



SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAÇÃO DE PEQUENOS EQUIPAMENTOS EM CORRENTE CONTÍNUA UTILIZANDO UM CONVERSOR CC-CC: Extensão em andamento

*Jean Henrique Olivo Piccinin¹; Thainan Benetti¹; Rafael de Borba¹;
Edson Italo Mainardi Júnior²; Carlos Roberto Pereira Oliboni³; Raul E. Fernandez³*

Resumo: Este projeto propõe o estudo e desenvolvimento de um sistema de controle destinado à alimentação de cargas em corrente contínua. O projeto é composto por painéis fotovoltaicos que são capazes de converter a luz emitida pelo sol em energia elétrica de forma limpa e confiável sem consumo de combustíveis fósseis, e um conversor CC-CC destinado ao controle da potência instantânea do sistema devido às variações da radiação solar disponível ao longo do dia. A topologia a ser desenvolvida para o carregador é um conversor CC-CC *Buck*. Desta forma, o principal objetivo do trabalho é a alimentação de cargas em corrente contínua. A carga alimentada é composta por baterias eletroquímicas, destinadas ao armazenamento da energia elétrica convertida pelo painel fotovoltaico.

Palavras-chaves: Energia solar. Células fotovoltaicas. Conversor CC-CC Buck.

Introdução

As fontes renováveis de energia são fontes capazes de fornecer energia útil, através da utilização dos chamados combustíveis renováveis. Uma das principais características da utilização de fontes de energia renováveis é o fato de constituírem uma forma de energia limpa. Dentre as fontes de energia renováveis se destaca a energia solar, onde o combustível disponível e renovável é a radiação solar [5].

Dentre as técnicas solares ativas para aproveitamento da energia solar está o uso de painéis fotovoltaicos e coletores solares térmicos. Os painéis solares fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas, que ao receberem radiação solar geram uma diferença de potencial elétrico e conseqüentemente corrente elétrica.

Entretanto, os custos associados aos painéis solares ainda são muito caros, tornando esta opção ainda pouco eficiente e rentável. Todavia, considerando as dificuldades que hoje se impõem na construção de novas usinas geradoras de energia elétrica, dificuldades e custo na construção de novas linhas de transmissão

¹Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: jeanpiccinin@hotmail.com; thainanbenetti@hotmail.com; rafaelb1965@hotmail.com

²Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: edson.junior@ifc-videira.edu.br

³Professor do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: carlos.oliboni@ifc-videira.edu.br; Raul.sales@ifc-videira.edu.br



e distribuição, custo e dificuldade de acesso a comunidades isoladas, a energia elétrica oriunda de sistemas fotovoltaicos torna-se economicamente viável.

De forma básica, a geração de energia elétrica através das células fotovoltaicas se dá pela incidência de radiação luminosa, onde o resultado do movimento de elétrons entre as bandas de valência e condução geram uma diferença de potencial dando origem a uma corrente elétrica. De um modo geral, os sistemas fotovoltaicos são constituídos basicamente por:

- Painel fotovoltaico – Elemento responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica.
- Controlador de carga – Dispositivo eletrônico capaz de realizar a adaptação do painel fotovoltaico ao banco de baterias controlando o carregamento da mesma.
- Bateria – Dispositivo que acumula a energia disponibilizada pelo painel fotovoltaico na forma química.

No entanto, os sistemas fotovoltaicos possuem vantagens e desvantagens quando comparados a outras formas de geração de energia elétrica. Como vantagem podemos citar durabilidade, baixo custo de manutenção, custo zero com combustíveis e redução da poluição ambiental. Entretanto, as desvantagens associadas a este tipo de geração são: o alto custo inicial e variação da potência instantânea do sistema devido às variações da radiação solar disponível.

Atualmente, existem dois tipos de configurações para sistemas fotovoltaicos, os interligados à rede e os isolados, sendo que o foco deste trabalho são os sistemas isolados. Como exemplo de aplicação deste modelo pode-se citar o CFCB. Os CFCB's são módulos fotovoltaicos, desenvolvidos pela COPEL, instalados junto a prédios de centro de cargas, a fim de fornecer energia para o recarregamento de baterias [2].

Desta forma, a motivação para este projeto é a proposta de um sistema fotovoltaico, controlado por um conversor de corrente contínua, destinado ao carregamento de cargas em corrente contínua. Os conversores de corrente contínua, mais comumente chamados de conversores CC-CC são sistemas formados por semicondutores de potência operando como interruptores, e por elementos passivos, normalmente indutores e capacitores que tem por função controlar o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída. Para maiores detalhes sobre conversores CC-CC veja as referências [1], [4], [6] e [7].

Este controle do fluxo de potência geralmente é efetuado ajustando-se o ciclo de trabalho do conversor, mais comumente conhecido como razão cíclica de operação. Desta forma, com a variação da razão cíclica de operação de um conversor, a tensão na saída pode ser alterada, ou preferencialmente, mantida constante, através de um controle adequado, mesmo quando ocorram alterações de carga e corrente.

¹Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: jeanpiccinin@hotmail.com; thainanbenetti@hotmail.com; rafaelb1965@hotmail.com

²Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: edson.junior@ifc-videira.edu.br

³Professor do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: carlos.oliboni@ifc-videira.edu.br; Raul.sales@ifc-videira.edu.br

As principais topologias de conversores estáticos CC-CC são: o conversor abaixador Buck, o conversor elevador Boost e o conversor elevador-abaixador Buck-Boost.

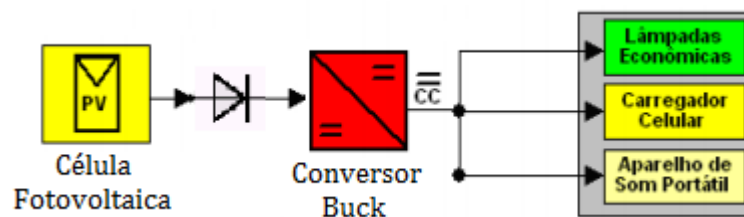
A grande motivação do uso e aperfeiçoamento das técnicas de controle para estes conversores é devido ao grau de eficiência na taxa de conversão que se pode obter. Como exemplo, podemos citar a técnica clássica de controle por PWM (do inglês – Pulse Width Modulation) a qual pode chegar, geralmente, a 85% de eficiência de conversão.

Neste contexto, a motivação para este projeto é a proposta de um sistema fotovoltaico, controlado por um conversor abaixador de tensão, destinado ao carregamento de cargas em corrente contínua. O sistema total é composto por painéis solares, um conversor CC-CC abaixador de tensão e uma carga resistiva a qual é responsável por emular uma carga em corrente contínua.

Procedimentos Metodológicos

Para o desenvolvimento deste projeto, inicialmente foi proposto um circuito composto por uma placa fotovoltaica, a qual terá a função de converter radiação luminosa em energia solar, um diodo de potência com a função de evitar o aparecimento de uma corrente negativa fluindo pelas células o que poderia causar queda na eficiência das células e conseqüentemente a desconexão do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo, e finalmente um conversor CC-CC abaixador, mais conhecido como conversor Buck. O esquemático do projeto é ilustrado na Figura 1.

Figura 01 – Circuito esquemático.



Note que a corrente gerada pelo painel fotovoltaico é regulada pelo controlador, de maneira a manter a tensão nos terminais da carga em um valor fixo e constante a partir do ponto de tensão de regulação. Esta estratégia de controle a ser utilizada evita que o controlador forneça mais energia para a carga do que ela é capaz de receber. Deste modo, o tipo de controlador a ser implementado para a estratégia de controle a tensão constante é o controlador de carga por largura de pulso, também conhecido por PWM (do inglês – Pulse Width Modulation). Neste método, faz-se o

¹Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: jeanpiccinin@hotmail.com; thainanbenetti@hotmail.com; rafaelb1965@hotmail.com

²Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: edson.junior@ifc-videira.edu.br

³Professor do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: carlos.oliboni@ifc-videira.edu.br; Raul.sales@ifc-videira.edu.br

uso de MOSFETs (dispositivos semicondutores utilizados para realizar o chaveamento), que aplicam pulsos de tensão em alta frequência (30 KHz), e podem variar o ciclo de operação ou a largura dos mesmos, reduzindo quando necessário, a corrente e/ou a tensão na carga, a fim de manter constante a tensão de saída do circuito.

Resultados e discussão

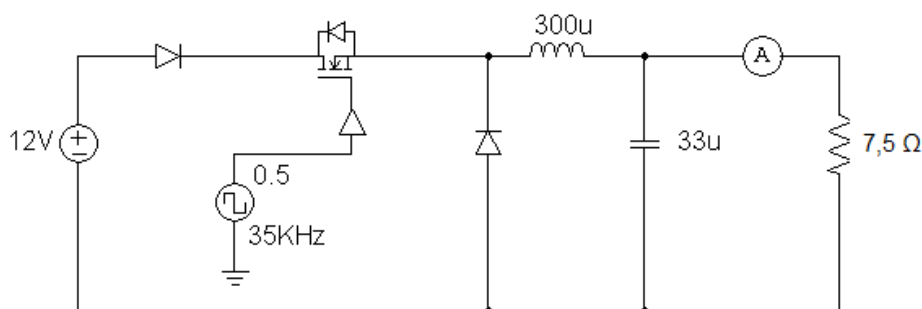
Esta sessão descreve o relato da atividade prática deste trabalho. A fim de testar o circuito ilustrado na Figura 01, foi proposto o seguinte projeto que segue. O painel fotovoltaico será emulado por uma fonte de tensão constante de 12 Volts e corrente nominal de 800mA. A carga resistiva na saída emula uma bateria de um celular que possui tensão nominal de alimentação de 6 Volts e corrente nominal de 800mA. Com base nesses dados, foram obtidos os seguintes valores de indutância, capacitância e resistência de carga do conversor CC-CC *buck*, descritos na Tabela 01.

Tabela 01 – Parâmetros de projeto para o conversor CC-CC *Buck*.

Parâmetros de projeto	
Indutor	33uH
Capacitor	300uF
Frequência de chaveamento	35KHz
Razão cíclica de operação	0,5
Resistência de carga	7,5Ω

O circuito resultante é ilustrado na Figura 02. O software utilizado para simulação foi o PSIM.

Figura 02 – Circuito conversor CC-CC *Buck*.



¹Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: jeanpiccinin@hotmail.com; thainanbenetti@hotmail.com; rafaelb1965@hotmail.com

²Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: edson.junior@ifc-videira.edu.br

³Professor do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: carlos.oliboni@ifc-videira.edu.br; Raul.sales@ifc-videira.edu.br

As propriedades resultantes do circuito controlado estão ilustradas na Figura 3, que apresenta uma simulação do circuito chaveado representado pela Figura 02 com um controlador PWM. Assim, a Figura 03 (a) ilustra a corrente fornecida à carga $i_L(t)$ e Figura 03 (b) mostra o sinal de tensão de saída de $V_C(t)$, obtido quando o conversor opera no ponto de equilíbrio nominal.

Figura 03 (a) – $i_L(t)$.

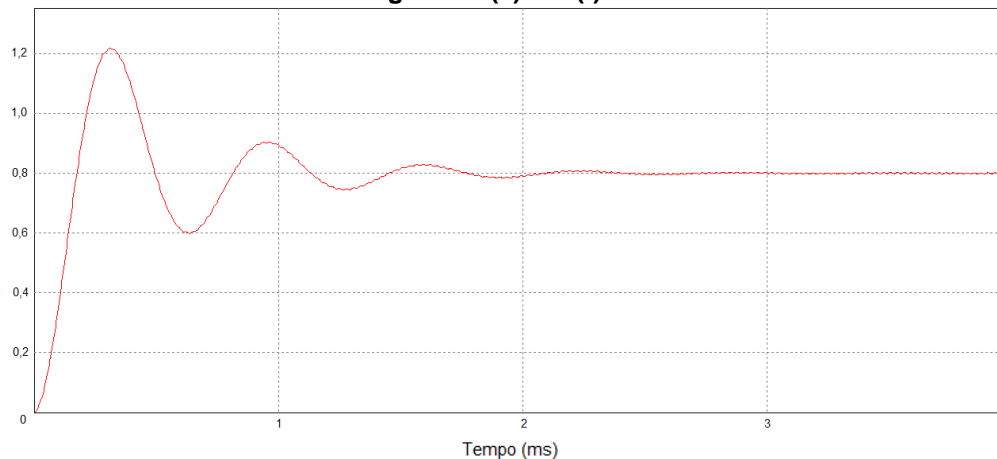
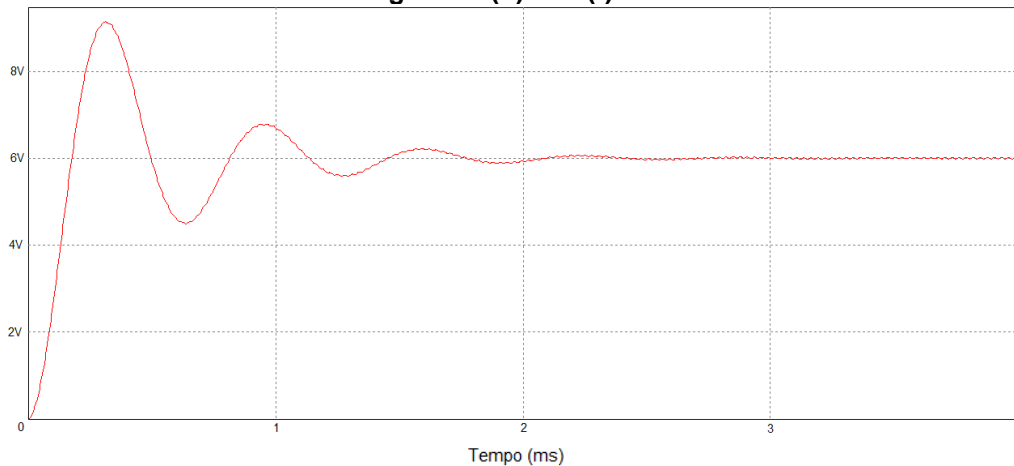


Figura 03 (b) – $V_C(t)$.



A implementação experimental de um protótipo que valida a teoria é o próximo passo para o projeto de pesquisa. Finalmente, a conclusão resume os principais aspectos do método de projeto.

¹Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: jeanpiccinin@hotmail.com; thainanbenetti@hotmail.com; rafaelb1965@hotmail.com

²Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: edson.junior@ifc-videira.edu.br

³Professor do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: carlos.oliboni@ifc-videira.edu.br; Raul.sales@ifc-videira.edu.br



Conclusão

Este trabalho apresenta um estudo sobre o controle a tempo contínuo de um sistema fotovoltaico, controlado por um conversor de corrente contínua, destinado ao carregamento de cargas em corrente contínua. Foi proposto um procedimento de projeto de implementação do circuito que é composto por uma célula fotovoltaica, um diodo e um conversor CC-CC. Os resultados das simulações mostraram que a proposta de projeto de controle apresenta resultados satisfatórios para o teste de regulação de carga. Assim, a implementação experimental de um protótipo que valida a teoria é o próximo passo para o projeto de pesquisa.

Referências

[1] BARBI, I. ; MARTINS, Denizar Cruz . Conversores CC-CC Básicos Não-Isolados. 2. ed. Florianópolis: Edição do Autor, 2006. v. 500. 380p.

[2] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Acessado em 23/03/2014. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>

[3] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “Energia Solar” Acessado em 23/03/2014. Disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)

[4] BOYLESTAD, Robert L.; Introdução à análise de circuitos. 10 ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2004.

[5] Wikipédia: Célula Solar. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_solar > Acesso em: 23/03/2014.

[6] R. Cardim, M.C.M. Teixeira, E. Assunção, M.R. Covacic, de F.J.M. Seixas, F.A. Faria and E.I. Mainardi Júnior, “Implementation of a DC-DC converter with variable structure control of switched systems”, in Electric Machines Drives Conference (IEMDC), 2011 IEEE International, 2011a, pp. 872–877.

[7] E.I. Mainardi Júnior, M.C.M. Teixeira, R. Cardim, M.R. Moreira, E. Assunção and V.L. Yoshimura, On Control Design of Switched Affine Systems with Application to DC-DC Converters, Ginalber Luiz de Oliveira Serra edn, Frontiers in Advanced Control Systems, InTech, 2012.

¹Aluno do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: jeanpiccinin@hotmail.com; thainanbenetti@hotmail.com; rafaelb1965@hotmail.com

²Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: edson.junior@ifc-videira.edu.br

³Professor do Instituto Federal Catarinense, Videira - SC. Curso técnico em Eletroeletrônica. E-mail: carlos.oliboni@ifc-videira.edu.br; Raul.sales@ifc-videira.edu.br