

CONVERSORES APLICADOS À CARGA DAS BATERIAS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

João Gabriel Vargas de Souza, Sérgio Vidal Garcia Oliveira

INTRODUÇÃO

Os veículos eletrificados vêm tomando grandes proporções em números de vendas (cerca de 1800% de 2016 a 2022), sendo cada vez alvo de mais estudos e artigos científicos para aprimorá-los, sendo um aumento de cerca 300% de 2013 a 2022 (SHAHED; RASHID, 2024). A fim de aprofundar no tema, foram estudados os conversores estáticos utilizados nas estações de recarga, sendo utilizados para veículos elétricos e híbridos plug-in, e os conversores estáticos envolvidos nestas estações ultrarrápidas.

DESENVOLVIMENTO

Foram comparadas duas topologias CC-CC, sendo escolhida uma para projeto e simulação, sendo elas a isolada *Dual Active Bridge* e a não isolada *Interleaved Buck Converter* (IBC), ambos com capacidade de bidirecionalidade de corrente, podendo enviar energia do veículo à rede (do inglês, V2G). A alta densidade energética, relativo baixo custo e facilidade de controle tornam estes conversores muito utilizados. Utilizando semicondutores de carbeto de silício (SiC), 70 kW e 50 kHz para ambos, conclui-se que o IBC possui um capacitor menor e menos semicondutores, maior eficiência, menor volume e custo, mas mais indutores com maior indutância. O DAB torna-se ideal quando é necessária isolação elétrica (ALHARBI *et al.*, 2019). O IBC pode funcionar como *Buck* ou *Boost*, além de poder atuar em múltiplas etapas de uma estação de recarga, como no estágio de retificação trifásico (utilizando 3 blocos em paralelo), para gerenciamento de baterias, conexão com painéis fotovoltaicos e carregamento de veículos elétricos. É possível montar uma estação somente com IBCs caso tenha um transformador conectado à rede (PINTO *et al.*, 2019). Observa-se na Figura 1 a topologia do IBC, estando entre o barramento DC e o pack de baterias do veículo elétrico.

O conversor IBC reduz a oscilação da corrente e tensão de saída em relação ao número de braços, visto que as resistências dos indutores e transistores estão em paralelo. Isto é demonstrado pela equação (1), onde f_{ondul} é a frequência de ondulação, Nf o número de braços e f_{ch} a frequência de comutação (MAYER, 2014).

$$f_{ondul} = Nf * f_{ch} \quad (1)$$

Considerando que a corrente média de cada indutor é 1/3 da corrente de saída, é possível dimensioná-los a partir da equação (2), esta que é válida tanto para o modo Boost quanto Buck, já que compartilham o mesmo indutor; em que V_o é a tensão de saída, δ a razão cíclica e ΔIL_o a variação corrente de saída. Para o cálculo do capacitor no modo Buck ou Boost, usam-se as equações, respectivamente, (3) e (4), onde I_{cc} é a corrente de saída da estrutura e ΔV_{cc} é a variação da tensão do capacitor de saída. A diferença no cálculo deve-se ao fato que são capacitores diferentes e em posições diferentes (MAYER, 2014).

$$L_{1,2,3} = \frac{V_o * (1 - \delta)}{Nf * \Delta IL_o * f_{ch}} \quad (2) \quad C_L = \frac{V_o * (1 - \delta)}{72 * L_1 * \Delta V_o * f_{ch}^2} \quad (3) \quad C_H = \frac{I_{cc} * (1 - \delta)}{3 * \Delta V_{cc} * f_{ch}} \quad (4)$$

RESULTADOS

A potência do conversor é 50 kW, com tensão no barramento de 450 V e 400 V para o pack de baterias. Capacitores de 50 μ F e 33,33 μ F foram utilizados para o *Boost* e *Buck*,

respectivamente, com 3 indutores de $50 \mu\text{H}$ para ambos os casos. Para o modo *Boost*, a resistência de saída modelada foi de $4,05 \Omega$, utilizando 111,11 A de corrente de carga; enquanto para o modo *Buck* $3,2 \Omega$, utilizando 125 A de corrente de carga. As frequências utilizadas foram 10 kHz para o modo *Boost* e 15 kHz para *Buck*. Os valores de capacitores podem ser alterados de acordo com as possibilidades do projeto, envolvendo as características da bateria.

A simulação do *Boost* pode ser observada na Figura 2 a), onde a corrente e tensão de saída apresentaram os valores desejados com baixa oscilação. A realização do *Buck* envolveu o projeto de um controlador PI para manter a corrente no valor desejado. A corrente e tensão de saída podem ser observados na Figura 2 b), onde os respectivos valores foram obtidos com baixa oscilação. Uma redução no valor do capacitor resultou em uma distorção no sinal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram comparados dois tipos comuns de conversores CC-CC. O conversor escolhido para estudo foi o IBC. As modelagens matemáticas para projetos puderam ser avaliadas e uma topologia de estação de recarga envolvendo múltiplos conversores do mesmo tipo. A tensão de saída apresentou baixa ondulação em ambos os casos, onde a potência desejada de 50 kW foi obtida com corrente de 111,11 A e 125 A na operação *Boost* e *Buck*, respectivamente.

Palavras-chave: conversores estáticos; estações de recarga; eletrificação; baterias.

ILUSTRAÇÕES

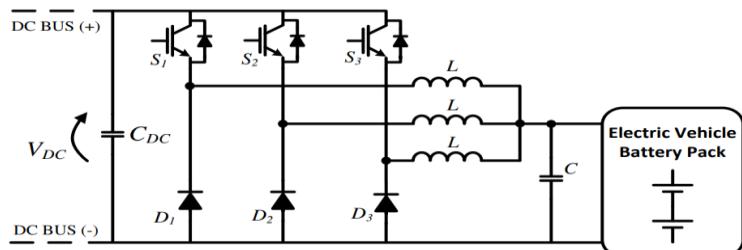


Figura 1. Topologia do IBC

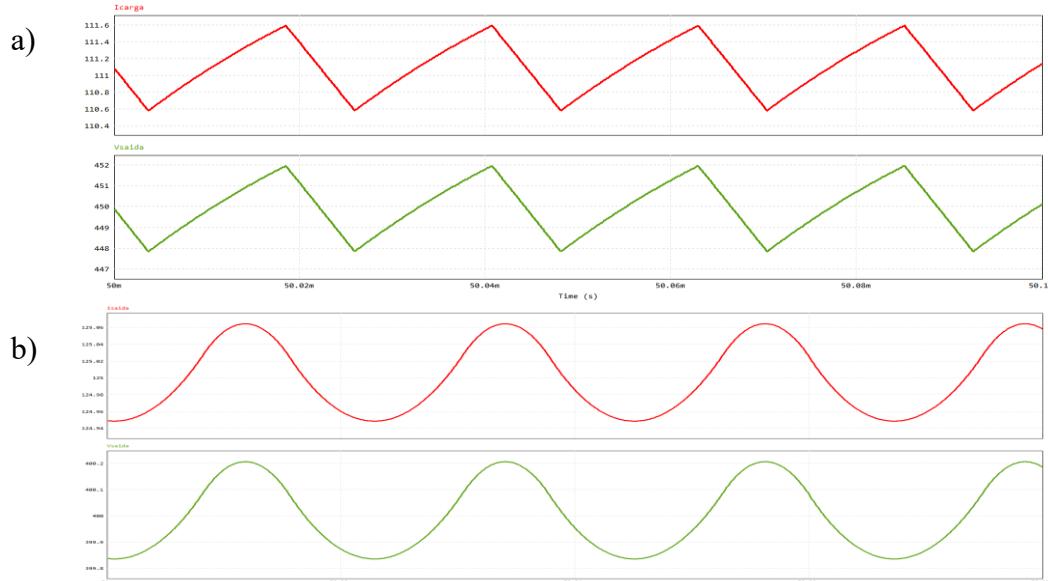


Figura 2. Formas de onda de saída no IBC; a) operação *Boost*; b) operação *Buck*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHARBI, Mohammed *et al.* Comparison of SiC-based DC-DC modular converters for EV fast DC chargers. **2019 IEEE International Conference On Industrial Technology (Icit)**, Nova York, fev. 2019. IEEE.
- MAYER, Robson. **CONVERSOR CC-CC MULTIFÁSICO BIDIRECIONAL EM CORRENTE NÃO ISOLADO APLICADO A SISTEMAS ELÉTRICOS DE TRAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS LEVES**. 2014. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2014.
- PINTO, J. G. *et al.* Power Electronics Converters for an Electric Vehicle Fast Charging Station with Storage Capability. **Lecture Notes Of The Institute For Computer Sciences, Social Informatics And Telecommunications Engineering**, [S.L.], p. 119-130, 2019. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-12950-7_10.
- SHAHED, Md. Tanvir; RASHID, A.B.M. Harun-Ur. Battery charging technologies and standards for electric vehicles: a state-of-the-art review, challenges, and future research prospects. **Energy Reports**, [S.L.], v. 11, p. 5978-5998, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2024.05.062>.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: João Gabriel Vargas de Souza

MODALIDADE DE BOLSA: PIBIC/CNPq

VIGÊNCIA: 09/24 a 08/25 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Sérgio Vidal Garcia Oliveira

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: DEE

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias / Engenharia Elétrica

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Desenvolvimento de conversores estáticos aplicáveis em estações de recarga de veículos elétricos - Parte 2

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP3244-2022