

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em eletrônica automotiva

Célio Nobre de Araújo
Rogério Aparecido Zavan

Santo André

2014

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

CÉLIO NOBRE DE ARAÚJO

ROGÉRIO APARECIDO ZAVAN

**PLATAFORMA AUTOMATIZADA PARA ENSAIOS DINÂMICOS EM
ALTERNADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso
entregue à Fatec Santo André como
requisito parcial para obtenção do título
de Tecnólogo em Eletrônica
Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

Santo André
2014

Araújo, Célio Nobre de
Plataforma automatizada para ensaios dinâmicos de alternadores
automotivos / Célio Nobre de, Rogério Aparecido. - Santo André,
2014 — 52f: il.

Trabalho de conclusão de curso – FATEC- Santo André. Curso de Eletrônica
Automotiva, 2014.
Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Alternadores 2. Labview 3. Automotivo I. Zavan, Rogério II. Plataforma
automatizada para ensaios dinâmicos de alternadores automotivos.

Dedicatória

Dedicamos este trabalho a nossos familiares, por
nos fazer acreditar que o sonho era possível.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus por ter nos dado força e sabedoria para superar as dificuldades encontradas no decorrer do projeto. Agradecemos também a todos os docentes da Fatec Santo André que ministraram aula para nós, possibilitando adquirir os conhecimentos que iremos levar para nossas vidas.

Resumo

Para a alimentação elétrica do sistema de ignição e de injeção, unidades de comando para dispositivos eletrônicos, eletrônica de segurança e de conforto, iluminação etc., é necessário que os veículos disponham de uma potente fonte de energia própria, que seja confiável e esteja sempre disponível. Nos dias atuais para suprir a demanda de carga em veículos automotores são usados alternadores que, assim como a eletrônica embarcada, tornaram-se mais confiáveis, entretanto por serem dispositivos eletromecânicos, podem sofrer desgastes das partes móveis e falhas nos componentes eletrônicos dos circuitos de retificação e regulação de corrente, necessitando assim de testes que possibilitam dimensionar o seu real desempenho através de ensaios dinâmicos automatizados. Este trabalho tem como objetivo automatizar os ensaios de alternadores de uma bancada convencional de mercado através da implantação de um inversor de frequência e de uma carga eletrônica, possibilitando ensaios em diferentes faixas de rotação e consumo de carga, este controle será exercido por *Labview*®.

Abstract

Supply power to ignition and injection control units, electronic devices, electronic safety and comfort, lighting and etc., it is necessary to have vehicles equipped with reliable and always available electrical power source. In the present day, to meet the electrical load demands in automotive vehicles, modern alternators and batteries, as well as embedded electronics, became more reliable. However, alternators are electromechanical devices, can be worn away from moving parts and electronic components, such as rectification and regulation circuits can fail. Thus, it requires tests in order to evaluate their actual performance through automated dynamic tests. This work aims to automate a commercial test bench of conventional alternators, implementing a frequency inverter and an electronic load system, allowing testing the alternator in different ranges of rotation and load consumption and this control is performed by a program written in the graphical language Labview ®.

Lista de Ilustrações

Figura 1	Alguns dos elementos alimentados pelo sistema de carga.....	12
Figura 2	Estrutura de um alternador Bosch.....	15
Figura 3	Elementos de um alternador.....	16
Figura 4	Suporte das escovas.....	16
Figura 5	Os três grupos (6 bobinas cada) de enrolamentos do estator.....	17
Figura 6	Ligação das bobinas do estator.....	17
Figura 7	Conexão estrela e triângulo para corrente trifásica.....	18
Figura 8	Núcleo polar do rotor (6 polos).....	18
Figura 9	Condução do diodo em função da tensão trifásica.....	20
Figura 10	Tensão trifásica de saída.....	20
Figura 11	Retificação de corrente alternada trifásica.....	21
Figura 12	Retificação de corrente alternada trifásica.....	21
Figura 13	Percurso da corrente em um circuito de pré-excitação.....	23
Figura 14	Percurso da corrente no circuito de carga.....	23
Figura 15	Percurso da corrente no circuito de excitação.....	24
Figura 16	Regulagem da corrente de excitação.....	25
Figura 17	Bancada de teste de alternadores.....	28
Figura 18	Diagrama de funcionamento da bancada MOD. ECB 120 ^a -12/24v	28
Figura 19	Diagrama do projeto de automatização da bancada.....	29
Figura 20	Diagrama elétrico da carga eletrônica.....	30
Figura 21	Diagrama elétrico da carga eletrônica.....	30
Figura 22	Diagrama elétrico da carga eletrônica.....	31
Figura 23	Ligação do inversor de frequência.....	33
Figura 24	Configuração básica de um inversor de frequência.....	34
Figura 25	Retificador.....	34
Figura 26	Inversor de Potência.....	35
Figura 27	Formas de onda.....	35
Figura 28	Circuito simplificado.....	36
Figura 29	Pontos de chaveamento e as formas de onda correspondente.....	37
Figura 30	Pontos de chaveamento e as formas de onda correspondente.....	37
Figura 31	Inversor de frequência.....	38
Figura 32	DAQ NI USB-6009.....	39
Figura 33	Diagrama do teste de linearidade da carga.....	39
Figura 34	Relação da corrente em função da tensão.....	40
Figura 35	Diagrama de configuração do segundo teste	40
Figura 36	Ligação do potenciômetro no inversor.....	41
Figura 37	Painel Frontal do programa de controle.....	42
Figura 38	Circuito auxiliar.....	42
Figura 39	Diagrama de bloco do programa de controle.....	44
Figura 40	Painel Frontal do programa de controle.....	45
Figura 41	Curva característica de um alternador trifásico	46
Figura 42	Bancada de teste automatizada	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Algumas das possíveis avarias e causas de anomalias do sistema de carga.....	33
Tabela 2 - Relação da corrente em função da tensão.....	40
Tabela 3 - Resultados do segundo teste.....	42
Tabela 4 - Exemplo de tabela desenvolvida para o programa.....	43

Lista de Abreviaturas e Siglas

Sumário

1. Introdução.....	12
1.1.Motivação	13
1.2.Objetivos.....	13
1.3.Contribuições esperadas.....	14
1.4.Organização do trabalho.....	14
2. Sistema de Carga Automotivo	15
2.1.Alternadores	15
2.1.1.Escovas	16
2.1.2.Estator	16
2.1.3.Rotor	18
2.1.4.Ponte Retificadora	19
2.1.4.1.Corrente de pré-excitação	22
2.1.4.2.Circuito de corrente de carga	23
2.1.4.3.Circuito de corrente de excitação	24
2.1.5.Regulador de tensão	24
2.2.Possíveis defeitos	26
2.3.Teste de mercado	28
3. Proposta do Projeto	30
3.1.Carga eletrônica	30
3.1.1.Ajuste da resistência	31
3.1.2.Modulação e constância da corrente	32
3.1.3.Modulação externa	32
3.1.4.Regulação da corrente constante	33
3.2. Inversor de frequência	33
3.2.1. Retificador	34
3.2.2. Amplificador da saída PWM	35
3.2.3. Controle	36
3.2.4. Proteção contra Surtos	36
3.2.5. Proteção Interna	36
3.2.6.Driver	36
3.2.7.Auto-Boost	36
3.2.8.Programação	36
3.2.9. Interface (I/O)	37
3.2.10.Controle	37
3.2.11.Chaveamento	37
3.3. O programa de controle	38
3.4. Testes práticos.....	39
4. Resultados	45
5. Conclusão	47
6. Referências	48
Anexo 1	49

1 Introdução

O sistema elétrico veicular é uma das partes mais importantes de um automóvel. Tendo em conta o número de dispositivos elétricos e eletrônicos que existem, por menor que sejam, sempre ficarão dependentes de um sistema elétrico que, ao mesmo tempo, permita armazenar energia elétrica e fazer a manutenção dessa energia. Essas reservas de energia garantem que os dispositivos elétricos e eletrônicos sempre terão energia para exercer as funções a que estão destinados.

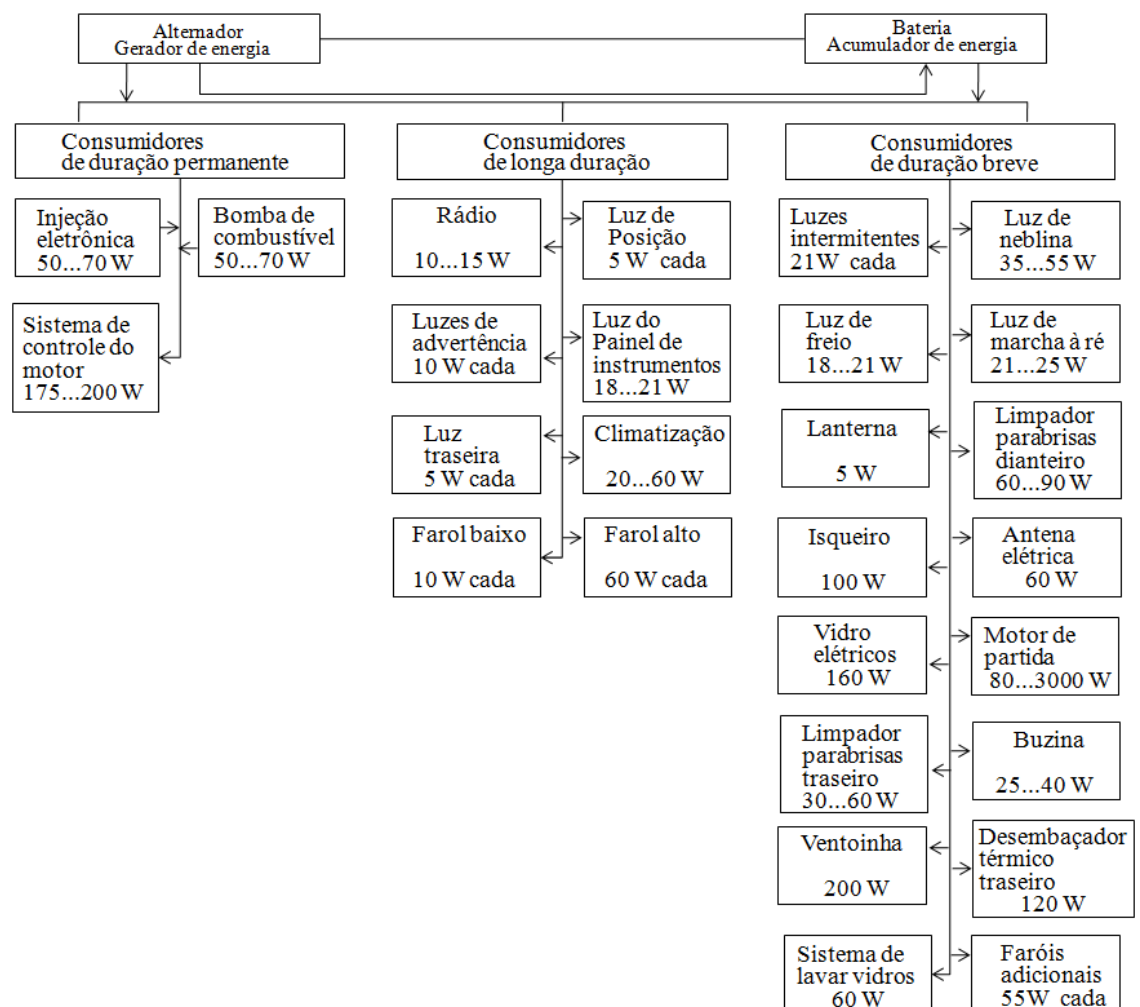


Figura 1 Alguns dos elementos alimentados pelo sistema de carga
[Extraído de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 4]

No diagrama da *figura 1* estão representados alguns dos consumidores presentes em um veículo, bem como as potências consumidas. Estes consumidores estão também separados em três grupos em função do tipo de consumo: permanente, prolongada e breve, no caso de dispositivos com pouca utilização.

Em resumo, o sistema de carga veicular foi alvo de uma grande evolução ao longo da história, motivada pela necessidade crescente de potência elétrica disponível no veículo.

É neste contexto que surge o alternador, componente do automóvel que está montado no motor, e quando acionado por meio de correias e polias gera energia elétrica para alimentar todos os consumidores e carregar a bateria. Para isso, o alternador converte a corrente alternada, que ele mesmo gera, em corrente contínua.

1.1 Motivação

Em um cenário mundial em que a demanda de carga vem se tornando cada vez maior em veículos automotores, o bom funcionamento de um alternador é a garantia de sustentabilidade dos sistemas eletrônicos embarcados. As grandes mudanças de rotação e oscilações de carga de um motor à combustão também requerem um dispositivo de regulação confiável para a tensão do alternador.

O entendimento mais amplo do seu funcionamento e a possibilidade de submeter esse importante componente a ensaios dinâmicos com carga atrelados a ausência de uma plataforma de teste automatizada nos motiva no desenvolvimento desse trabalho.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivos gerais a análise, projeto, simulação e a construção de uma plataforma automatizada para testes de alternadores com uma carga eletrônica que permitam:

- i. Analisar o processo de geração de carga.
- ii. Simular o consumo de um veículo através de uma carga eletrônica.
- iii. Possibilitar a análise e coleta de dados.
- iv. Seja capaz de expor um alternador às condições reais de funcionamento.

Como objetivos específicos:

- i. Estudo de alternadores.
- ii. Estudo de cargas eletrônicas.
- iii. Automação da Bancada de Teste de Alternadores com o uso da ferramenta de programação *Labview*.

- iv. Geração da simulação de carga e rotação no alternador.
- v. Projeto do *hardware*.
- vi. Montagem do protótipo.
- vii. Doação de uma carga eletrônica não comercial para o Laboratório de Carga e Partida.

1.3 Contribuições esperadas

Esse trabalho oferecerá ao laboratório de Carga e Partida da Fatec Santo André um equipamento que contribuirá para facilitar o aprendizado, bem como o trabalho do professor que leciona a disciplina. Com esse equipamento os alunos terão aplicações práticas do funcionamento de alternadores e do uso da ferramenta computacional *Labview*.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: o capítulo 2 descreve de maneira geral o funcionamento de alternador, o capítulo 3 descreve a metodologia do trabalho detalhando o projeto e construção da carga eletrônica e do sistema de automação da bancada de testes da KITA, disponibilizado pela Fatec Santo André. O capítulo 4 apresenta os resultados dos testes realizados com a automação da bancada, testes com alternador e a carga eletrônica e resultados com a geração dos perfis de testes do alternador.

2 Sistema de carga Automotivo

2.1. Alternadores

Enquanto a bateria representa um acumulador de energia química com o motor do veículo parado, o alternador é literalmente a “central elétrica” de bordo que assegura a condição de funcionamento de todos os equipamentos quando o veículo está em funcionamento. Ele tem a função de alimentar todos os equipamentos elétricos e eletrônicos a bordo (BOSCH 2001/2002).

Na *figura 2* podemos observar a estrutura de um alternador Bosch em corte.

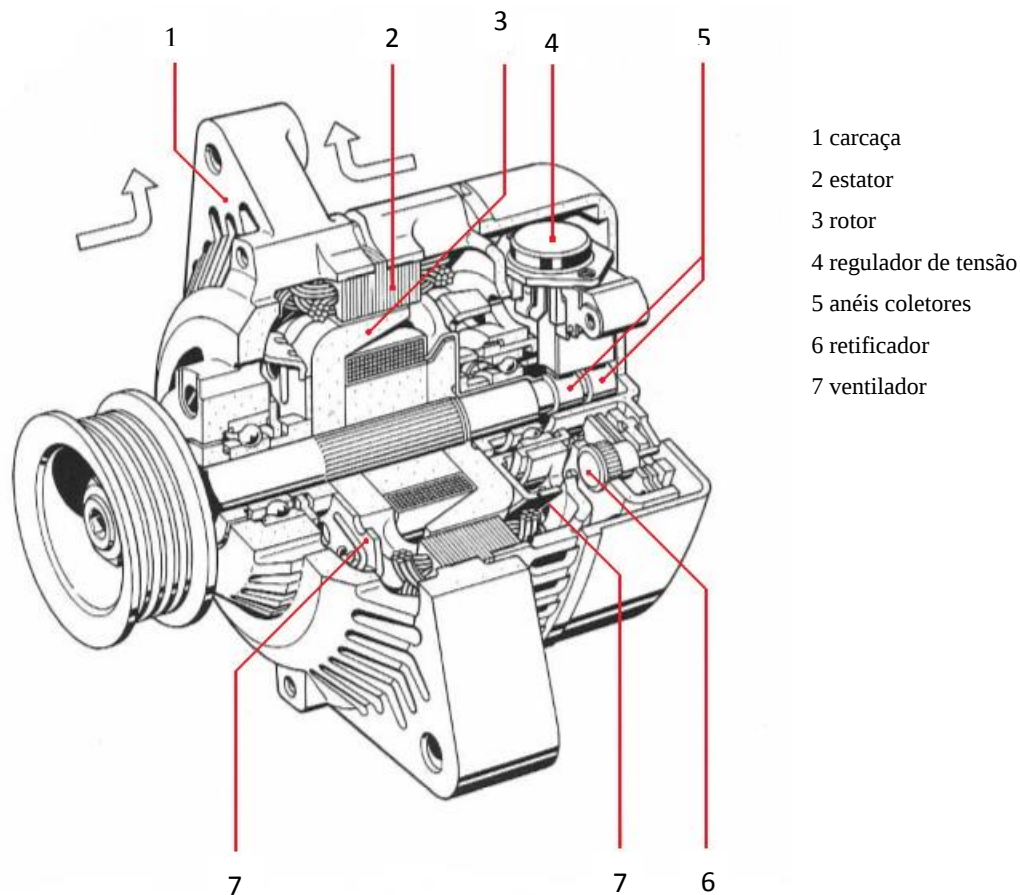


Figura 2 Estrutura de um alternador Bosch.
[Extraída de (BOSCH 2001/2002), pág. 17]

A *figura 3* nos permite observar mais detalhadamente os componentes responsáveis pelo funcionamento de um alternador.

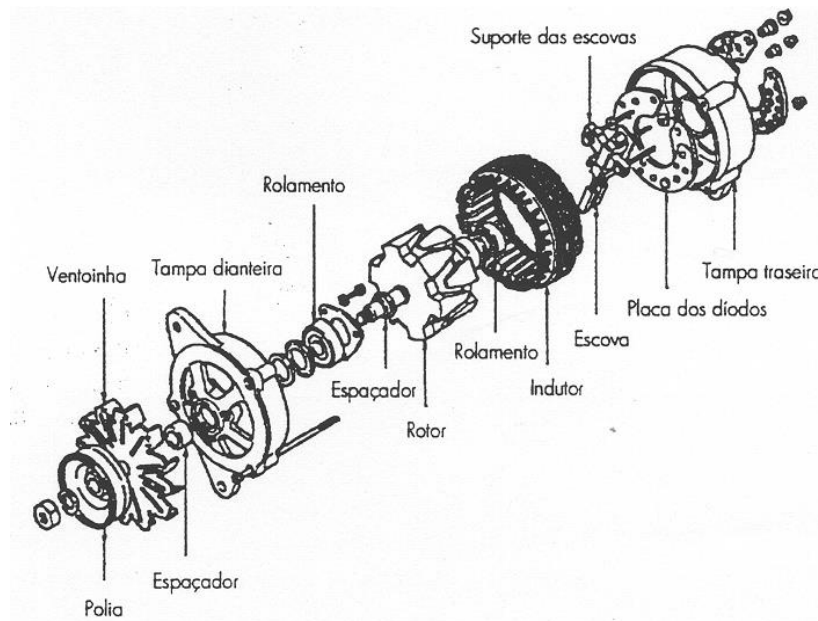


Figura 3 Elementos de um alternador
 [Extraído de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 11]

2.1.1. Escovas

A bobina indutora recebe a corrente de um par de escovas que fazem sua ligação elétrica à bateria, através de anéis coletores.

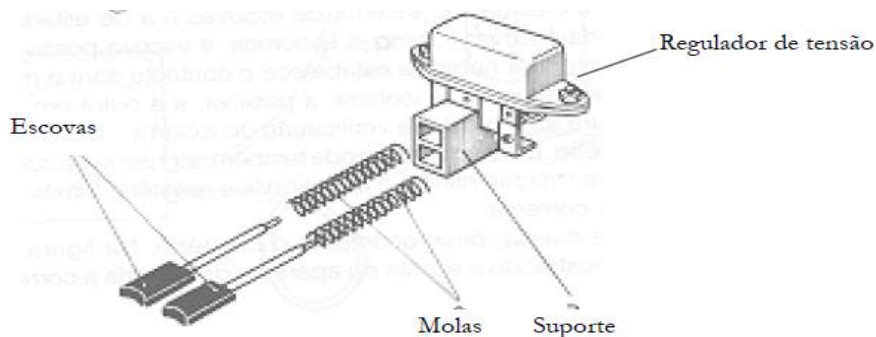


Figura 4 Suporte das escovas
 [Extraído de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 12]

Na *figura 4* observa-se que as escovas são “empurradas” contra os anéis coletores através de suporte da mola. A baixa corrente que tem que conduzir (2 a 5 A) permite-lhes um tempo de vida elevado (ALVES e LOURENÇO, 2009).

2.1.2. Estator

É o alojamento do rotor. O estator de um alternador trifásico tem três grupos independentes de enrolamentos, um para cada fase, dispostos à volta de um núcleo ferromagnético laminado ilustrado na *figura 5*.

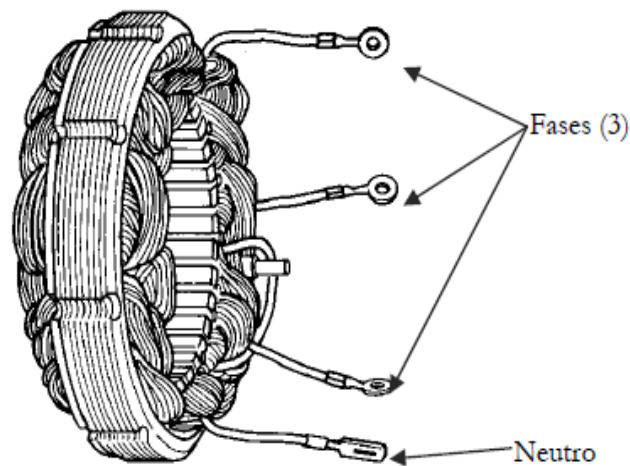


Figura 5 Os três grupos (6 bobinas cada) de enrolamentos do estator
[Extraído de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág.13]



Figura 6 Ligação das bobinas do estator
[Extraído de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág.14]

Cada um dos três enrolamentos deverá ter um número de bobinas múltiplo do número de pares de polos do rotor (rotor com seis pares de polos é um valor comum, correspondendo a um estator com $3 \times 6 = 18$ bobinas ou $3 \times 12 = 36$ bobinas). Esta restrição do número de bobinas do estator garante que, num dado instante de tempo, em todas as bobinas do mesmo enrolamento seja induzida uma f.e.m do mesmo valor, podendo estas ser ligadas em série

(constituindo assim um mesmo enrolamento). Os três grupos de enrolamentos são dispostos alternadamente, com ligeira sobreposição, o que é necessário para a geração das defasagens pretendidas (ALVES e LOURENÇO, 2009).

Podemos ver na *figura 6* como estão ligadas as bobinas dos três enrolamentos do estator, para um alternador com seis pares de polos indutores e doze bobinas por enrolamento.

Neste caso, para um mesmo enrolamento, cada bobina está enrolada em um sentido contrário das suas vizinhas, só assim se consegue um sincronismo das f.e.m. induzidas, pois enquanto que uma está sobre influência de um polo norte, uma bobina vizinha está sobre influência de um polo sul. Obviamente que a frequência da f.e.m.

induzida é proporcional ao número de pares de polos e a velocidade de rotação do rotor (ALVES e LOURENÇO, 2009). A ligação dos três enrolamentos pode ser feita em estrela ou em triângulo (figura 7).

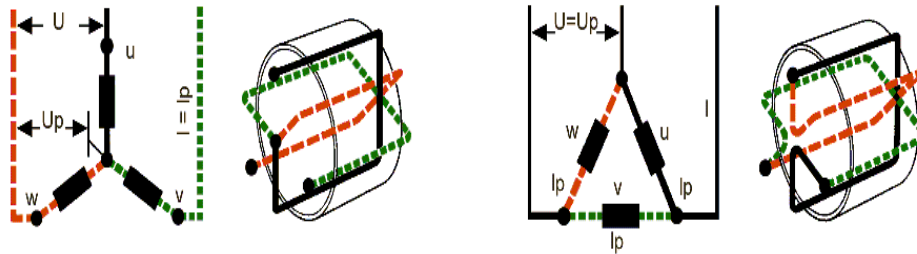


Figura 7 Conexão estrela e triângulo para corrente trifásica
[Extraída de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 14]

-Conexão em estrela: Tensão do alternador U e tensão U_p (tensão parcial) distinguem-se pelo fator 1,73. A corrente I do alternador é igual à corrente de fase I_p .

$$U = U_p \times 1,73 \quad I = I_p$$

- Conexão em triângulo: Tensão do alternador U é igual à tensão de fase U_p .

A corrente do alternador I e a corrente de fase I_p distinguem-se pelo fator 1,73.

$$U = U_p \quad I = I_p \times 1,73$$

2.1.3. Rotor

O rotor é constituído por dois núcleos polares (polos magnéticos norte e sul) e uma bobina indutora (também chamada bobina de campo).

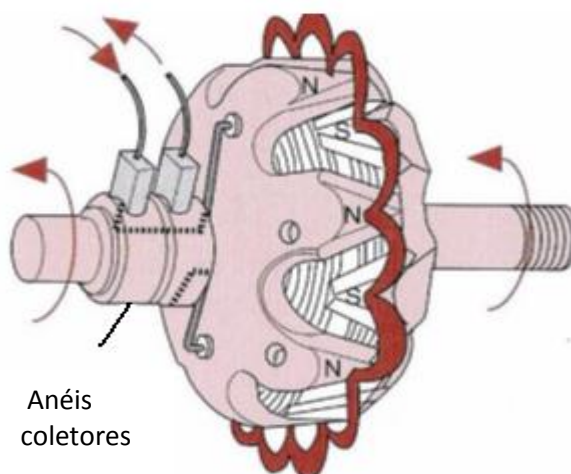


Figura 8 Núcleo polar do rotor (6 polos)
[Extraído de (notas de aula de Carga e Partida 2014, Fatec Santo André)]

Os terminais em forma de garra se encaixam alternadamente como polo norte e polo sul. Eles recobrem o enrolamento anular do estator que se encontra sobre o núcleo polar (*figura 8*).

A bobina indutora está enrolada na mesma direção da rotação do rotor, e cada extremidade da bobina está ligada a um anel coletor. Os dois núcleos polares estão instalados em cada lado da bobina, envolvendo-a. O fluxo magnético é produzido pela corrente que atravessa a bobina (2 a 5 A, fornecidos pela bateria), levando a que, com a rotação do rotor, os polos sejam alternados entre norte e sul. Os anéis coletores são isolados do rotor. Existem alternadores em que o campo magnético indutor é produzido por um ímã permanente, contudo, nesse caso, não é possível a regulação da tensão através da excitação (não seria possível aumentar ou diminuir a intensidade do campo magnético indutor, como no caso do eletroímã). (ALVES e LOURENÇO, 2009)

2.1.4. Ponte retificadora (placa de diodos)

A geração da corrente trifásica (corrente alternada de três fases) nos alternadores ocorre em conjunto com o movimento rotativo do induzido. Uma vantagem da corrente trifásica é que, ao contrário da corrente alternada monofásica, produz um valor médio maior após a etapa de retificação. Neste princípio há três enrolamentos iguais e independentes no induzido, dispostas com deslocamento de 120° entre si. Devido a este deslocamento de 120° as tensões alternadas ali induzidas também sofrem um deslocamento de fase de 120° entre si (BOSCH 2001/2002).

Normalmente seriam necessários seis condutores de corrente para o transporte de energia elétrica de um alternador sem enrolamentos interligados. Através da conexão entre os três circuitos de corrente é possível reduzir para três o número de condutores de corrente (BOSCH 2001/2002).

O encadeamento dos circuitos de corrente é realizado pela “conexão em estrela” ou “conexão triângulo”(BOSCH 2001/2002).

A tensão alternada gerada pelo alternador não é adequada nem para a bateria e nem para a alimentação das unidades de comando eletrônicas e componentes. É necessário que ela seja retificada (BOSCH 2001/2002).

A retificação (onda completa) de um sistema trifásico exige dois diodos para cada uma das fases, resultando um total de seis diodos. Na essência é transformar

corrente negativa em corrente positiva. Em um dado instante de tempo, apenas dois diodos estão em condução – são aqueles que estão ligados às saídas do alternador que tem o maior potencial (positivo e negativo), nesse mesmo instante de tempo (ALVES e LOURENÇO, 2009).

Ao serem aplicadas três tensões (U_1 , U_2 , U_3) defasadas de 120° , o comportamento dos diodos vai ser o seguinte.

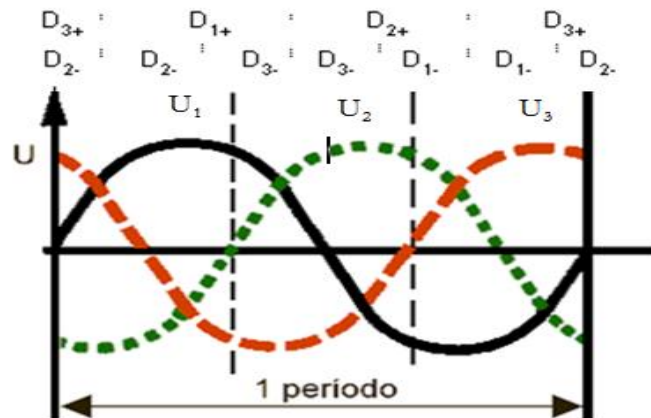


Figura 9 Condução do diodo em função da tensão trifásica
[Extraída de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 15]

A tensão de saída do sistema (U_{out}) terá sempre a mesma polaridade.

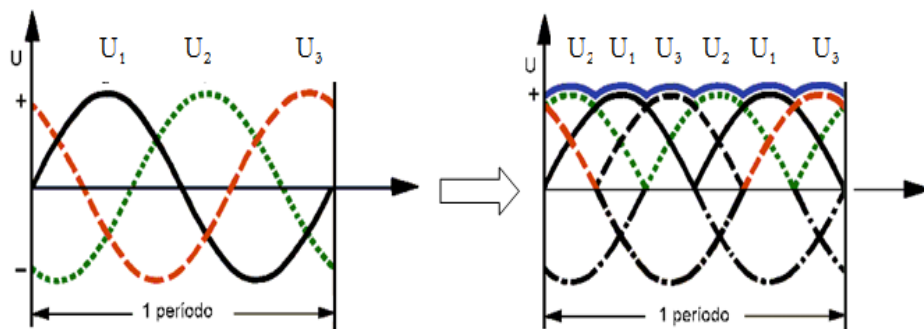


Figura 10 Tensão trifásica de saída transformada em tensão contínua de saída levemente ondulada
[Extraída de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 15]

Nos alternadores, a ponte retificadora é montada na chamada placa de diodos. Na *figura 11* pode visualizar-se a aplicação da ponte retificadora a saída do alternador, observando o formato temporal das várias tensões.

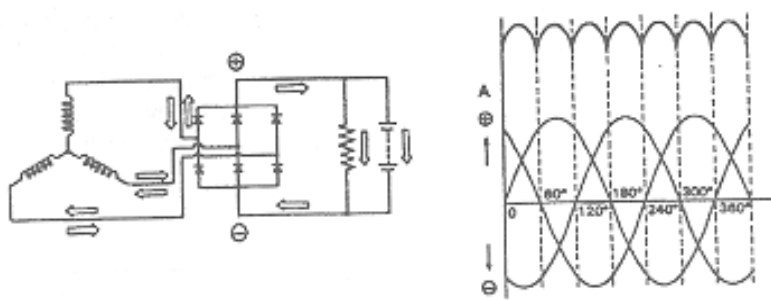


Figura 11 Retificação de corrente alternada trifásica
[Extraída de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 16]

Na *figura 12* pode-se observar que embora o sentido das correntes nas bobinas do estator mude de sentido, o sentido da corrente nas cargas (bateria e receptores) é sempre o mesmo (ALVES e LOURENÇO, 2009).

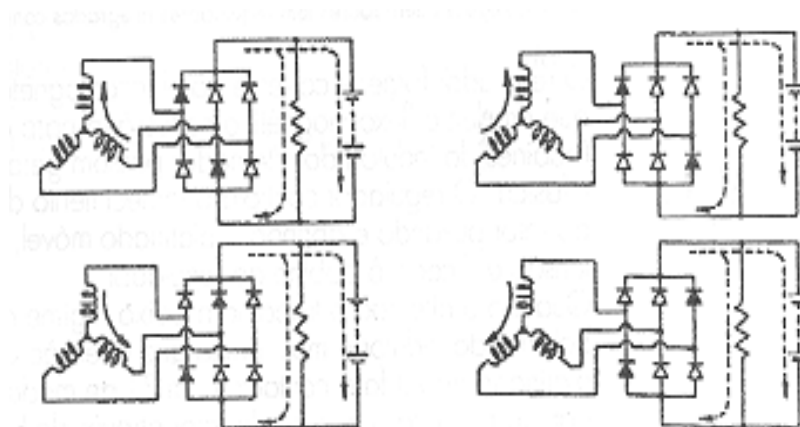


Figura 12 Retificação de corrente alternada trifásica
[Extraída de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 16]

A corrente contínua que o alternador fornece à rede de bordo mediante carga elétrica não é totalmente “plana” (filtrada), mas ligeiramente ondulada. Essa ondulação continua sendo filtrada pela bateria disposta em paralelo ao alternador e pelos capacitores na rede de bordo, desde que disponíveis (BOSCH 2001/2002).

No alternador há três circuitos de corrente:

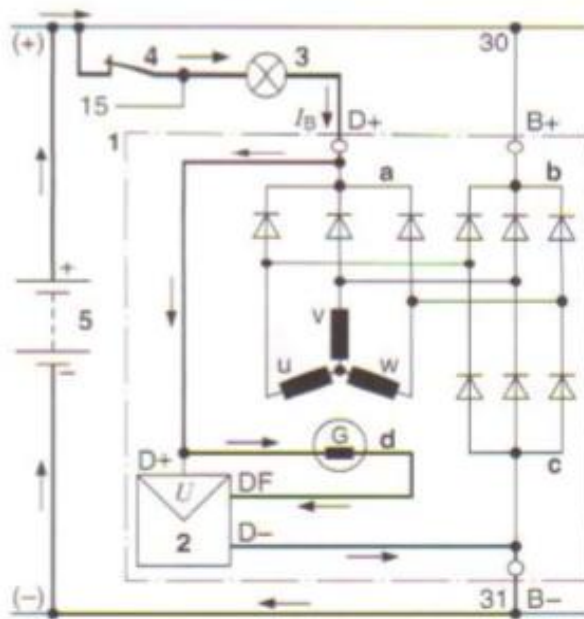
- Circuito de corrente de pré-excitação;
- Circuito de corrente de carga;
- Circuito de corrente de excitação.

2.1.4.1. Corrente de pré-excitação

Os alternadores são auto-excitantes, isto é, a corrente de excitação é obtida na própria máquina, desviada da corrente principal. O conceito chave que torna possível a excitação, isto é, o aparecimento de um campo magnético quando ainda não há passagem de corrente de excitação é conhecido por “remanência magnética”. Ao ser desligada a corrente de um eletroímã, o respectivo campo magnético não desaparece por completo. Quando o alternador é acionado pelo motor do veículo, o magnetismo remanescente no núcleo de ferro provocará a formação de uma pequena força eletromotriz no enrolamento do alternador. Essa pequena tensão, por sua vez, provocará a passagem de uma pequena corrente elétrica no circuito fechado do enrolamento de excitação de maneira que o magnetismo remanescente é acrescido de algum eletromagnetismo, que reforça o campo de excitação. Em virtude do campo de excitação mais forte, resultará uma força eletromotriz mais elevada, constituindo-se finalmente o valor desejado da força eletromotriz, correspondente à rotação do alternador (ALVES e LOURENÇO, 2009).

A auto-excitação somente poderá ocorrer quando a tensão do alternador for maior que a queda de tensão nos dois diodos; $2 \times 0,7 \text{ V} = 1,4 \text{ volts}$ (BOSCH 2001/2002).

O campo de magnetismo remanescente do rotor produzirá a referida tensão somente com uma rotação elevada. Por isso, é necessária a pré-excitação do alternador na partida do motor. A forma mais prática é sob a forma de corrente da bateria, através da lâmpada indicadora de carga (BOSCH 2001/2002). Após ligar o motor, a corrente de pré-excitação terá o percurso apresentado na *figura 13*.



Legenda:

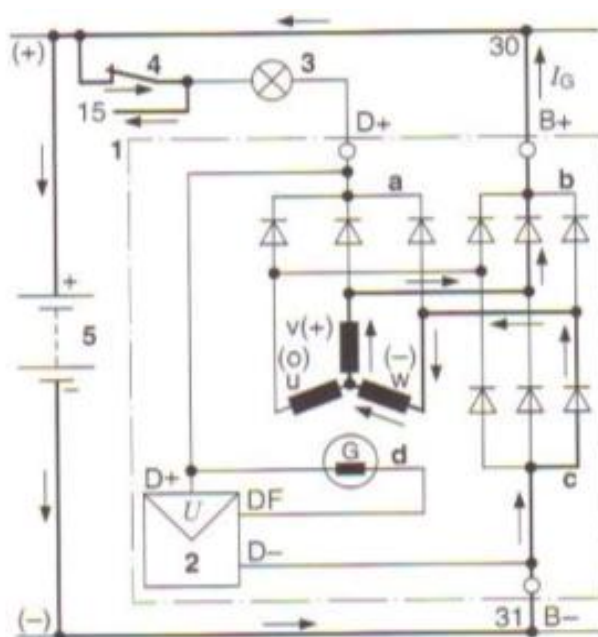
- 1 – Alternador;
- 1a – Diodos de excitação (G);
- 1b – Diodos da placa positiva;
- 1c – Diodos da placa negativa;
- 1d – Bobina de excitação;
- 2 – Regulador;
- 3 – Lâmpada de controle do alternador;
- 4 – Interruptor de ignição;
- 5 – Bateria.

Figura 13 Percurso da corrente em um circuito de pré-excitação
[Extraído de (BOSCH 2001/2002) pág. 12]

A corrente de pré-excitação causará com a passagem de corrente pela lâmpada indicadora, um campo magnético suficientemente grande para o início da auto-excitação do alternador.

2.1.4.2.Circuito da corrente de carga

No borne “D” do alternador, obtém-se a corrente para carregar a bateria e alimentar os consumidores elétricos do veículo. O percurso da corrente de carga e de consumo é visto na *figura 14*.



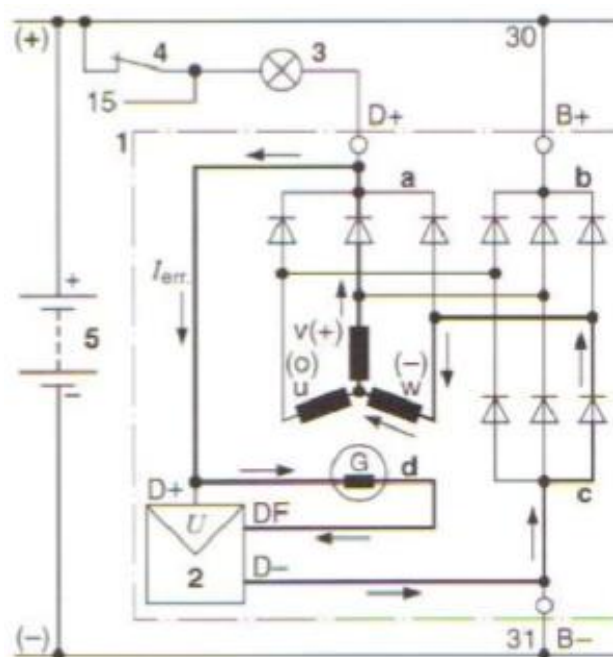
- 1 – Alternador;
- 1a – Diodos de excitação (G);
- 1b – Diodos da placa positiva;
- 1c – Diodos da placa negativa;
- 1d – Bobina de excitação;
- 2 – Regulador;
- 3 – Lâmpada de controle do alternador;
- 4 – Interruptor de ignição;
- 5 – Bateria.

Figura 14 Percurso da corrente no circuito de carga
[Extraído de (BOSCH 2001/2002) pág. 14]

Verifica-se que a tensão na extremidade "U" do enrolamento é positiva, em "W" negativa e em "V" é igual à zero (sem tensão). O percurso da corrente é então o seguinte: extremidade de enrolamento "W", díodo negativo "W", borne de alternador "D-", massa, bateria (consumidor), borne de alternador "B+", díodo positivo "U", extremidade de enrolamento "U", ponto neutro. Enquanto as correntes de fase modificam o seu valor e trocam de polaridade, a corrente fornecida à bateria (ou aos consumidores elétricos) mantém sempre o mesmo sentido (ALVES e LOURENÇO, 2009).

2.1.4.3. Circuito de corrente de excitação

A corrente de excitação para a produção do campo magnético é derivada do enrolamento do estator e retificada por três diodos de excitação especiais e três diodos de potência negativos (ALVES e LOURENÇO, 2009). O percurso da corrente de excitação é mostrado na *figura 15*.



- 1 – Alternador;
- 1a – Diodos de excitação (G);
- 1b – Diodos da placa positiva;
- 1c – Diodos da placa negativa;
- 1d – Bobina de excitação;
- 2 – Regulador;
- 3 – Lâmpada de controle do alternador;
- 4 – Interruptor de ignição;
- 5 – Bateria.

Figura 15 Percurso da corrente no circuito de excitação
[Extraído de (BOSCH 2001/2002) pág. 13]

2.1.5. Regulador de tensão

Praticamente todos os instrumentos receptores que equipam o automóvel funcionam corretamente desde que a tensão nominal da rede se mantenha dentro de limites muito estreitos. A f.e.m. produzida por um alternador varia com a velocidade de rotação do rotor e com a corrente de excitação do indutor. No caso do automóvel, a velocidade de rotação do motor varia muito, desde 600-900 RPM até 6000-7000 RPM.

No alternador existe uma multiplicação de cerca de duas vezes a RPM em relação ao motor permitindo que o alternador gire entre 1200-1800 e 12000-14000 RPM. Nestas condições, a tensão obtida no alternador seria variável, podendo atingir valores na ordem dos 250 V, o que não pode acontecer (BOSCH 2001/2002).

Para resolver este problema recorre-se ao regulador de tensão. O objetivo é o de controlar a corrente de excitação da bobina indutora, mediante a velocidade de rotação do motor, reduzindo a excitação quando sobem as rotações e aumentando a excitação quando a rotação é mais baixa (BOSCH 2001/2002) conforme a *figura 16*.



Figura 16 Regulagem da corrente de excitação
[Extraído de (BOSCH 2001/2002) pág. 15]

Com isto a tensão dos bornes do alternador U_G (entre os bornes B+ e B-) é mantida constante até a corrente máxima na mudança de rotação e carga. Redes de bordo com tensão de bateria de 12 V são reguladas no campo de tolerância de 14 V. Enquanto a tensão gerada pelo alternador ficar abaixo da tensão de regulação, o regulador não é ativado. Quando a tensão ultrapassa o valor nominal superior estabelecido no âmbito da tolerância de regulação, o regulador interrompe a corrente de excitação. A excitação é enfraquecida, isto é, a tensão do alternador cai. Se em função

disso a tensão do alternador ultrapassar o valor nominal inferior, o regulador ativa novamente a corrente de excitação. A excitação aumenta e consequentemente também a tensão do alternador. Se a tensão ultrapassar o valor limite superior, o ciclo de regulação recomeça. Como os ciclos de regulação estão na faixa de milésimos de segundos, a tensão média do alternador é regulada de acordo com o mapa pré-determinado (BOSCH 2001/2002).

A adaptação progressiva às diversas rotações é automática. A relação dos respectivos tempos de acionamento e repouso é determinante para o fator da corrente média de excitação. Em baixas rotações o tempo de acionamento é relativamente longo e o tempo de repouso é curto. A corrente de excitação é interrompida apenas por um curto período e seu valor médio é auto. Ao contrário, nas altas rotações o tempo de acionamento é curto e o tempo de repouso longo. A corrente de excitação que flui é baixa (BOSCH 2001/2002).

2.2. Possíveis defeitos

O sistema de carga automotivo, ao longo da vida útil do veículo, não está imune a avarias. Estas avarias podem ser motivadas pelas mais variadas causas: desgaste mecânico de componentes, má utilização do veículo, falta de manutenção, etc. (ALVES e LOURENÇO, 2009)

- A bateria não se carrega ou carrega de forma Insuficiente; – A luz de sinalização do sistema de carga não liga quando o motor está parado e com a chave em posição ON; (ALVES e LOURENÇO, 2009)

- A luz de sinalização do sistema de carga continua ligada com intensidade máxima quando o motor do veículo está em marcha incluindo em regime alto de revoluções; (ALVES e LOURENÇO, 2009)

- A luz de sinalização do sistema de carga fica ligada com intensidade máxima com o motor parado e ao colocar o motor em marcha reduz a intensidade ou se apaga. (ALVES e LOURENÇO, 2009)

Avárias	Possíveis causas
Tensão superior a 14 V	• Regulador de tensão defeituoso
Corrente inferior a corrente de carga	• Defeito no regulador de tensão • Diodos em curto • Curto entre espiras ou à massa do estator
Lâmpada piloto acende com a ignição desligada	• Existe um ou mais diodos retificadores positivos queimados (em curto)
A lâmpada piloto acende (fraca) quando o motor está acelerado	• Verificar as conexões: Cabo massa do motor à carroceria, cabos da bateria • Diodos de excitação abertos • Diodos positivos abertos
A lâmpada piloto não acende com o motor parado	• Lâmpada queimada ou desligada • Regulador de tensão desconectado • Bateria totalmente descarregada ou danificada • Enrolamento do rotor interrompido
A lâmpada acende com pouca luminosidade e não se altera	• Circuito de campo do alternador interrompido • Terminais DF isolados • Escovas com mau contato • Anel coletor rompido

Tabela 1 Algumas das possíveis avarias e causas de anomalias do sistema de carga
[Extraída de (ALVES e LOURENÇO, 2009), pág. 16]

2.3. Teste de mercado



Figura 17 Bancada de teste de alternadores
[Extraída de (KITACARREGADORES.COM.BR, 07-2014)]

Para a execução de testes de alternadores automotivos encontramos no mercado a bancada MOD. ECB 120A-12/24 V ilustrada na *figura 17*, fabricada pela Empresa KITA pertencente ao grupo ENGRO.

Na *figura 18* verificamos o princípio de funcionamento desta bancada, tem como base o acionamento de um motor com rotação fixa, acoplado ao alternador por polias e correia. Através de um reostato de carga, controlado manualmente, ocorre a descarga para a bateria que será medido por um amperímetro fixado na bancada em série com o alternador.

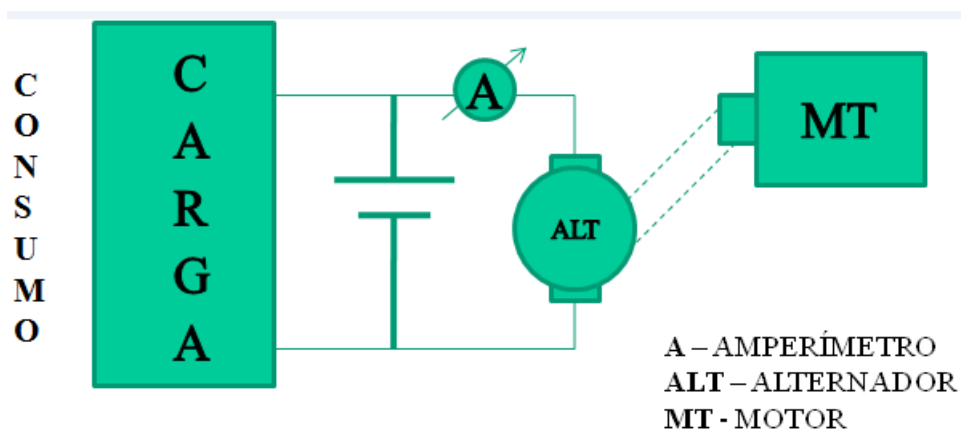


Figura 18 Diagrama de funcionamento da bancada MOD. ECB 120^a-12/24 V

3 Desenvolvimento do Projeto

O projeto consiste na automatização da bancada MOD. ECB 120A-12/24 V encontrada no mercado. Este projeto permite a variação simultânea de rotação e carga no alternador através de um inversor de frequência e do desenvolvimento e construção de uma carga eletrônica não comercial. Os dois sistemas são controlados por um *software* conforme diagrama da *figura 19*, permitindo a simulação de diferentes condições de funcionamento do alternador, assim como a que estão sujeitos nos veículos.

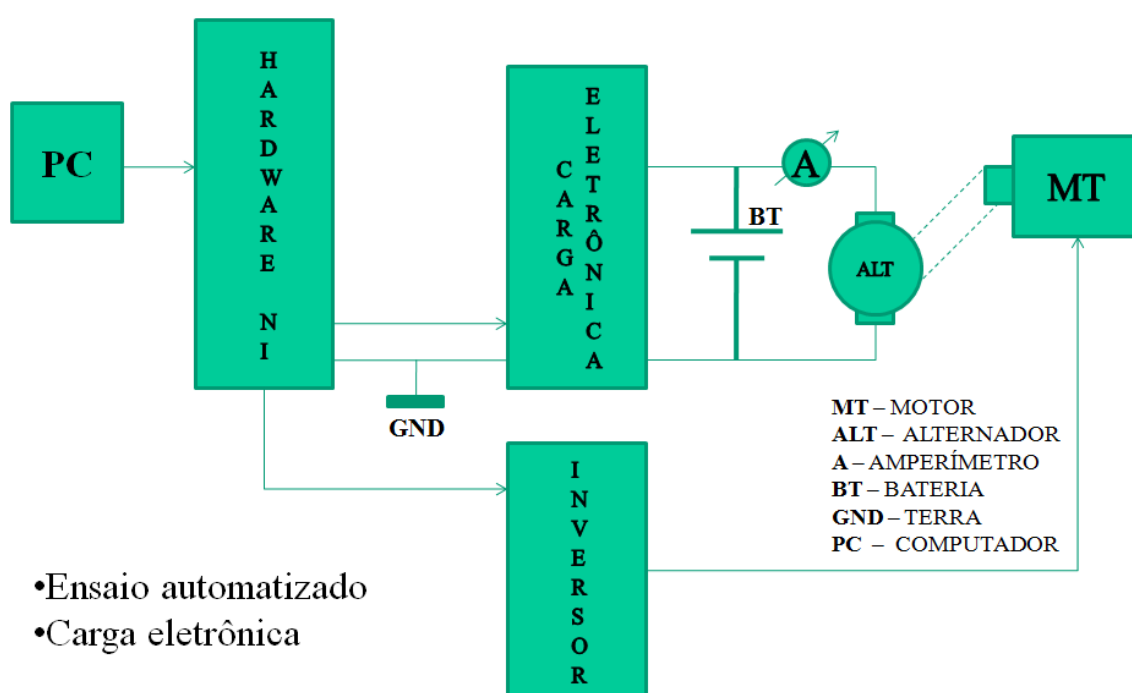


Figura 19 Diagrama do projeto de automatização da bancada MOD. ECB 120A-12/24 V.

3.1. Carga eletrônica

A carga eletrônica é um sistema composto de dois grupos de dez transistores, na qual cada grupo está disposto em paralelo entre si. Na *figura 20* vemos dois grupos de transistores controlados em paralelo, de modo a simular duas resistências de carga ativas e ligadas em paralelo. Os pontos “T” e “U” estão ligados ao terra por uma de suas extremidades. As resistências de R_{24} a R_{43} servem para equilibrar as diferentes tensões emissor/base dos transistores 2N3055 e asseguram uma divisão equitativa da corrente dos emissores entre os diferentes transistores.

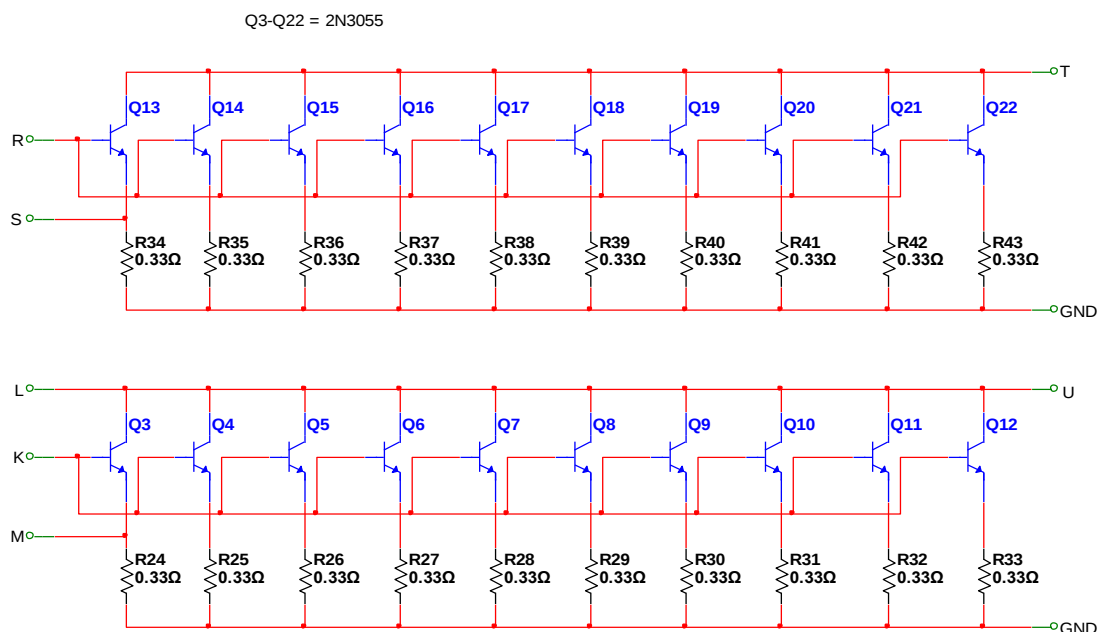


Figura 20 Diagrama elétrico da carga eletrônica
[adaptado de (REVISTA ELEKTOR Outubro1990), pág. 37]

Embora no projeto seja usada somente a modulação externa diretamente aplicada ao ponto “P” da *figura 21*, via controle por *software*, a carga eletrônica possui quatro entradas de controle da operação: ajuste da resistência, modulação e constância da corrente, regulação da corrente constante e modulação externa.

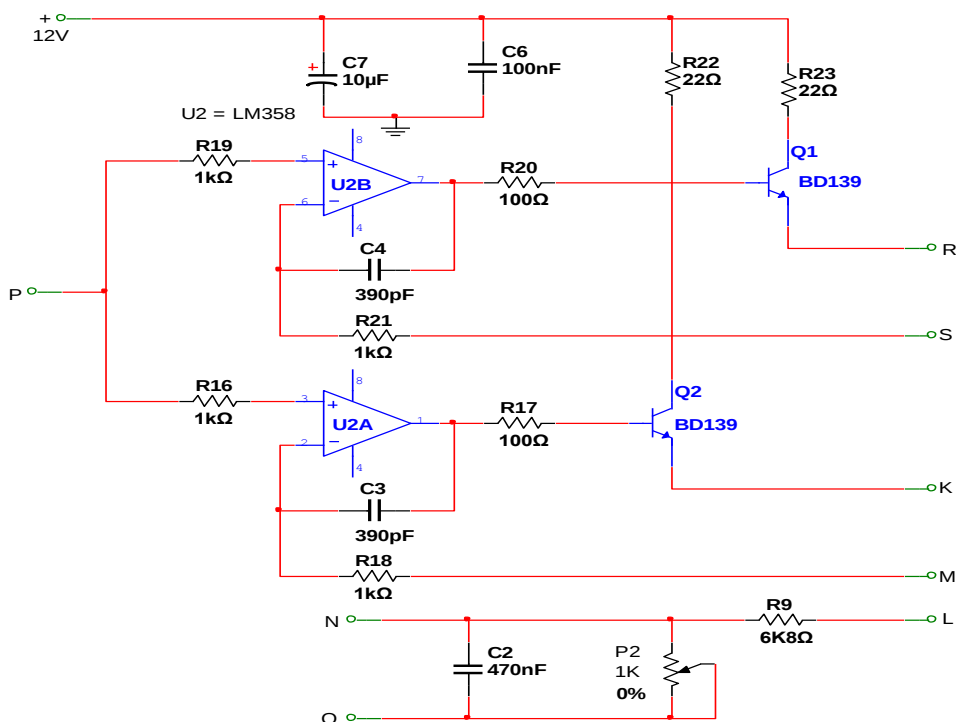


Figura 21 Diagrama elétrico da carga eletrônica
[adaptado de (REVISTA ELEKTOR Outubro 1990), pág. 37]

potência do sistema até que a queda de tensão nos terminais da resistência R_{24} (R_{34} , no caso de U2B) corresponda a tensão resultante P_2/R_9 . Encontramos neste ponto de ligação (“N” está ligado ao ponto “P” através da chave comutadora S_1) a tensão de entrada dividida por P_2/R_9 , isto é, a tensão nos terminais da resistência de carga eletrônica no ponto “U”.

Um aumento da tensão de entrada acarreta um acréscimo da tensão aplicada na entrada não inversora do amplificador operacional, portanto um aumento da corrente de carga. O circuito por esse motivo comporta-se como uma resistência ôhmica cujo valor pode-se ajustar por meio do potenciômetro P_2 . (REVISTA ELEKTOR, Outubro 1990)

3.1.2. Modulação e constância da corrente

Na *figura 22* os amplificadores operacionais U1A e U1B, constituem um gerador de funções simples. A posição 2 da chave comutadora S_{1A} põe um sinal retangular à disposição e a posição 3 gera um sinal triangular. O potenciômetro P_3 atua sobre a frequência do sinal ao longo de uma gama compreendida entre 5 e 50 Hz. A tensão do sinal amplificado pelo amplificador U1D é aplicada, por intermédio da chave comutadora S_{2B} , como valor padrão para o amplificador de regulação U2A/B. Como agora a tensão do sinal já não é dependente da tensão de entrada da resistência de carga eletrônica, um aumento da tensão de entrada não mais se traduz em uma corrente de carga mais intensa. Se utilizarmos uma das formas de onda como sinal de comando, o circuito irá funcionar como dreno de corrente constante modulada. A modulação da corrente de carga responde à forma de onda do sinal de comando. O potenciômetro P_1 fixa a amplitude da modulação e permite ajustar o ganho do amplificador operacional U1D. O potenciômetro P_4 permite a adição de uma tensão de compensação (*off-set*) a tensão de comando, o que por sua vez permite defasar a amplitude da modulação relativamente ao zero de referência. (Revista ELEKTOR, Outubro 1990)

3.1.3. Modulação externa

O amplificador U1C na *figura 22*, está montado como amplificador não inversor de ganho unitário. Quando a chave comutadora S_{1A} se encontra na posição 4, o sinal de saída deste amplificador operacional é aplicada a entrada de U1D. Por intermédio desse amplificador operacional será possível aplicar uma tensão de comando a entrada K_1 para fins de modulação externa. A gama de comando vai de 0 a 10 V; sendo necessário ter cuidado para não ultrapassar +12 V e também não aplicar qualquer tensão negativa. O

potenciômetro P_1 permite ajustar a tensão de comando entre 1,5 e 3 A/V por transistor. (Revista ELEKTOR, outubro 1990)

3.1.4. Regulação da corrente constante

Na ausência da ligação de tensão externa (K_1 encontra-se ligado ao terra), será possível definir uma corrente constante através dos transistores. (Revista ELEKTOR, Outubro 1990)

Na *figura 23* vemos o diagrama de blocos da carga eletrônica.

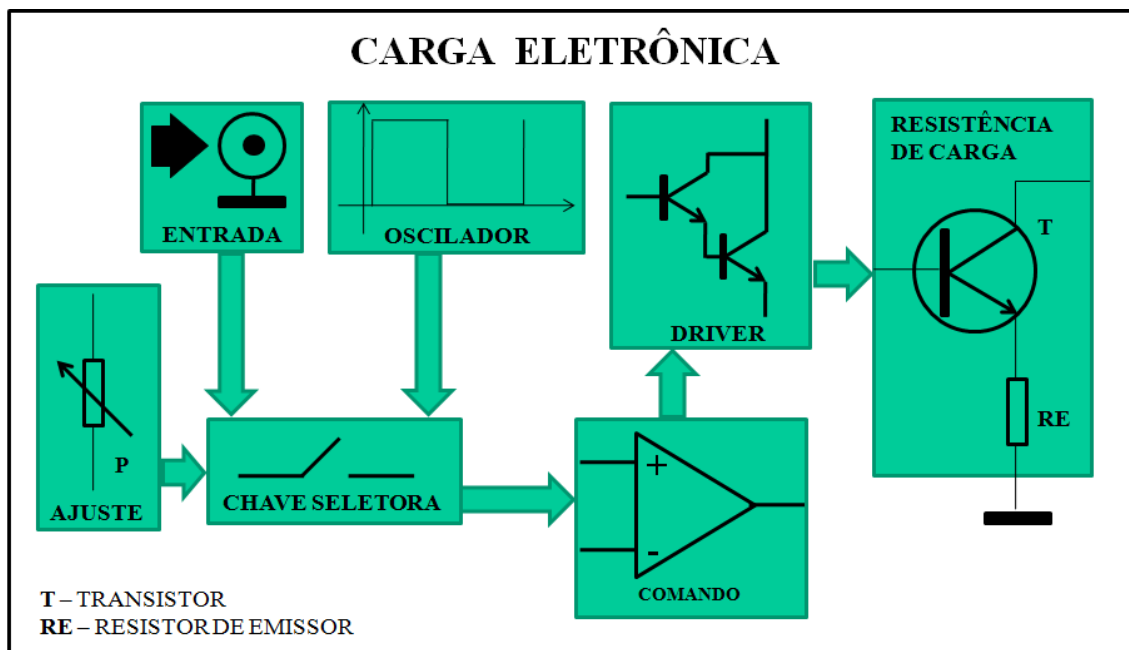


Figura 23 Carga Eletrônica

3.2. Inversor de frequência

Uma forma de se controlar com precisão torque e velocidade de um motor trifásico quer seja a partir de uma entrada de alimentação monofásica, quer seja de uma entrada de alimentação trifásica é através de um inversor de frequência. Os inversores de frequência possuem uma entrada ligada à rede de energia comum de alimentação e uma saída que é aplicada ao dispositivo que deve ser alimentado, no caso um motor trifásico, conforme mostra a *figura 24*.

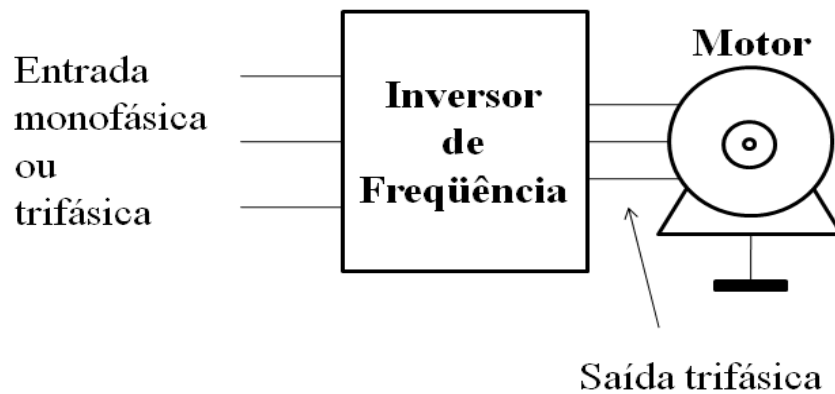


Figura 24 Ligação do inversor de frequência
[Extraída de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-2014)]

Como o controle se faz variando a frequência e a tensão, circuitos com características especiais devem ser usados. Esses circuitos se baseiam em configurações complexas formadas por dispositivos semicondutores de potência, dispositivos lógicos de controle, sistemas de proteção e de monitoramento do funcionamento.

Para entendermos melhor como funciona um inversor típico será interessante partir de sua configuração básica, dada pelo diagrama de blocos da *figura 25*.

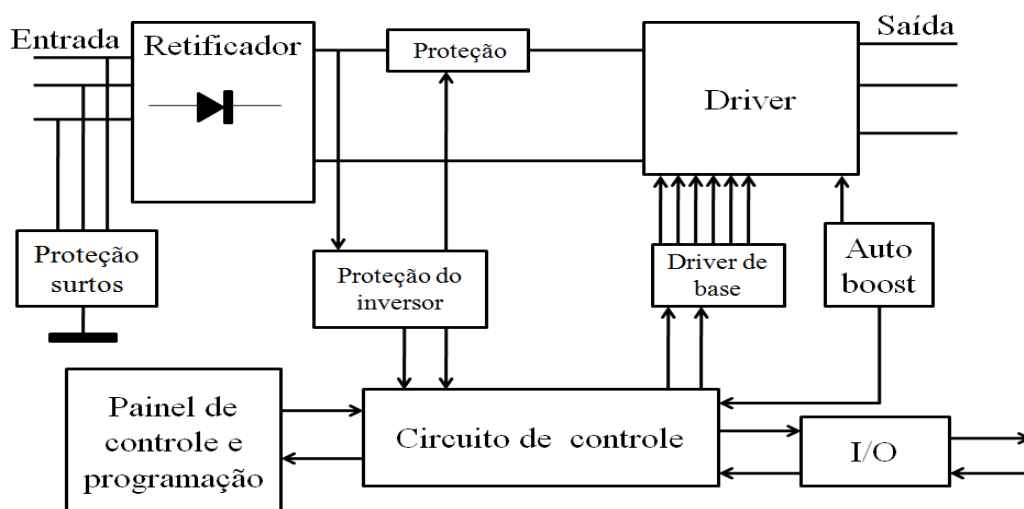


Figura 25 Configuração básica de um inversor de frequência
[Extraído de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-20140)]

3.2.1. Retificador

Este bloco retifica a energia trifásica ou monofásica (alternada) disponível na entrada para a alimentação do inversor. A configuração mais comum é a de uma ponte

de diodos em onda completa conforme mostra a *figura 26*, para o caso de uma entrada trifásica.

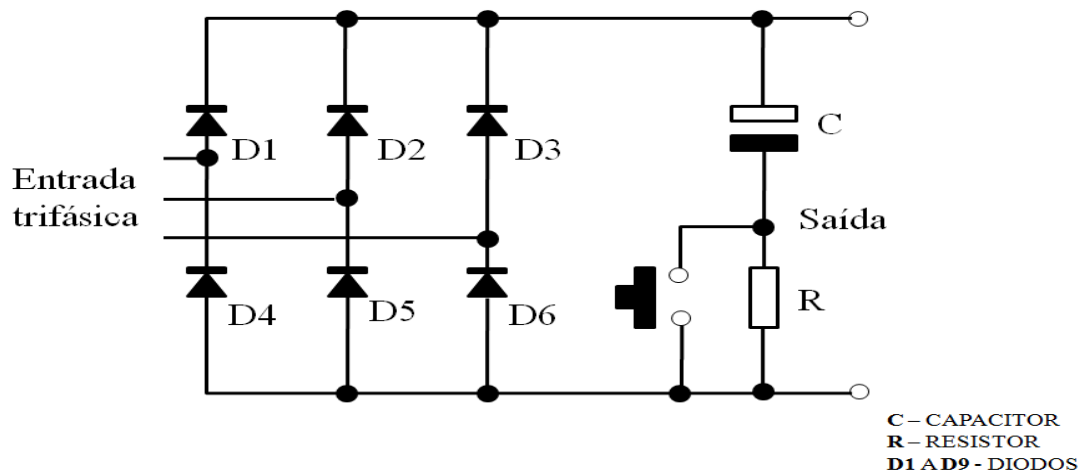


Figura 26 Retificador
[Extraído de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-2014)]

3.2.2. Amplificador da saída PWM

Aqui é gerada a tensão trifásica de alimentação do motor usando a tensão contínua do bloco anterior. Conforme mostra o circuito simplificado da *figura 27*, são usados transistores (IGBTs) que chaveiam a tensão a partir dos sinais de gerador PWM (Modulação por Largura de Pulso).

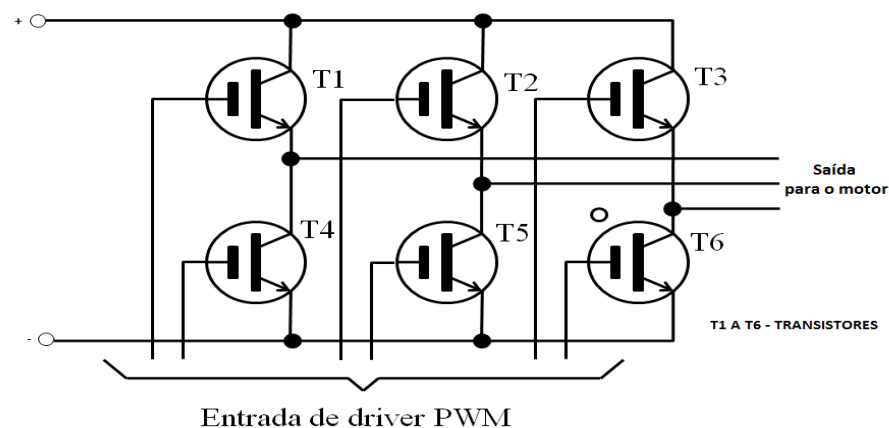


Figura 27 Inversor de Potência
[Extraída de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-2014)]

Os sinais gerados são trens de pulsos, mas ao serem aplicados numa carga indutiva como um motor, o resultado é uma forma de onda aproximadamente senoidal. As características eletromagnéticas do enrolamento (carga de corrente exponencial) do

motor se encarregam de fazer uma suavização da forma de onda que se torna quase que senoidal.

3.2.3. Controle

O bloco de controle gera os pulsos que atuam sobre os transistores de chaveamento. As formas de onda e frequência do sinal gerado por este circuito vão determinar a velocidade e potência aplicada ao motor. Na *figura 28* temos as formas de onda que encontramos neste circuito. Veja que sua aplicação numa carga indutiva resulta numa forma de onda aproximadamente senoidal.

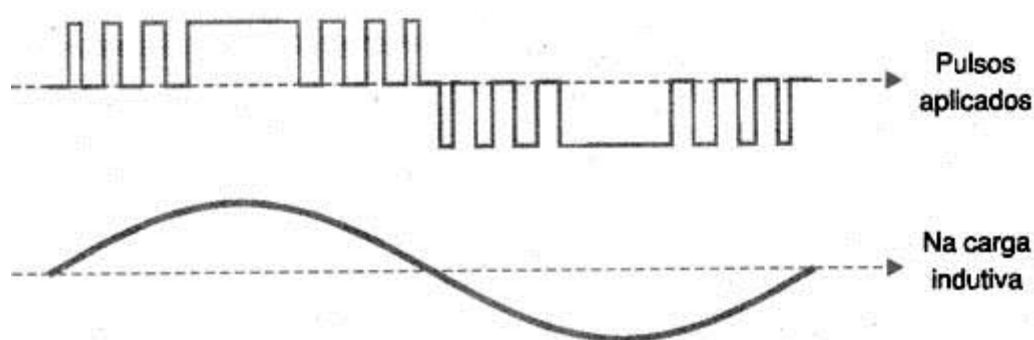


Figura 28 Formas de onda
[Extraído de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-2014)]

3.2.4. Proteção contra Surtos

Sabemos que a tensão da rede de energia pode conter surtos e transientes. Para a proteção desses dispositivos e do próprio circuito são usados elementos como varistores, TVS e outros componentes do mesmo tipo.

3.2.5. Proteção Interna

Este bloco monitora as tensões presentes na saída do retificador. Diante de uma variação perigosa o circuito sinaliza o bloco de controle de modo que ele possa fazer a proteção, por exemplo, desligando a alimentação.

3.2.6. Driver

Este bloco gera os sinais que excitam os transistores de potência de saída.

3.2.7. Auto-Boost

Este bloco é monitora as condições de carga do motor determinando o nível de tensão que deve ser aplicado para se gerar o torque necessário à aplicação.

3.2.8. Programação

Trata-se de um painel que apresentam informações gerais como avisos de erro e onde é feita a programação do modo de funcionamento do motor.

3.2.9. Interface (I/O)

Através deste bloco o inversor se comunica com dispositivos externos, por exemplo, um computador ou ainda microprocessadores ligados a sensores.

3.2.10. Controle

Neste bloco são tomadas as decisões em função da programação, de sinais externos e de sinais internos como os de proteção.

3.2.11. Chaveamento

Para analisar como o circuito gera uma tensão senoidal trifásica a partir de sinais PWM tomemos como ponto de partida o circuito simplificado da *figura 29*.

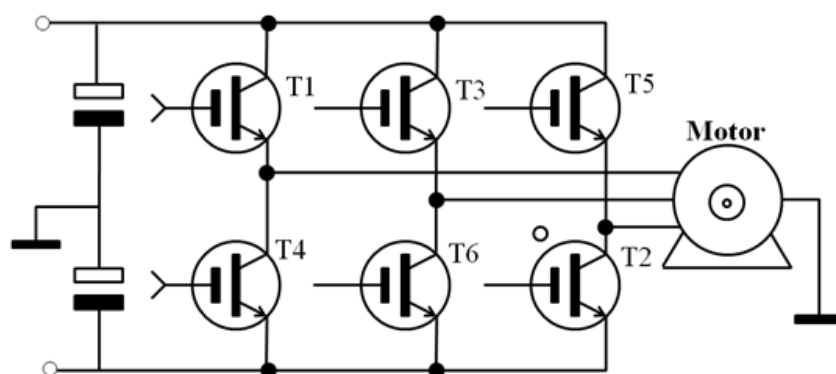


Figura 29 Circuito simplificado
[Extraído de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-2014)]

Na operação, os seis transistores devem ser ligados três a três de tal forma a se obter oito combinações que resultam em três formas de onda senoidais defasadas de 120 graus. Dessas nove combinações existem três que são proibidas, pois levam o circuito a uma condição de curto. São aquelas em que transistores que estão em série conduzem ao mesmo tempo. Na *figura 30* temos então os pontos de chaveamento e as formas de onda correspondentes.

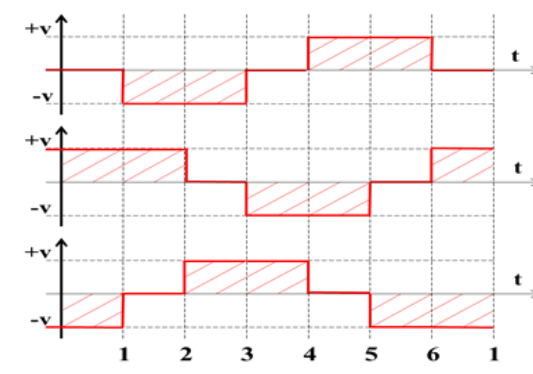


Figura 30 Pontos de chaveamento e as formas de onda correspondente
[Extraída de (NEWTONCBRAGA.COM.BR, 07-2014)]

Um inversor de frequência possibilita o controle da velocidade de um motor trifásico através da frequência da tensão gerada. A frequência de operação de um inversor normalmente está entre 0,5 Hz e 400 Hz, dependendo do modelo e da marca. Deve-se, entretanto notar que quando a velocidade de um motor é alterada pela variação da frequência, seu torque também é modificado. Para manter o torque constante basta fazer com que a relação tensão/frequência ou V/F seja constante.

Na figura 31 vemos o painel do inversor de frequência série CFW-10 que foi usado no projeto.



Figura 31 Inversor de frequência

3.3. O programa de controle

Para o controle da rotação do alternador e consumo de carga nas várias condições de trabalho o uso de *software* se fez necessário. A ferramenta computacional *Labview*, por ser uma linguagem gráfica de fácil visualização e compreensão foi a escolhida.

O *software Labview – Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench* é uma linguagem gráfica de programação criada pela *National Instruments*, que utiliza ícones ao invés de linhas de texto para criar as aplicações. Em contraste com as linguagens de programação baseadas em texto, o *Labview* usa fluxo de dados para determinar a forma de execução.

Os programas em *Labview* possuem extensões chamadas de VI (*Virtual Instruments*) e SubVIs (sub rotinas de programação). As VIs fornecem duas *interfaces*: uma para o fluxo de dados que é o código fonte chamado de Diagrama de Blocos, onde

se desenvolve toda a lógica do *software* e podemos associá-lo a um fluxograma, outra é o Painel Frontal que também permite a programação, a visualização de variáveis e interação do usuário com o programa.

A *interface* entre o Labview e o *hardware* é realizada pelo DAQ NI USB-6009 *figura 32*, fabricado pela *National Instruments* que oferece funções básicas de aquisição de dados para aplicações simples de *datalogging*, medições portáteis e experimentos de laboratórios acadêmicos. Possui 12 entradas ou saídas digitais, 12 entradas analógicas e 2 saídas analógicas.



Figura 32 DAQ NI USB-6009

3.4. Testes práticos

No primeiro teste usamos a carga na configuração de resistência variável (chave seletora S_1 na posição 1), ligamos a carga de acordo com o diagrama da *figura 33*, que teve como objetivo verificar a variação da corrente consumida pela carga em função da tensão de referência regulada pelo potenciômetro P_2 .

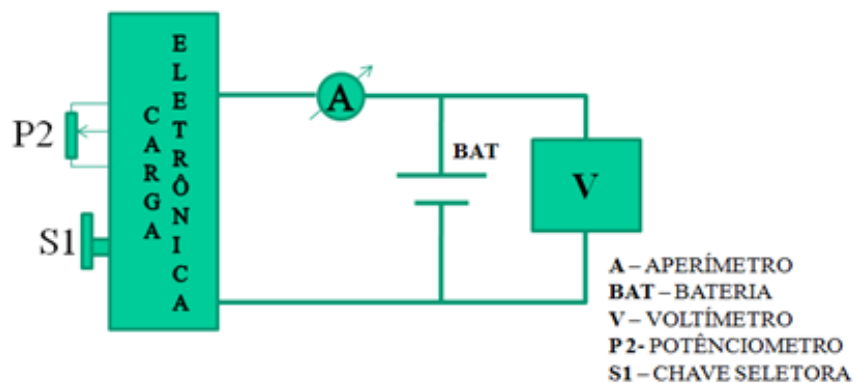


Figura 33 Diagrama do teste de linearidade da carga

Obtivemos como resultado os valores da Tabela 2 que possibilitou gerar o gráfico da figura 34.

I_L	V_{pot}
4 A	0,223 V
8A	0,364 V
12A	0,496 V
16 A	0,606 V
20 A	0,642 V
24 A	0,870 V
28 A	0,924 V
32 A	1,087 V
36 A	1,237 V
40 A	1,365 V

Tabela 2 Relação da corrente em função da tensão

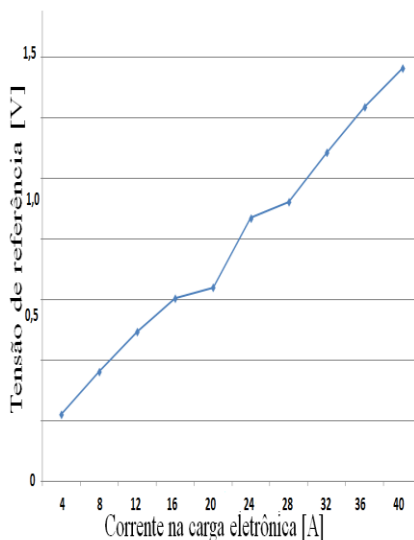


Figura 34 Relação da corrente em função da tensão

Analisando os resultados da tabela e do gráfico, verificamos que a carga teve um comportamento quase linear. Partiu-se então para o segundo teste incluindo agora um alternador e um inversor de frequência, como vemos no diagrama da figura 35.

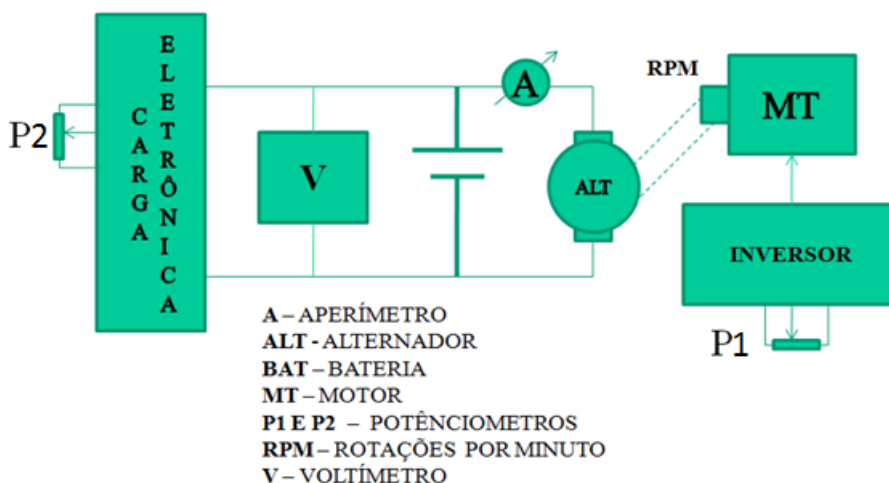


Figura 35 Diagrama de configuração do segundo teste

Para que pudéssemos controlar a rotação do motor que permite movimento ao alternador através de correia e polias com relação de transmissão de 1:2, recorreremos a um inversor de frequência que tem seu diagrama de ligação de controle mostrado na figura 36.

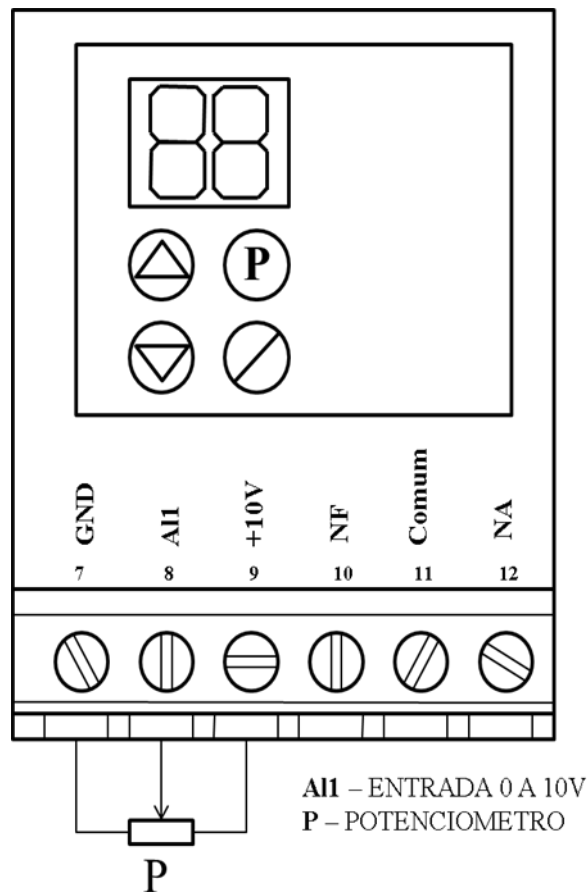


Figura 36 Ligação do potenciômetro no inversor

No *display* do inversor de frequência o valor da velocidade do motor é dado em Hz, exigindo a aplicação da fórmula para se chegar à velocidade do motor em rotação por minuto. O cálculo da rotação equivalente é dado por

$$F = \text{RPM} \cdot 2 / 120$$

Onde:

F = Frequência mostrada no display do inversor

RPM = rotação por minuto

2 = número de par polos do motor

120 = constante

Como o inversor de frequência disponível na Fatec Santo André era especificado para controle de rotação de motores até 2HP e o motor da bancada tinha 3 HP, tivemos que restringir o seu campo de atuação. Estipulamos os valores de rotação através de um potenciômetro ligado nos pinos 7, 8 e 9 do inversor e, através do potenciômetro P2 da carga eletrônica foi ajustada a corrente de carga até o limite do inversor, gerando os valores da Tabela 3 e da *figura 36*.

F [Hz]	RPM	I _{MAX}	V _{BAT}
20	2400	30	14,05
25	3000	38	13,89
30	3600	44	13,78
35	4200	50	13,71
40	4800	52	13,69
45	5400	54	13,64
50	6000	56	13,60

Tabela 3 Resultados do segundo teste

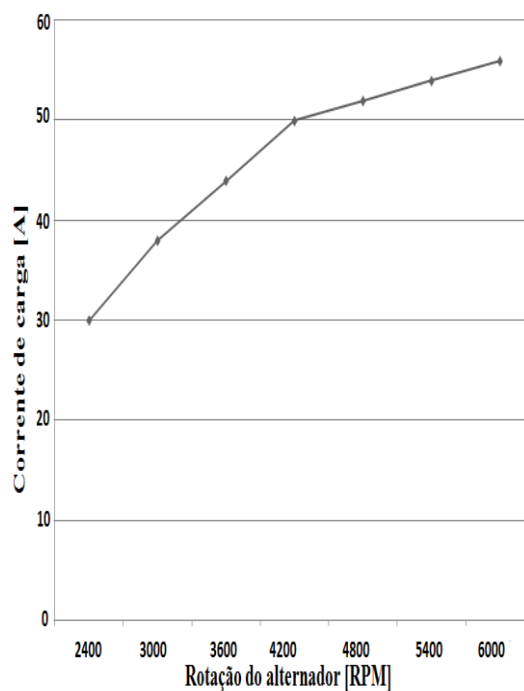


Figura 37 Painel Frontal do programa de controle

Após encontrarmos os limites de trabalho do inversor, partimos para a terceira etapa, a automatização dos ensaios nos alternadores. Trata-se desenvolver um código em *Labview* que leia uma tabela desenvolvida no formato txt com valores de rotação do motor, intensidade de corrente consumida pela carga eletrônica e o tempo de duração do ensaio.

Para realizar a *interface* entre o *software* e o *hardware*, usamos como já mencionado no texto o DAQ NI USB-6009. Porém a frequência de saída do inversor que usamos varia de 0 a 60 Hz em função da tensão de referência na entrada analógica AI1 que suporta valores de tensão de 0 a 10 V. A saída analógica do módulo DAQ NI USB-6009 fornece apenas tensões variando de 0 a 5 V. Assim, foi necessário instalar os circuitos da *figura 37*, que são amplificadores de ganho 2, alcançando o valor máximo de 10 V necessários para atingir a frequência máxima.

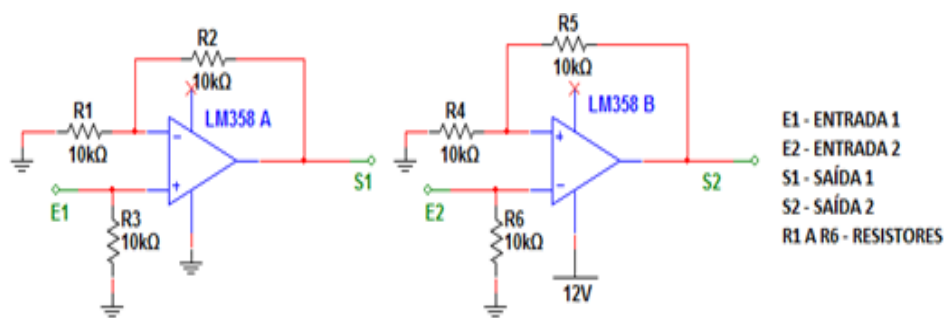
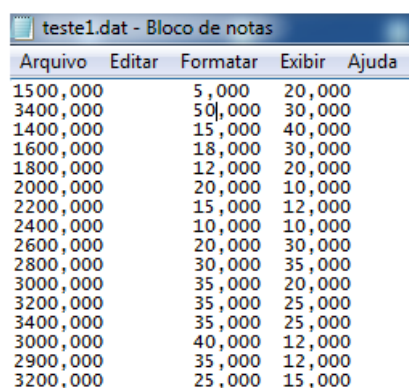


Figura 38 Circuito auxiliar

A princípio julgou-se necessário usar este mesmo circuito amplificador (também disponível) para o controle da carga eletrônica, porém como visto na *tabela 2*, os valores de tensão no potenciômetro P2 (ponto “P”) ficaram bem abaixo dos 5 V fornecidos pelo DAQ NI USB-6009, dispensando o uso do amplificador.

Como a chave seletora S1 é 5x2, usamos a quinta posição para injetar o sinal de controle do DAQNI USB-6009 no ponto “P” da carga eletrônica *figura 21*.

Quando o programa de controle é iniciado, uma janela é aberta para que seja selecionado o arquivo contendo a tabela de valores para rotação, corrente e tempo de teste, como mostrado na Tabela 4.



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
1500,000	5,000	20,000		
3400,000	50,000	30,000		
1400,000	15,000	40,000		
1600,000	18,000	30,000		
1800,000	12,000	20,000		
2000,000	20,000	10,000		
2200,000	15,000	12,000		
2400,000	10,000	10,000		
2600,000	20,000	30,000		
2800,000	30,000	35,000		
3000,000	35,000	20,000		
3200,000	35,000	25,000		
3400,000	35,000	25,000		
3000,000	40,000	12,000		
2900,000	35,000	12,000		
3200,000	25,000	15,000		

Tabela 4 Exemplo de tabela desenvolvida para o programa

O programa da *figura 38* faz a aquisição dos valores da tabela e usando uma função de *Array* separa os valores das três colunas da primeira linha da tabela. Esses valores são alojados em três variáveis diferentes: Rotação (RPM), Corrente (A) e Tempo (seg).

Para o valor da variável Rotação (RPM) é aplicada a fórmula $F = \text{RPM} \cdot 2/120$ que converte o valor da RPM do motor em frequência lida no inversor. Uma frequência de 60 Hz no inversor resulta em uma velocidade de 3600 RPM no motor e 7200 RPM no alternador dadas pela relação de transmissão das polias. Para manter a tensão de referência dentro do limite de 0 a 5 V o valor da frequência é dividido por 12. Pois o programa controla uma frequência de 0 a 60 Hz com uma tensão de 0 a 5 V.

Para o valor da variável Corrente (A), o valor alocado nessa variável é dividido por cem, para adaptar a faixa da tensão de referência do ponto P da carga.

A variável Tempo (seg) recebe o valor em segundos, do tempo de duração da execução de cada linha na tabela. Este valor é multiplicado por 1000 para indicar o valor do tempo total em milissegundos. A função *Tick Count* retorna o valor atual do contador de milissegundos do computador, por isso o valor de Tempo (seg) em milissegundos é somado a ela para saber qual será o seu valor quando tiver que avançar para outra linha da tabela. Depois basta compara os valores *Tick Counte Tick Count+ Tempo (seg)* e, quando forem iguais, carregar os valores da próxima linha da tabela.

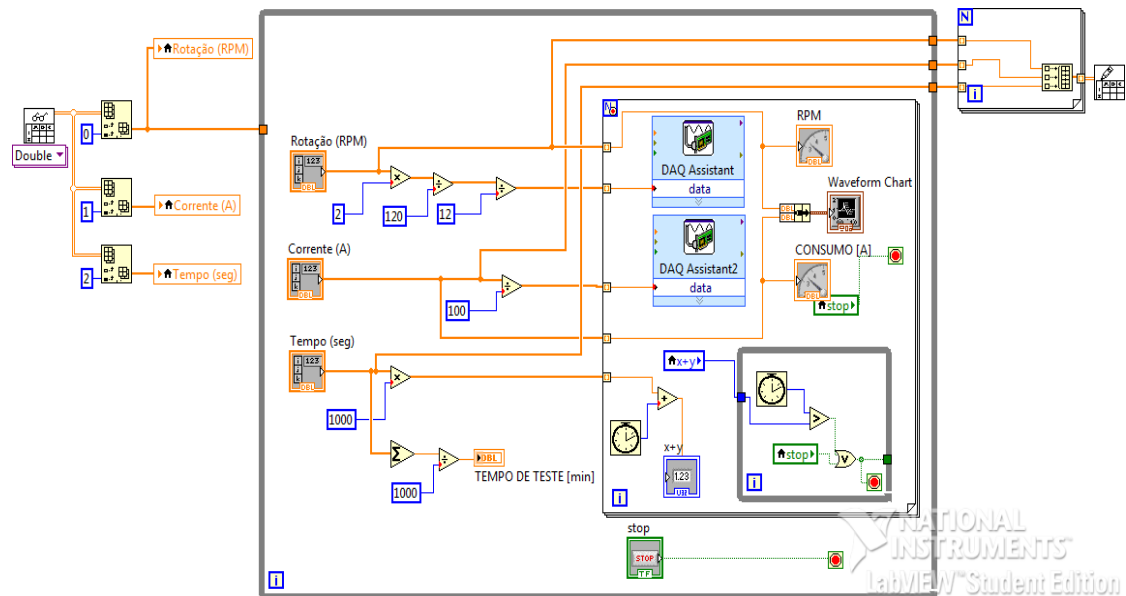


Figura 39 Diagrama de bloco do programa de controle

Ao pressionar o botão *stop*, o programa salva os valores do último teste executado, pois o laço *While* termina e envia os valores das três array's (vetor) para o laço *For*. O tamanho da *array* determina a quantidade de iterações no laço *For* que concatena as três em uma matriz, ao findar a última iteração a matriz é salva em um arquivo.

4 Resultados

Após meses de desenvolvimento e construção do trabalho, conseguimos atingir o nosso objetivo de automatizar os ensaios de alternadores na bancada MOD. ECB 120A-12/24 V. Devido ao correto funcionamento da carga eletrônica e o êxito na *interface* entre *software* e *hardware* (carga eletrônica e inversor de frequência), foi possível submeter o alternador a vários regimes de rotação e carga em tempos pré-determinados.

A *figura 40* mostra o painel de operação que permite visualizar a rotação do motor e a corrente fornecida pelo alternador, tanto graficamente quanto por indicadores analógicos, assim como a tabela com os regimes de funcionamento dos ensaios.

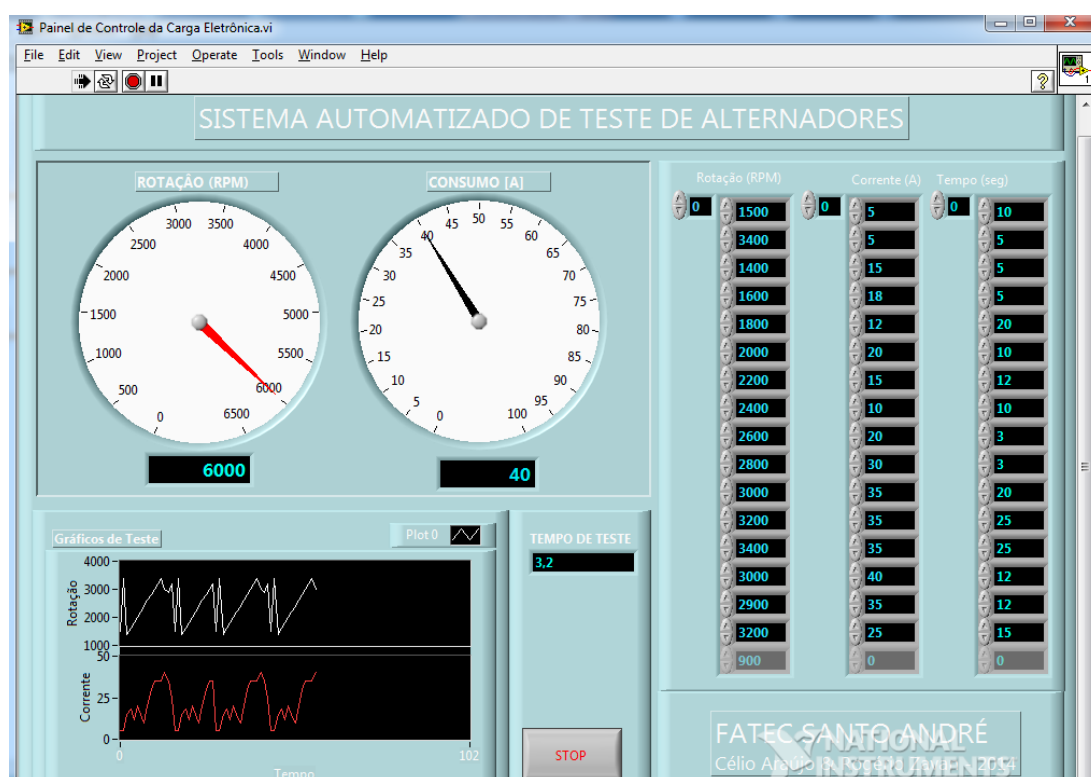


Figura 40 Painel Frontal do programa de controle

A tabela pode ser preenchida com valores de rotação e corrente de acordo com a curva característica do alternador ilustrada na *figura 41*. O tempo também é uma variável que pode ser determinado no painel frontal, permitindo ensaios de consumidores de conexão permanente, longa duração e curta duração.

Com este sistema é possível impor ao alternador diferentes regimes de funcionamento. Em nossos ensaios simulamos diversas situações que o alternador é submetido no cotidiano. Em um deles, analisamos o comportamento de um alternador

em condição de chuva e trânsito congestionado, situação que o veículo estaria em regime de marcha lenta (baixa rotação do motor) e provavelmente com um alto consumo de corrente (rádio, ar condicionado, sistema de iluminação, etc.) que nos permitiu analisar o seu comportamento.

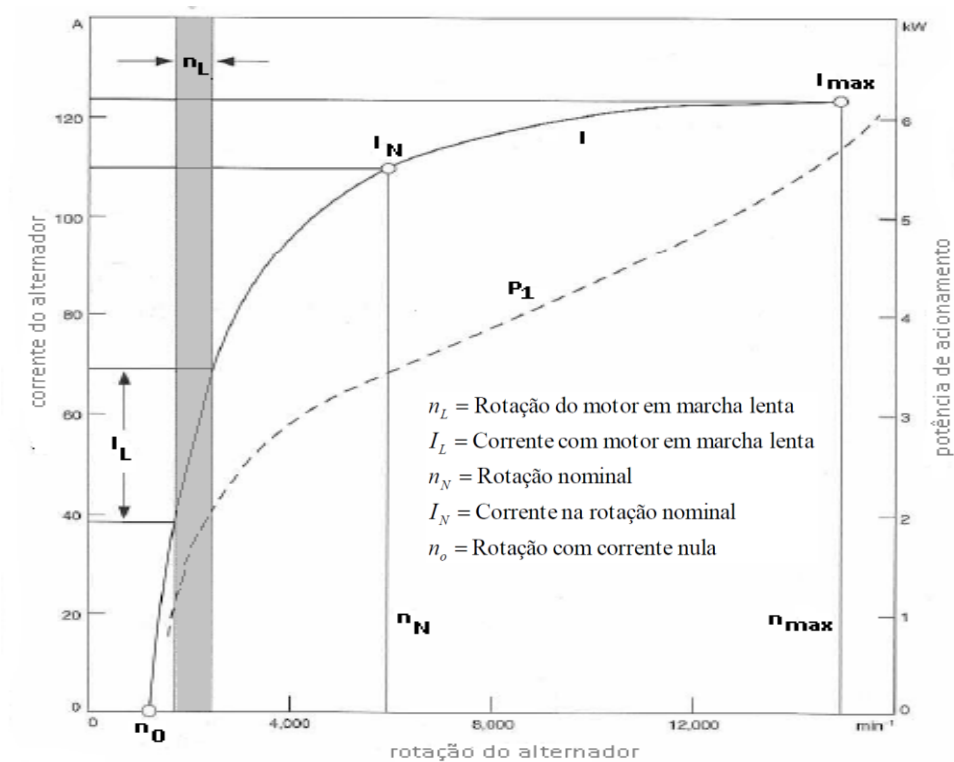


Figura 41 Curva característica de um alternador trifásico
[Extraído de (BOSCH 2001/2002) pág. 40]

Na figura 42 podemos observar a bancada sendo controlada pelo PC.



Figura 42 Bancada de teste automatizada

5 Conclusão

De um processo puramente manual em que avaliar o bom desempenho de um alternador ficava na dependência de submetê-lo a um único regime de funcionamento de um motor em bancada, onde o consumo de carga dependia exclusivamente da habilidade do operador em ajustar o reostato mecanicamente sem a garantia de que, submetido às reais condições de funcionamento em um veículo, o bom rendimento na bancada se confirmaria no veículo.

A implantação desse projeto que nos permite simular os vários regimes de rotação e carga de um veículo em bancada garante maior confiabilidade em relação aos resultados, pois como se trata de um ensaio automatizado, garante maior precisão e gera a possibilidade de comparar o funcionamento de dois ou mais alternadores de mesma especificação, também nos proporciona simular sua curva característica.

Outro ponto de extrema relevância é a economia de tempo que o trabalho pode proporcionar, como a bancada proporciona avaliar as reais condições de funcionamentos desse componente, diminuirá consideravelmente as chances de montar no veículo um alternador com defeito.

5.1 Propostas futuras

Implementar rotinas de leitura de corrente e tensão do alternador diretamente via *Labview* e montar um *datalogger*;

- Substituir os transistores bipolares por *MOSFETS* de potência;
- Implementar sistema de *interface* com PIC 18F4550 e conexão via *USB*, para eliminar a dependência do uso do *hardware* da *National Instruments*;
- Substituir o Inversor de Frequência por um de maior potência;
- Desenvolver para a carga eletrônica uma fonte de alimentação própria;
- Implementar rotinas de *software* para gerar testes de diagnose do alternador;
- Implementar um sistema para medir a vibração do alternador e verificar integridade dos rolamentos;
- Estudo de viabilidade econômica do projeto.

7 Referências

BOSCH; *Apostila técnica de Sistemas elétricos e eletrônicos para veículos automotivos: Alternadores*. Edição 2001/2002.

BOULESTAD Robert L.; **Introdução à análise de circuitos**. 10ª edição, Editora Pearson.

ELEKTOR Revista; **Resistência de carga eletrônica**. Edição 70 pág. 36 à 41, Outubro de 1990.

KITA. **Manual de usuário da bancada de teste para eletricista** mod. ECB 120.

Disponível em: <www.kitacarregadores.com.br>. Acesso em: 08 de março de 2014.

KITANI, Edson Caoru; *Anotações de aula - Ferramentas Computacionais*. Faculdade de Tecnologia de Santo André, 2013.

KITANI, Edson Caoru; *Anotações de aula – Carga e Partida*. Faculdade de Tecnologia de Santo André, 2013.

NEWTON, C Braga; **Os Inversores de Frequencia**. Artigo disponível em:

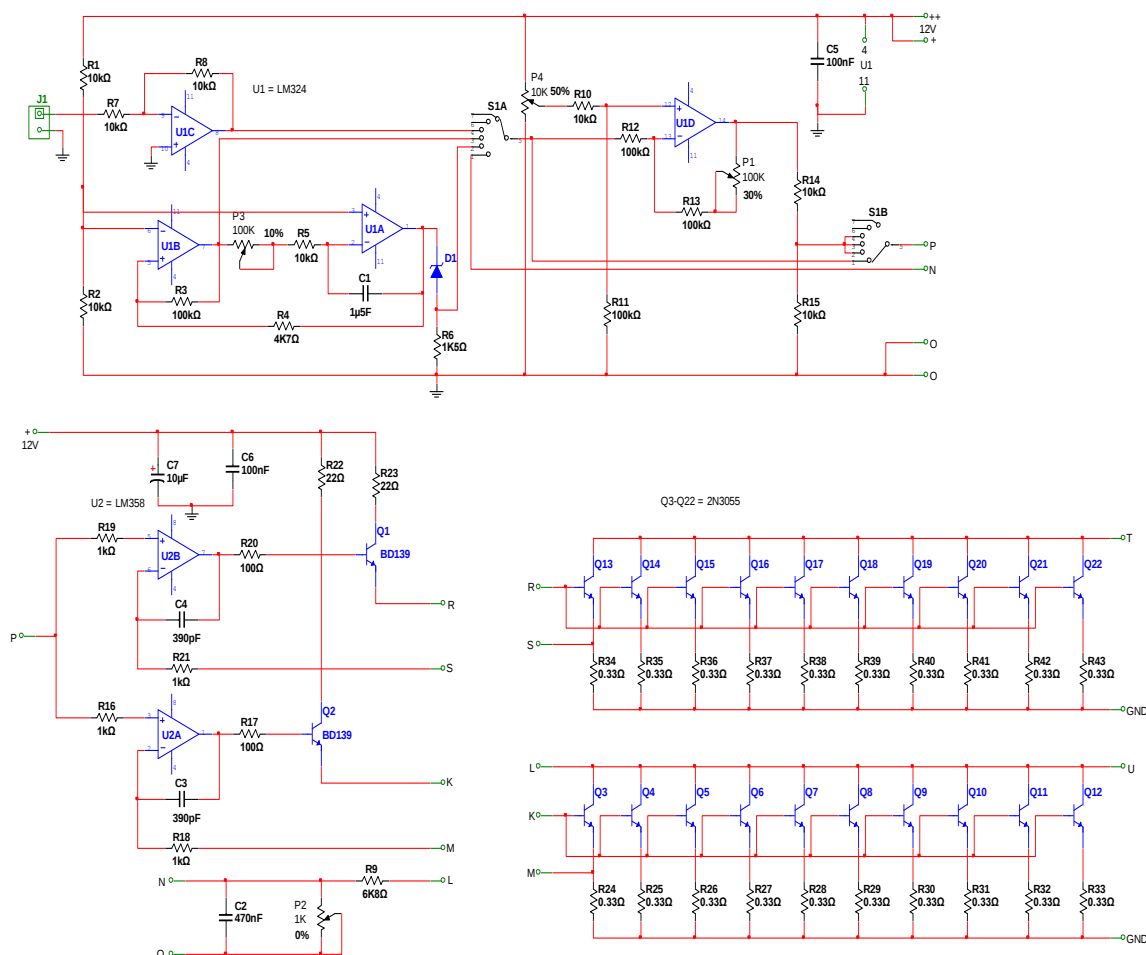
<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/8475-os-inversores-de-frequencia-mec026>>. Acesso em: 23 abril de 2014.

NI. **User Guide And Specifications NI USB – 6008/6009**. Disponível em:

<<http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>>. Acesso em: 24 de maio de 2014.

Anexo 1

Esquema elétrico da carga eletrônica



[adaptado de (REVISTA ELEKTOR Outubro 1990), pág. 37]

Lista de componentes da carga eletrônica

Resistores:

R1, R2, R5, R7, R8, R14, R15 = 10KΩ

R3, R10... R13 = 100KΩ

R4 = 47KΩ

R6 = 1KΩ5

R9 = 6KΩ8

R16, R18, R19, R21 = 1KΩ

R17, R20 = 100Ω

R22, R23 = 22Ω/15W

R24... R43 = 0Ω33/5W

P1, P3 = 100K Ω linear
P2 = 1K Ω linear
P4 = 10K Ω linear

Capacitores:

C1 = 1 μ F5
C2 = 470nF
C3, C4 = 390pF
C5, C6 = 100nF
C7 = 10 μ F/16V

Semicondutores:

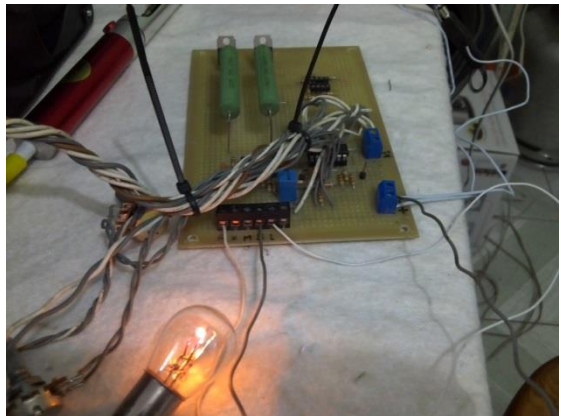
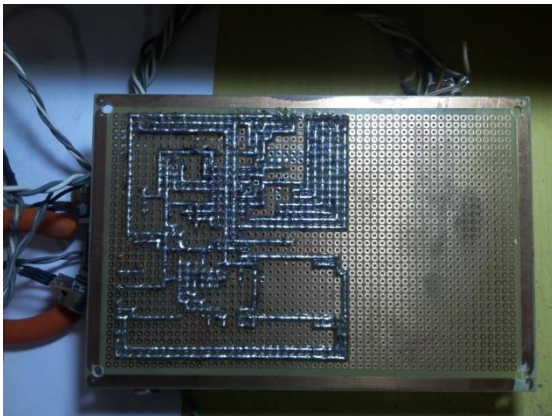
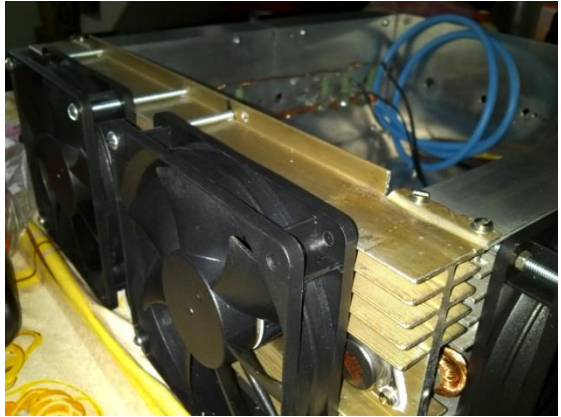
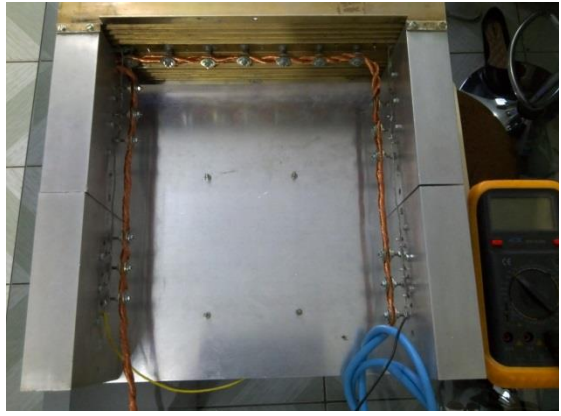
D1 = diodo zener 3V3/400mW
T1, T2 = TIP 142
T3... T22 = 2N3055
IC1 = LM324
IC2 = LM358

Diversos:

S1 = Comutador rotativo de 2 circuitos por 5 posições
Dissipadores de alumínio para T3... T22
Ventiladores para T3... T22
Isolantes de mica para T3... T22
Buchas de nylon para T3... T22
Parafusos M3/20 para fixação de T3... T22
Parafusos M3/60 para fixação dos ventiladores
Chapa de alumínio 40x40 para base da carga
Knob para P1... P4
Knob para o comutador rotativo

Fotos da montagem mecânica da carga eletrônica





Carga eletrônica montada

