|  |  |
| --- | --- |
| http://www.joinville.udesc.br/portal/img/udesc_joinville_2cm.gif  http://www.lepo.joinville.udesc.br/Nova%20pasta/logo_npee1.jpg | Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC  Centro de Ciências Tecnológicas - CCT  Departamento de Engenharia Elétrica – DEE  Núcleo de Processamento de Energia Elétrica - nPEE |

**fábio cadore posser**

**NAELTON OLIVEIRA DE SOUZA**

**pROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS**

**JOINVILLE-SC**

**2015/01**

**fábio cadore posser**

**NAELTON OLIVEIRA DE SOUZA**

**PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS**

Projeto de um conversor *Buck* Síncrono aplicado como um Controlador de Carga de um sistema de armazenamento de energia solar fotovoltaica. Será realizado o controle digital do conversor com o objetivo do rastreamento do ponto de operação para obtenção da máxima transferência de potência do sistema, ou seja, *MPPT* (*Maximum Power Point Tracking*).

Professor: Joselito A. Heerdt, Dr. Eng.

**JOINVILLE, SC**

**2015**

**SUMÁRIO**

1 OBJETIVO 5

2 INTRODUÇÃO 5

3 ESPECIFICAÇÃO DO CONVERSOR E PROJETO 9

4 PROJETO CONCEITUAL E SIMULAÇÃO DO CONVERSOR 11

5 PROJETO DETALHADO DO CONVERSOR 11

5.1 PROJETO DO CIRCUITO ELETRÔNICO 11

5.1.1 Elementos de Potência do Conversor 11

5.1.2 Circuitos de Medição 11

5.1.3 Circuitos Auxiliares e de Proteção 12

5.2 PROJETO DO LAYOUT 12

5.2.1 Condições de Contorno Projeto do Layout 12

5.2.2 Circuitos Críticos e Estratégia do Layout do Conversor 12

5.2.3 Regras de Projeto Utilizadas 12

5.2.4 Resumo do Layout Obtido para Conversor 13

5.3 PROJETO DE SOFTWARE 13

5.3.1 Configuração dos Periféricos 13

5.3.2 Configuração dos Periféricos 13

6 RESULTADOS OBTIDOS COM PROTÓTIPO DO CONVERSOR 13

6.1 VERIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS SINAIS DO CIRCUITO EM MALHA ABERTA 14

6.1.1 Sinais de PWM na saída da CPU 14

6.1.2 Funcionamento das Fontes Auxiliares 14

6.1.3 Rotina de pré-carga bootstrap 14

6.1.4 Rotina de pré-carga bootstrap 14

6.1.5 Rampa Inicial para rastreamento do MPPT 14

6.2 funcionamento do conversor em malha fechada 14

6.2.1 Verificação de Sequência de Operação 14

6.2.2 Rastreamento do Ponto de Máxima Potência 14

6.3 EFICIÊNCIA DO CONVERSOR OPERANDO COM RETIFICAÇÃO SÍNCRONA 14

7 CONCLUSÃO 15

8 REFERÊNCIAS 16

# OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a motivação e o projeto de um equipamento chamado Controlador de Carga, utilizado no gerenciamento da carga de bancos de baterias utilizados em sistemas fotovoltaicos.

# INTRODUÇÃO

Sistemas de geração de energia fotovoltaicos utilizam a radiação solar para gerar energia através do efeito fotovoltaico.

Este efeito ocorre em materiais semicondutores, que são materiais que apresentam propriedades de condução elétrica intermediárias entres aquelas inerentes aos isolantes e aos condutores. Estes materiais se caracterizam pela presença de faixas de energia onde é permitida a presença de elétrons (faixa de valência) e de outra onde totalmente "vazia" (faixa de condução). Entre estas duas faixas se encontra a faixa proibida ou hiato energético. É a largura da faixa proibida que determina se o material é semicondutor. Enquanto materiais isolantes têm uma faixa proibida larga, da ordem de 6 eV, os semicondutores apresentam faixa proibida média, da ordem de 1 eV.

Quando os fótons da luz solar, na faixa do espectro de radiação visível, incidem sobre o material semicondutor, excitam os elétrons da banda de valência movimentando-os para a banda de condução. A energia dos fótons é transferida para os átomos, liberando elétrons com alta energia. Uma barreira impede que este elétrons retornem a sua posição anterior, podendo assim direcioná-los para um circuito externo.

O silício é o elemento semicondutor mais utilizado para a aplicação fotovoltaica. Os seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Quando se adicionam impurezas, fósforo ou o boro criam-se elementos de silício com excesso (tipo n) ou carência (tipo p) de elétrons. Estes elementos podem ser combinados em uma junção pn. Quando os elétrons do lado p são excitados por fótons solares, atravessam a camada de junção pn e são impedidos de retornar devido a diferença de potência criada na junção. Desta forma, os elétrons de acumulam do lado n, tornando-o um polo negativo enquanto que o lado p se torna um polo positivo. Existe portanto uma diferença de potência entre os dois polos e, ao se interligar externamente este polos, ocorre a passagem de corrente elétrica que tende a equilibrar novamente os dois polos. Sendo a incidência solar constante, o fluxo de corrente elétrica se manterá contínuo, fazendo da célula uma geração de energia.

Na figura abaixo - Figura 1 - é apresentado um desenho esquemático de uma célula fotovoltaica.

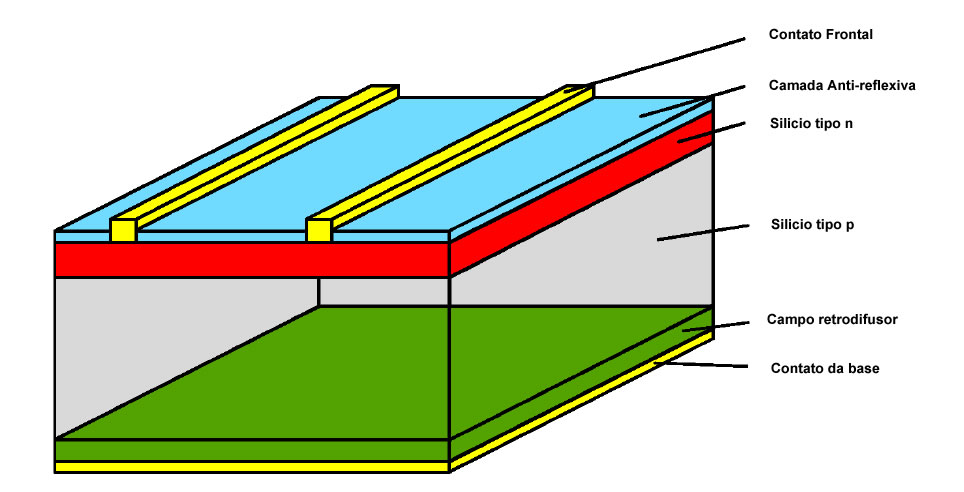


Figura - Esquema básico de uma célula fotovoltaica.

A representação típica da característica de saída de um dispositivo fotovoltaico (célula, módulo, sistema) denomina-se curva tensão x corrente. Um exemplo genérico da curva característica apresentada na documentação de um módulo fotovoltaico qualquer é apresentada na Figura 2.

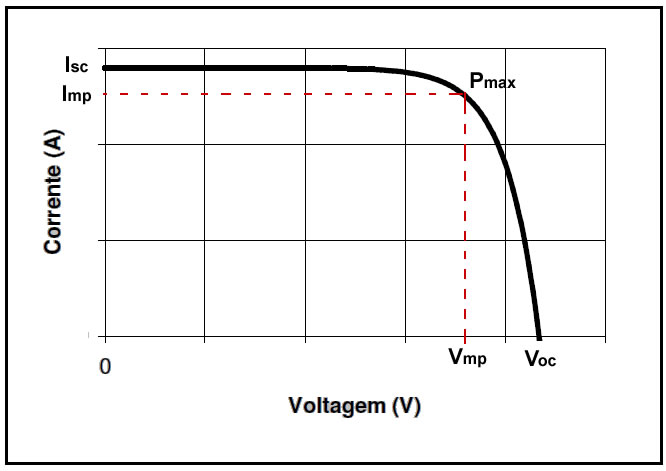
****

Figura - Exemplo de curva característica de um módulo fotovoltaico.

Onde,

Isc – Corrente de curto-circuito;

Voc – Tensão de circuito aberto;

Imp – Corrente de potência máxima;

Vmp – Tensão de potência máxima;

Pmax – Potência máxima.

A corrente e a tensão de operação dos dispositivos fotovoltaicos são determinadas pela radiação solar incidente, pela temperatura ambiente, e pelas características da carga conectadas ao mesmo. Estes fatores modificam o desempenho do módulo e deslocam – verticalmente ou horizontalmente – a curva característica do módulo.

Para que exista maior aproveitamento da energia solar disponível o módulo precisa operar no seu ponto de potência máxima.

Utilizando uma técnica de carga ON/OFF não é possível escolher o ponto de trabalho do painel fotovoltaico, porque ele estará submetido ao ponto de trabalho da tensão do banco de baterias.

Porém, utilizando um conversor do tipo Buck por exemplo, é possível utilizar técnicas que visam rastrear o máximo ponto de operação do módulo de modo a se obter maior eficiência na geração de energia elétrica.

O módulo utilizado como base para este projeto é o modelo YL255P-29b fabricado pelo maior fabricante mundial de módulos fotovoltaicos, a Yingli.

Abaixo seguem as especificações do módulo apresentadas em seu datasheet - condições para STC (Standard Test Conditions, 1000W/m² a 25°C).

|  |  |
| --- | --- |
| Módulo Yingli YL255p-29b | |
| Potência nominal | 255W |
| Tolerância de potência | 0 / =5W |
| Eficiência do módulo | 15,7% |
| Tensão de máxima potência | 30,3V |
| Corrente de máxima potência | 8,49A |
| Tensão de circuito aberto | 37,7V |
| Corrente de curto-circuito | 9,01A |

A técnica escolhida para encontrar o ponto de máxima potência neste trabalho com o conversor Buck chama-se Perturba e Observa, como o próprio nome diz, consiste em realizar uma perturbação na razão cíclica do conversor, medir a tensão e corrente do painel fotovoltaico ou bateria, e verificar se houve um incremento de potência com esta perturbação.

Caso seja feito um incremento no ciclo ativo e ocorra um aumento de potência fornecida, realiza-se outro incremento no mesmo sentido e mede-se a potência novamente.

Caso a potência fornecida pelos módulos seja inferior à da última iteração, perturba-se o ciclo de trabalho no sentido contrário, e realiza-se a análise novamente.

No final, o sistema fica oscilando nos arredores do ponto de máxima potência.

A Figura 3 apresenta o fluxograma do método utilizado.

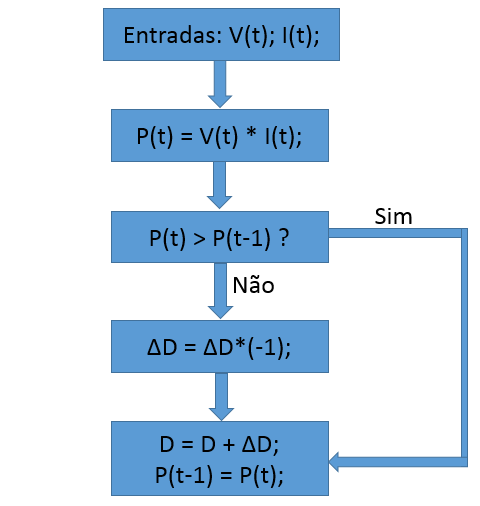


Figura - Fluxograma do método Perturba e Observa.

# ESPECIFICAÇÃO DO CONVERSOR E PROJETO

O conversor *Buck* é conhecido como um conversor abaixador de tensão, composto por uma chave, diodo, indutor, fonte e carga de saída, a Figura 4 apresenta o circuito do conversor.

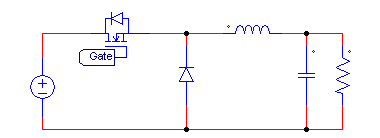


Figura - Circuito do conversor Buck.

Para elevar a eficiência do conversor, será utilizada a técnica de retificação síncrona após o conversor entrar em modo de condução contínua, com um Mosfet com baixa resistência série no lugar do diodo de roda livre do conversor *Buck*, a Figura 5 apresenta o circuito do conversor Buck síncrono.

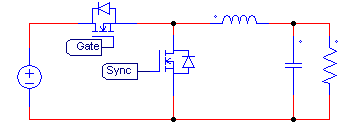


Figura - Circuito conversor *Buck* síncrono.

Considerando o módulo Yingli YL255p-29b apresentando acima, foram escolhidos os seguintes parâmetros para o conversor *Buck*:

- Corrente nominal de saída = 10A;

- Tensão nominal de saída = 24V;

- Tensão máxima de entrada = 40V;

- Frequência de chaveamento = 60kHz;

- Máxima ondulação de corrente = 30%;

Para realizar o acionamento das chaves do conversor e a programação do algoritmo foi escolhido o microcontrolador da Texas Instruments TMS320F28027.

Este microcontrolador pode operar a 60MHz, é de uma linha de baixo custo alimentado em 3,3V, possui oscilador interno, três timers de 32 bits, até 22 GPIO, 8 canais de PWM com um timer para cada módulo, 12KB de memória RAM, 64KB de memória Flash, 7 canais AD com resolução de 12 bits, comunicação UART, SPI, I2C, Whatdog, temperatura de operação até 125°C.

A interface para realizar a programação é o softwares da Texas chamado Code Composer Studio.

Para obter uma ondulação máxima de 30% com frequência de chaveamento de 60KHz e tensão de entrada e saída especificada no projeto foi necessário confeccionar um indutor com 100uH de indutância.

Os Mofest’s utilizados para este projeto foram o modelo IRF2805, que apresenta tensão Dreno-Source máxima de 55V, resistência série de 4,7mΩ e corrente de 75A a 25°C. Podendo operar a uma temperatura de junção de 175°C.

# PROJETO CONCEITUAL E SIMULAÇÃO DO CONVERSOR

Para validar a proposta apresentada no Capítulo 3 será realizado o projeto conceitual para validação através de simulação no PSIM. O projeto conceitual consiste na implementação do circuito elementar de potência e do algoritmo simplificado de controle*.*

## PROJETO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

# PROJETO DETALHADO DO CONVERSOR

Neste capitulo será abordado o conceito da modulação por largura de pulso, apresentando de forma breve os principais elementos que a compõe (referência, portadora e modulador), a modulação *PWM* senoidal e a teoria da modulação *CSV.*

## PROJETO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

### Elementos de Potência do Conversor

Em síntese, a saída desejada no conversor segue o sinal de referência utilizado. Para um conversor CC-CA trifásico, são necessárias três referências senoidais defasadas entre si de 120º com a frequência desejada para a saída, conforme pode ser visto na Figura 1.

### Circuitos de Medição

A portadora é um sinal de alta frequência na ordem de kHz, este sinal será responsável pela frequência de comutação dos interruptores. A quantidade de portadoras necessárias é λ -1, onde λ é o número de níveis obtidos na tensão de fase de saída do conversor. Para conversores CC-CA, normalmente utiliza-se um sinal triangular como portadora, conforme apresenta a Figura 2 [2]. Fontes Auxiliares

Em um inversor trifásico dois níveis são necessários 3 moduladores, um para cada braço da ponte inversora.

### Circuitos Auxiliares e de Proteção

Em um inversor trifásico dois níveis são necessários 3 moduladores, um para cada braço da ponte inversora.

## PROJETO DO LAYOUT

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

### Condições de Contorno Projeto do Layout

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

### Circuitos Críticos e Estratégia do Layout do Conversor

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

### Regras de Projeto Utilizadas

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

### Resumo do Layout Obtido para Conversor

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

## PROJETO DE SOFTWARE

O sistema para obtenção da modulação por largura de pulso, *PWM* basicamente é composto por três elementos: referência, portadora e circuito modulador.

### Configuração dos Periféricos

Em um inversor trifásico dois níveis são necessários 3 moduladores, um para cada braço da ponte inversora.

### Configuração dos Periféricos

Em um inversor trifásico dois níveis são necessários 3 moduladores, um para cada braço da ponte inversora.

# RESULTADOS OBTIDOS COM PROTÓTIPO DO CONVERSOR

Neste capitulo serão apresentados os resultados obtidos através de simulação, utilizando o software PSIM, da aplicação da modulação CSV em um inversor trifásico dois níveis.

## VERIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS SINAIS DO CIRCUITO EM MALHA ABERTA

### Sinais de PWM na saída da CPU

### Funcionamento das Fontes Auxiliares

### Rotina de pré-carga bootstrap

### Rotina de pré-carga bootstrap

### Rampa Inicial para rastreamento do MPPT

## funcionamento do conversor em malha fechada

### Verificação de Sequência de Operação

### Rastreamento do Ponto de Máxima Potência

A Figura 13 apresenta o circuito utilizado para gerar a referência com injeção de componentes de terceira harmônica.

## EFICIÊNCIA DO CONVERSOR OPERANDO COM RETIFICAÇÃO SÍNCRONA

# CONCLUSÃO

A realização da modulação *CSV* torna-se relativamente fácil, pois se baseia em um equacionamento que pode ser facilmente calculado via programação ou mesmo através de um circuito analógico básico, no caso foi utilizada a ponte de *Graetz* e umsomador analógico utilizando amplificadores operacionais. Dessa forma inclusive, é possível alcançar frequências de chaveamento superiores, limitadas apenas pelos interruptores de potência.

# **REFERÊNCIAS**

[1] HOLMES, D. Grahame; LIPO, Thomas. A. **Pulse Width Modulation for Power Converters - Principles and Practice***.* A Jonh Wiley & Sons, Inc., Publication, 2003.

[2] BATSCHAUER, Alessandro L. **Apostila da Disciplina de Controle de Conversores Estáticos**. Joinville, 2012. (Apostila).

[3] BATSCHAUER, Alessandro L. **Inversor Multiníveis Híbrido Trifásico Baseado em Módulos Meia-Ponte.** 2011. 300p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

[4] WU, B. ***High-Power Converters and AC Drives*.** New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2006.