

Conversor CC-CC bidirecional para redes de distribuição em corrente contínua bipolares

Bi-directional DC-DC converter for bipolar direct current distribution grids

RESUMO

Bruno Gomes de Assis
bgomesassis@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Dr. Eloi Agostini Júnior
eloiagostini@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Devido ao grande crescimento populacional e à demanda energética mundial, o desenvolvimento de novas formas de obtenção de energia é estudado. Uma delas é a geração distribuída que permite a produção de energia pelo próprio usuário aproveitando das fontes de energias renováveis presente no meio ambiente. As microrredes de energias que compõe o sistema de geração distribuída apresentam problemas como o fato de que, ao ser conectado cargas em seu barramento, ocorra o chamado desbalanceamento de carga. Este relatório apresenta um conversor CC-CC bidirecional para redes de distribuição em corrente contínua bipolares justificada pela necessidade de corrigir o desbalanceamento de potências. Esse conversor é bidirecional permitindo que o fluxo de potência percorra os dois sentidos. O conversor proposto é composto por um indutor de entrada, quatro chaves que controlam o fluxo de potência e dois capacitores que formam os dois barramentos da microrrede bipolar. Operando em malha fechada, o conversor CC-CC presente nesse trabalho possui 1 kW de potência nominal, frequência de comutação de 50 kHz, tensão de entrada de 96 V e tensão de saída de 400 V divididos em dois barramentos de 200 V.

PALAVRAS-CHAVE: Conversor CC-CC. Microrredes. Geração distribuída. Conversor bipolar.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

Due to the large population growth and the world energy demand, the development of new ways of obtaining energy is studied. One of them is distributed generation that allows the user to produce energy by taking advantage of renewable energy sources present in the environment. The energy microgrids that make up the distributed generation system present problems such as the fact that when loads are connected to its bus the so-called load unbalance occurs. This report presents a bi-directional DC-DC converter for bipolar direct current distribution grids justified by the need to correct power imbalance. This converter is bidirectional, allowing power flow to travel both ways. The proposed converter consists of an input inductor, four switches, which controls the power flow, and two capacitors that form the two bipolar micro bus rails. Operating in closed-loop, the DC-DC converter present in this work has 1 kW of nominal power, 50 kHz switching frequency, 96 V input voltage and 400 V output voltage divided into two 200 V rails.

KEYWORDS: DC-DC converter. Microgrids. Distributed generation. Bipolar converter.

INTRODUÇÃO

Devido ao grande crescimento populacional somado ao aumento da produção de bens e serviços, acarretou-se uma crescente demanda de energia. Em 2017, a demanda de energia cresceu 2,1% concentrando principalmente na Ásia (China e Índia) (IEA, 2018). Em 2017 a demanda por combustíveis fósseis somou um aumento de 1,6% contribuindo significativamente no crescimento das emissões de CO_2 à atmosfera, as quais mostraram um aumento de 1,4%, atingindo 32,5 gigatoneladas.

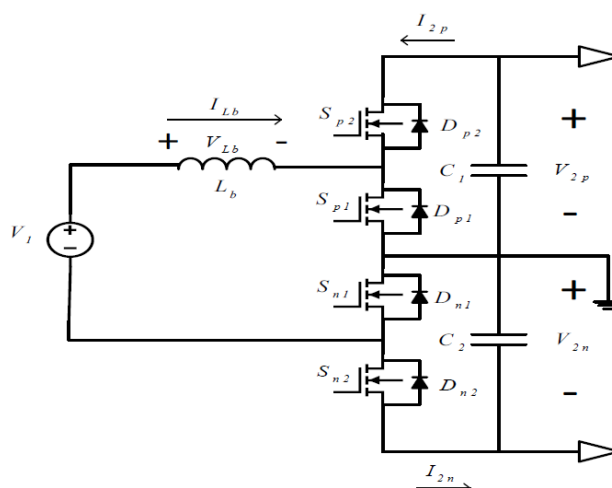
Nesse cenário, novas formas de produção e gerenciamento das fontes de energia vêm sendo estudadas e implementadas, como é o caso da geração distribuída.

O conceito de geração distribuída diz respeito a produção de energia pelo próprio usuário aproveitando das fontes de energias renováveis presente no meio ambiente como energia solar, eólica, biomassa, entre outros, essas com baixas emissões de carbono (ANEEL, 2015). Dessa forma, o consumidor não é mais passivo, pois, além de produzir e consumir sua energia, o excedente pode ser fornecido para a rede de distribuição elétrica (MENDONÇA, 2011).

Logo, esses pequenos postos de produção de energia geram as chamadas microrredes, que consistem em redes de energia elétrica de pequeno tamanho e que trazem maior confiabilidade da energia.

As microrredes bipolares possuem dois barramentos, um negativo e um positivo, constituindo 3 fios. Suas vantagens em relação a microrrede unipolar está no fato de possuírem menores perdas, isso porque ocorre a divisão de corrente entre os dois barramentos para uma mesma carga (MOIA, 2016).

Figura 1 – Conversor CC-CC bidirecional proposto.



Fonte: Autoria própria.

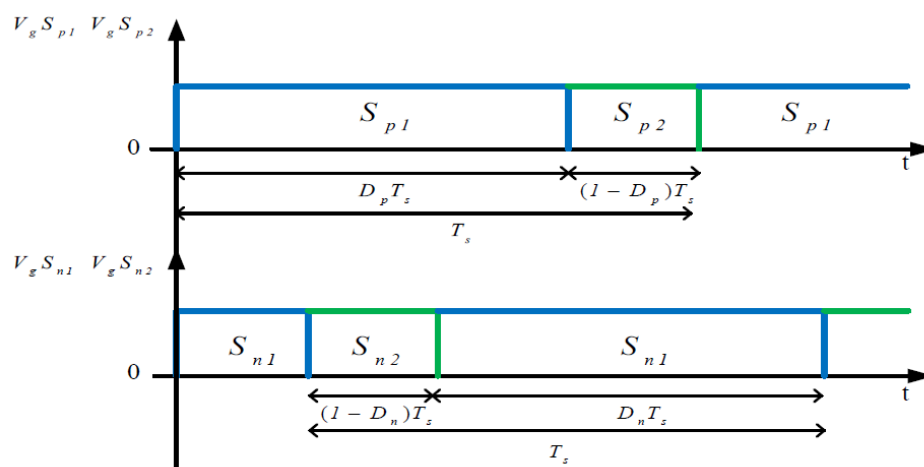
Um dos problemas de uma microrrede bipolar é o fato de que ao ser conectado cargas em seu barramento ocorra o chamado desbalanceamento de carga. Esse fenômeno ocorre quando uma carga maior é ligada em um dos barramentos, sobrecarregando-o, acarretando elevados valores de correntes em um dos barramentos. Para a correção desse problema é necessário um conversor de energia capaz de trabalhar desacoplado garantindo uma redistribuição de corrente.

Esse trabalho tem como objetivo corrigir esse problema através da implementação de um conversor CC-CC bidirecional garantindo a redistribuição de corrente e corrigindo o problema de desbalanceamento. Além do mais, o dispositivo é capaz de trabalhar nos dois sentidos, fornecendo energia para os barramentos da microrrede por uma fonte geradora (bateria, por exemplo), como fornecendo energia para a fonte geradora (carregar a bateria). A Figura 1 representa o conversor proposto, nele há um indutor de entrada, quatro chaves que controlam o fluxo de potência e dois capacitores que formam os dois barramentos da microrrede bipolar.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do conversor CC-CC bidirecional para microrredes bipolares foram realizados primeiramente os estudos sobre microrredes CC para melhor entendimento da tecnologia existente. Seguiu-se então com a solução para o problema de desbalanceamento das cargas existentes em uma microrrede CC através do desenvolvimento da topologia proposta neste trabalho.

Figura 2 – Estratégia de modulação do conversor CC-CC bidirecional proposto.



Fonte: Autoria própria.

Realizaram-se as análises qualitativas e quantitativas que descrevem as etapas de operação e as equações matemática da topologia. Foram feitas as análises dinâmicas do conversor para o projeto do controlador e desenvolvido um controlador PI através da ferramenta computacional Matlab Sisotool. Para validação das análises, realizaram-se simulações em programas de simulação de circuitos (PSIM® e ORCAD®). Por fim, construiu-se um protótipo para testes em bancada e mensuradas as formas de onda que comprovam o funcionamento da topologia proposta.

O conversor proposto possui característica bidirecional, ou seja, ele permite que o fluxo de potência flua por ambos os lados, da fonte V_1 para as fontes V_{2p} e V_{2n} ou vice-versa. Quando o fluxo de potência é maior que zero, $P_c > 0$, o conversor está no modo *Boost*, isso é, a fonte V_1 , de tensão igual a 96 V, entrega energia para as fontes V_{2p} e V_{2n} ambas com 200 V, e quando menor que zero, $P_c < 0$, está no modo *Buck*, em que as fontes V_{2p} e V_{2n} entregam energia para V_1 .

O controle do fluxo de potência do conversor CC-CC bidirecional é feito pelas chaves S_{p1}, S_{p2}, S_{n1} e S_{n2} , logo, adotou-se uma estratégia de modulação representada pela Figura 2. S_{p1} e S_{p2} controlam o fluxo de potência da fonte V_{2p} enquanto S_{n1} e S_{n2} controlam o fluxo de potência da fonte V_{2n} . A chave S_{p1} permanece conduzindo durante um período denominado $D_p T_s$ enquanto S_{p2} conduz em um período de $(1 - D_p) T_s$. Para as chaves S_{n1} o período de condução é de $D_n T_s$ e para S_{n2} de $(1 - D_n) T_s$. É importante salientar que os pulsos de acionamentos das chaves S_{n1} e S_{n2} estão defasados de 180° em relação a S_{p1} e S_{p2} .

A análise dinâmica é essencial para o desenvolvimento do controle do conversor. É necessário fechar a malha para que o desbalanceamento seja feito, isso porque o sistema como um todo precisa entender e responder a uma mudança de carga e até mesmo de modo de funcionamento da topologia.

Para essa topologia, trabalhou-se com as razões cíclicas de modo comum e diferencial. Primeiramente é necessário encontrar as funções de transferência que relacionam a corrente do indutor L_b , parâmetro de referência, e as razões cíclicas de modo comum e diferencial. Após a análise foi realizado, através de *softwares*, o desenvolvimento do controlador que melhor responde a essa topologia.

A função de transferência de modo comum dada pela Eq. (1).

$$\frac{\widehat{I_{Lb}}}{\widehat{d_c}} = \frac{V_2}{s L_b} \quad (1)$$

Para a validação da topologia no modo *Boost* e modo *Buck* foram realizadas simulações através do programa de simulação PSIM®. A Tabela 1 descreve os parâmetros de projetos utilizados para fazer a validação da topologia.

Tabela 1 – Parâmetros de projeto do conversor.

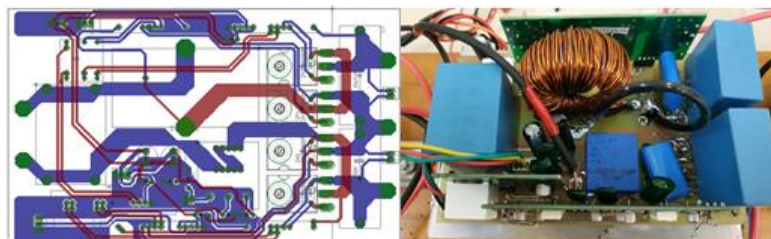
Símbolos	Valores
V_1	96V
V_{2n}	200V
V_{2p}	200V
V_2	400V
P_c	$\pm 1000W$
L_b	479,232 μH
C_1	400 μF
C_2	400 μF
f_s	50kHz
Δ_{ILb}	20%

Fonte: Autoria própria.

Após realizada todas as análises matemáticas e feito as simulações, foi desenvolvido o protótipo do conversor CC-CC bidirecional para microrredes bipolares. Para a realização das leituras de valores das tensões V_{2p} e V_{2n} e da corrente I_{Lb} , necessários para a etapa de controle, alguns dispositivos foram anexados no circuito. Para a sua confecção, inicialmente foi elaborado o Layout do

circuito no programa Eagle®. Em seguida, o protótipo foi construído em laboratório conforme mostra Figura 3. 7

Figura 3— Protótipo e Layout do conversor CC-CC bidirecional para microrredes bipolares.

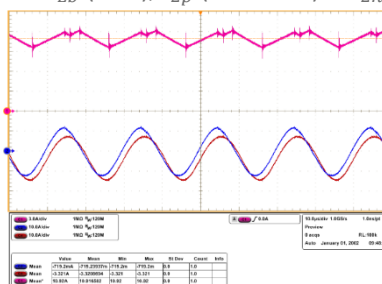


Fonte: Autoria própria

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ideia principal desse conversor é proporcionar a distribuição de potência, para isso é necessário que o conversor atue em malha fechada.

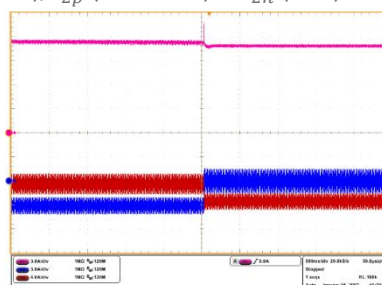
Figura 4 – Correntes I_{Lb} (rosa), I_{2p} (vermelho) e I_{2n} (azul) com zoom.



Fonte: Autoria própria.

Através da Figura 4 é visível a dissimetria e a atuação da malha de controle no desbalanceamento. Enquanto a corrente média I_{2p} (vermelho) é de -3,3 A, a corrente I_{2n} (azul) é de 10,9 A, mostrando que a maior parte da potência processada é transferida para a fonte V_{2n} . Além disso, a corrente I_{Lb} (rosa) traz as quatro etapas de operação do conversor.

Figura 5 – Correntes I_{Lb} (rosa), I_{2p} (vermelho) e I_{2n} (azul) mostrando desbalanceamento.

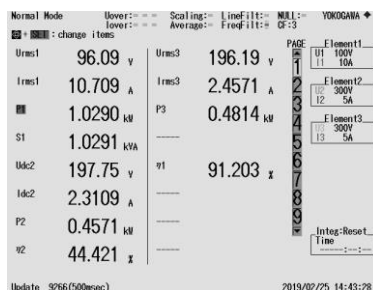


Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 expõe a mudança da distribuição de potência. Ao visualizar a corrente I_{Lb} (rosa) mudando de estado, é possível também visualizar a mudança dos níveis de corrente média de I_{2p} (vermelho) e I_{2n} (azul) invertendo o lado de maior potência.

Por fim, com o objetivo de mensurar o rendimento do conversor CC-CC bidirecional, utilizou-se um Wattímetro YOKOGAWA. Conforme a Figura 6 apresenta, o rendimento da topologia no modo *Boost* foi de 91,203%.

Figura 6 – Rendimento do conversor CC-CC bidirecional no modo *Boost*.



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o estudo de conversor CC-CC bidirecional para aplicação de microrredes CC bipolares. Apresentado como uma solução para a correção do desbalanceamento de carga, esse conversor de energia é capaz de trabalhar desacoplado garantindo uma redistribuição de corrente. Foram mostradas toda a análise qualitativa assim como a quantitativa. Além disso, apresentou-se um estudo de um caso particular e o desenvolvimento de uma malha de controle para o conversor através da análise dinâmica. Com a apresentação dos resultados obtidos é possível reafirmar a funcionalidade da arquitetura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR pelo incentivo, à Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica, ao Prof. Dr. Eloi Agostini Júnior e pelo mestrando Lucas Ferreira Oliveira pela paciência e suporte. Agradeço aos meus familiares pelo apoio incondicional e a todos aqueles que, diretamente ou indiretamente, ajudaram para a concretização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Global Energy & CO2 Status Report 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/geco/>. Acesso em: 08 abril 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Geração distribuída, 2015. Disponível: <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 08 abril 2019.

MENDONÇA L. P. Introdução às microrredes e seus desafios. Rio de Janeiro, 2011.

MOIA J. Sistema de conversão estática CA-CC bidirecional aplicado à microrredes CC bipolares, Florianópolis, 2016.