

Análise estática e implementação de um conversor CCCC destinado a operar como emulador de painéis solares

Static analysis and implementation of a DCDC converter destined to operate as a solar panel emulator

RESUMO

Matheus Tauffer de Paula
matheusp.2016@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Eloi Agostini Junior
eloiaagostini@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Guilherme Ferreira da Luz
gferreiradaluz@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Este trabalho tem como objetivo realizar a análise estática e a implementação de um conversor CC-CC Meia-Ponte de 400W com comando assimétrico e comutação suave. O conversor é projetado visando a sua operação como emulador de painéis solares fotovoltaicos, o que o torna útil para pesquisas que envolvam energia solar devido diversas vantagens que o mesmo possui sobre painéis reais. Essas pesquisas são extremamente importantes no cenário atual visto que a conversão da energia solar em energia elétrica está se tornando cada vez mais crescente. Na metodologia é realizada a análise qualitativa do conversor escolhidos e os motivos que levaram a tal escolha, enquanto os resultados da análise quantitativa são apresentados e comparados com os resultados de simulação. A avaliação e comparação desses resultados teóricos e simulados levam a validação da análise desenvolvida e permite iniciar a construção de um protótipo prático do circuito. As conclusões são retiradas com base em todos esses resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar. Eletrônica de potência. Recursos naturais renováveis.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

This paper aims to show the static analysis and implementation of a 400w half-bridge dc-dc converter with soft commutation and asymmetrical command. The converter has been designed aiming operation as photovoltaic solar panels emulator, which is very useful for researchs involving solar energy, because it offers several advantages in comparison to real solar panels. This reasearchs involving solar energy are very important in the current context since the solar energy conversion into electrical energy is becoming increasingly important. In the methodology are presented the qualitative analysis of the chosen converter and the main reasons for this choice, the results of quantitative analysis are presented and compared with the simulation results. The rating and comparison between the theoretical results leads to validation of the developed analysis and allows the construction of a pratical prototype of the circuit. On the basis of this results conclusions are drawn.

KEYWORDS: Solar energy. Power Electronics. Renewable natural resources.

INTRODUÇÃO

Atualmente, devido ao aumento da preocupação com os problemas ambientais tem-se grande interesse por fontes de energia renovável. Dentre essas, destaca-se a energia solar, pois é muito abundante e não poluente, no entanto os custos associados a conversão da energia solar em elétrica através do efeito fotovoltaico ainda são elevados, mas têm decrescido com o passar do tempo.

E em virtude das vantagens oferecidas por esse método de conversão, os investimentos em pesquisas nessa área só aumentam. E de acordo com a pesquisa que está sendo desenvolvida é preciso ter a disposição painéis solares fotovoltaicos para a realização de ensaios em laboratório, como por exemplo teste de conversores destinados a operar com um sistema de geração fotovoltaica.

Existe outro problema da utilização de painéis solares em pesquisa, que é a variação dos parâmetros ambientais, como intensidade de radiação e temperatura ambiente, pois essas interferem no comportamento apresentado pelo painel.

A emulação se baseia na implementação das características de um dispositivo real através de um hardware. Existem diversos trabalhos na literatura propondo um arranjo para a emulação de painéis, Nagayoshi et al. (2002) propôs o uso de um foto-sensor em conjunto com um amplificador de potência para fazer tal emulação, no entanto essa implementação ficou limitada a baixas potências. Lopes e Lienhardt (2003) desenvolveram um emulador com uma fonte não linear baseada no chaveamento de resistores, essa implementação resulta em uma baixa eficiência.

As propostas atuais utilizam conversores CC-CC operando em malha fechada, as quais resultam em alto rendimento e grande flexibilidade. Sendo que a escolha mais comum de conversor é o Buck devido a sua simplicidade. Ziming et al. (2010) utiliza um conversor Ponte Completa em sua pesquisa sobre emuladores.

MATERIAIS E MÉTODOS

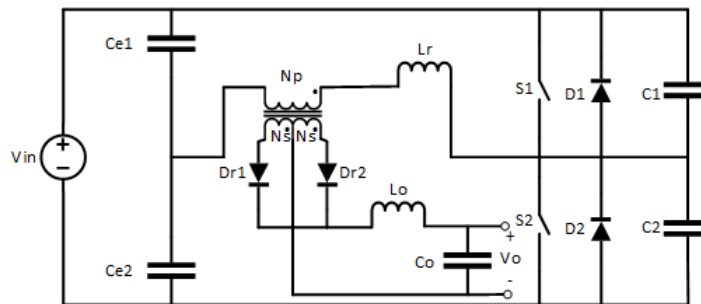
Para realizar o processamento da energia do emulador escolheu-se o conversor Meia-Ponte modulado por largura de pulso, com comutação suave e comando assimétrico (ASHB-PWM-ZVS). As motivações para essa escolha foram: o nível de potência escolhido (400W), possuir um transformador que provê isolamento galvânico a ele (característica importante para instrumentos de laboratório) e possibilita a redução do ganho estático sem reduzir muito a razão cíclica, além de possibilitar o uso de alguma das técnicas de comutação suave.

Segundo Imbertson e Mohan (1991, **apud COLLING, 1994, p. 1**) o comando assimétrico é caracterizado pela habilitação dos interruptores em tempo complementares no período de operação do conversor, aplicando tensão desiguais sobre a carga com o intuito de manter o transformador em equilíbrio.

Para a obtenção da comutação suave é utilizada a técnica ZVS (Zero-Voltage-Switching) na qual a comutação dos interruptores é realizada sob tensão nula, de modo a reduzir as perdas de energia nos interruptores.

A estrutura topológica para o conversor ASHB-PWM-ZVS está presente na Figura 1. Este conversor possui 10 etapas de operação, sendo as etapas 4, 5, 9 e 10 destinadas a comutação, tais etapas são extremamente breves se comparadas as restantes, de modo que, são desconsideradas na análise quantitativa.

Figura 1 – Estrutura para o conversor ASHB-PWM-ZVS

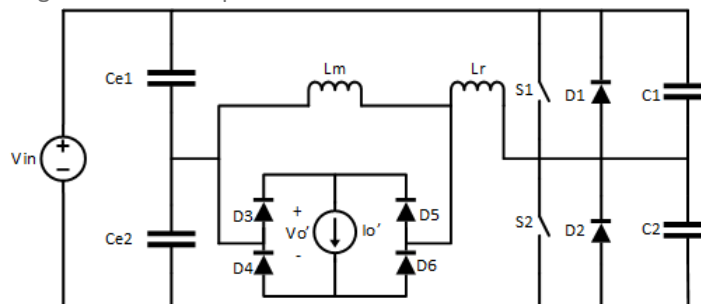


Fonte: Autoria própria.

Para a análise do conversor são feitas algumas hipóteses simplificativas, sendo elas: o filtro de saída possui uma grande inércia corrente de modo que possa ser representado por uma fonte de corrente constante, não existe ondulação de tensão nos barramentos formados por C_{e1} e C_{e2} , os interruptores são ideais e é desprezada a ondulação da corrente magnetizante no transformador. Segundo Agostini Junior (2008, p. 131), a indutância magnetizante não deve ser desconsiderada caso a ordem de grandeza de L_r seja comparável a ela.

Com base nessas considerações o circuito da Figura 1 é redesenhado de modo equivalente para facilitar a análise do mesmo. Essas modificações resultam no circuito da Figura 2.

Figura 2 – Circuito para a análise do conversor ASHB-PWM-ZVS



Fonte: Autoria própria.

A 1ª etapa de operação inicia-se quando a tensão sobre C_1 se anular. D_1 começa a conduzir enquanto a corrente em L_r varia de forma linear, os diodos D_3 , D_4 , D_5 e D_6 estão todos em condução, S_1 deve ser comandada a conduzir sob tensão nula antes da corrente em L_r se tornar positiva. Essa etapa termina quando a corrente em L_r se anular, quando isso ocorrer dá-se início a 2ª etapa.

Na 2ª etapa os diodos D_3 , D_4 , D_5 e D_6 ainda estão todos em condução juntamente com o interruptor S_1 , de modo que, a corrente em L_r continua a crescer de forma linear até atingir $(I_{Lm} + I'_{o})$ quando esta etapa termina. Nessa etapa D_1 bloqueia.

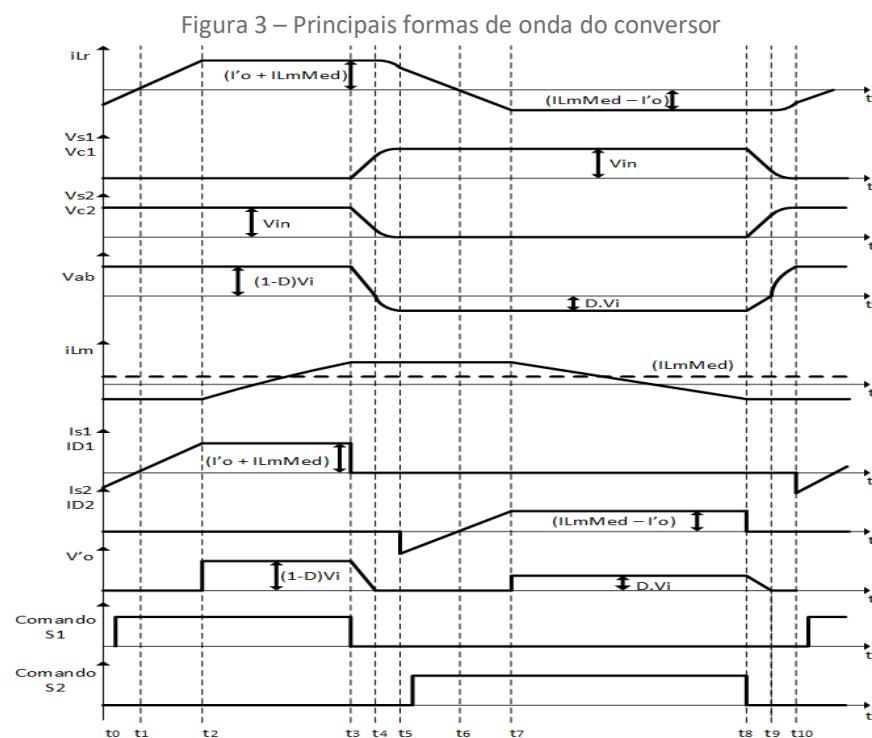
Com o fim da 2ª etapa inicia-se a 3ª etapa que é uma das etapas de transferência de energia para a carga. Os diodos D_3 e D_6 que antes estavam em condução, encontram-se bloqueados. Essa etapa é findada pelo bloqueio do interruptor S_1 .

A 4ª e a 5ª etapa são etapas de comutação, e, portanto, são muito breves se comparadas as demais etapas que não são destinadas a comutação. A 4ª etapa é denominada etapa linear de bloqueio de S_1 pois a tensão sob os capacitores C_1 e C_2 variam de forma linear. A 4ª etapa termina quando a tensão sob C_2 atingir $(D \cdot V_i)$, dando início a 5ª etapa de operação onde os diodos D_3, D_4, D_5 e D_6 estão todos em condução, essa etapa é denominada etapa ressonante de bloqueio de S_1 pois L_r entra em ressonância com C_1 e C_2 .

A 5ª etapa tem fim quando a tensão sob C_2 se anular. Quando isso ocorrer inicia-se a 6ª etapa, onde D_2 entra em condução e D_3, D_4, D_5 e D_6 ainda estão em condução. A corrente em L_r decresce de forma linear e a etapa tem fim quando esta se anular. O comando em S_2 deve ser dado antes de isso acontecer.

Na 7ª etapa, com S_2 em condução o diodo D_2 bloqueia dando continuidade ao decrescimento da corrente em L_r até que esta atinja $(I_{Lm} - I'_o)$. Nesse instante inicia-se a 8ª etapa, que é caracterizada por ser uma etapa de transferência de energia. Os diodos D_4 e D_5 agora estão bloqueados e essa etapa tem fim quando S_2 bloquear.

A 9ª e a 10ª etapa são etapas de comutação e recebem os nomes análogos das etapas 4 e 5, respectivamente, apenas trocando S_1 por S_2 . Na etapa 9 C_1 é descarregado enquanto C_2 é carregado, e esta etapa termina quando a tensão sobre o C_1 atingir $(1-D)V_i$. Isso dá início a 10ª etapa, onde os diodos D_3, D_4, D_5 e D_6 estão todos em condução novamente, e esta tem fim quando a tensão sob C_1 se anular. Nesse instante fecha-se um ciclo de funcionamento do conversor e este inicia novamente a 1ª etapa. A Figura 3 mostra as principais formas de onda.



Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação do desenvolvimento teórico é feita utilizando o software de simulação PSIM®. Os resultados mostrados na Tabela 1 foram obtidos para uma razão cíclica de 0,4 e carga máxima (4Ω).

Tabela 1 – Resultados obtido na análise quantitativa e por simulação

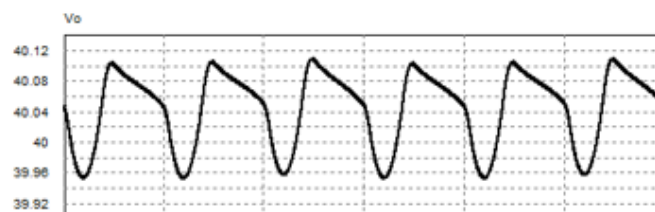
Variável	Resultado teórico	Resultado simulado
$I_{LmMéd}$	0.9259A	0.8815A
Δt_1	556ns	543ns
Δt_2	778ns	716ns
Δt_3	6,667μs	6,731ns
Δt_6	1,167μs	1,156μs
Δt_7	833ns	791ns
Δt_8	10,000μs	9,973μs

Fonte: Autoria própria (2019).

Esses resultados mostram que o resultado teórico obtido através da análise quantitativa está muito próximo do resultado obtido por meio de simulação o que válida a metodologia de análise aplicada.

A Figura 4 mostra a forma de onda da tensão de saída para essas condições. Percebe-se que o projeto do filtro passa baixas de saída está adequado visto que o *ripple* de tensão é muito baixo.

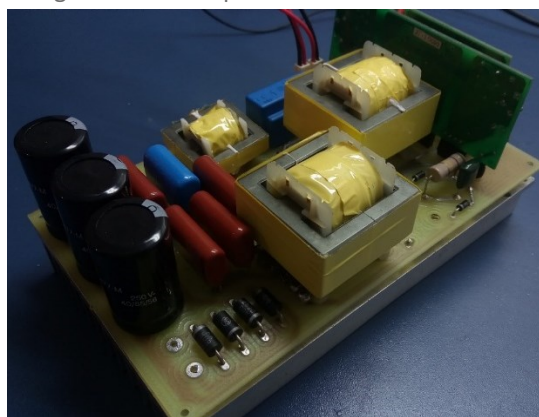
Figura 4 – *Ripple* da tensão de saída obtida no PSIM®



Fonte: Autoria própria.

O protótipo experimental é mostrado na Figura 5. Os resultados experimentais não puderam ser colhidos devido a insuficiência de tempo.

Figura 5 – Protótipo do conversor construído



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a análise estática de um conversor ASHB-PWM-ZVS destinado a operar como um sistema emulador de painéis solares fotovoltaicos. Juntamente com essa análise são apresentadas as principais formas de onda de corrente e tensão pertinentes a operação do conversor.

Os resultados das análises teóricas puderam ser verificados através do software de simulação de circuitos PSIM®. Os resultados da análise quantitativa ficaram muito próximo ao simulado, validando assim a análise desenvolvida. Um protótipo foi construído e testado, porém, os resultados experimentais não puderam ser colhidos.

Trabalhos futuros serão focados na análise dinâmica para que seja possível desenvolver uma estratégia de controle para que o conversor realize a emulação.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eloi Agostini Junior, cuja orientação tive o privilégio de receber, pela dedicação e apoio.

Ao Guilherme Ferreira da Luz pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus pais José Antônio e Marilene por todo o incentivo.

A UTFPR e todo seu corpo docente.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, E. Estudo e implementação de uma estrutura para a alimentação de LEDs de potência com o controle da cor e da intensidade luminosa. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

COLLING, I. E. Conversor CC-CC Meia-Ponte ZVS-PWM: Análise, projeto e experimentação. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

BARBI, I; SOUZA, PÖTTKER, F; Conversores CC-CC isolados de alta frequência com comutação suave. Florianópolis: Edição dos autores, p. 307-326, 1999.

ZIMING, Z; JIANWEN, Z; HAIMENG, S; GANG, W; XIEWN, H, SHI, Z; Research on Photovolta Array Emulator System Based on A Novel Zero-Voltage Zero-Current Switching Converter. China University of Mining & Technology, Xuzhou, 2010.

NAGAYOSHI, H; ORIO, S; KONO, Y; NAKAKIMA, H; Novel PV array/module I-V curve simulator circuit. Shonan Institute of Technology, 2002.

LOPES, A, C; LIENHARDT, A; A simplified nonlinear power source for simulating PV panels. Concordia University, 2003.