



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

NUSTENIL SEGUNDO DE MORAES LIMA MARINUS

**LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E
ACIONAMENTOS DE MÁQUINAS**

Campina Grande, Paraíba
Fevereiro de 2011

NUSTENIL SEGUNDO DE MORAES LIMA MARINUS

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E
ACIONAMENTOS DE MÁQUINAS

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Cursino Brandão Jacobina, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Fevereiro de 2011

NUSTENIL SEGUNDO DE MORAES LIMA MARINUS

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA INDUSTRIAL E ACIONAMENTOS DE MÁQUINAS

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Cursino Brandão Jacobina, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram nas horas difíceis e sempre me proporcionaram tudo de melhor que estava no alcance deles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e ao meu pai, Maria de Moraes e Antonio Nustenil, pelo esforço e dedicação na minha criação, me proporcionando educação de qualidade e ensinamentos que levarei por toda minha vida.

Agradeço também os meus irmãos João Vilian e Marinus Lima por sempre estarem comigo me ajudando e por serem exemplos de vida para mim.

Agradeço à minha namorada Germana Rafaela pela paciência e cuidados comigo.

Um agradecimento a Edgar Luiz, Bernard Gouveia, Nady Rocha e ao prof. Cursino Brandão Jacobina pela ajuda e orientação para a conclusão desse trabalho.

Agradeço aos meus companheiros do grupo PET-Elétrica, meus companheiros do LEIAM, meus amigos que ingressaram junto comigo no curso de Engenharia Elétrica e a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; Se não fossem por elas, não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito”

Chico Xavier.

RESUMO

Este trabalho trata de diversas atividades realizadas no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas da Universidade Federal de Campina Grande, onde teve como foco o aprendizado de várias ferramentas para o uso em eletrônica e potência e úteis em outras áreas da Engenharia Elétrica. Pode-se obter a conciliação da teoria aprendida durante o curso de engenharia elétrica com a prática em laboratório com equipamentos amplamente usados no meio industrial.

Palavras-chave: Eletrônica de Potência, Acionamentos, Máquinas, Estágio.

ABSTRACT

This work deals with several activities at the Electronics and Drives Machinery Laboratory of the Federal University of Campina Grande. This work was focused on learning of various tools for use in electronics and potency and useful in other areas of Electrical Engineering. This work provides the reconciliation of the theory learned during the undergraduate electrical engineering course with the practice on laboratory with equipment widely used in industrial environment.

Keywords: Power Electronic, Driving, Machines, Stage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Limites dos dispositivos semicondutores de potência (Pomflio, 2006).....	2
Figura 2: Características Estáticas dos dispositivos semicondutores de potência (Silva, 2010).....	3
Figura 3: Conversor CA-CC monofásico com um braço (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).	4
Figura 4: Gráfico da tensão na carga de um conversor monofásico de um braço (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).	4
Figura 5: Conversor CA- CC monofásico de dois braços (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).	5
Figura 6: Gráfico da tensão V_i do conversor monofásico com dois braços (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).	5
Figura 7: Conversor CC-CA trifásico de três braços (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).	6
Figura 8: Comparação entre a onda senoidal e a onda triangular (Oliveira, 2009).....	7
Figura 9: Acionamento de um motor CA (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).	8
Figura 10: Layout da vista frontal da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).	9
Figura 11: Layout da vista traseira da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).	10
Figura 12: Layout da vista lateral da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).	10
Figura 13: Esquema elétrico da bancada (Fabrício, 2010).	11
Figura 14: Bornes de acesso (Fabrício, 2010).	11
Figura 15: Foto dos bornes da bancada.	12
Figura 16: Botões dos circuitos de alimentação e proteção (Fabrício, 2010) □.....	12
Figura 17: Esquema elétrico do circuito de proteção (Fabrício, 2010).....	13
Figura 18: Circuito de proteção (Fabrício, 2010).	13
Figura 19: Foto da vista frontal da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).	14
Figura 20: Foto da vista traseira da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).	14
Figura 21: Sensores (Fabrício, 2010).	15
Figura 22: Placa do contendo o DSP (Fabrício, 2010).	15
Figura 23: Placa entre o DSP e os cabos de fibra óptica (Fabrício, 2010).....	16
Figura 24: Placa entre a fibra óptica e o conversor (Fabrício, 2010).....	16
Figura 25: Esquema elétrico do conversor de seis braços.	17
Figura 26: Bancada de seis braços.....	18
Figura 27: Filtro Ativo de Potência <i>shunt</i> a três fios.	19
Figura 28: Resultado experimental do filtro ativo de Potência Shunt a três fios convencional, com $\mu = 0,5$. (a) Tensões e correntes do grid (v_{g1}, i_{g1}), (v_{g2}, i_{g2}) e (v_{g3}, i_{g3}). (b) Correntes do filtro (i_{f1}), da carga (i_{l1}) e tensão do barramento CC (V_{cc}).....	19
Figura 29: Conversor CA-CC-CA para o controle de velocidade de uma máquina.	20
Figura 30: Conversor monofásico misto	20
Figura 31: Diagrama realizado para a estratégia de controle do conversor misto monofásico.....	21
Figura 32: Resultados medidos no osciloscópio (a) Tensão e_g (verde) e corrente i_g (roxo). (b) Tensão no barramento capacitivo. (c) tensão $V_g = V_{10} - V_{20}$	22
Figura 33: Resultados medidos pelos sensores e armazenados em arquivos no computador. Gráfico de cima é a Tensão e_g (azul) e corrente i_g (verde) e o de baixo a Tensão no barramento capacitivo.	22

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Sumário.....	x
1 Introdução.....	1
2 Embasamento Teórico.....	1
3 Bancadas de desenvolvimento.....	8
3.1 Bancada de Doze Braços.....	8
3.2 Bancada com seis braços.....	17
4 Experimentos e Resultados.....	18
5 Conclusão.....	23
Bibliografia.....	24

1 INTRODUÇÃO

Este relatório mostra os trabalhos desenvolvidos durante o estágio realizado no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas (LEIAM) sob orientação do Professor Dr. Cursino Brandão Jacobina. O período do estágio supervisionado foi de 09 de agosto de 2010 à 09 de fevereiro de 2011.

O objetivo do estágio foi ter domínio das ferramentas utilizadas no ramo da eletrônica industrial e acionamentos de máquinas, como instrumentos de medida, bancadas de desenvolvimento, desenvolvimento de algoritmos de controle, uso de processador digital de sinais (DSP), etc.

Neste relatório é mostrada primeiramente um pouco da teoria sobre eletrônica de potência, depois são mostradas as bancadas que foram usadas no laboratório. Logo após é mostrado alguns testes realizados nas bancadas e seus resultados e por fim, as conclusões sobre o estágio.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

A eletrônica de Potência é formada pela combinação de sistemas de potência, eletrônica e controle. A parte dos sistemas de potência trata dos equipamentos de potência rotativos e estáticos para a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A parte de eletrônica trata dos circuitos e dispositivos para o processamento de sinais para auxiliar o uso do controle, que é o responsável das características dinâmicas e de regime permanente dos sistemas de malha fechada. Assim, a eletrônica de potência pode ser definida como a aplicação da eletrônica de estado sólido para o controle e conversão de energia elétrica (Rashid, 1999).

A eletrônica de potência possui nos dias atuais um valioso papel na sociedade, sendo usado em grandes variedades de produtos de alta potência, como o controle de aquecimento, controle de iluminação, controle de máquinas elétricas, fontes de alimentação, sistemas de propulsão de veículos, etc. (Rashid, 1999).

A eletrônica de potência faz grande uso de conversores estáticos, que são estruturas que utilizam interruptores semicondutores e permitem uma transferência de energia entre uma fonte e uma carga. Assim, a eletrônica de potência é baseada no chaveamento dos semicondutores de potência, para síntese de tensões (ou corrente) desejadas na saída, a partir de pedaços selecionados das tensões (ou correntes) de entrada, conforme os sinais de controle de chaveamento (Silva, 2010).

Os dispositivos semicondutores de potência podem ser classificados em três grupos: os diodos, os tiristores (SCR, TRIAC, GTO, MCT, IGCT, MTO, ETO) e os transistores (BJT, MOSFET, IGBT). Os dispositivos utilizados variam de acordo com a aplicação desejada. Na Figura 1 pode-se observar alguns dispositivos e seus valores de operação e na Figura 2 tem as características estáticas dos dispositivos (Silva, 2010).

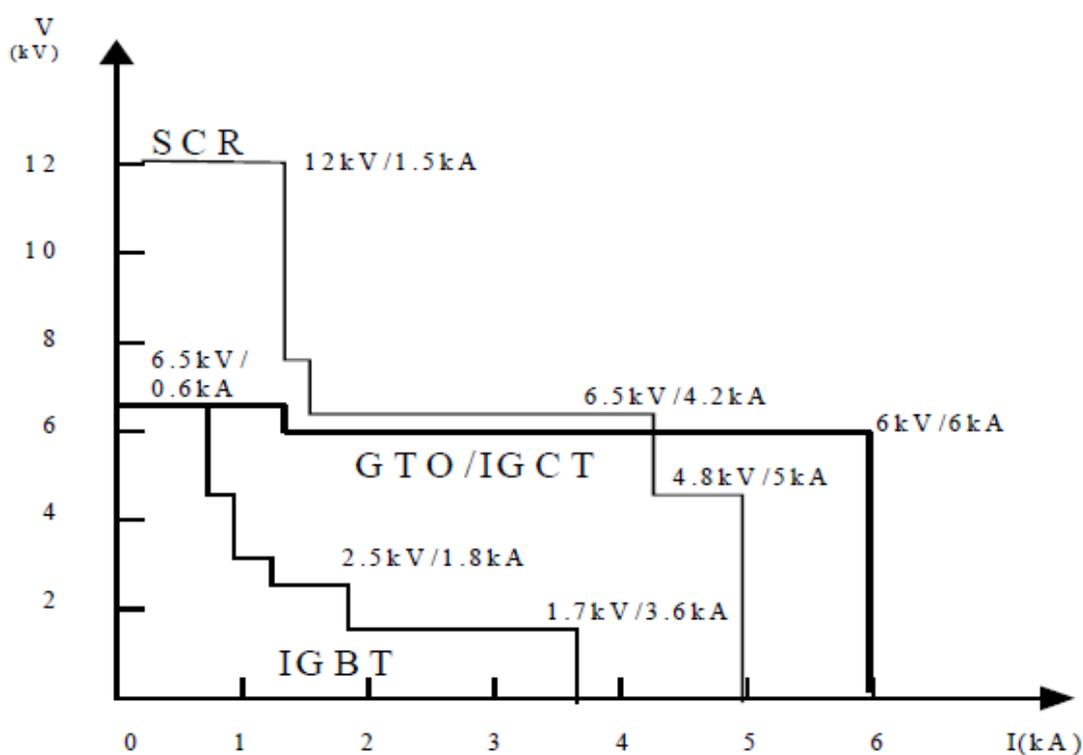


Figura 1: Limites dos dispositivos semicondutores de potência (Pomílio, 2006).

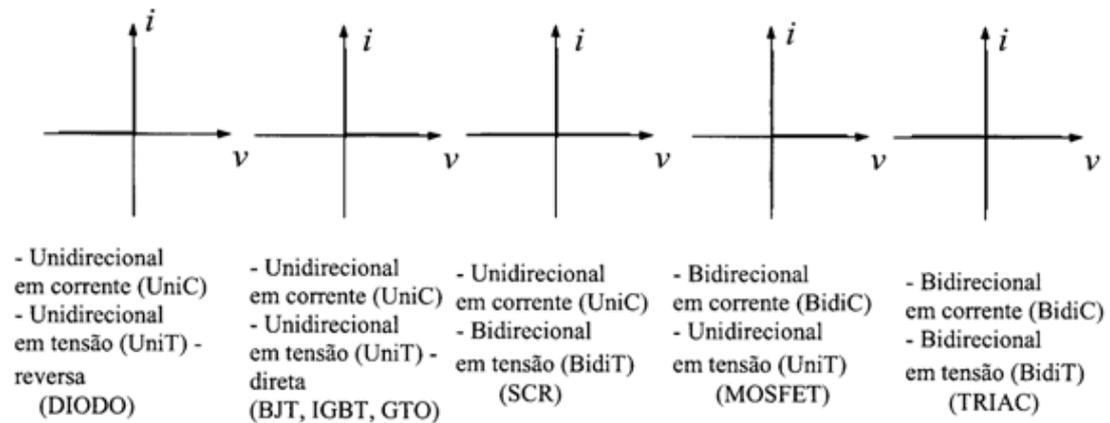


Figura 2: Características Estáticas dos dispositivos semicondutores de potência (Silva, 2010).

Existem diversos tipos de conversores, como conversores CC-CC, CA-CC, CC-CA, CA-CA (Pomílio, 2006).

Os conversores CC-CA podem apresentar diversas topologias distintas, sendo monofásicos, trifásicos e até polifásicos (Pomílio, 2006).

Na Figura 3, pode-se observar um conversor CC-CA monofásico com um braço (meia-ponte). O controle da tensão na carga, V_i , é feito por meio do chaveamento das chaves q e \bar{q} . Estas duas chaves devem ser complementares de modo que quando q estiver fechada, \bar{q} deve estar aberta, e vice-versa.

A tensão na carga, V_i , é mostrada no gráfico da Figura 4. A tensão V_i é dada pela, em função da chave, pela equação 1, onde o valor de q varia de acordo com o estado da chave (1 para fechada e 0 para aberta) (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).

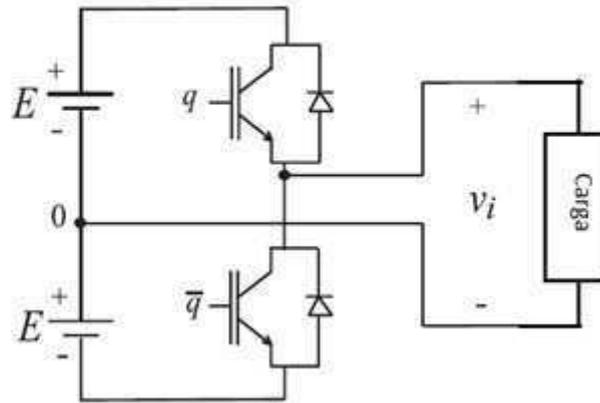


Figura 3: Conversor CA-CC monofásico com um braço (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).

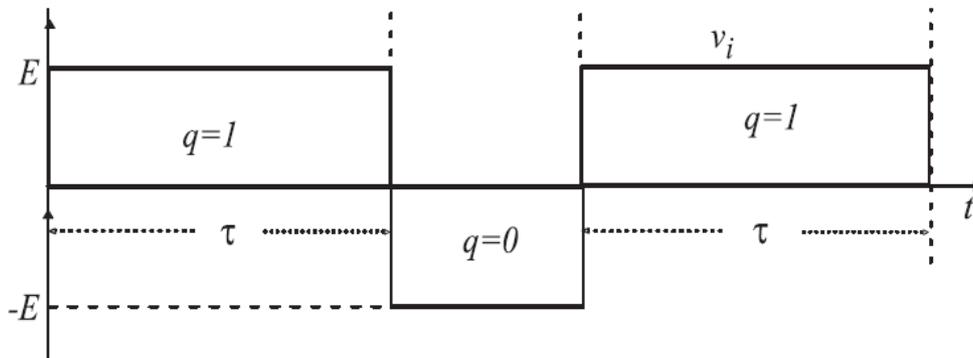


Figura 4: Gráfico da tensão na carga de um conversor monofásico de um braço (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).

$$V_i = (2q + 1)E. \quad (1)$$

Outro tipo de conversor monofásico, só que com dois braços, é mostrado na Figura 5. O princípio de operação obedece às mesmas regras do conversor da Figura 3 (complemento das chaves).

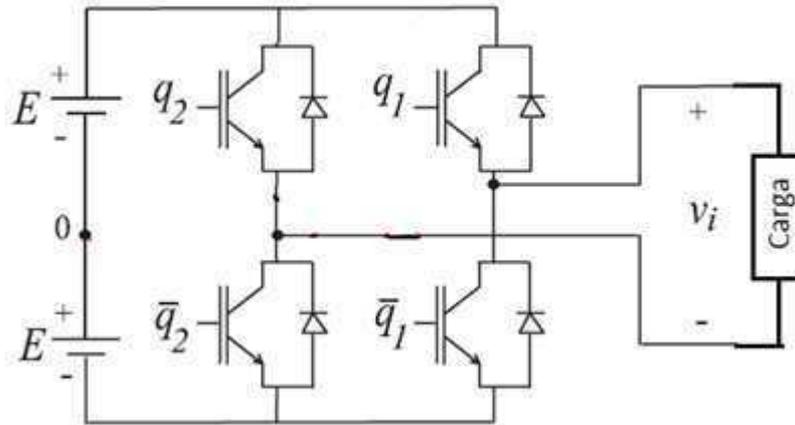


Figura 5: Conversor CA-CC monofásico de dois braços (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).

O gráfico da tensão V_i se encontra na Figura 6.

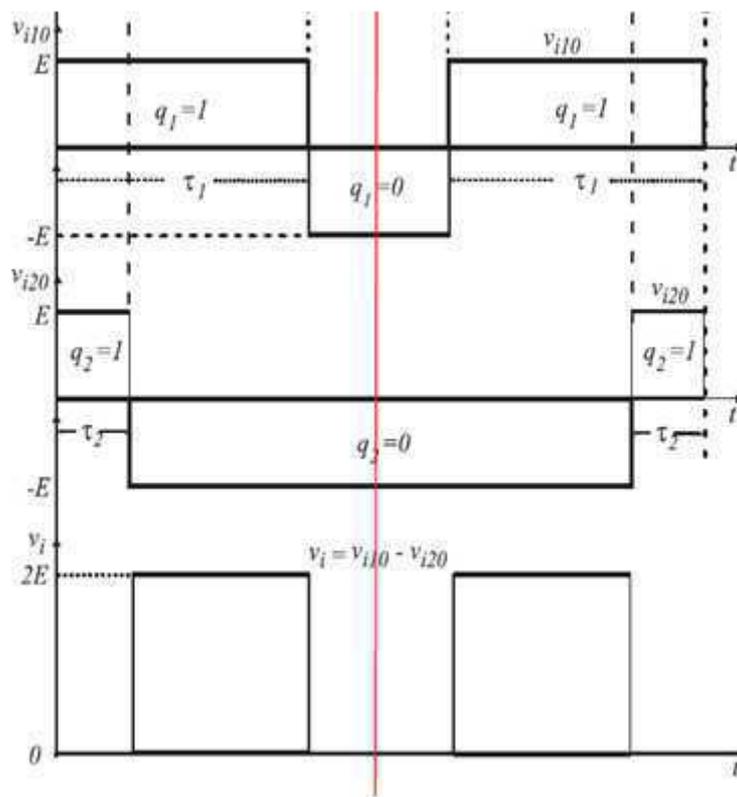


Figura 6: Gráfico da tensão V_i do conversor monofásico com dois braços (Jacobina, Notas de aula da disciplina de Eletrônica Industrial para a pós-graduação em engenharia elétrica da UFCG., 2010).

A expressão da tensão V_i em função das chaves é mostrada na Equação (2).

$$V_i = [(2q_1 + 1) - (2q_2 + 1)]E. \quad (2)$$

Na Figura 7, pode-se observar um conversor CC-CA trifásico de três braços. O princípio de funcionamento é o mesmo do monofásico das Figuras 3 e 5, onde as chaves de cada braço devem ser complementares entre si.

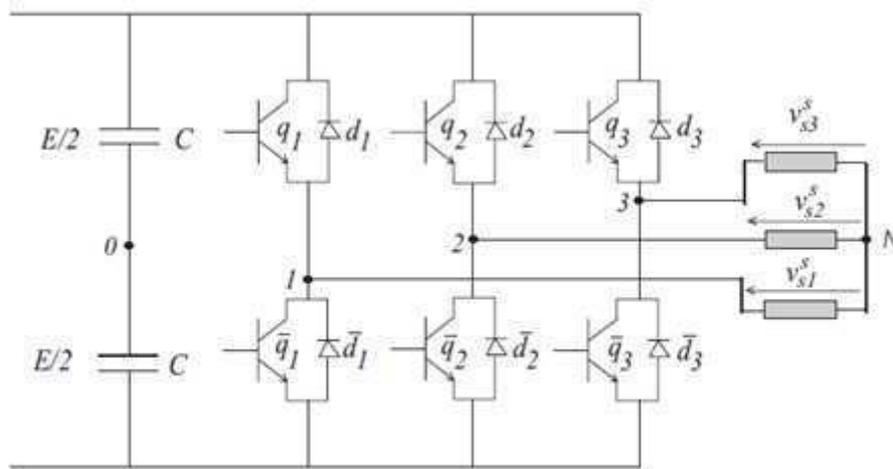


Figura 7: Conversor CC-CA trifásico de três braços (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).

Como a Figura 7 trata de um circuito trifásico, as equações que regem as tensões de pólo e na carga são dadas pelas equações 3 e 4 (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).

$$\begin{cases} V_{s10} = (2q_1 - 1) \frac{E}{2} \\ V_{s20} = (2q_2 - 1) \frac{E}{2} \\ V_{s30} = (2q_3 - 1) \frac{E}{2} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} V_{s1} = (2q_1 - 1) \frac{E}{2} + V_{ON} \\ V_{s2} = (2q_2 - 1) \frac{E}{2} + V_{ON} \\ V_{s3} = (2q_3 - 1) \frac{E}{2} + V_{ON} \end{cases} \quad (4)$$

Existem diversas técnicas para o chaveamento dos semicondutores dos conversores, sendo uma bastante empregada é a PWM. A Modulação por largura de pulso pode ser gerada por meio da comparação de uma onda senoidal, chamada de modulante, por uma onda triangular, como mostra de Figura 8 (Oliveira, 2009).

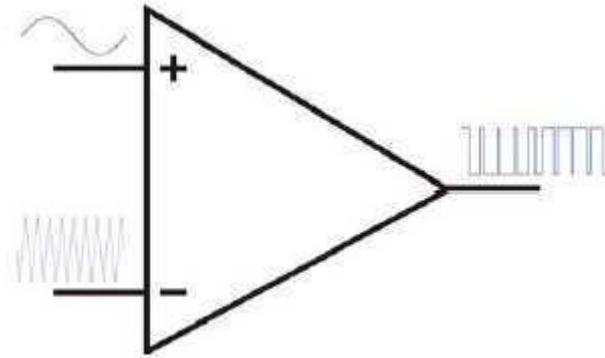


Figura 8: Comparação entre a onda senoidal e a onda triangular (Oliveira, 2009).

O controle das chaves também pode ser feito pelo método escalar, onde se calcula os tempos que as chaves ficam em nível alto e baixo, de acordo com a estratégia de controle empregada.

Existem outros métodos de modulação, como a modulação vetorial, que é feita por meio de um mapa de vetores (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).

O algoritmo de controle das chaves geralmente é desenvolvido em um microcontrolador.

Como exemplo, tem-se a Figura 9, em que ocorre o acionamento de uma máquina CA por meio de um sistema de conversores CA-CC-CA. O controle é realizado por um microcomputador (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).

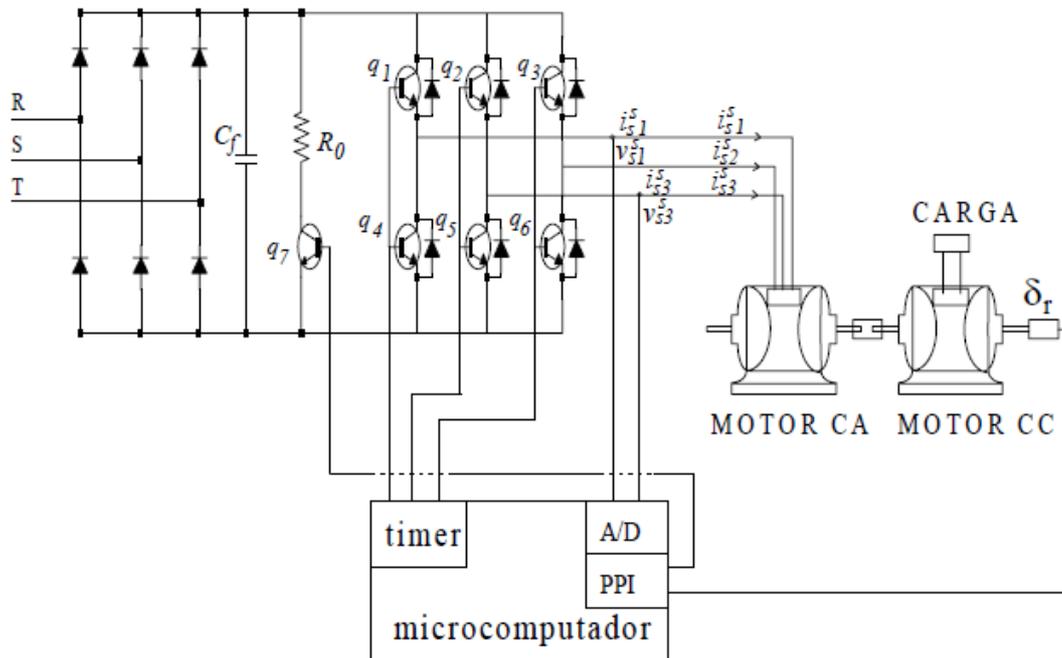


Figura 9: Acionamento de um motor CA (Jacobina, Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas, 2005).

3 BANCADAS DE DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, para aprender a usar as ferramentas necessárias para o uso da bancada, foi feito um acompanhamento e ajuda na montagem de experimentos de alunos de pós-graduação.

Foram utilizadas duas bancadas, uma contendo doze braços com controle feito por meio do Processador Digital de Sinais (DSP) TMS320F28335 e outra bancada contendo seis braços com controle feito por meio de uma interface conectada a um computador.

3.1 BANCADA DE DOZE BRAÇOS

Esta bancada dá a possibilidade de realizar vários experimentos pela sua grande quantidade de braços. Na Figura 10, pode-se observar o *layout* da vista frontal da bancada.

Os dozes braços são formados por quatro conversores trifásicos da *Semikron* identificados didaticamente por A, B, C e D. Têm-se ainda na parte frontal os bornes de acesso a alguns pontos dos conversores, ao barramento, e à alimentação.

Os sensores, a instalação elétrica e sua proteção, as placas que recebem por meio de fibra óptica os sinais de controle do DSP e a alimentação dos sensores estão na parte traseira da bancada, como pode ser visto no *layout* na Figura 11.

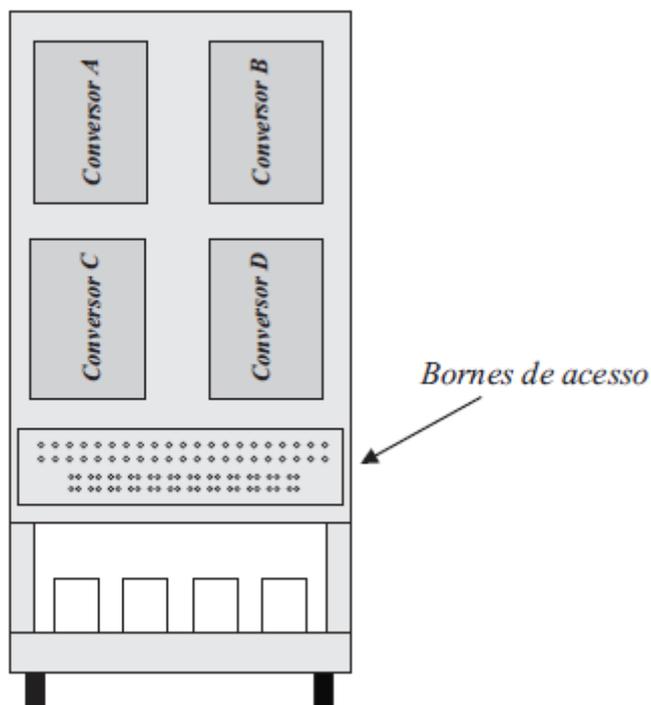


Figura 10: Layout da vista frontal da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).

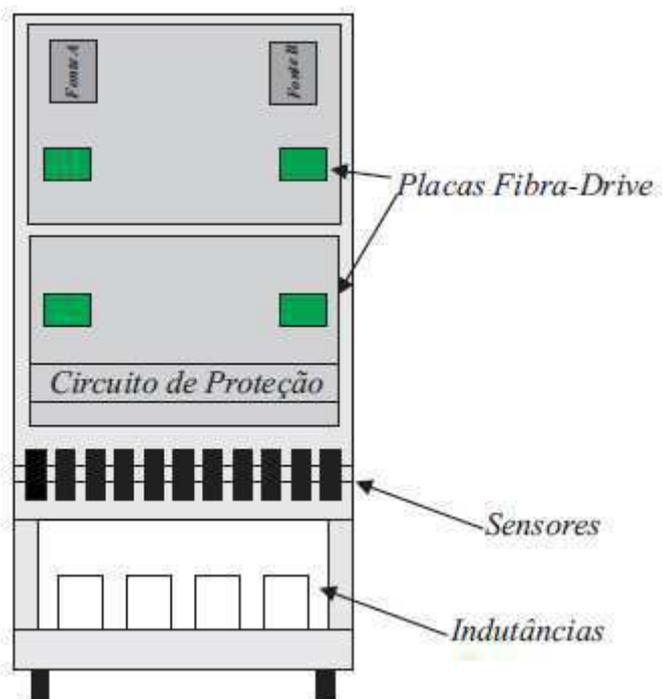


Figura 11: Layout da vista traseira da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).

Na Figura 12 tem-se a vista lateral que mostra as botoeiras para alimentar com tensão a bancada e botoeiras de emergência e proteção.

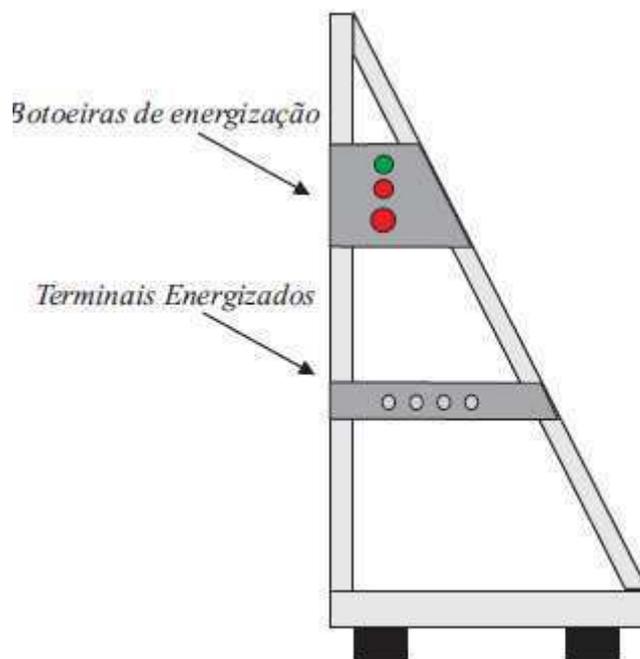


Figura 12: Layout da vista lateral da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).

O esquema elétrico da bancada é mostrado na Figura 13. Pode-se observar a presença de quatro pontes trifásicas controladas por IGBT, quatro barramentos de

capacitores e um retificador trifásico a diodos. As conexões são feitas por fios que são conectados aos bornes na parte frontal da bancada. A disposição das conexões por meio dos bornes é mostrada na Figura 14.

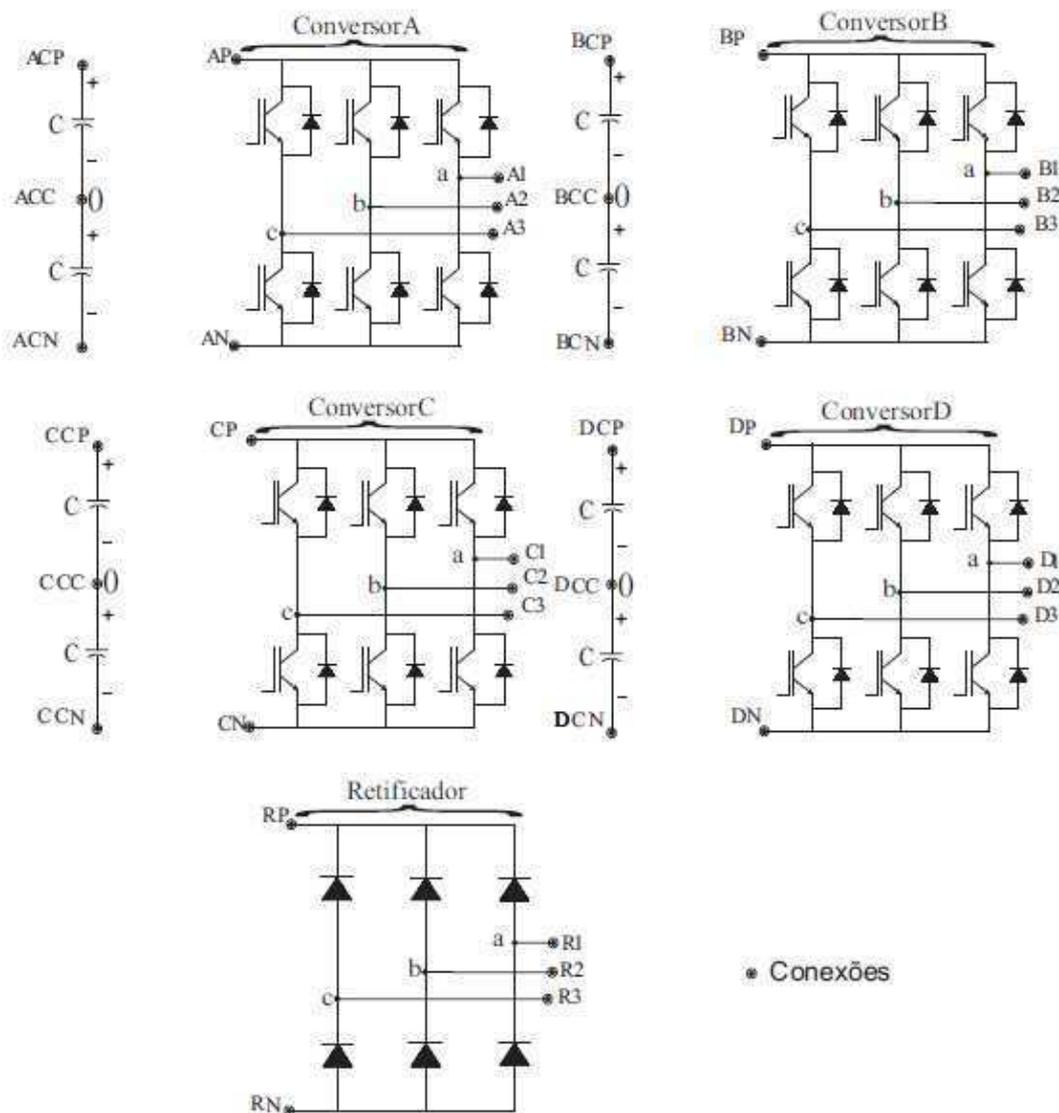


Figura 13: Esquema elétrico da bancada (Fabrício, 2010).

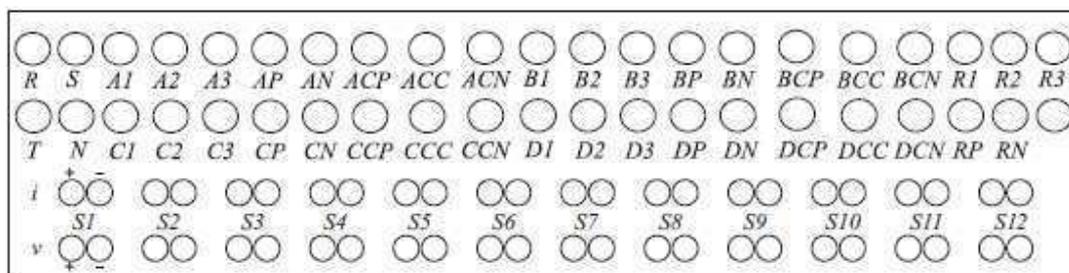


Figura 14: Bornes de acesso (Fabrício, 2010).

Na Figura 15 pode-se observar uma foto dos bornes da bancada.

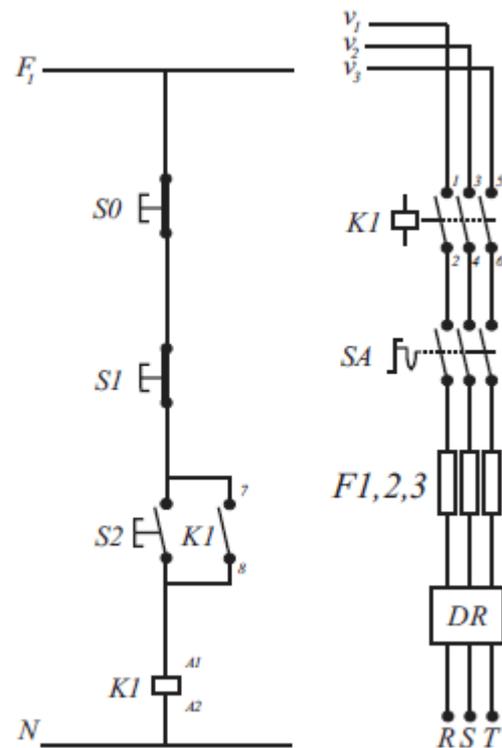


Figura 17: Esquema elétrico do circuito de proteção (Fabrício, 2010).

O circuito de proteção foi projetado para atuar com corrente abaixo de 25 Ampères, utilizando, assim, cabos de 2,5mm e fusíveis de 25 A. Pode-se observar na Figura 18 uma foto do circuito de proteção da bancada.



Figura 18: Circuito de proteção (Fabrício, 2010).

As fontes de tensão mostradas na Figura 2 são capazes de fornecer até 50 W de e suas tensões de saídas são 5 V, 12 V e -12 V. A fonte A alimenta as quatro placas de interface entre o DSP e os conversores e a fonte B alimenta os sensores.

Na Figuras 19 e 20 é mostrado foto da vista frontal e traseira da bancada.



Figura 19: Foto da vista frontal da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).



Figura 20: Foto da vista traseira da bancada de doze braços (Fabrício, 2010).

A bancada possui doze sensores, sendo seis de tensão e seis de corrente. A alimentação dos sensores é de 12 V, -12 V e 0 V e é feita pela fonte B. A saída dos sensores é ajustada para a faixa de 0 a 3 V para se adaptar a entrada do DSP. De acordo com a faixa de tensão e corrente que se deseja medir, é necessário uma mudança nos *jumpers* dos sensores para adequar os ganhos e o offset da saída para uma leitura correta no DSP (faixa de 0 a 3 V). A Figura 21 mostra alguns sensores na bancada.



Figura 21: Sensores (Fabrício, 2010).

Para a realização do controle, a bancada possui uma placa contendo um DSP TMS320F28335 que opera em 150 MHz, possui 16 memórias SDRAM 34 Kbytes 16 memórias de 128 Kbytes, 18 saídas de PWM, 6 saídas de HRPWM com uma resolução de 150 os MIPS (mega instruções por segundo) e 16 canais de conversores Analógico-Digital [8]. Na Figura 22 é mostrada a placa de controle do DSP.



Figura 22: Placa do contendo o DSP (Fabrício, 2010).

Para programar a estratégia de controle e enviar para o DSP, foi utilizado o *Code Composer Studio* (CCS), que é um software fornecido pela *Texas Instruments*, onde é possível desenvolver programas em linguagem C e *Assembly* para implementar a estratégia de controle.

Para a comunicação entre o DSP e o conversor, ao invés de se usar cabos elétricos, foi utilizado cabos de fibra óptica a fim de minimizar os ruídos existentes. A placa para a transmissão de sinais via fibra óptica é mostrada na Figura 23. Esta placa possui 12 saídas que deverá transmitir a estratégia de controle desejada implementada no DSP.

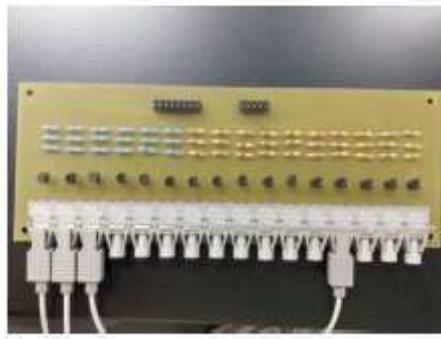


Figura 23: Placa entre o DSP e os cabos de fibra óptica (Fabrício, 2010).

Para os dados que são transmitidos via fibra óptica chegar aos conversores, foi utilizada outra placa, que é mostrada na Figura 24. A bancada possui quatro dessas placas, sendo que cada uma recebe três cabos de fibras ópticas (uma para cada braço) e possui ainda LED's para indicar a passagem de corrente para o conversor, ajudando na verificação de falha na operação da bancada.

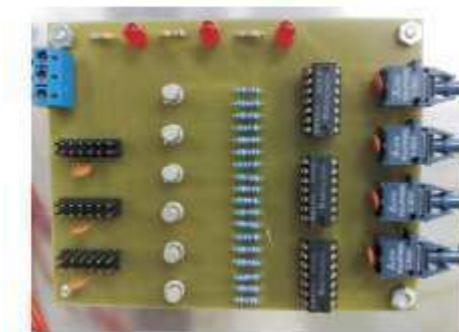


Figura 24: Placa entre a fibra óptica e o conversor (Fabrício, 2010).

3.2 BANCADA COM SEIS BRAÇOS

A bancada de seis braços é mais antiga que a de doze braços e já foi usada por vários alunos de graduação e pós-graduação para realização de vários testes e experimentos.

A bancada consiste de dois conversores trifásicos somando um total de seis braços. Dois barramentos capacitivos, um retificador trifásico a diodos e sensores de corrente e tensão.

Na Figura 25 pode-se observar o esquema elétrico da bancada.

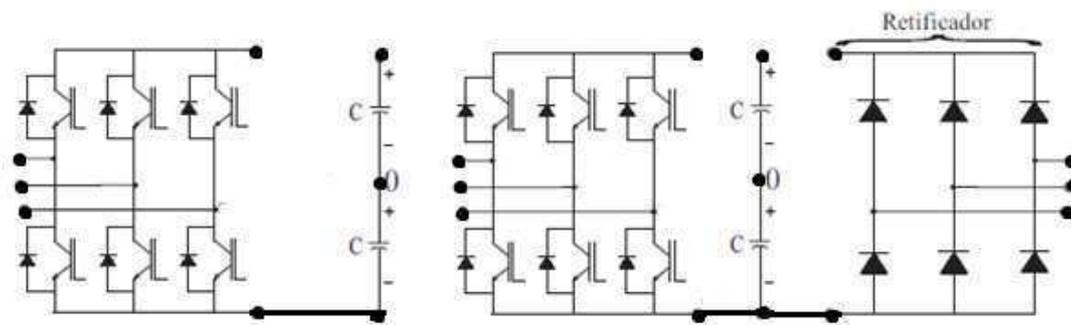


Figura 25: Esquema elétrico do conversor de seis braços.

Existe um total de onze sensores, sendo seis de corrente e cinco de tensão. A saída dos sensores é ajustada para faixa de tensão de -15V a 15V para a placa de aquisição de dados para posterior envio a um microcomputador (PC Pentium).

A estratégia de controle foi desenvolvida em linguagem C no compilador Turbo C/C++. Como a estratégia foi implementada no computador, foi utilizada uma placa de interface e aquisição de dados entre a bancada e o PC.

Pelo computador se tem acesso aos valores de corrente e tensão medidos pelos sensores, tem também o controle das chaves dos braços dos conversores e pode ainda, ao fim da execução do programa, ver gráficos desejados e salvar os dados em arquivos.

Na Figura 26 encontra-se uma foto da vista frontal da bancada de seis braços com uma montagem sendo realizada.



Figura 26: Bancada de seis braços.

4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Na bancada de doze braços foi realizado vários experimentos, podendo destacar um experimento para mostrar o controle PI de barramento para os alunos de controle analógico e resultados experimentais para a dissertação de Edgar Luiz.

Na Figura 27, encontra-se um exemplo de umas das montagens realizadas pelo estagiário e o aluno de pós-graduação Edgar Luiz que se trata de um filtro ativo de potência *shunt* convencional a três fios.

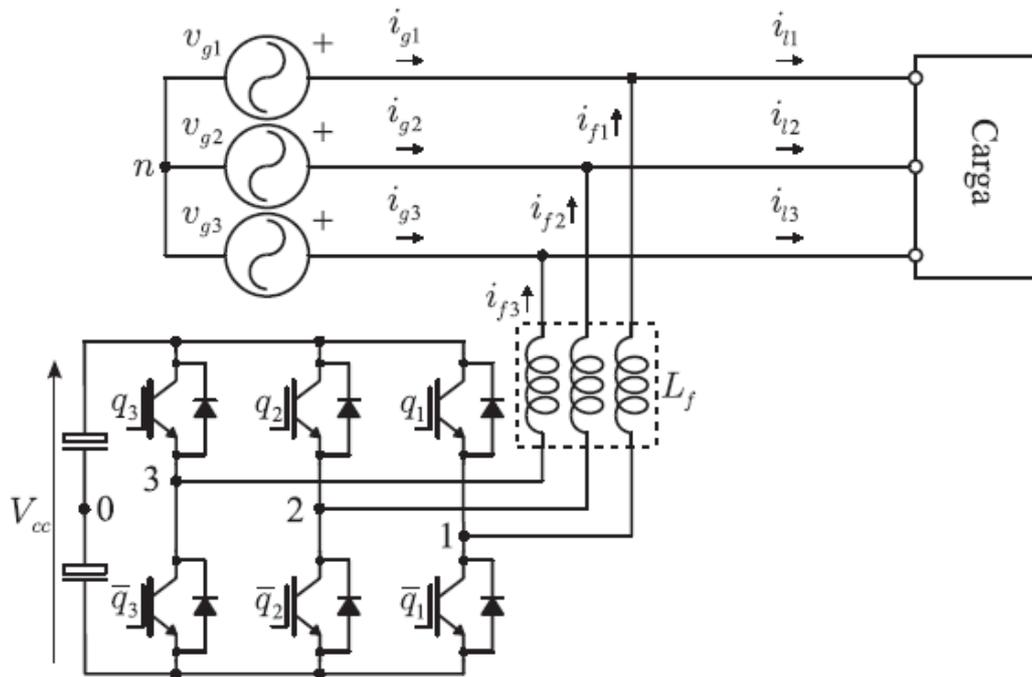


Figura 27: Filtro Ativo de Potência *shunt* a três fios.

Na Figura 28 encontram-se os resultados obtidos pela montagem da Figura 27. As curvas mostradas são: tensões e correntes da rede trifásica; correntes do filtro e da carga e a tensão no barramento CC.

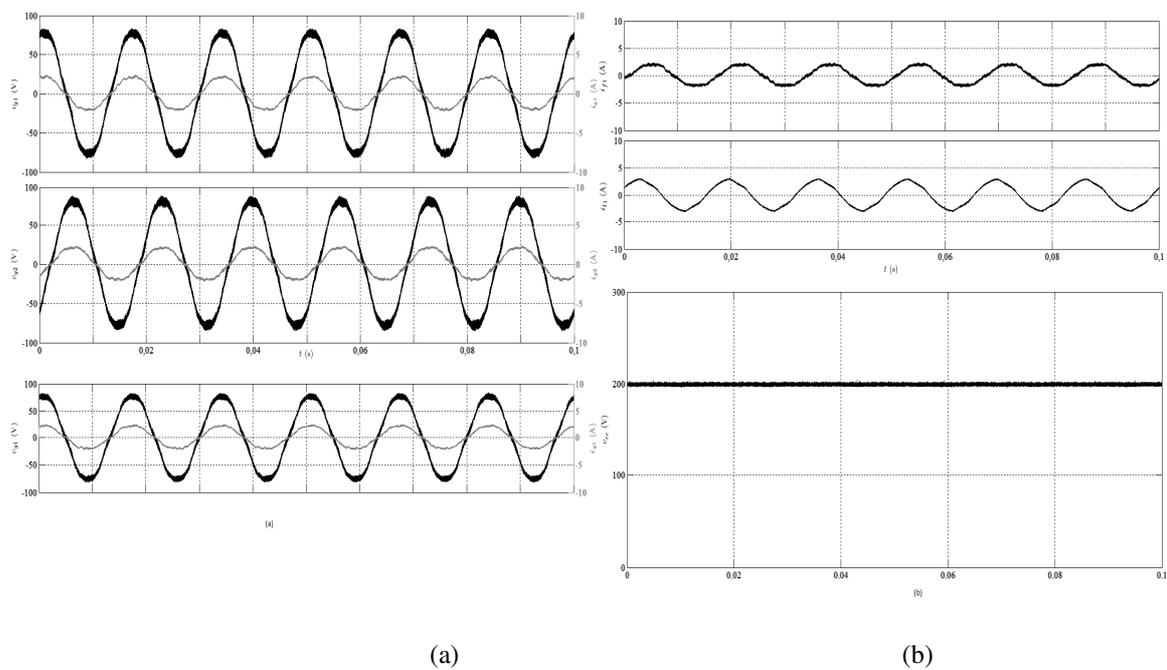


Figura 28: Resultado experimental do filtro ativo de Potência Shunt a três fios convencional, com $\mu = 0,5$.
 (a) Tensões e correntes do grid (v_{g1}, i_{g1}), (v_{g2}, i_{g2}) e (v_{g3}, i_{g3}). (b) Correntes do filtro (i_{f1}), da carga (i_{l1}) e tensão do barramento CC (V_{cc}).

Uma das montagens realizadas no LEIAM foi usada para a última aula dos alunos da disciplina de Laboratório de Controle Analógico, onde se teve como objetivos mostrar aos alunos um controle de velocidade de um motor. A bancada utilizada foi a de doze braços e a montagem realizada está mostrada na Figura 29.

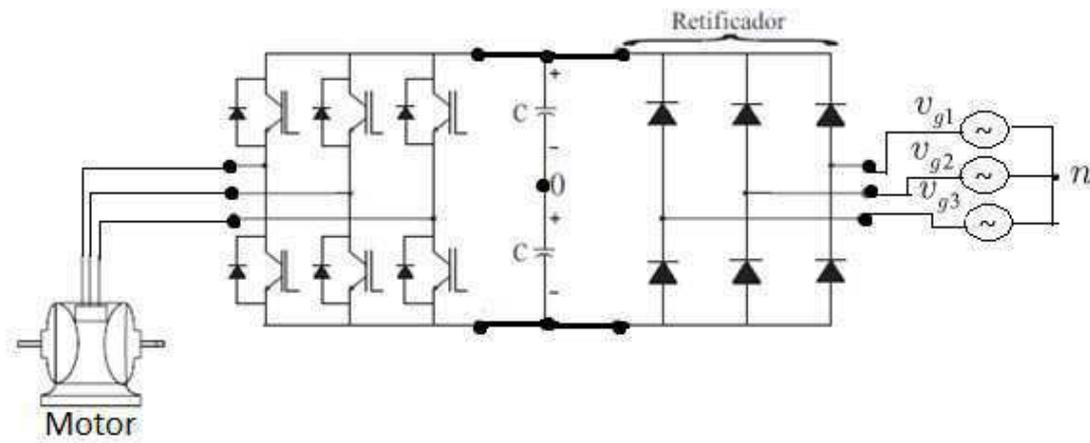


Figura 29: Conversor CA-CC-CA para o controle de velocidade de uma máquina.

Para o uso da bancada com seis braços, inicialmente foi realizado um treinamento para o uso da mesma, com explicações, observações e acompanhamentos de experimentos para o posterior uso da bancada.

Depois do entendimento e domínio das principais ferramentas da bancada e dos conhecimentos adquiridos ao longo do estágio com simulações e estudos aprofundados no assunto de eletrônica de potência, foi possível a análise, simulação, desenvolvimento das estratégias de controle e montagem do circuito mostrado na Figura 30.

Na Figura 30 tem-se um conversor monofásico misto, conhecido como *dual boost* monofásico.

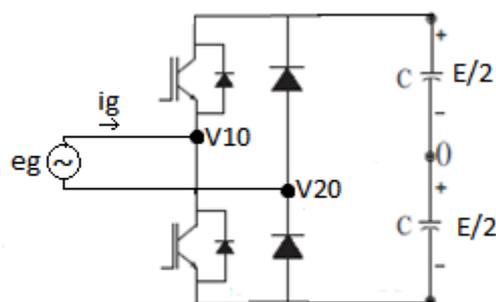


Figura 30: Conversor monofásico misto

Para o circuito mostrado na Figura 30, a implementação foi realizada seguindo o diagrama da Figura 31, onde é definido um valor de referência para a tensão no barramento capacitivo desejado. É realizado um controle PI da tensão do barramento. Para a corrente, foi usado um controlador PI – modificado, pois a corrente é uma senoide que segue o ângulo fornecido pela PLL (corrente em fase com tensão V_g). Do controlador PI – modificado de corrente sai a referência de V_g para ser aplicado na estratégia desenvolvida do PWM para realizar o controle das chaves.

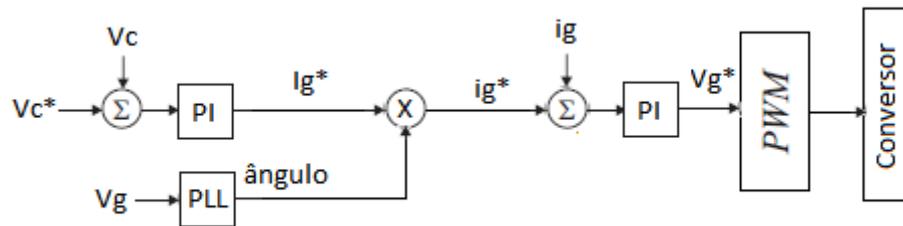


Figura 31: Diagrama realizado para a estratégia de controle do conversor misto monofásico.

Nas Figuras 32 e 33, podem-se observar os resultados experimentais da montagem da Figura 30. Os resultados medidos por um osciloscópio são mostrados na Figura 32 e os resultados medidos pelos sensores que são passados para computador e armazenados em arquivos pelos mesmos são mostrados na Figura 33.

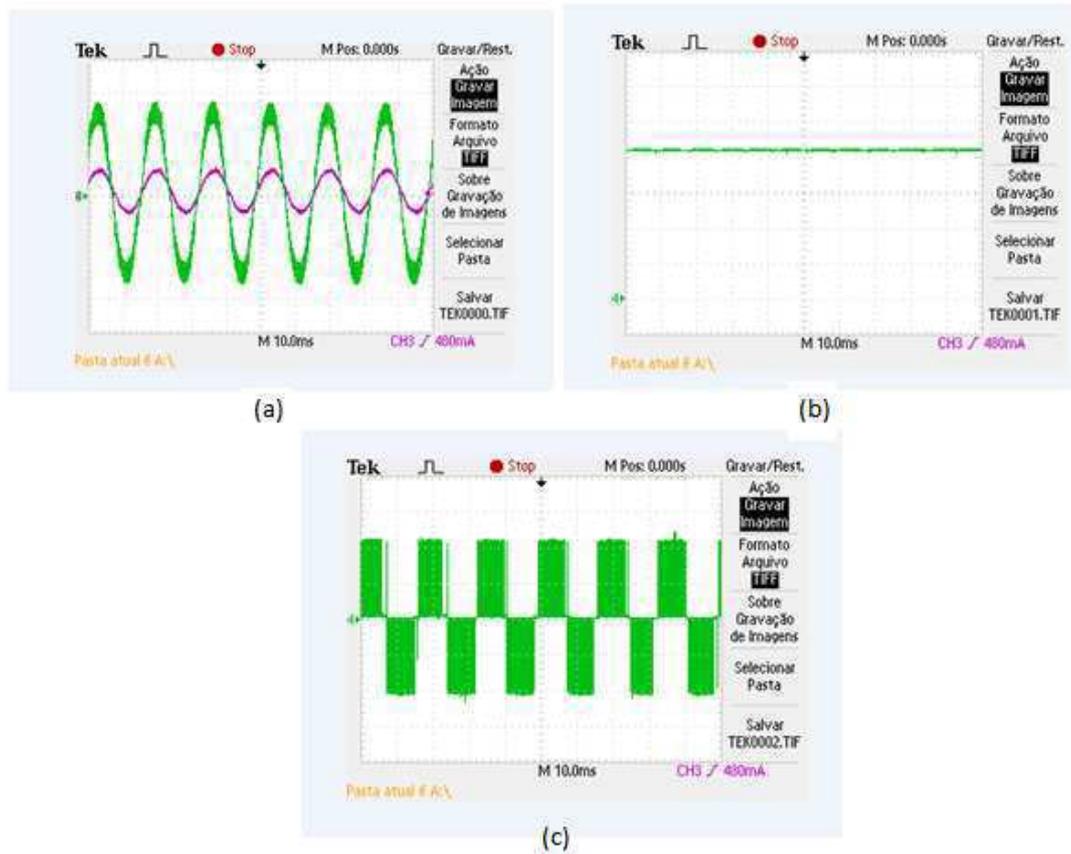


Figura 32: Resultados medidos no osciloscópio (a) Tensão e_g (verde) e corrente i_g (roxo). (b) Tensão no barramento capacitivo. (c) tensão $V_g = V_{10} - V_{20}$.

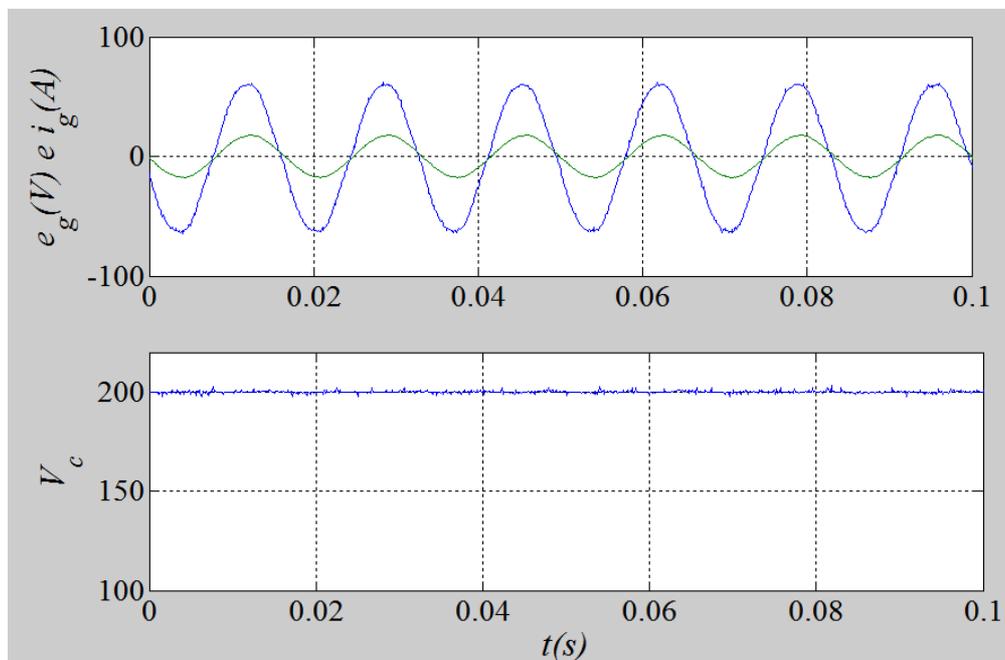


Figura 33: Resultados medidos pelos sensores e armazenados em arquivos no computador. Gráfico de cima é a Tensão e_g (azul) e corrente i_g (verde) e o de baixo a Tensão no barramento capacitivo.

5 CONCLUSÃO

O estágio foi realizado com grande êxito, visto que as principais ferramentas utilizadas no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas foram utilizadas durante os diversos experimentos que foram acompanhados e os realizados.

O estágio foi de grande valia também pelo fato de ter complementado a teoria aprendida durante o curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Disciplinas como Controle Analógico, Controle Digital, Eletrônica de Potência, Máquinas Elétricas, Sistemas Elétricos, Dispositivos Eletrônicos, Conversão Eletromecânica de Energia, Instalações Elétricas, Arquitetura de Sistemas Digitais e Eletrônica do profissional essencial e as disciplinas Conversores Estáticos e Eletromecânicos, Acionamentos de Máquinas Elétricas, Processamento Digital de Sinais e Instrumentação Eletrônica tiveram seus assuntos abordados e posto em prática durante o estágio realizado no LEIAM sob supervisão do professor Cursino Brandão Jacobina.

BIBLIOGRAFIA

Fabrcio, E. L. (2010). *Relatório de Estágio*. Campina Grande: UFCG.

Jacobina, C. B. (2005). *Sistema de Acionamento estático de máquinas elétricas*. Campina grande: UFCG.

Oliveira, T. M. (2009). *Guia do Laboratório de Eletrônica de Potência da UFCG*. Campina Grande: UFCG.

Pomílio, J. A. (2006). *Notas de Aula da disciplina de Eletrônica de Potência para pós -graduação na Unicamp*. Campinas: Unicamp.

Rashid, M. H. (1999). *Eletrônica de Potência - Circuitos e Aplicações*. Makron Books.

Silva, E. R. (2010). *Notas de aula da Disciplina de Eletrônica da Potência da UFCG*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Campina Grande: UFCG.