



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ROBERTO DA SILVA MACENA

**CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O  
ESTUDO DE INVERSORES DE TENSÃO INDUSTRIAIS**

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2011

ROBERTO DA SILVA MACENA

# CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DE INVERSORES DE TENSÃO INDUSTRIAIS

*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: Controle e Automação

Orientadores:

Cursino Brandão Jacobina

Euzeli Cipriano dos Santos Júnior

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2011

ROBERTO DA SILVA MACENA

## CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DE INVERSORES DE TENSÃO INDUSTRIAIS

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: Controle e Automação

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Cursino Brandão Jacobina, Dr. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, que foi a base estrutural de minhas conquistas e a principal motivadora nestes anos de dedicação.

*“Se enxerguei mais longe foi porque me apoiei nos ombros de gigantes.”*

Isaac Newton.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a construção de uma bancada didática para o estudo de inversores de tensão industriais em uma bancada vertical móvel no LEIAM – Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas – visando a familiarização com os componentes utilizados na montagem e funcionamento do mesmo, assim como tornar disponível para montagens dezesseis braços de inversores de tensão.

No desenvolver do trabalho serão apresentados os componentes utilizados descrevendo as características elétricas dos mesmos, bem como serão descritos as atividades realizadas durante o estágio, que consistiram na montagem da bancada, fixação dos componentes e disponibilização de ligações, assim como no teste de funcionamento do módulo inversor de tensão.

Por fim serão feitos comentários acerca do trabalho desenvolvido, bem como sugestões de melhorias na arquitetura da bancada.

**Palavras-chave:** Estágio, Inversor, IGBT, Acionamento, Máquinas.

# SUMÁRIO

Resumo.....	vi
Sumário .....	vii
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Motivação .....	1
1.3 O laboratório.....	2
2 Embasamento Teórico.....	2
2.1 Circuito inversor de tensão .....	2
3 Material .....	3
3.1 Módulo de inversores da semikron .....	4
3.1.1 Módulo IGBT SKM 100GB128D .....	4
3.1.2 Driver SKHI 22BR.....	5
3.1.3 Placa de circuito impresso para driver skpc22/2.....	5
3.1.4 Diodos retificadores SKKD46/12.....	7
3.2 Microcontrolador PIC18f4525.....	7
4 Atividades desenvolvidas .....	8
4.1 Montagem da bancada .....	8
4.2 Teste de acionamento.....	10
5 Resultados .....	11
6 Conclusão.....	12
Bibliografia.....	13

# 1 INTRODUÇÃO

Na indústria é muito comum a necessidade de se automatizar processos produtivos para melhorar a produção, bem como atender à demanda e diminuir o preço gasto para produzir. Nesses casos é comum a utilização de atuadores que necessitam de tensões e correntes alternadas e controladas com potência relativamente alta se comparada com a de uma rede monofásica de uma casa. Então para atender a tal especificação são utilizados os inversores industriais que permitem, através do chaveamento de dispositivos eletrônicos, controlar tensões e correntes em cargas e atender a outras especificações.

Neste trabalho propõe-se a montagem de uma bancada de estudos de inversores industriais, assim como a familiarização com este tipo de inversor fazendo testes com cargas de natureza diferente. Na seqüência do trabalho serão abordados os conceitos sobre um inversor monofásico, os materiais utilizados para montar a bancada, os métodos e resultados para os testes da bancada e por fim comentários acerca do trabalho desenvolvido.

## 1.1 OBJETIVOS

Construir uma bancada didática para o estudo de inversores industriais tornando o uso deste tipo de conversor mais didático no LEIAM – Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas – Assim como garantir maior familiarização com este tipo de montagem.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

O estudo de inversores industriais se torna motivador por ser uma experiência nova em um tipo de montagem que é usada em larga escala no mercado de trabalho, sendo empolgante a idéia de se fazer, no futuro próximo, projetos industriais de acionamentos elétricos e geração de energia.



### 1.3 O LABORATÓRIO

O LEIAM – Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas – foi o laboratório utilizado para realizar o estágio supervisionado, ele está localizado no bloco CH do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Nele são desenvolvidos projetos de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas, bem como o desenvolvimento de projetos de pesquisa em parceria com empresas e órgãos financiadores de pesquisa.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Nesta seção será discutido o funcionamento de um inversor monofásico que é a base de estudo de inversores, sendo também a fundamentação para se efetuar os testes de verificação de funcionamento dos módulos inversores.

### 2.1 CIRCUITO INVERSOR DE TENSÃO

O circuito inversor de tensão permite que se aplique a tensão de alimentação com polaridades diferentes na carga utilizando apenas sinais lógicos. Na Figura 2.1 é exposta uma ilustração de um inversor CC/CA.

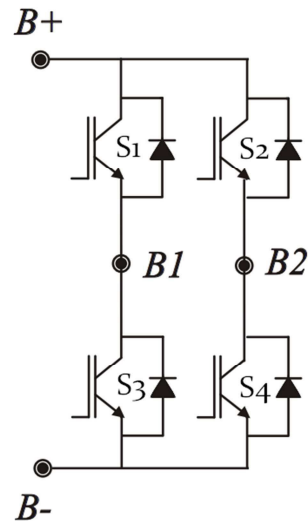


Figura 2.1 – Ilustração do inversor de tensão CC/CA

O funcionamento deste inversor é baseado no acionamento lógico das chaves  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_4$ . Caso as chaves  $S_1$  e  $S_2$  sejam acionadas simultaneamente entre os terminais  $B_1$  e  $B_2$  será aplicada uma tensão positiva tendo como referência a tensão de entrada do inversor. Caso sejam as chaves  $S_3$  e  $S_4$ , entre os terminais  $B_1$  e  $B_2$  será aplicada uma tensão positiva tendo como referência a tensão de entrada do inversor.

As chaves que estão no mesmo braço não podem ser acionadas de forma simultânea, pois se isso ocorrer ocorrerá um curto-circuito na fonte o que pode acarretar sérios problemas no funcionamento do inversor e da carga. Qualquer outra combinação de acionamento das chaves terá como resultado tensão igual a zero entre os terminais  $B_1$  e  $B_2$ .

### 3 MATERIAL

Neste tópico serão descritos os materiais utilizados na construção da bancada para os inversores, bem como os dispositivos utilizados para o correto funcionamento dos módulos de inversores.

### 3.1 MÓDULO DE INVERSORES DA SEMIKRON

O módulo de inversores, Figura 3.1, da semikron é constituído por alguns elementos que garantem o correto funcionamento dos braços do inversor, nesta seção serão descritos os elementos desse módulo.

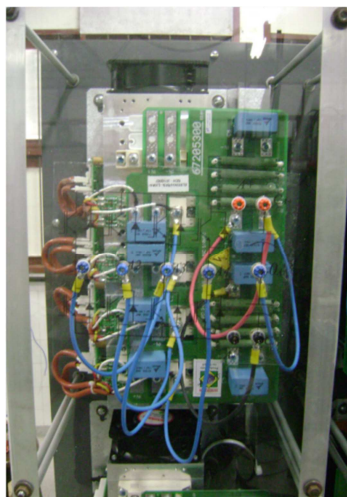


Figura 3.1 – Módulo de inversores da Semikron

#### 3.1.1 MÓDULO IGBT SKM 100GB128D

Este módulo possui dois IGBTs com ligações conforme pode-se observar na Figura 3.2.

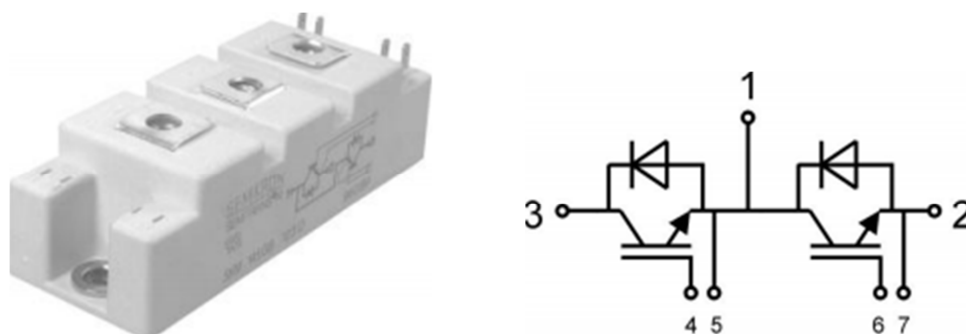


Figura 3.2 – Módulo IGBT e esquema elétrico do módulo

Este módulo suporta até 145 A de corrente e 1200 V de tensão sendo as demais características fornecidas no datasheet em anexo.

### 3.1.2 DRIVER SKHI 22BR

No módulo do inversor está presente um driver para acionamento dos IGBTs de cada braço. Este driver tem tensão nominal de 15V de alimentação e 5 V para as tensões de referência de acionamento das chaves. Na Figura 3.3 pode-se observar uma foto ilustrativa do driver em questão.



Figura 3.3 – Driver de acionamento dos IGBTs de um braço SKHI 22BR

### 3.1.3 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO PARA DRIVER SKPC22/2

O driver SKHI 22BR está conectado junto a uma placa de circuito impresso que pode ser vista na foto da Figura 3.4.



### 3.1.4 DIODOS RETIFICADORES SKKD46/12

Este módulo retificador suporta tensões de 1200 V e 60 A de corrente. Na Figura 3.6 estão a foto do módulo retificador, bem como o esquema elétrico do mesmo.

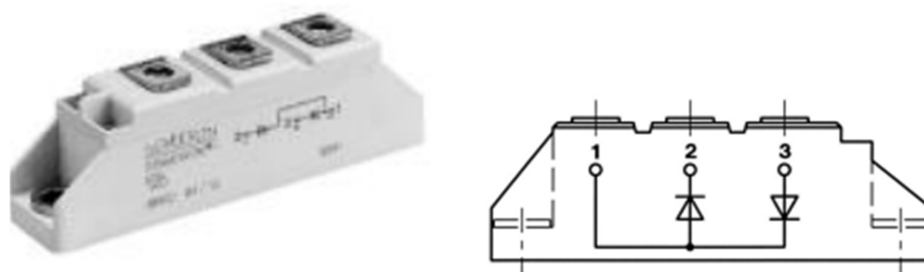


Figura 3.6 – Módulo de diodos retificadores e esquema elétrico.

## 3.2 MICROCONTROLADOR PIC18F4525

Decidiu-se utilizar o microcontrolador PIC18f4525 devido à familiaridade do autor com a arquitetura e programação do microcontrolador. Usou-se um oscilador de 4 MHz e a placa de desenvolvimento MCLAB2 da labtools. A montagem do circuito consistiu em disponibilizar as entradas de referência de tensão do driver SKHI 22BR nos pinos de saída digital do microcontrolador, para que os ensaios fossem realizados. Na Figura 3.7 é mostrada a foto da montagem microcontrolador/inversor.

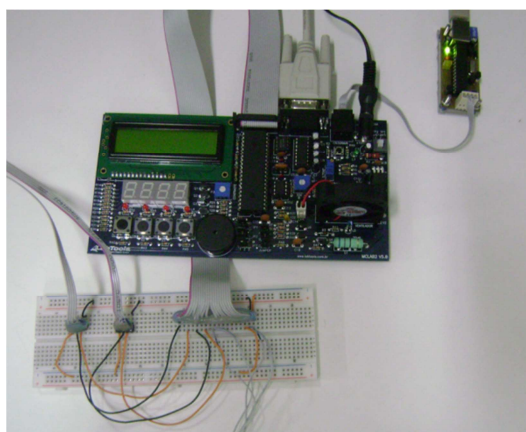


Figura 3.5 – Foto da montagem microcontrolador/inversor.

## 4 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

### 4.1 MONTAGEM DA BANCADA

A montagem da bancada consistiu em conectar os elementos de circuito para se ter o devido funcionamento, em seguida fixar os módulos inversores na bancada vertical disponibilizada no LEIAM, bem como construir proteções de acrílico e disponibilizar os terminais de ligação do módulo inversor como pode ser visto nas Figura 4.1 e 4.2.



Figura 4.1 – Foto da bancada didática de inversores

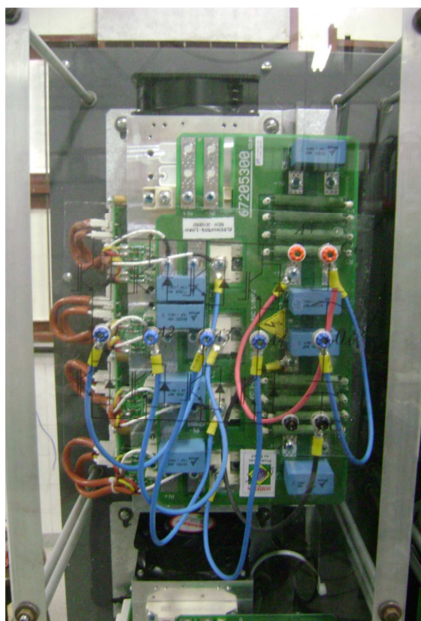


Figura 4.2 – Foto de um módulo de inversores

Ao todo são quatro braços em cada módulo totalizando dezesseis na bancada, o que permite fazer uma gama de aplicações na área de Eletrônica Industrial e Acionamentos de Máquinas.

Para tornar a bancada mais didática disponibilizou-se em cada módulo o desenho do inversor junto com o capacitor do barramento CC. O desenho para o conversor D é mostrado na Figura 4.3.

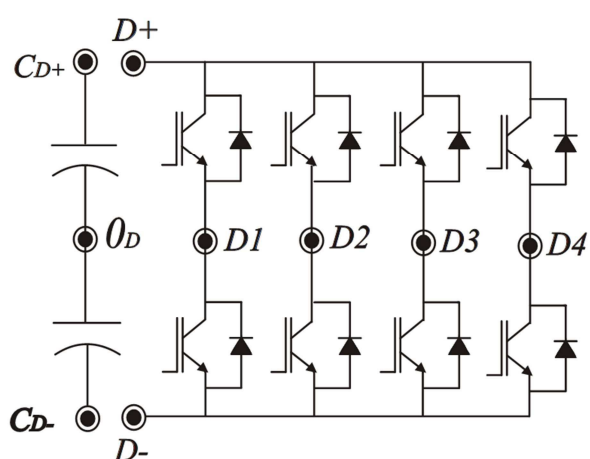


Figura 4.3 – Desenho dos inversor de tensão do módulo da Semikron



## 4.2 TESTE DE ACIONAMENTO

Para realizar o teste de acionamento das chaves do módulo executou-se uma rotina no microcontrolador PIC18f4525 que acionasse as chaves  $S_1$  e  $S_4$  com ondas quadradas de período 100 ms, 50 ms e 40 ms e que em seguida as chaves  $S_2$  e  $S_3$  fossem acionadas com o mesmo tipo de sinal, sendo o inversor alimentado por um barramento de 17 V de tensão e a carga ligada nos terminais do inversor do tipo resistiva.

## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram os mostrados nas Figuras 4.4 e 4.5.

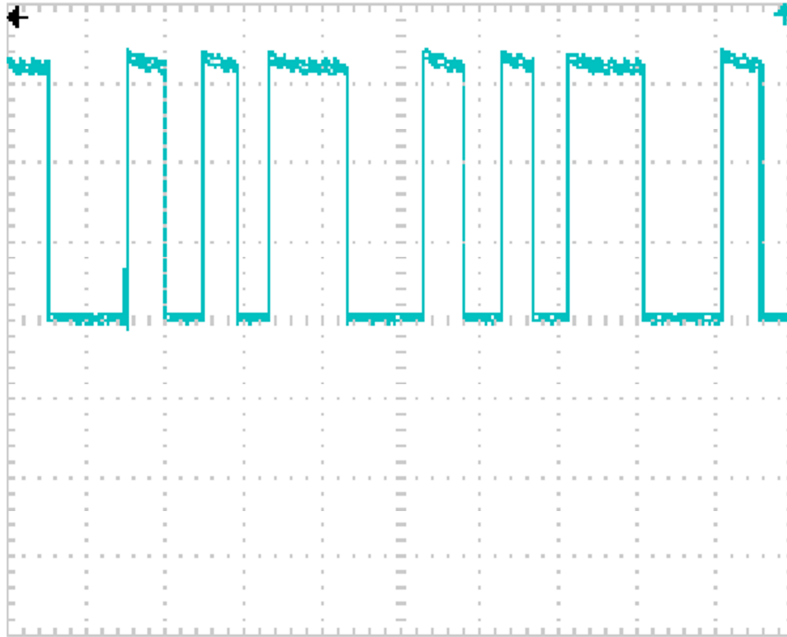


Figura 4.4 – Acionamento das chaves e

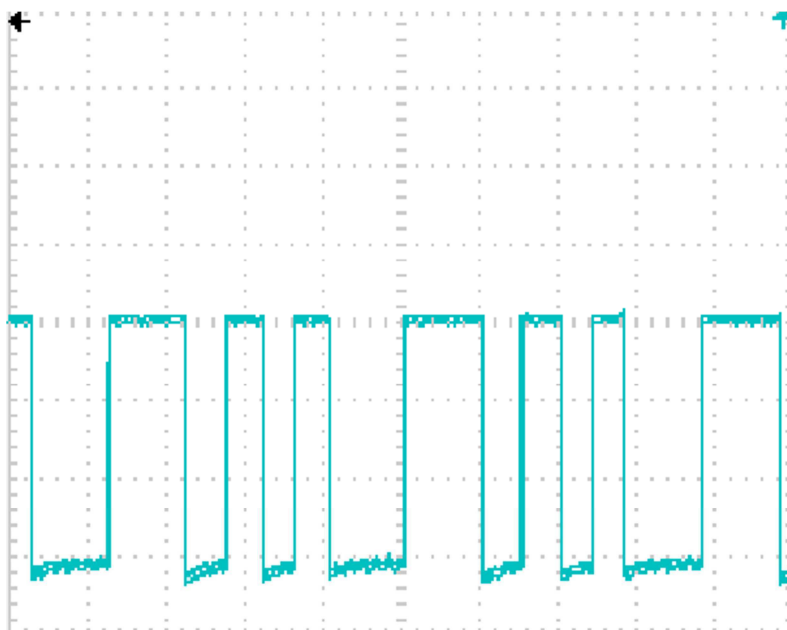


Figura 4.5 – Acionamento das chaves e

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um projeto que consistiu em construir uma bancada vertical móvel em que se disponibilizam dezesseis braços de inversores de tensão para montagens e testes de funcionamento de circuitos. O desenvolvimento desta atividade foi de grande valia, visto os conceitos abordados para a conclusão da mesma acrescentam grande valor à formação de um Engenheiro eletricitista.

Os testes realizados para a verificação do funcionamento da bancada apresentaram ótimo resultado, porém devem ser feitos novos testes usando sinais que exijam maior confiabilidade, tais como os utilizados nas técnicas de modulação PWM senoidal em que além de frequências altas do sinal PWM tem-se ainda a preocupação com o tempo morto de acionamento das chaves.

Por fim deve-se projetar um circuito de proteção para a bancada a fim de proteger a rede elétrica e o experimentador, assim como acoplar um circuito com poder de processamento maior que o dos microcontroladores PIC.

## BIBLIOGRAFIA

Rashid, M. H. Power electronics handbook: devices, circuits, and applications, 2007;

<http://www.microchip.com>, acessado em 21 de fevereiro de 2011;

<http://www.semikron.com>, acessado em 21 de fevereiro de 2011;

<http://www.mathworks.com>, acessado em 21 de fevereiro de 2011;



