

ESTUDO DE TOPOLOGIAS APLICADAS NA CONVERSÃO DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE MÉDIA TENSÃO

Guilherme Sebastião da Silva, Cassiano Rech

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI

Faculdade de Engenharia Elétrica, DETEC – Ijuí - RS.

guilherme.silva@unijui.edu.br, cassiano.rech@unijui.edu.br

Resumo. Este documento tem o objetivo de mostrar a análise realizada de algumas topologias de conversores, as quais podem ser aplicadas na conversão de frequência em sistemas de média tensão. Basicamente as topologias discutidas e ilustradas neste artigo são: (i) Retificadores de seis e de doze pulsos; (ii) Inversores multiníveis com células H-bridge em cascata; (iii) Inversores multiníveis Híbridos. Além disso, é apresentada uma análise dos harmônicos de corrente de acordo com a Norma IEEE 519-1992 através de simulações realizadas com o software MATLAB[®]\Simulink.

Palavras-chave: Conversão de Frequência, Topologias Multiníveis, Média Tensão.

1. INTRODUÇÃO

A intenção de viabilizar intercâmbios de energia elétrica entre países do MERCOSUL tais como Brasil e Argentina, vem crescendo desde a década de 80. Como exemplo da comercialização de energia elétrica pode-se citar o tratado firmado em Buenos Aires, que tem por objetivo facilitar e disponibilizar o aproveitamento de recursos hídricos disponíveis entre o Brasil e a Argentina [1].

As principais razões que implicam esta comercialização de energia elétrica podem ser: o constante crescimento demográfico, a falta de recursos hídricos, a variação de demanda (diária ou sazonal), entre outros [2].

Com o intercâmbio de energia elétrica entre países limítrofes, a instalação de estações conversoras torna-se necessária, uma vez que a tensão fornecida no Brasil possui uma frequência de 60 Hz, enquanto que em outros países ela é 50 Hz.

Para a conversão de frequência, inicialmente eram utilizados os conversores rotativos, ou seja, compostos por motores e geradores. No entanto, com o desenvolvimento dos dispositivos semicondutores, é possível a implementação de conversores estáticos de frequência.

Com a limitação imposta pelos semicondutores, este trabalho tem o objetivo de mostrar a análise realizada de topologias para conversão de frequência, já utilizadas para superar algumas destas limitações.

2. CONVERSOR DE FREQUÊNCIA

Normalmente um conversor de frequência é composto por três estruturas: um retificador, um elemento armazenador de energia e um inversor, como ilustrado na Fig. 1.



Figura 1 – Conversor de frequência.

Além disso, há estruturas que não fazem o uso do barramento CC ou filtro, isto é,

possuem uma conexão direta, caracterizando o sistema como um conversor CA-CA.

Já a estrutura ilustrada na Fig. 1 é um conversor CA-CC-CA normalmente utilizado em sistemas para a comercialização de energia elétrica. Com esta estrutura, é possível a inserção de filtros CC entre a retificação e a inversão.

2.1. Retificação

Para o estágio de entrada (retificação), foram analisadas as estruturas do retificador controlado seis pulsos e do retificador controlado doze pulsos.

Em sistemas no intercâmbio de energia elétrica a topologia do retificador controlado doze pulsos já é utilizada. Um exemplo é a estação conversora de Garabi (Brasil – Argentina), a qual faz o uso de uma conexão *back-to-back* de 12 pulsos, ou seja, duas topologias doze pulsos espelhadas entre si, a fim de formar um conversor multipulso ilustrado na Fig. 2.

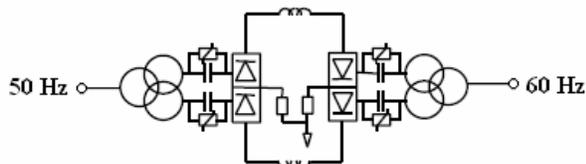


Figura 2 – Conversor de Garabi [3].

A utilização desta topologia traz vantagens com relação à topologia seis pulsos: (i) eliminação de alguns harmônicos de corrente CA (principalmente os harmônicos de 5ª e 7ª ordem); (ii) eliminação do harmônico de tensão CC de 6ª ordem [4]. Para a eliminação destes harmônicos de baixa frequência ainda são utilizados filtros passivos.

As simulações realizadas no software MATLAB®\Simulink comprovam a diminuição dos harmônicos de corrente e da THD com relação à topologia com seis pulsos.

2.2. Inversão

Como mencionado anteriormente o uso da topologia multipulso já vem sendo utilizada, porém com a evolução das estruturas dos inversores é possível a implementação de topologias que sintetizam formas de onda com um número maior de níveis de tensão e/ou corrente, chamadas de inversores multiníveis.

3. INVERSORES MULTINÍVEIS

Nos últimos anos, a demanda por sistemas de alta potência e, conseqüentemente, o uso de conversores com níveis de tensão elevados cresceu muito.

Com altos níveis de tensão e/ou corrente em aplicações de alta potência, os conversores normalmente fazem o uso de dispositivos em série e/ou paralelo, a fim de superar as limitações dos semicondutores [7]. No entanto, conversores que utilizam chaves com altas frequências não trabalham com altos níveis de tensão (acima de 1 kV), apenas com aplicações em baixa tensão.

Para contornar este problema pode-se fazer uso de conversores multiníveis [5]-[7].

Como mencionado, a estrutura genérica de um inversor multinível pode sintetizar uma forma de onda com vários níveis de tensão e/ou corrente. Nestas topologias multiníveis, a THD diminui à medida que o número de níveis aumenta e conseqüentemente a forma de onda fica mais próxima à senoidal. Por outro lado, o número de dispositivos aumenta bem como a complexidade de todo o sistema.

3.1. Inversor multinível com células *H-bridge* em série

A estrutura multinível com células iguais em cascata também pode ser chamada de inversor multinível simétrico. A Fig. 3 ilustra a estrutura de uma célula *H-bridge*, a qual é capaz de sintetizar uma forma de onda de saída $V_{an}(t)$ com três níveis (V_{CC} , 0, $-V_{CC}$).

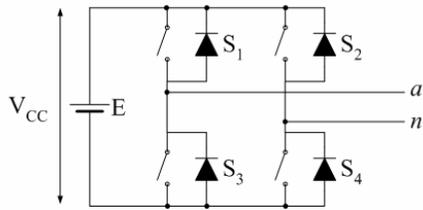


Figura 3 – Célula H-bridge.

Com a conexão destas células em série, ilustrada na Fig. 4, é possível obter formas de onda com um maior número de níveis.

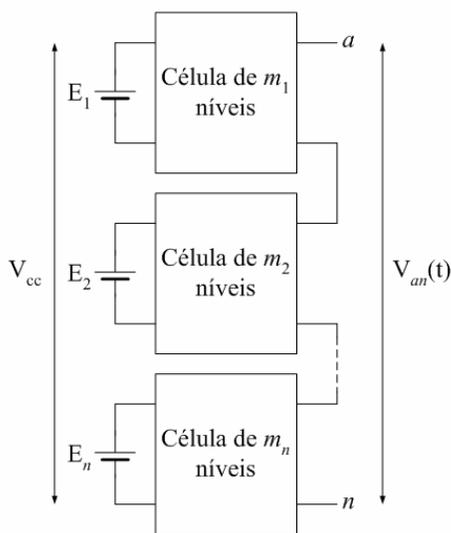


Figura 4 – Topologia multinível com células H-bridge em cascata.

Esta topologia sintetiza a tensão de saída através da soma das tensões de cada célula conforme a Eq. 1.

$$V_{an}(t) = v_1(t) + v_2(t) + \dots + v_n(t) \quad (1)$$

Em comparação a outras topologias multiníveis, a estrutura com células *H-bridge* em série não precisa usar diodos e/ou capacitores de grampeamento. Entretanto, as fontes do barramento CC devem ser isoladas, caso contrário, as chaves entre duas ou mais células ficarão em curto-circuito para determinados estados de condução.

3.2. Inversor Multinível Híbrido

O inversor multinível híbrido é semelhante ao com células *H-bridge* em cascata. Uma das características que difere as duas topologias é o uso de diferentes tecnologias dos semicondutores, possibilitando o uso de células com diferentes tensões e frequências de chaveamento [7], [8].

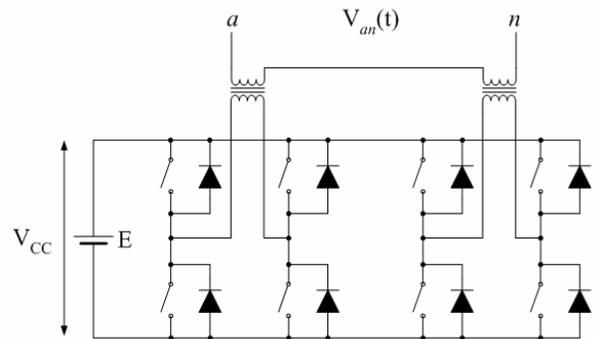


Figura 5 – Topologia multinível com transformadores na saída.

Além disso, há outra topologia derivada da estrutura multinível com células iguais em cascata, ilustrada na Fig. 5, a qual faz o uso de transformadores na saída de cada célula. Esta conexão dos transformadores possibilita o uso de uma única fonte CC no barramento do inversor.

4. RESULTADOS

Para o estágio retificador de entrada do conversor foram realizadas simulações no software MATLAB[®] Simulink dos retificadores controlados de seis e de doze pulsos. De acordo com estas simulações, o retificador controlado 6 pulsos apresentou uma THD de 29,13%, enquanto que o retificador 12 pulsos uma THD de 13,12%.

A Fig. 6 apresenta as formas de onda das correntes de entrada dos retificadores de 6 e de 12 pulsos. Calculando a FFT (*Fast Fourier Transform*) das correntes, ilustradas na Fig. 7

e na Fig. 8, nota-se que os retificadores de 6 e de 12 pulsos não atenderam a norma para harmônicos de corrente de 11^a e 13^a ordem.

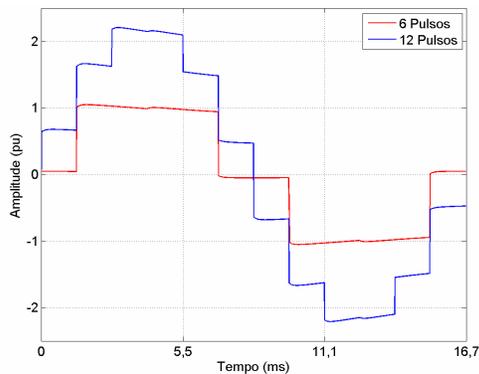


Figura 6 – Correntes de entrada dos retificadores.

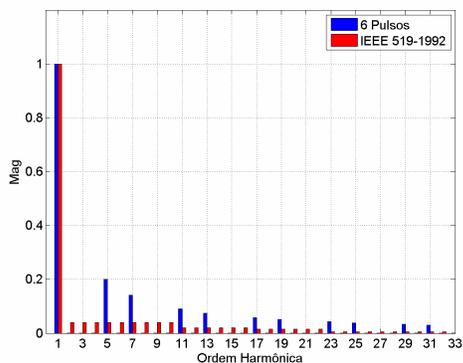


Figura 7 – Espectro harmônico do retificador de 6 pulsos comparado com a norma.

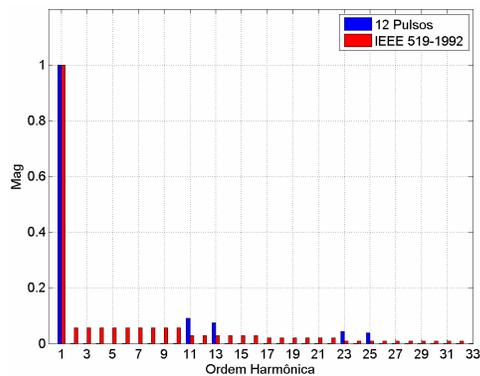


Figura 8 – Espectro harmônico do retificador de 12 pulsos comparado com a norma.

Porém o retificador de 12 pulsos apresentou à eliminação principalmente dos harmônicos de corrente de 5^a e 7^a ordem.

Para a análise do estágio de saída (inversor) foram realizadas as simulações dos inversores multiníveis com células *H-bridge* em cascata simétrico e híbrido.

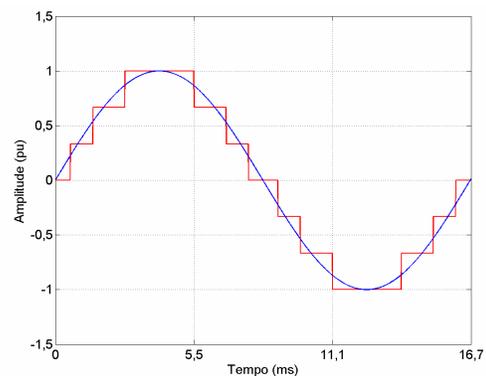


Figura 9 – Forma de onda da tensão de saída da topologia multinível simétrica.

Para a topologia simétrica obteve-se a forma de onda ilustrada na Fig. 9, a qual possui características senoidais, com conteúdo harmônico de baixa frequência. A Fig. 10 ilustra a forma de onda da tensão de saída do inversor híbrido simulado.

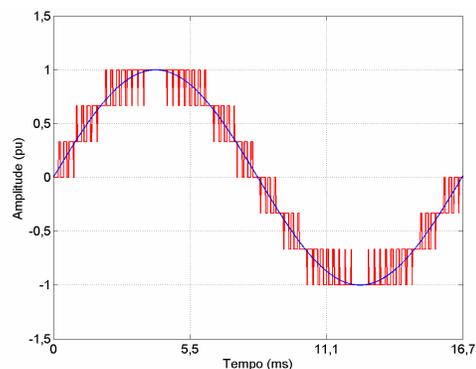


Figura 10 – Forma de onda da tensão de saída do inversor híbrido.

Com o objetivo de reduzir os harmônicos de baixa frequência, conforme apresentado anteriormente, pode-se fazer o uso da

topologia híbrida, na qual somente a célula que emprega semicondutores lentos e de alta tensão opera em baixa frequência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assuntos como inversores multiníveis para sistemas de média tensão têm sido cada vez mais estudados e mostram ser uma boa alternativa para tais níveis de tensão, ainda reduzindo as distorções harmônicas de tensão e de corrente e também aumentando a eficiência do sistema.

As topologias de inversores multiníveis podem substituir sistemas que fazem uso de conversores tradicionais, sem a necessidade de transformadores. Porém devido às limitações dos semicondutores não é possível que algumas topologias de inversores multiníveis trabalhem em altas potências, no caso de IGBT's, ou em altas frequências de chaveamento, no caso de tiristores.

Portanto, os inversores multiníveis híbridos são uma boa opção para este tipo de problema, pois a sua estrutura permite a combinação de duas tecnologias distintas, o que define um sistema flexível, com menor distorção harmônica. Além disso, pode-se fazer o uso de transformadores na saída, assim isolando as chaves entre as células, conseqüentemente proporcionando o uso de apenas uma fonte CC para todas as células.

Agradecimentos

Agradecimento ao CNPq pelo apoio e patrocínio disponibilizado.

REFERÊNCIAS

[1] A. C. Gerken, D. C. Gonçalves, J. R. M. Moreau, M. J. Botelho and R. B. Silva “Aspectos Operacionais da Interligação Garabi – Rincón (Interconexão Brasil – Argentina)” no XVI Seminário Nacional

de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2001;

[2] J. Graham, G. Biledt and J. Johansson, “Power System Interconnections using HVDC Links” in IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro, Brazil, May 23-27, 2004;

[3] J. Graham, D. Menzies and G. Biledt, “Electrical System Considerations for the Argentina – Brazil 1000 MW Interconnection” in Cigré 2000 Conference, Paris, France, Aug 27-Sep 2, 2000;

[4] M. P. Bahrman, B. K. Johnson, “The ABCs of HVDC Transmission Technologies” in IEEE Power & Energy Magazine, vol. 5, no. 2, Mar/Apr, 2007;

[5] J. Rodríguez, J. S. Lai and F. Z. Peng, “Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications” in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 49, no. 4, Aug, 2002;

[6] J. S. Lai and F. Z. Peng, “Multilevel Converters – A new breed of Power Converters” in IEEE Industry Applications, vol. 32, no. 3, May/Jun, 1996;

[7] C. Rech, “Análise, Projeto e Desenvolvimento de Sistemas Multiníveis Híbridos” Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2005;

[8] M. D. Manjrekar, P. K. Steimer, T. A. Lipo, “Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High-Power Applications” in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, no. 3, pp. 834-841, Jun, 2000;