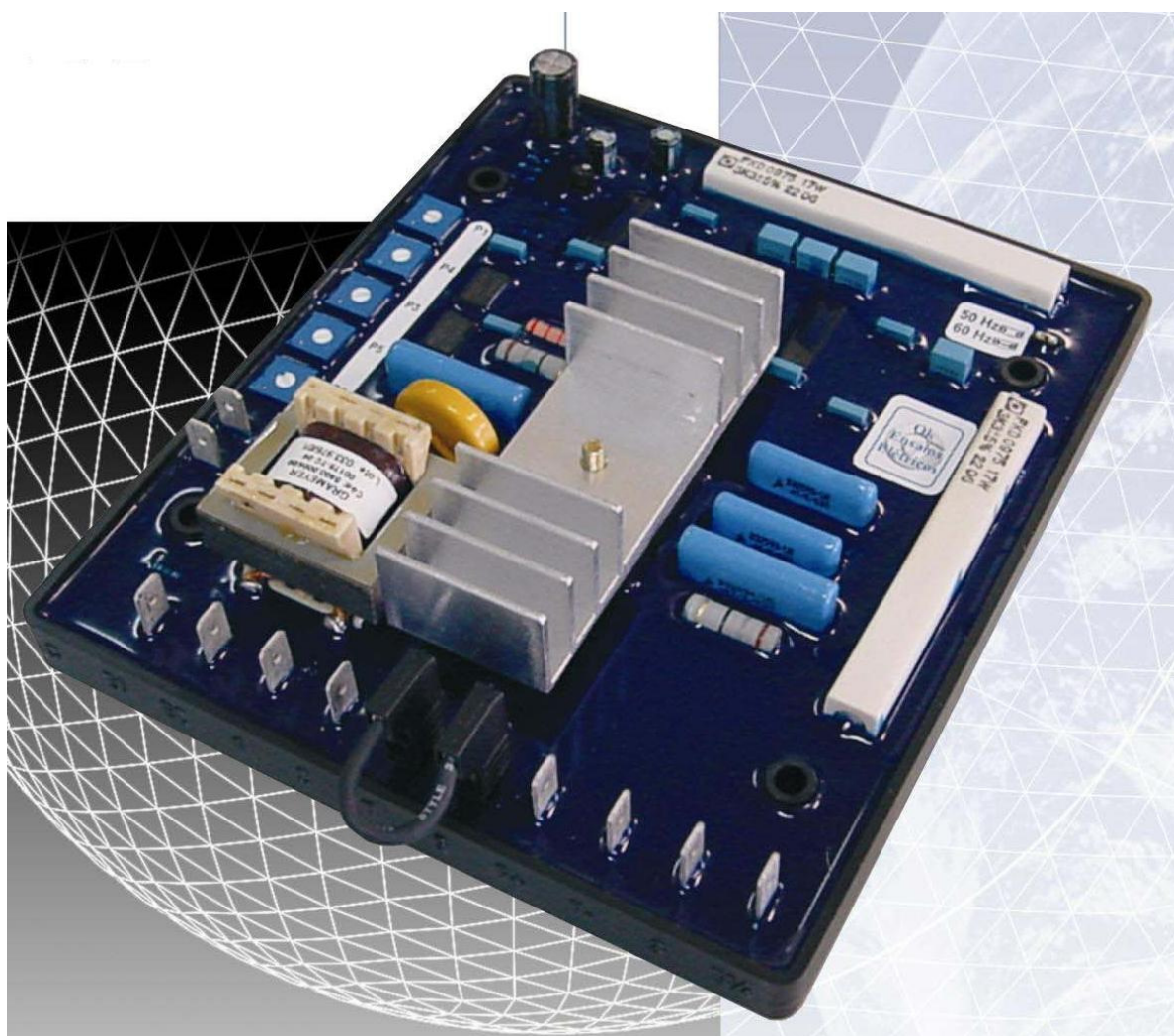


Vista de frente



(FONTE: Grameyer, 2000 – pág. 16)

ANEXO C – FOTO DO REGULADOR DE TENSÃO



(FONTE: Grameyer, 2000 – pág. 13)