

Estudo do conversor back-to-back para aplicação em sistemas de geração eólica

Study of back-to-back converter for application in wind generation systems

RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo o estudo do conversor back-to-back para aplicação em sistemas de geração eólica com o intuito de realizar a conexão do gerador a rede elétrica. O estudo foi realizado a partir da simulação do circuito constituinte do inversor de tensão SPCIT 45-60-20, da marca Supplier, no software *Matlab/Simulink*. Com o circuito em mãos a constituição da simulação do conversor foi realizada por meio do acoplamento de dois inversores iguais, por intermédio de um capacitor de 500 μF . Os resultados fornecidos na saída do conversor mostram uma forma de onda com característica quadrada, ocasionada pelo chaveamento realizado com a lógica do PWM com modulação senoidal trifásica. Desta forma foi constatada a necessidade de um filtro passivo de potência acoplado na saída do conversor, com a finalidade de mitigar os sinais harmônicos mais críticos. Além disso, a utilização do processador digital de sinais será necessária para o controle do sistema de chaveamento, bem como para o controle PI utilizado para o desenvolvimento de um algoritmo PLL, necessário para a sincronização com a rede elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Inversor de tensão. Simulação. Rede elétrica.

Kathleen Carolina de Moraes de Carvalho
carvalho.kath@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Alessandro Goedel
agoedel@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

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

The present work has as main objective the study of the back-to-back converter for application in wind generation systems in order to connect the generator to the electric grid. The study was carried out from the simulation of the component circuit of the voltage inverter SPCIT 45-60-20, from Supplier, in the software *Matlab/Simulink*. With the circuit in hand, the simulation of the converter was made by coupling two identical inverters, using a 500 μf capacitor. The results provided on the converter output show a square characteristic waveform, caused by the switching performed with the pwm logic with three phase sine modulation. Thus it was found the need for a passive power filter coupled to the converter output in order to mitigate the most critical harmonic signals. In addition, the use of the digital signal processor will be necessary for the control of the switching system, as well as for the PI control used to develop a PLL algorithm, necessary for synchronization with the power grid.

KEYWORDS: Voltage Inverter. Simulation. Power Grid.

INTRODUÇÃO

No que se refere às premissas de inovação no setor energético, o estudo de energias renováveis vem ao encontro das necessidades das novas gerações, uma vez que a crescente demanda energética exige seu atendimento com o mínimo de impactos ambientais. [1]

Inserido neste cenário de geração sustentável a energia eólica encontra seu espaço uma vez que apresenta não apenas a vantagem de ser inesgotáveis, como também se mostra como uma energia mais barata, quando comparada à energia fotovoltaica, podendo então ter seu espaço alcançado mais facilmente dentro da matriz energética. No Brasil a capacidade instalada de geração das usinas de geração eólica ultrapassou a Hidrelétrica de Itaipu, com 15GW de geração comparado a 14GW de geração. [2]

Os conversores são utilizados em centrais de geração eólicas e fotovoltaicas, uma vez que estas gerações não são contínuas. Desta forma, como os níveis de tensão da geração não são periódicos tem-se a necessidade de uma retificação deste sinal para o controle de um barramento CC, e o uso de um inversor para uma saída senoidal com frequência adequada à rede elétrica, a fim de controlar a potência injetada. [3]

Estudos destes conversores são necessários para o desenvolvimento de sistemas de conversão cada vez mais eficientes e com o mínimo de perdas. Assim pesquisas controladas, em laboratório, auxiliam no estudo do comportamento nominal do conversor com o intuito de estimar possíveis adversidades passíveis de ocorrerem em um cenário real.

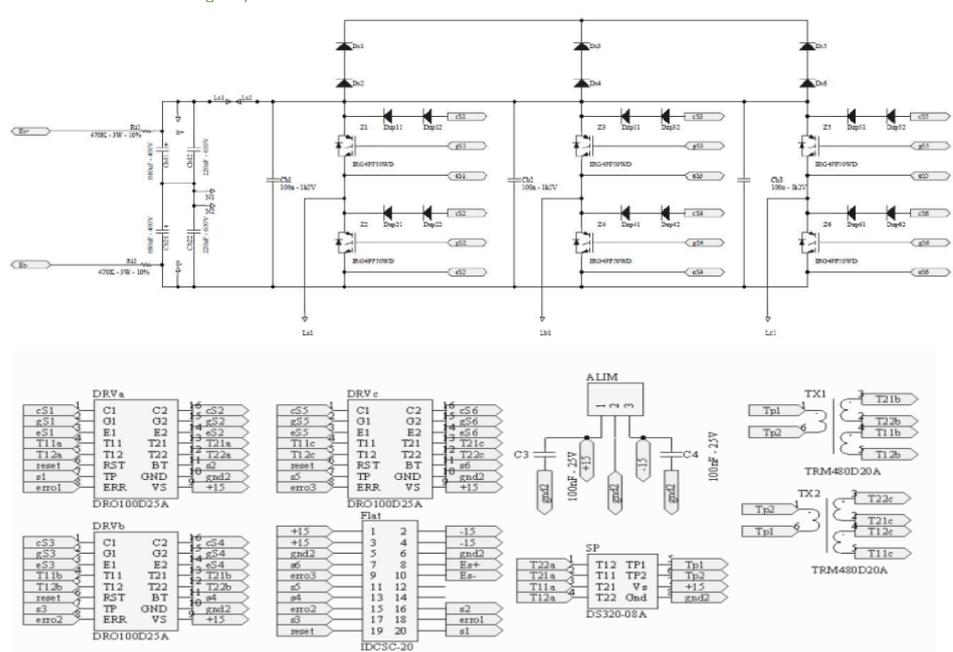
O presente trabalho de iniciação científica tem como objetivo a modelagem e estudo de um conversor *back-to-back* a partir da simulação do comportamento dos inversores trifásicos modelo SPCIT 45-60-20, da marca Supplier conectados de forma a atuarem como retificador e inversor de tensão respectivamente para um sistema de geração eólica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo é considerado a utilização de um gerador de indução com rotor bobinado, de forma a haver a necessidade de uma conexão entre a fonte geradora e a rede feita de forma dupla, uma direta e a outro por intermédio do conversor.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário entrar em contato com o fabricante do inversor escolhido afim da obtenção do modelo de circuito utilizado para sua construção, uma vez que a simulação realizada tem como principal objetivo o estudo do comportamento do conversor *back-to-back* da forma mais real possível. A Figura 1 a seguir mostra o circuito fornecido pelo *datasheet* do fabricante, juntamente as saídas a serem utilizadas para o controle do conversor.

Figura 1- (a) Circuito do inversor. (b) Conexões de controle



Fonte: Manual do usuário – Conjunto inversor trifásico SPCIT 450-60-20 (2019)

Para a realização do estudo foram utilizados como base alguns parâmetros estabelecidos da Tese do Professor Doutor Hélio Voltolini, como tensões de entrada e saída e valor de capacitância do barramento CC. Estes parâmetros foram escolhidos a fim de que seja possível uma comparação do comportamento do conversor, uma vez que o presente estudo é a principio especificamente teórico.

A simulação foi desenvolvida inicialmente a partir da construção do modelo de inversor escolhido, no programa *MATLAB/Simulink*, de forma a observar se a retificação do sinal ocorreria de forma coerente, para o controle de tensão do barramento CC, constituído por um capacitor de 500µF. Feito isso o mesmo modelo de inversor fora conectado ao sistema, mas agora para atuar como um inversor de frequência, com o intuito de ser utilizado na conexão do gerador eólico com a rede elétrica.

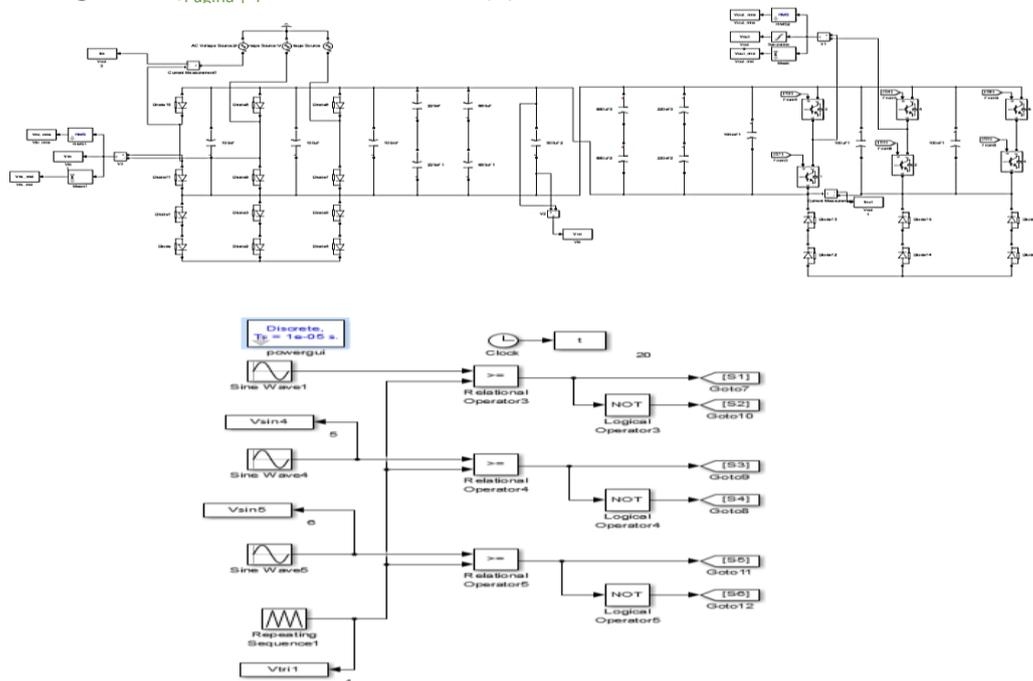
O sinal de entrada do conversor é visto a partir da utilização de uma fonte de tensão alternada, para fins de representar a tensão gerada pelo sistema eólico. Na configuração do inversor a chave irá conduzir a partir de um Duty cycle com valor de 0,57, Obtido através da expressão 1 a seguir,

$$D = \frac{V_{out_fase}}{V_{cc}} \tag{1}$$

Sendo V_{out_fase} a tensão de saída de fase, desejada, do inversor, a ser conectada a rede elétrica, e V_{cc} a tensão continua aferida no barramento CC após a etapa de retificação.

A Figura 2 a seguir apresenta a simulação do sistema construída a partir do fornecimento do circuito original da SUPPLIER, mas com adaptações no que diz respeito ao controle do conversor.

Figura 2 - (a) Circuito do conversor; (b) circuito de controle do chaveamento



Fonte: Autoria Própria (2019)

O circuito de controle PWM foi desenvolvido a partir de uma lógica mais simplificada, senoidal trifásica, com o intuito de se adaptar o controle mais sistemático de um processador digital de sinais.

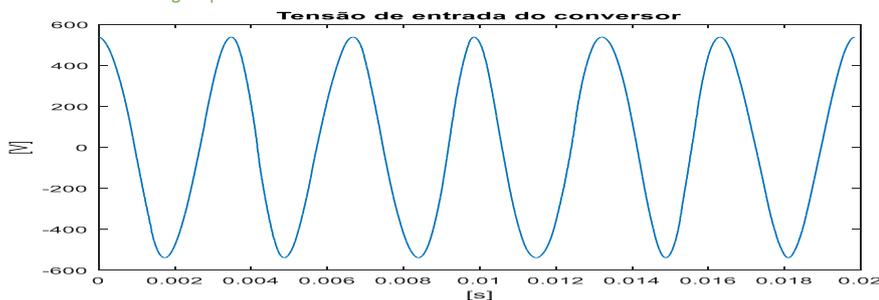
Seu funcionamento ocorre a partir da utilização de uma portadora dente de serra, neste caso estabelecida com frequência de chaveamento 20 kHz, valor inferior ao utilizado na tese original de 500 kHz, devido ao tempo de processamento da simulação. Já as senoides utilizadas na modulação, estão defasadas de 120° uma da outra, e com amplitude definida pelo valor de Duty cycle já mencionado.

Vale ressaltar que com a utilização de uma modulação senoidal trifásica tem-se um sinal de saída periódico, mas com característica quadrada, ou seja, com alta distorção harmônica, como será apresentado na seção de resultados e discussões, sendo então necessária a utilização de um filtro passivo de potência na saída do conversor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já mencionado, o sinal de entrada do conversor é realizado a partir de uma fonte senoidal, com o intuito de representar o gerador alimentador do sistema. Todavia, é importante ressaltar que esta estratégia é apenas hipotética, uma vez que o conversor back-to-back é utilizado justamente em sistemas de geração eólica e fotovoltaica devido à inconstância dos no que diz respeito à geração. Desta forma, em um sistema real, a tensão de entrada fornecida ao conversor não será puramente senoidal. A Figura 3 seguir mostra o sinal senoidal de entrada do conversor

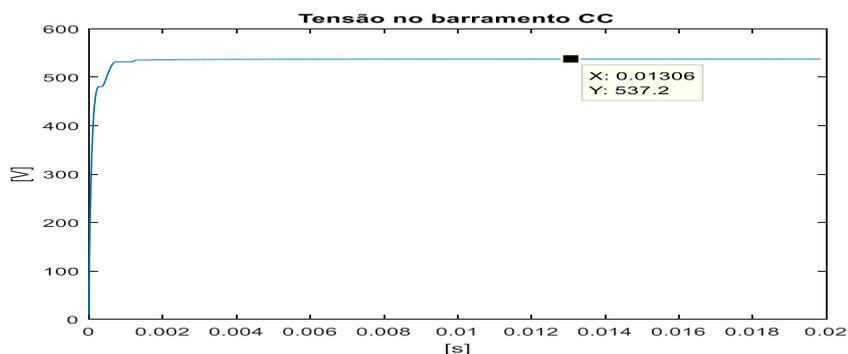
Figura 3 - Sinal senoidal de entrada.



Fonte: Autoria Própria (2019)

A tensão no barramento CC, ou seja, no acoplamento dos dois inversores conectados, apresenta um valor de aproximadamente a tensão de pico do sinal de entrada. Fato este ocorre devido à simulação realizada não apresentar perdas na conversão, sendo então este retificador operante em condições ideais. A Figura 4 que se segue mostra a tensão neste barramento.

Figura 4 - Tensão no barramento CC.



Fonte: Autoria Própria (2019)

O comportamento do sinal de saída visto na Figura 5, diz respeito ao chaveamento do mosfete, de forma a apresentar uma alta taxa de distorção harmônica, completamente inadequado a rede elétrica, a Figura 6 mostra o espectro harmônico do sinal, com frequência fundamental estabelecida em 60Hz.

Assim, um filtro passivo de potência faz-se necessário na saída do conversor, para que as harmônicas mais críticas sejam mitigadas, e apenas o sinal com frequência fundamental seja injetado a rede.

Figura 5 - Tensão de saída do conversor.

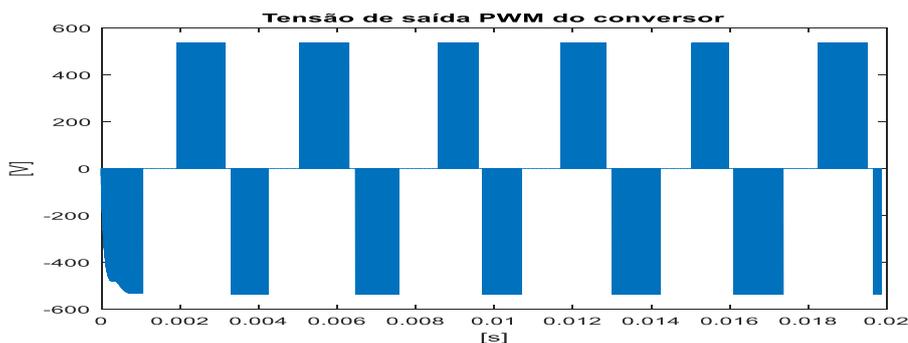
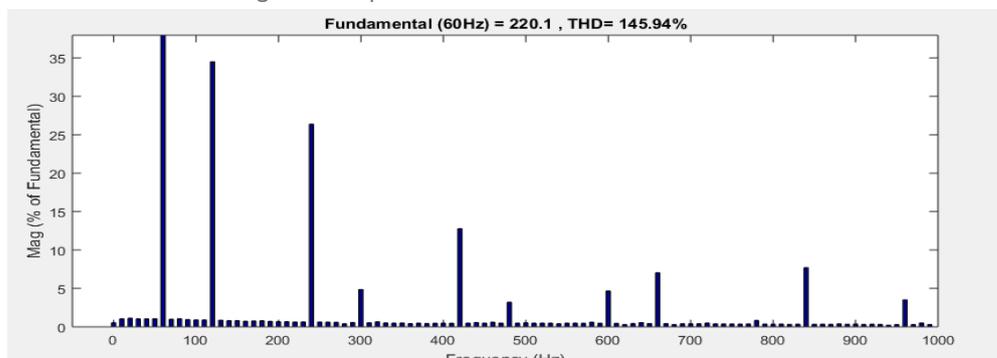


Figura 6 - Espectro harmônico do sinal de saída.



Fonte: Aatoria Própria (2019)

Outro ponto relevante refere-se à necessidade de um controle PI do conversor especificamente utilizado para a sincronização do sinal de saída do conversor com a rede elétrica.

CONCLUSÃO

O propósito principal do trabalho foi a realização do estudo do conversor back-to-back para a conexão de um sistema de geração eólica, constituído principalmente por um gerador de indução com rotor bobinado. Para tanto, a simulação desenvolvida no software *Matlab/Simulink* foi realizada por meio do circuito padrão referente ao inversor SPCIT 45-60-20, com a finalidade de análise do comportamento dos sinais de saída do conversor.

A partir dos sinais de saída fornecidos pelo conversor, foi possível o entendimento da necessidade de um projeto referente a um filtro de potência para a mitigação dos sinais de frequências harmônicas mais críticas. Além disso, para um fornecimento de potência adequado e controlado para a rede, foi observada a necessidade de utilização de um processador digital de sinais para o controle do chaveamento, bem como para a utilização do algoritmo de sincronia PLL.

Com os resultados obtidos de forma teórica, por meio de simulações, será possível um maior aprofundamento nos estudos que dizem respeito a sistemas de geração não isolados, associados por intermédio de um conversor bidirecional, para previsões de possíveis falhas nos sistema.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a contribuição do Prof. Dr. Alessandro Goedtel pela proposta e orientação, e do Prof. Dr. Paulo Junior Silva Costa com auxílios teóricos, práticos e com as simulações.

Conta também com o suporte da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo Nº 06/56093-3) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo Nº 474290/2008-5, 473576/2011-2, 552269/2011-5).

REFERÊNCIAS

- [1] VOLTOLINI, Hélio. **Modelagem e controle de geradores de indução duplamente alimentado com aplicação em Sistema eólicos**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica, área de concentração em Concepção de Dispositivos Eletromagnéticos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- [2] ABEEÓLICA. Boletim anual de geração 2018. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf . Acesso em: 2 ago. 2019
- [3] ARRAIS JUNIOR, Ernano. **Estratégia de Conversor para Interligação de Sistema de Geração Eólica à Rede Elétrica**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de concentração: Automação e Sistemas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.
- [4] Manual do Usuário: Conjunto inversor Trifásico SPCIT 450-60-20, Supplier. 2019
- [5] SILVA, Sérgio Augusto Oliveira. **Eletrônica de Potência**. 2018.
- [6] BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. 6. ed. – Florianópolis: Ed. Do Autor, 2005.
- [7] WOLLZ, Danilo Henrique. **Desenvolvimento de um emulador eólico eletrônico baseado no modelo dinâmico do gerador síncrono de imã permanente**. 2018. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2018.