METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO DE PERDAS APLICADA EM UM INVERSOR DE CINCO MULTINÍVEIS UTILIZANDO O THERMAL MODULE DO PSIM

Vinicius Nogueira Da Silva Lima[1]
Ranoyca Nayana Alencar Leão E Silva Aquino[2]

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia de simulação das perdas de potência em um conversor, utilizando o modulo térmico do software PSIM® como uma ferramenta educacional. A simulação das perdas é realizada a partir de um estudo a respeito do Thermal Module, os dados obtidos nos Datasheets dos semicondutores e os dados cadastrados no banco de dados do software PSIM®. Para validar essa metodologia de simulação de perdas, ela é aplicada no Inversor Multinível Híbrido Simétrico de Cinco Níveis baseado nas topologias Half-Bridge e ANPC, operando com a estratégia de modulação PD-PWM modificada, onde metade dos semicondutores operam em baixa frequência, 60 Hz, semicondutor escolhido SKM145GB066D e a outra metade em alta frequência, 1020 Hz, semicondutor escolhido SKM75GB063D. O método tem como vantagem a aplicabilidade em qualquer circuito que possua semicondutores e para isto, é feita uma calibração dos resultados das perdas de potência das chaves ativas e diodos antiparalelos, para uma maior simetria nos resultados das perdas dos semicondutores presentes no inversor.

Palavras-chave: Datasheet; Inversor; Perdas; Simulação.

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira , Campus das Auroras, Redenção (CE)., Discente, vinicius.limaunilab@gmail.com[1]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Campus das Auroras, Redenção (CE)., Docente, ranoyca@unilab.edu.br[2]

ISSN: 2447-6161

INTRODUÇÃO

Diante do avanço da eletrônica de potência, diferentes topologias de inversores multiníveis, assim como diferentes estratégias de modulação, vêm sendo largamente utilizadas. Sobretudo em aplicações de média e alta potência, como compensadores de potência reativa e acionamento de motores com corrente alternada, CA, devido à sua capacidade de redução de harmônicos na tensão de saída e diminuição dos esforços de tensão sobre os semicondutores.

> Os conversores multiníveis apresentam, como vantagens, melhoria da qualidade da tensão de saída, baixa distorção harmônica, reduzindo assim os componentes de filtragem, além de apresentar alta eficiência, sendo mais notável em níveis de baixa potência (DING et al., 2004).

> Segundo DROFENIK e KOLAR (2005), a necessidade de desenvolvimento de um método de simulação que tenha alta precisão, com mínimo esforço, é encontrada quando se busca melhorias no processo de estimativa dessas perdas.

Essa metodologia é aplicada em um inversor híbrido multinível simétrico monofásico HB/ANPC apresentado por SILVA (2013) que provém de duas estruturas conhecidas na literatura, o Inversor Meia-Ponte (HB) e o Inversor com Grampeamento Ativo do Neutro (ANPC), que tem como principal vantagem um aumento no número de níveis de tensão de saída e distribuição uniforme de perdas.

O inversor de estudo deste trabalho, representado pela Figura 1, possui oito interruptores por fase, sendo estes semicondutores adequados para alta potência, acionamentos de motores, conversores e aplicações de turbinas eólicas. As perdas de potência são compostas por perdas por condução, que ocorrem enquanto esses dispositivos estão no estado de condução quando estão permitindo a passagem de corrente e perdas por comutação, que ocorrem durante transições de ligamento e desligamento devido à sobreposição de corrente e tensão nos interruptores e ocorrem principalmente devido à recuperação reversa dos diodos durante o desligamento, além da sobreposição de corrente e tensão durante as transições de estado.

Figura 1: Inversor multinível híbrido de cinco níveis baseado nas topologias Half-Bridge/ANPC (Monofásico)

Fonte: SILVA (2013).

METODOLOGIA

A metodologia consiste na inserção de novos módulos de semicondutores no software PSIM para simular as perdas de potência por condução e comutação dos IGBTs SKM75GB063D e SKM145GB066D. O processo começa com a criação de um arquivo XML, onde são preenchidas informações do dispositivo com base nos dados do datasheet, como VCE, IC, Tj, RG_ON e RG_OFF.

As seções essenciais para a simulação incluem a "Electrical Characteristics – Transistor" e a "Electrical Characteristics – Diode". Na primeira seção, as curvas responsáveis pelas perdas por condução e comutação são inseridas. A curva VCE(sat) vs. IC representa a perda por condução, indicando a queda de tensão do coletor-emissor durante a condução, resultando em dissipação de potência. Já as curvas Eon vs. IC e Eoff vs. IC refletem as perdas por comutação, mostrando a energia dissipada durante os ciclos de comutação.

Na seção "Electrical Characteristics – Diode", são inseridas curvas que lidam com as perdas no diodo antiparalelo do IGBT. A curva VF vs. IF, que ilustra a queda de tensão direta do diodo, trata das perdas por

ISSN: 2447-6161

condução. Além disso, as curvas trr vs. IF, Irr vs. IF e Qrr vs. IF abordam as perdas de recuperação, detalhando o comportamento do diodo durante a transição entre condução e bloqueio reverso, que é crucial para a eficiência em aplicações de alta potência.

Após concluir a inserção das curvas do transistor, o processo se repete para o diodo, e dados de características térmicas, como Rth(j-c), são incluídos para garantir a dissipação de calor e a confiabilidade do módulo. Para o SKM145GB066D, a metodologia é semelhante, com a adição das curvas Err vs. IF e Err vs. RG, devido à presença de um diodo de recuperação rápida, que também impacta as perdas associadas à recuperação reversa. As edições devem ser salvas após cada módulo para garantir a integridade dos dados inseridos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a inserção dos módulos no PSIM, iniciou-se a simulação do inversor multinível híbrido simétrico de cinco níveis em versão trifásica, com parâmetros definidos como tensão do barramento CC de 340 V, tensão de saída eficaz de linha de 380 V, potência ativa de 6900 W, e frequência de comutação de 1020 Hz. A carga trifásica foi composta por uma resistência de 17,713 Ω em série com uma indutância de 20,016 mH. Para validar a simulação de perdas foi adotada uma técnica de modulação derivada da PD-PWM (LUIZ et al., 2013).

A modulação PD-PWM modificada utiliza como moduladora uma derivada de um cosseno, em que um deslocamento negativo é adicionado ao semiciclo positivo, e o inverso ocorre no semiciclo negativo do cosseno, resultando em uma moduladora modificada, observada também através simulação do software PSIM. Os dois sinais triangulares das portadoras operam em uma alta frequência, 1020 Hz e o sinal da moduladora opera em baixa frequência, 60 Hz.

O inversor multinível monofásico HB/ANPC foi simulado com IGBTs do Thermal Module já com seus devidos módulos que foram cadastrados, que possuem sensores de tensão e corrente e também com sensores de corrente para coletar tensões e correntes em cada um dos oito IGBTs. A Figura 16 mostra a forma de onda da tensão de saída do inversor, que varia entre Vcc, Vcc/2, 0, -Vcc/2 e -Vcc, correspondendo aos cinco multiníveis.

Na simulação, os semicondutores do Thermal Module possuem sensores de perdas de potência por condução e comutação tanto nos interruptores quanto nos diodos antiparalelos, sendo necessário apenas inserir a frequência nos módulos SKM145GB066D e SKM75GB063D que operam em baixa (60 Hz) e alta (1020 Hz) respectivamente.

Os resultados das perdas médias por condução nos interruptores e diodos antiparalelos estão descritos na Tabela 1 com os valores dos fatores de calibramento de perdas de potência por condução que foram alterados visando uma maior simetria das perdas do inversor. Os resultados das perdas por comutação médias nos interruptores e diodos antiparalelos estão descritosna Tabela 2.

Tabela 1: Perdas médias por condução nos interruptores e diodos antiparalelos

Tabela 2: Perdas médias por comutação nos interruptores e diodos antiparalelos

ISSN: 2447-6161

CONCLUSÕES

Este trabalho detalhou uma metodologia de simulação de perdas, desenvolvida no software PSIM, que pode ser aplicado em qualquer circuito que utiliza semicondutor. O procedimento de simulação foi aplicado no inversor multinível HB/ANPC, com os mesmos parâmetros apresentados por SILVA (2013). A simulação das perdas foi realizada utilizando os dados fornecidos pelos datasheets dos módulos SKM145GB066D e SKM75GB063D. Diante dos resultados de simulação utilizando o Thermal Module do PSIM, realizando os devidos calibramentos, as perdas totais por condução são aproximadamente 18,432 W nos interruptores e 3,299 W nos diodos intrínsecos, enquanto as perdas por comutação são 0,9984 W nos interruptores e 0,0196 W nos diodos, totalizando uma perda de 22,749 W por fase do inversor. Os resultados obtidos por simulação com calibramento representam um decréscimo de 29,8% de perdas em relação aos 32,4 W obtidos por SILVA (2013).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades que recebi. Agradeço também aos meus pais, Antônio e Valdilane, e a minha irmã Victoria por estarem sempre ao meu lado em minhas conquistas, pelo amor incondicional e pela confiança que sempre depositaram em mim. Gostaria de expressar minha gratidão à UNILAB e ao Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) pelo fomento e pela oportunidade de participar de uma iniciação científica. Agradeço também a minha orientadora a Prof. Ranoyca, por todos os conselhos, orientações e ao tempo dedicado a mim.

REFERÊNCIAS

DING, K. et al. 2004. A novel single-phase 5-level asymetric inverter. In: The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference - IPEMC. v. 2. China, 793- 798.

DROFENIK, U.; KOLAR, J. W. 2005. A general scheme for calculating switching and conduction-losses of power semiconductors in numerical circuit simulations of power electronic systems. In: International Power Electronics Conference - IPEC. Niigata, Japan. 7p.

SILVA, R. N. A. L. 2013. Inversor Multinível Híbrido Simétrico Trifásico de Cinco Níveis Baseado nas Topologias Half-Bridge e ANPC. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 120 f.

LUIZ, H. S. C. et al. 2013. Five-level hybrid half-bridge/ANPC back-to-back converter. In: IEEE Conference Publications – Brazilian Power Electronics Conference (COBEP). Gramado, Brazil. 259-263.

SILVA, R. N. A. L. et al. 2012. Conversor híbrido simétrico de cinco níveis baseado nas topologias half-bridge/ANPC. Revista Eletrônica de Potência - SOBRAEP. v. 17, n. 3, 623- 631, ago.

NABAE, A.; TAKAHASHI, I.; AKAGI, H. 1981. A new neutral-point-clamped PWM inverter. IEEE Transaction on Industry Applications. v. IA-17, n. 5, 518-523.

BATSCHAUER, A. L. et al. 2010. Evaluation of the hybrid four-level converter employing half-bridge modules for two different modulation schemes. In: Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC. 909-914.

CASANELLAS, F. 1994. Losses in PWM inverters using IGBTs. IEE Proceedings - Electric Power Applications. v. 141, n. 5, 235-239

ISSN: 2447-6161

ISSN: 2447-6161