

ANÁLISE DO PROBLEMA DE VARIAÇÃO DE TENSÃO NO BARRAMENTO CC DE UM CONVERSOR MULTINÍVEL NPC TRIFÁSICO A QUATRO FIOS

Andressa R. Feyh, Cassiano Rech, Robinson F. de Camargo
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI
DeTEC - Departamento de Tecnologia, Campus Ijuí - RS

andressa.feyh@unijui.edu.br, cassiano.rech@unijui.edu.br, robinson.camargo@unijui.edu.br

Resumo. *Este artigo apresenta um estudo da topologia três níveis com diodos de grameamento, também chamada de ponto neutro grameado (NPC – Neutral Point Clamped), aplicada em filtros ativos de potência paralelos (FAPP's) em sistemas trifásicos a quatro fios de média tensão. Um dos principais problemas enfrentado por esta topologia é o desequilíbrio de tensão nos capacitores do barramento CC, tanto para aplicações a três como a quatro fios. O estudo é focado na análise deste problema em um conversor NPC três braços a quatro fios.*

Palavras-chave: *Filtro Ativo, Conversores Multiníveis, Desbalanço de tensão no barramento CC.*

1. INTRODUÇÃO

O número de aplicações de alta potência cresceu significativamente nos últimos anos, e acarretou a necessidade de utilizar conversores com níveis de tensão mais elevados para aumentar a eficiência energética dos sistemas. Aplicações como o acionamento de motores de indução e equipamentos ligados diretamente à rede de distribuição, tais como compensadores estáticos de reativos e filtros ativos, são exemplos de aplicações comuns em altas potências.

Se tratando de qualidade de energia, distúrbios como harmônicos e desequilíbrio entre fases estão entre os que mais preocupam. O aumento da distorção de tensão pode causar mau funcionamento, aquecimento, falhas e diminuição da vida útil de equipamento. Já o aumento da corrente de neutro, causada pelo desequilíbrio entre fases, pode causar o sobreaquecimento de condutores e de transformadores ligados a este sistema.

Um conversor multinível NPC trifásico a quatro fios será analisado para a implementação de um filtro ativo de potência paralelo, visto que o objetivo é minimizar componentes harmônicas e compensar a corrente de neutro.

Um dos principais problemas enfrentados por conversores multiníveis é a variação de tensão nos capacitores do barramento CC, tanto para aplicações a três como a quatro fios [1]. Esta variação afeta diretamente a tensão sobre os semicondutores, causando também distorções na forma de onda da tensão de saída.

O estudo realizado é focado na tentativa de manter a tensão no barramento CC constante utilizando uma técnica de modulação simples, ou seja, PWM senoidal. O item 4 aborda esse problema fazendo uma análise do comportamento da tensão sobre os capacitores do barramento CC, utilizando na simulação a técnica de modulação PWM

senoidal, com todas as ondas portadoras dispostas em fase.

2. FILTRO ATIVO TRIFÁSICO PARALELO PARA MÉDIA TENSÃO.

Os filtros ativos apresentam uma melhor resposta dinâmica se comparados aos filtros passivos e, além disso, são flexíveis, podendo ser devidamente ajustados para realizar as requeridas compensações independentemente do tipo de carga [2].

O princípio de funcionamento de um FAPP consiste em gerar uma corrente de compensação a partir da forma de onda da corrente drenada pela carga, de maneira que estas se somem e que a corrente da rede permaneça senoidal.

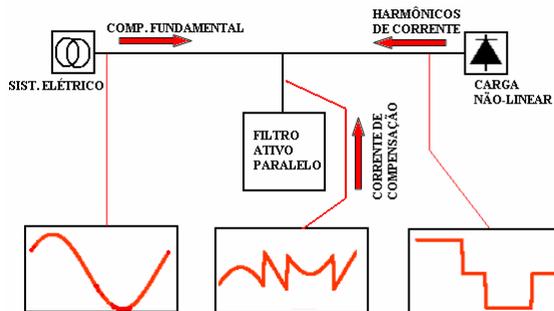


Figura 1. Princípio de funcionamento de um FAPP.

Os filtros ativos podem ser classificados de diferentes formas, entre elas, de acordo com o sistema de suprimento de energia trifásico, podendo ser de três ou quatro fios. O sistema a três fios se caracteriza pela configuração com três fios condutores, e é empregado principalmente em sistemas de transmissão e na presença de cargas trifásicas a três fios. Já o sistema a quatro fios utiliza três fios condutores e um fio neutro, e é empregado em sistemas de distribuição e na presença de cargas trifásicas a quatro fios ou cargas monofásicas [2].

Quando cargas lineares desequilibradas são conectadas ao sistema, tem-se o surgimento de uma corrente de neutro na

frequência fundamental. Além disso, cargas não lineares monofásicas produzem harmônicos de corrente de seqüência zero. Estes harmônicos se tornam importantes em sistemas a quatro fios, pois se somam e fluem através do neutro, causando a sobrecarga desse condutor [3].

Filtros ativos em média tensão têm sido propostos a fim de minimizar esse distúrbio. Contudo, os conversores dois níveis convencionais não permitem a conexão direta a redes de média e/ou alta tensão, levando ao uso de conversores multiníveis.

3. CONVERSORES MULTÍNIVEIS

Em aplicações de baixa tensão é possível empregar os tradicionais conversores dois níveis. Porém para aplicações em médias e altas potências, estes fazem uso de semicondutores em série e/ou paralelo, o que pode ser problemático visto que não é garantido que os níveis de tensão e/ou corrente sobre as chaves sejam iguais [4].

A aplicação de conversores multiníveis permite a utilização de semicondutores com baixos limites de tensão, mesmo operando em elevados níveis de tensão, aumentando assim a eficiência do sistema. As topologias com três ou mais níveis permitem a obtenção de formas de onda com menor conteúdo harmônico, se comparadas com as formas de onda de tensão obtidas com os conversores dois níveis convencionais.

Entre as várias topologias de conversores multiníveis de tensão, a com ponto neutro grampeado é uma das mais desenvolvidas e comercializadas, incluindo aplicações em *drives* CA, compensadores estáticos de reativos e filtros ativos [5].

3.1 Conversor Multinível com Diodos de Grampeamento.

A topologia analisada é um NPC três níveis, três braços a quatro fios, onde cada

braço deste possui quatro interruptores com diodos em antiparalelo e dois diodos de grameamento conectados ao ponto neutro do barramento CC. O barramento CC é formado por dois capacitores divisores de tensão, sendo que cada um deve estar carregado com $V_{cc}/2$ [5].

Esta topologia apresenta algumas vantagens se comparada as demais, tais como: (i) menor número de capacitores, o que é importante devido ao custo, (ii) não requer a utilização de transformadores, (iii) há somente um barramento CC. Entre as desvantagens pode-se citar uma maior dificuldade de controle da tensão no barramento CC [6].

Na Fig. 2 quando as chaves S1 e S2 são acionadas, o nível da tensão de saída será positivo em relação ao ponto neutro do barramento CC. A tensão de saída será nula quando S2 e S3 estão acionadas. Os diodos D1 e D1' grameiam a tensão em zero quando as chaves S2 e S3 estão acionadas. E quando S3 e S4 são fechadas o nível será negativo.

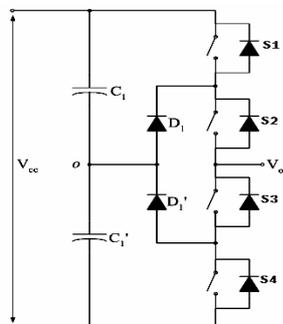


Figura 2. Braço de um conversor NPC três níveis.

4 PROBLEMA DE DESEQUILIBRIO DE TENSÃO NO BARRAMENTO CC

Os filtros ativos operam como fontes controladas de corrente e, idealmente, não consomem potência ativa. Porém, mesmo sem consumo de potência ativa, as correntes médias nos capacitores podem ser diferentes de zero, havendo um desequilíbrio de tensão entre os capacitores. Diferentes métodos de

controle têm sido apresentados na literatura para solucionar este problema, porém nenhum aborda a modulação PWM senoidal para estruturas a quatro fios.

A Fig. 3 mostra a estrutura de um conversor multinível NPC três níveis, com três braços e quatro fios, onde o quarto fio é conectado ao ponto médio do barramento CC. Esse circuito é utilizado em simulações no software Psim[®], para fins de análise da estabilidade da tensão sobre os capacitores do barramento CC.

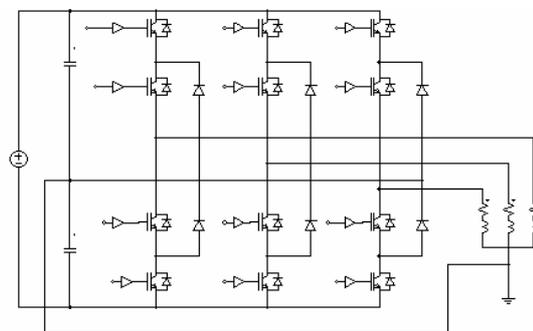


Figura 3. Inversor NPC Três Braços e Quatro Fios.

A técnica de modulação PWM utilizada é mostrada na Fig. 4, onde pode-se observar a disposição em fase das portadoras. O número de portadoras é igual ao número de níveis da tensão de fase de saída do conversor menos um. Logo, para um NPC três níveis são necessárias duas ondas portadoras.

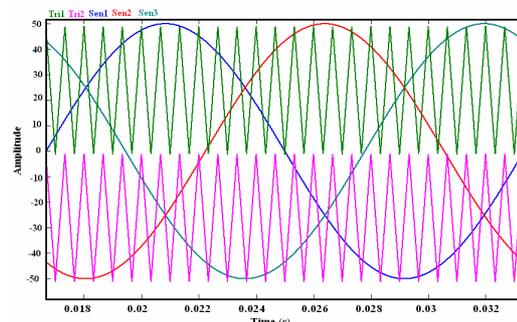


Figura 4. Modulação PWM com portadoras em fase.

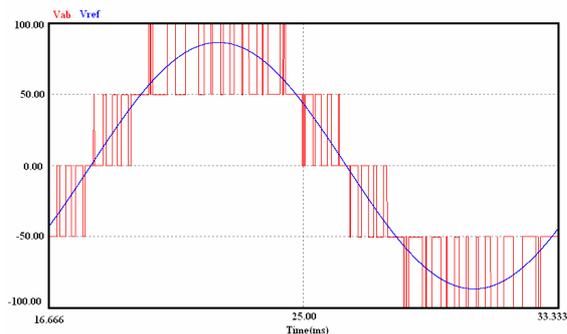


Figura 5. Tensão de linha gerada pelo conversor.

A Fig. 5 mostra a forma de onda da tensão de linha gerada pelo NPC trifásico simulado. Observa-se que enquanto a tensão de linha de um conversor tradicional possibilita a obtenção de apenas três níveis, com um multinível três níveis é possível obterem-se cinco níveis na tensão de linha de saída, o que proporciona uma tensão mais próxima da senoidal.

Na Fig. 6 são mostradas as formas de onda média das tensões sobre os capacitores do barramento, considerando uma carga RL trifásica equilibrada.

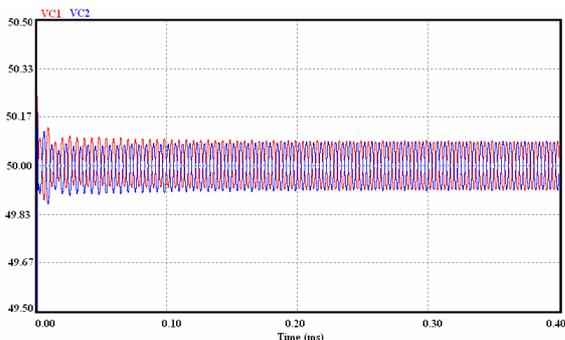


Figura 6. Valor médio das tensões nos capacitores do barramento CC, para carga RL trifásica equilibrada.

A simulação realizada para o caso acima, também foi feita considerando condições de carga desequilibradas, onde as tensões do barramento CC mantiveram-se as mesmas.

Através das formas de onda obtidas observa-se que há um equilíbrio natural das tensões, porém apenas para casos ideais. A literatura atual apresenta outras estratégias para garantir o equilíbrio das tensões quando em condições não ideais, como por exemplo, com falta de fase.

Lai *et. al* [7] sugerem que a solução pode ser encontrada substituindo os capacitores por fontes CC constantes. Essas fontes CC seriam fontes externas, como por exemplo, baterias, o que resultaria em um sistema mais complexo e mais caro.

Porém, segundo [8], não é necessário o uso de fontes CC externas, mas o balanceamento de tensão entre os capacitores do barramento CC é garantido se a corrente média do ponto neutro for nula, o que não garante que as tensões nos capacitores sejam iguais, apenas constantes. Através da modulação PWM com oposição de fases entre as portadoras, e de um modelo geométrico de Bennet's, os autores mostram com simulações, que os problemas de desbalanceamento no barramento podem ser minimizados mas, somente para aplicações a três fios.

Em [9], Mokhtari *et. al.* mostram que a modulação *space vector* convencional não serve para compensação da corrente de neutro em sistemas trifásicos a quatro fios, não conseguindo manter a tensão do barramento constante, pois as componentes de seqüência zero não são consideradas para geração dos sinais de referência. Logo, o autor propõe uma modificação da técnica *space vector* convencional, onde uma nova variável de referência é criada, considerando os efeitos das componentes de seqüência zero.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas na área de eletrônica de potência desenvolveram-se muito nos últimos anos, com considerável ênfase em conversores de potência, principalmente multiníveis para aplicações em médias e/ou altas tensões.

Diversas técnicas de controle têm sido apresentadas para o problema de desbalanceamento de tensão nos capacitores do barramento CC de conversores trifásicos NPC para aplicações a três fios. Contudo, para aplicações a quatro fios as técnicas propostas são relativamente complexas.

Um das técnicas de modulação mais simples, a PWM senoidal com portadoras em fase, foi testada neste artigo para um conversor NPC trifásico três níveis, três braços e quatro fios. A estratégia de controle utilizada garante o equilíbrio da tensão no barramento apenas em condições ideais, porém, em condições não ideais e/ou sob faltas há a necessidade de outra estratégia de modulação.

Agradecimentos

Agradecimentos a PIBIC/UNIJUÍ pelo apoio e patrocínio neste projeto e ao GAIC – Grupo de Automação Industrial e Controle da Unijui, pelo espaço disponível para a realização do mesmo.

REFERÊNCIAS

- [1] N. Y. Dai, M. C. Wong and Y. D. Han, “Application of a Three-level NPC Inverter as a Three-Phase Four-Wire Power Quality Compensator by Generalized 3DSVM”. IEEE Trans. On Power Electronics, Vol.21, N° 2, March 2006;
- [2] R. F. de Camargo, “Contribuição ao Estudo de Filtros Ativos de Potência,” Dissertação de mestrado, PPGEE, Universidade Federal de Santa Maria, julho de 2002;
- [3] C. R. Dugan, F. M. Mcgranaghan and W. H. Beaty. “Electrical Power Systems Quality” ed. McGraw-hill, 1996;
- [4] C. Rech “Análise, Projeto e Desenvolvimento de Sistemas Multiníveis Híbridos”, Tese de doutorado apresentada a Universidade Federal de Santa Maria, 2005;
- [5] J. Yao and T. Green, “DC-Link Capacitors Sizing for Three-Level Neutral-Point-Clamped Inverters in Four-Wire Distributed Generation Systems”. IEEE, 2005 International Conference on 16-18 Nov. 2005 pp 1–5;
- [6] J I. L. Galván and L. G. Franquelo, “Multilevel Converters: Topologies, Modeling, Space Vector Modulation Techniques and Optimizations”. Tese de Doutorado apresentada para a Universidade de Sevilla;
- [7] J. S. Lai and F. Z. Peng, “Multilevel Converters – A new Breed of Power Converters”. IEEE Trans. on Industry Applications, vol.32 N° 3, May/June 1996;
- [8] I. M. Salagae and H. du T. Mouton, “Natural Balancing of Neutral-Point-Clamped Converters Under POD Pulsewidth Modulation”. Power Electronics Specialist Conference, 2003. IEEE, Vol. 1, 15-19 June 2003 pp: 47-52;
- [9] H. Mokhtari and M. Rahimi, “Active Power Filter Control in Three-Phase four-wire Systems using Space Vector Modulation”. IEEE 2006. PEDES '06. International Conference on Dec. 2006 pp:1-6;