

## 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 isolamento elétrico (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,  $\delta$  a razão cíclica e  $\Delta I L_o$  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  $\Delta V_{cc}$  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).

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

### 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  $\mu F$  e 33,33  $\mu F$  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.

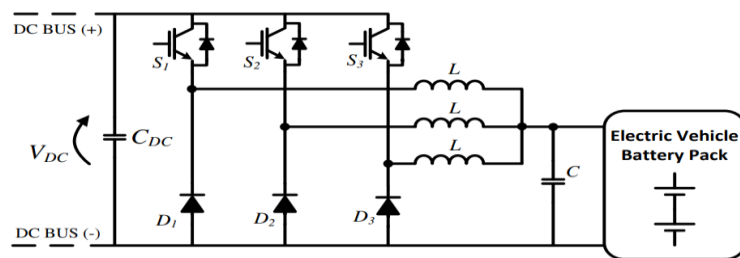
A simulação do *Boost* pode ser observada na Figura 2 a), onde a corrente e tensão de saída apresentaram os valores desejados com baixa oscilação. A realização do *Buck* envolveu o projeto de um controlador PI para manter a corrente no valor desejado. A corrente e tensão de saída podem ser observados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

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

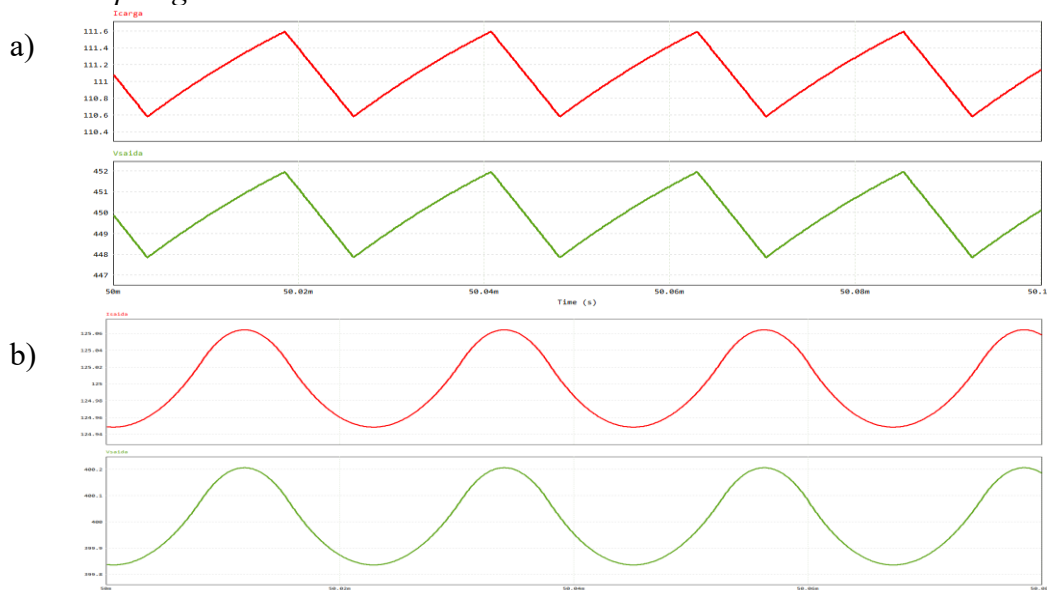
Foram comparados dois tipos comuns de conversores CC-CC. O conversor escolhido para estudo foi o IBC. As modelagens matemáticas para projetos puderam ser avaliadas e uma topologia de estação de recarga envolvendo múltiplos conversores do mesmo tipo. A tensão de saída apresentou baixa ondulação em ambos 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 TRACÇÃO 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](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