

## ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE UM CONVERSOR CC-CC TRIFÁSICO ISOLADO BIDIRECIONAL ALIMENTADO EM CORRENTE

Gilmar Nunes dos Santos Costa<sup>1</sup>, Antonio Daniel Miguel dos Santos<sup>2</sup>, Herminio Miguel de Oliveira Filho<sup>3</sup>

**Resumo:** Com o aumento da participação das fontes alternativas de energia na geração de energia elétrica, que possuem características intermitentes e elevada demanda de estudos sobre *smart-grids* com sistemas de distribuição CC, torna-se interessante o uso de sistemas ativos, compostos por armazenadores de energia que possibilitam atenuar as oscilações do barramento de tensão. Neste contexto, este trabalho propõe a análise de uma topologia de um conversor CC-CC trifásico isolado bidirecional alimentado em corrente com comutação suave, *phase-shift* (PS) e razão cíclica variável. As estruturas alimentadas em corrente possui uma maior flexibilidade em garantir comutação suave para uma ampla faixa de operação quando comparados com estruturas alimentadas em tensão. A utilização do PS garante o fluxo bidirecional de potência, enquanto que a razão cíclica variável é utilizada para assegurar um barramento de tensão constante e, conseqüentemente, ajustar o ganho estático entre os lados primário e secundário do conversor para garantir a comutação suave nos interruptores de potência. Uma análise matemática da estrutura quanto ao comportamento do fluxo de potência é realizada. Um exemplo de projeto é proposto, com a obtenção de valores nominais. Os resultados de simulação para um exemplo de projeto de 48V/380V, 3.5kW é realizado para validar o modelo proposto.

**Palavras-chave:** Conversor CC-CC. Energias renováveis. Modelagem. *Phase-shift*. Eletrônica de Potência.

### INTRODUÇÃO

Sistemas que utilizam armazenadores de energia como baterias e super capacitores possuem como característica o fluxo de potência bidirecional e dessa forma a conexão destes com a rede de distribuição CC dar-se por um IBDC (*Isolated Bidirectional DC-DC Converter*). As principais características destes conversores são processar a energia elétrica de tal forma a manter ambos os barramentos de tensão regulados e ajustá-lo em condições não ideais.

---

<sup>1</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS, e-mail: gilmarnunes2010@yahoo.com.br

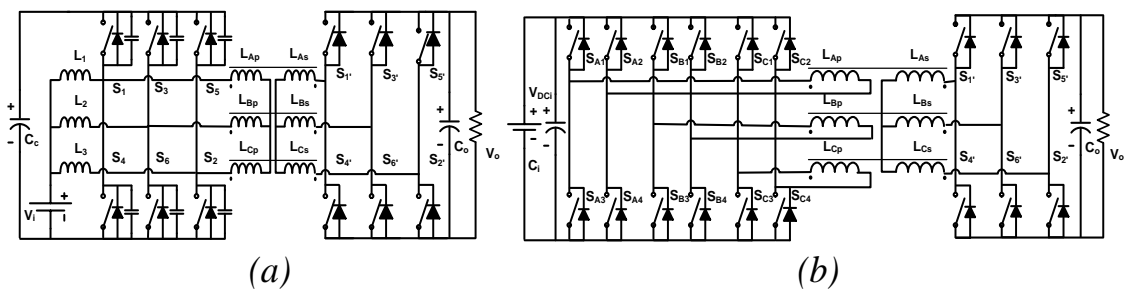
<sup>2</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS, e-mail: danielmiguel715@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS, e-mail: herminio@unilab.edu.br

(DE DONKER, DEEPAKRAJ e MUSTANSIR, 1991) apresenta um conversor trifásico que consegue controlar o fluxo de potência através da técnica que ajusta o ângulo de defasamento (PS) entre as pontes primária e secundária. Esta técnica aliada às modulações PWM (*Pulse Width Modulation*) apresentam-se como de fácil implementação e controle (SANTOS, 2011). (WANG e LI, 2012) apresenta uma topologia trifásica alimentada em corrente. A estrutura de entrada desta topologia permite o controle da tensão do barramento de baixa tensão e assim o ganho estático do conversor pode ser manipulado para permitir comutação suave.

Como forma de aumentar o nível de potência processada, (FILHO, 2015) propõe um estrutura baseada no incremento de potência através de paralelismo de fases. O autor utiliza a técnica de *dual-phase-shift* (DPS) para controlar o fluxo de potência processada pela indutância de dispersão do transformador.

FIGURA 1 – Conversor proposto por (a) (WANG e LI, 2012) e (b) (FILHO, 2015)

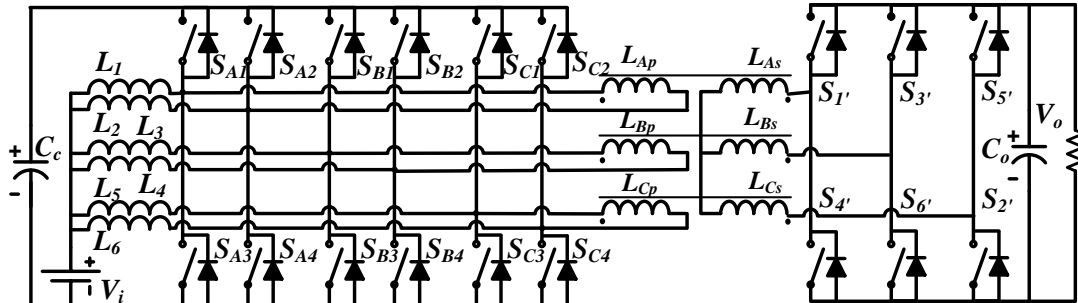


FONTE: Adaptada de (FILHO, 2015)

Neste contexto, o seguinte trabalho propõe a topologia da FIGURA 3. A seguinte estrutura concilia o incremento de potência alcançado pelo paralelismo de fases como em (FILHO, 2015), assim como o controle da tensão no barramento representado pelo capacitor de grampeamento  $C_c$  proposto por (WANG e LI, 2012).

Assim como nos conversores citados anteriormente, a topologia utiliza a indutância de dispersão do transformador de alta frequência para transferir energia entre as pontes no primário e secundário do conversor. O transformador está conectado em delta aberto/estrela, esta configuração garante o dobro de ganho de tensão e otimiza a funcionalidade de ajuste de tensão entre os enrolamentos.

FIGURA 2 – Topologia Proposta



FONTE: Próprio autor

O conversor possui indutores de entrada que dão à topologia característica de fonte de corrente. No primário, três pontes H representam o estágio inversor, de forma que as chaves de um mesmo braço operam complementarmente e com controle da razão cíclica e as pontes defasadas 120°. No secundário há uma topologia semelhante à de um inversor trifásico, onde os braços estão defasados em 120°. A ponte de entrada é defasada de um ângulo de PS em relação à ponte de saída, possibilitando o controle do fluxo de potência processada pelo conversor.

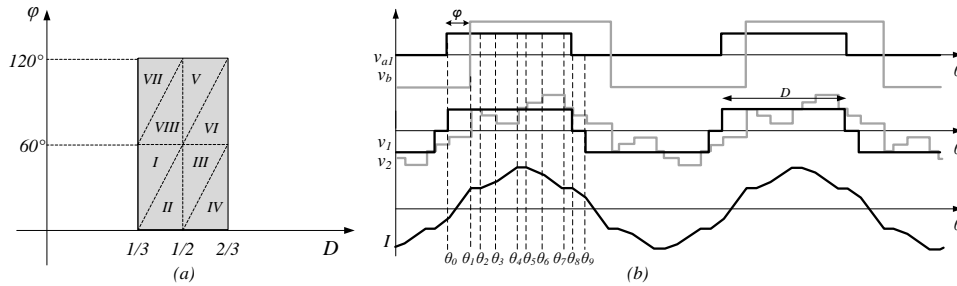
## METODOLOGIA

A análise do fluxo de potência do conversor dar-se pela metodologia apresentada inicialmente por (DE DONKER, DEEPAKRAJ e MUSTANSIR, 1991) que baseia-se em modelar matematicamente a forma de onda na indutância de dispersão do transformador. A potência processada pelo conversor pode portanto, ser determinada pelas seguintes equações.

$$P_o = \frac{3}{\pi} \int_0^{\pi} v_{Ap}(\theta) \cdot i_{L_{Ap}}(\theta) d\theta \quad (01)$$

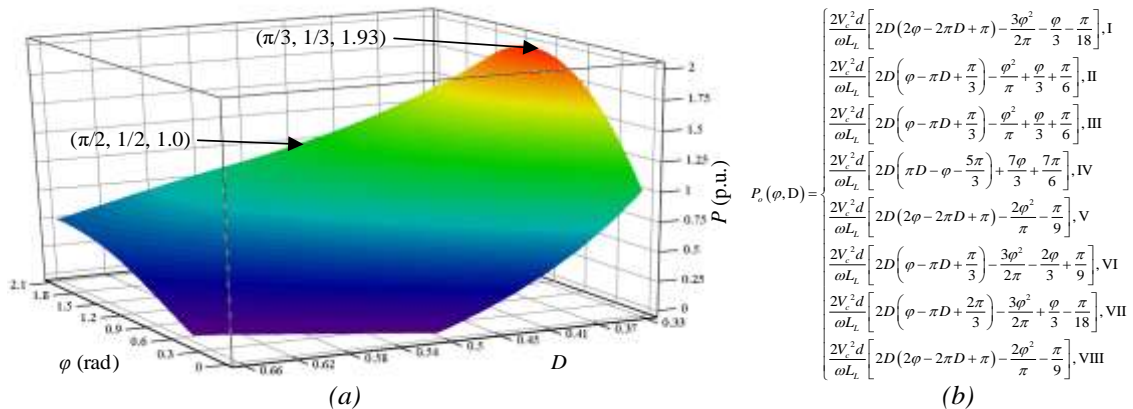
Observa-se na Figura 3a que o conversor opera em 8 regiões diferentes. Os limites da região de análise leva em conta a perda de rendimento do conversor apresentadas por (WANG e LI, 2012). As curvas de potência do conversor em p.u podem ser observadas na Figura 4a. Estas representam o comportamento da potência em função de  $D$  e  $\varphi$  para um ganho estático unitário.

FIGURA 3 – (a) Regiões de operação; (b) Formas de onda para a região II



FONTE: Próprio autor

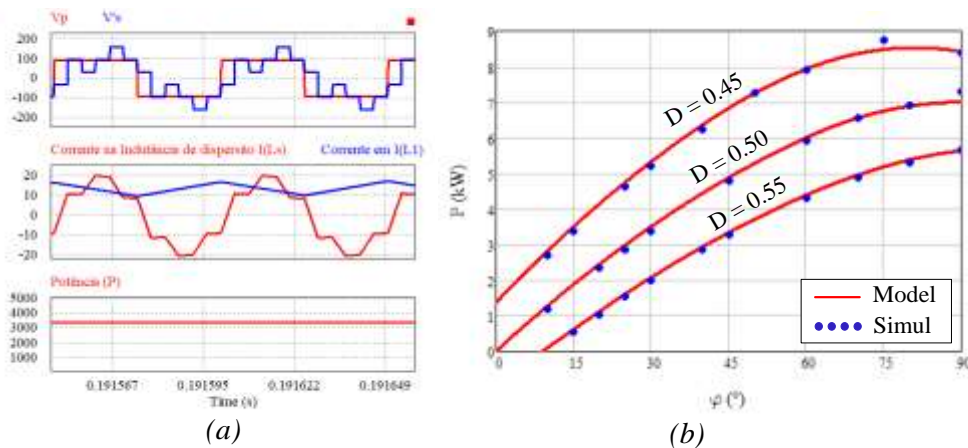
FIGURA 4 – (a) Curva de potência do conversor; (b) Equações de potência



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparou-se os resultados teóricos com simulações realizadas com o auxílio do software Psim 9.1 para 48V/380V e potência de 3.5kW.

FIGURA 5 – (a) Resultados de simulação para D=0.5 e  $\varphi = 30^\circ$ ; (b) Comparação entre os resultados teóricos e simulados





Verifica-se a validade do modelo teórico através dos resultados obtidos com as simulações. O máximo erro verificado foi 4%, o que para os autores, apresenta-se como dentro dos limites aceitáveis. O pequeno *ripple* de corrente na entrada apresenta-se como alternativa interessante para aplicações em sistemas fotovoltaicos.

## CONCLUSÕES

O seguinte trabalho apresentou a análise matemática de um conversor CC-CC trifásico isolado bidirecional. Os resultados de simulação mostraram-se satisfatórios quanto validade do modelo. Uma análise do conteúdo reativo será realizada futuramente assim como um protótipo do conversor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNILAB e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- FILHO, H. M. D. O. **Conversor CC-CC trifásico Isolado Bidirecional com comutação suave utilizando dual phase-shift e razão cíclica variável**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2015.
- PENG, F. Z. et al. A new ZVS Bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 19, p. 54-65, Janeiro 2004.
- RIK W., A. A. D. D.; DEEPAKRAJ, M. D.; MUSTANSIR, H. K. A Three-phase Soft-Switched High-Power-Density dc/dc Converter for High-Power Applications. **IEEE transactions on industry applications**, 1 Janeiro 1991. 63-73.
- SANTOS, W. M. D. **Estudo e implementação do conversor TAB (Triple Active Bridge) aplicado a sistemas renováveis solares fotovoltaicos**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 316. 2011.
- WANG, Z.; LI, H. A Soft Switching Three-phase Current-fed bidirectional DC-DC Converter With High efficiency Over a Wide Input Voltage Range. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS**, 2 Fevereiro 2012. 669-684.
- ZHAO, B. et al. Bidirectional DC-DC Converter for High-Frequency-Link Power-Conversion System. **Transactions on Power Electronics**, v. 29, p. 4091-4106, Agosto 2014.