



Análise do Conversor CC-CC Ponte Completa *Interleaved* para Aplicação em um Carregador de Baterias de Íon Lítio

Analysis of Interleaved Full-Bridge DC-DC Converter for Lithium- Ion Battery Charger Application

Wesley Alves de Oliveira *, Carlos Henrique Illa Font †

RESUMO

Carregador de baterias de íon lítio devem fornecer correntes elevadas para que o carregamento rápido das baterias aconteça. Sendo assim, a escolha dos conversores que compõem o carregador de baterias deve ser muito criteriosa para que o projeto final resulte em um carregador de baterias robusto, de elevado rendimento e de baixos peso e volume. Este artigo apresenta uma análise do conversor CC-CC Ponte Completa *Interleaved* operando com dois módulos e sua comparação com o conversor CC-CC Ponte Completa com aplicação em um carregador de baterias para um banco de bateria de 72 V e 62,5 A. Pelos resultados obtidos através dos cálculos realizados, foi possível concluir que o circuito que possui o método *interleaved* apresenta menores perdas nos componentes, mesmo com um maior número de componentes. Embora o custo do *interleaved* seja maior, justifica-se o seu uso por elevar o rendimento e melhorar a confiabilidade do carregador de baterias.

Palavras-chave: Baterias de íon lítio, Carregador de baterias, Conversor CC-CC, *Interleaved*, Ponte completa.

ABSTRACT

Lithium-ion battery chargers must provide high currents for fast charging of batteries packs. Therefore, the choice of converters that make up the battery charger must be very careful so that the final project results in a robust battery charger, with high efficiency and low weight and volume. This article presents a comparative analysis of the Interleaved DC-DC Full Bridge converter operating with two modules and the DC-DC Full Bridge converter with application in a battery charger for a 72 V / 62.5 A battery bank. From the results obtained through the calculations performed, it is possible to conclude that the circuit that has the interleaved method presents lower losses, even with a larger number of components. Although the cost of interleaved is higher, its use is justified because it increases the efficiency and improves the reliability of the battery charger.

Keywords: Battery charger, DC-DC converter, Full-bridge, Interleaved, Lithium-ion batteries.

* Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil; wesley.2018@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa; illafont@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

As baterias de íon lítio têm inúmeras vantagens em relação às baterias de chumbo-ácido, tais como maior densidade de potência, maior densidade de energia, excelente retenção de carga, desempenho muito bom em baixas temperaturas, elevado número de ciclos de carga e elevada profundidade de descarga (Illa Font, 2019). Adicionalmente, as baterias de íon lítio podem ser carregadas com valores de corrente acima do valor nominal, permitindo um carregamento rápido.

Do ponto de vista do carregador de baterias, é exigido que o mesmo tenha capacidade de fornecer correntes elevadas para que o carregamento rápido das baterias aconteça. Sendo assim, a escolha dos conversores que compõem o carregador de baterias deve ser muito criteriosa para que o projeto final resulte em um carregador de baterias robusto, de elevado rendimento e de baixos peso e volume (Simão, 2001).

Uma possível solução para o conversor CC-CC de um carregador de baterias é a utilização de conversores CC-CC modulares com entrada em paralelo e saída em paralelo (do inglês IPOP – *input parallel output parallel*) (Pagliosa, 2018). Pela conexão em paralelo, tanto na entrada quanto na saída, estes conversores podem trabalhar com níveis maiores de corrente, pois há a divisão de corrente entre os módulos. Como vantagem, os conversores modulares IPOP apresentam a facilidade de expansão, produção em série e aumento da confiabilidade. Como desvantagens pode-se citar o aumento do número de componentes e a necessidade de equilíbrio de potência entre os módulos (Pagliosa, 2018).

Uma alternativa para garantir o equilíbrio de potência entre os módulos é empregar uma modulação do tipo *interleaving* (Miwa, 1992), defasando os pulsos de comando de cada conversor (ou cada módulo) segundo a relação $360^\circ/N$, onde N representa o número de conversores (ou de módulos).

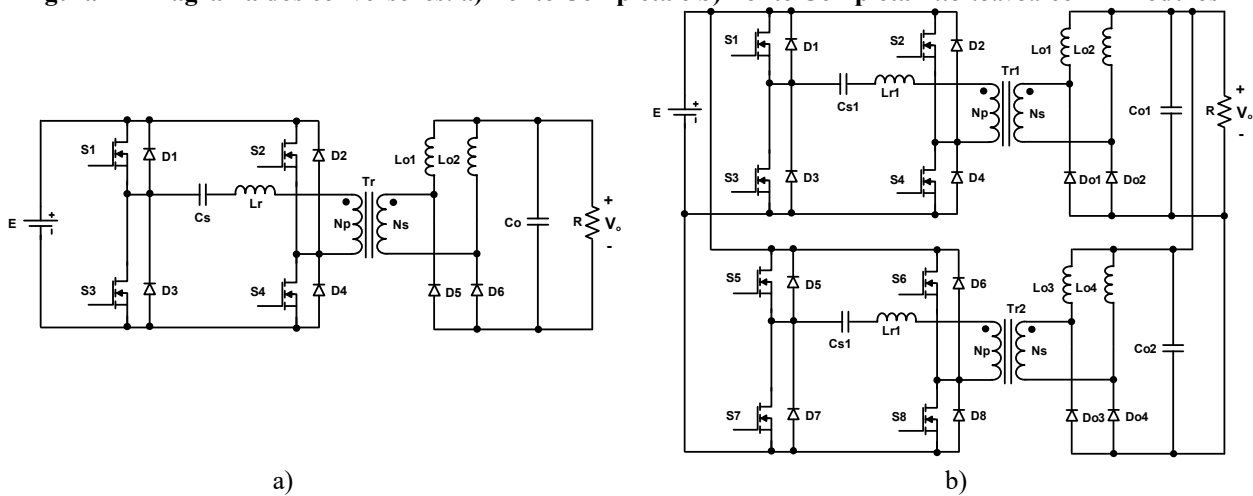
Este artigo apresenta uma análise do conversor CC-CC Ponte Completa *Interleaved* operando com dois módulos e sua comparação com o conversor CC-CC Ponte Completa com aplicação em um carregador de baterias para um banco de bateria de 72 V e 62,5 A.

2 CONVERSOR CC-CC PONTE COMPLETA *INTERLEAVED*

A Fig. 1 apresenta as topologias dos conversores CC-CC Ponte Completa (Fig. 1 a)) e Ponte Completa *Interleaved* com dois módulos (Fig. 1 b)). O lado primário do conversor emprega quatro transistores enquanto no lado secundário optou-se por utilizar o retificador dobrador de corrente, que é composto por dois diodos e dois indutores (Balogh, 1994; Gerardi, 2001; Kutkut, 1997; Lim, 2005). Este retificador é mais adequado para especificações de projeto com baixa tensão de saída e elevada corrente por permitir a divisão natural de corrente entre os diodos e os indutores de saída.

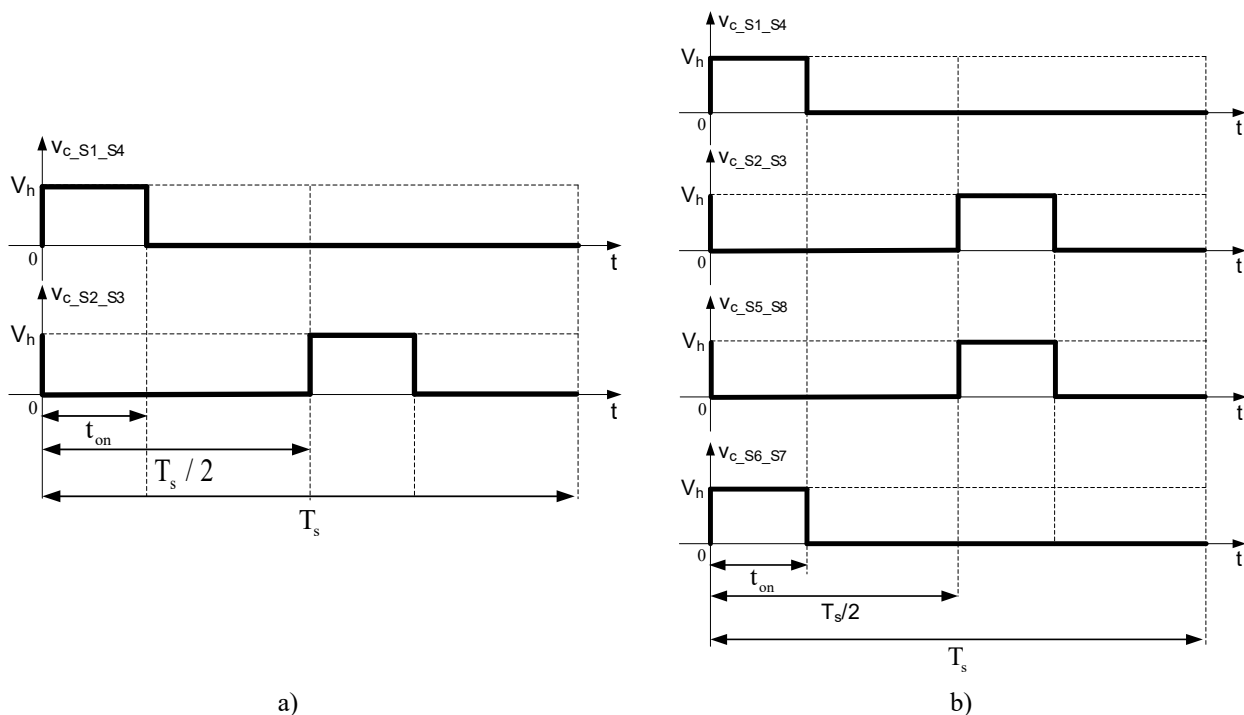
Na Fig. 2 apresenta-se os pulsos de comando dos transistores dos conversores CC-CC Ponte Completa (Fig. 2 a)) e Ponte Completa *Interleaved* com dois módulos (Fig. 2 b)). Para a correta operação com a modulação *interleaved*, deve-se defasar os pulsos de comando do segundo conversor de 180° em relação ao primeiro conversor. Para efeito de análise do funcionamento dos conversores, tanto o conversor Ponte Completa quanto o conversor Ponte Completa *Interleaved* apresentam seis etapas de operação, que não serão apresentadas por síntese das informações.

Figura 1 – Diagrama dos conversores: a) Ponte Completa e b) Ponte Completa *Interleaved* com 2 módulos



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 2 – Pulsos de comando dos transistores: a) Ponte Completa e b) Ponte Completa *Interleaved* com 2 módulos



Fonte: Autoria própria (2021).

3 PROJETO DOS CONVERSORES

Os conversores foram projetados considerando as especificações de projeto apresentadas na Tab. 1. Considerou-se que na saída tem-se a associação de seis baterias de 12 V em série, ou seja, 72 V (80 V máximo).

Com as especificações de projeto apresentadas na Tab. 1 projetou-se os conversores (Oliveira, 2001) e dimensionou-se os componentes que estão resumidos nas Tab. 2 e Tab. 3.



Tabela 1 – Especificações de projeto

Especificação	Valor
Tensão de entrada	400 V
Tensão de saída	80 V
Corrente de saída	62,5 A
Potência de saída	5000 W
Frequência de comutação	40 kHz

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 2 – Componentes dimensionados para o conversor ponte completa

Componente	Especificação	Características
Transistor	IPW65R019C7	650 V / 62 A / 19 mΩ
Diodo	DSEI60-06A	600 V / 60 A
Indutor de saída (*)	Núcleo: EE 65/33/26 IP12R	240 μH / 31,25 A
	Número de espiras: 26	
	Entreferro 3,8 mm	
Capacitor de saída	Fio condutor: 17 x 21 AWG	10 μF / 250 V / Filme
	B32524R3106	

(*) Projetou-se dois indutores de 120 μH cada.

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 3 – Componentes dimensionados para o conversor ponte completa interleaved

Componente	Especificação	Características
Transistor	IPW65R019C7	650 V / 62 A / 19 mΩ
Diodo	DSEI60-06A	600 V / 60 A
Indutor de saída	Núcleo: EE 65/33/26 IP12R	480 μH / 15,62 A
	Número de espiras: 26	
	Entreferro 0,94 mm	
Capacitor de saída	Fio condutor: 9 x 21 AWG	10 μF / 250 V / Filme
	B32524R3106	

Fonte: Autoria própria (2021).

4 ANÁLISE COMPARATIVA

A análise comparativa será realizada considerando as figuras de mérito perdas e rendimento. Para cálculo das perdas utilizou-se a metodologia de cálculo apresentada em (Barbi, 2014).

A Tab. 4 apresenta o resultado do cálculo de perdas para os dois conversores considerados, na potência nominal. Observa-se que, embora empregue mais componentes, o conversor Ponte Completa *Interleaved* apresenta menores perdas, com uma redução de aproximadamente 15%.

Tabela 4 – Perdas nos componentes dos conversores ponte completa e ponte completa interleaved

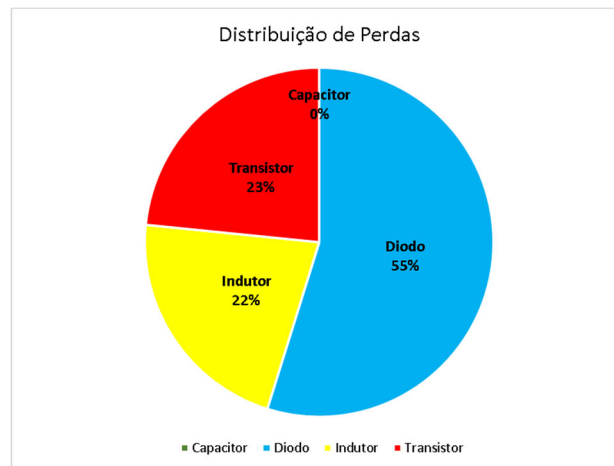
Componente	Ponte Completa	Ponte Completa Interleaved
Transistores	40,035 W	34,097 W
Diodos	63,759 W	93,768 W
Indutores de saída	37,259 W	17,933 W
Capacitor de saída	5,540 mW	4,991 mW
Total	171,058 W	145,804 W

Fonte: Autoria própria (2021).



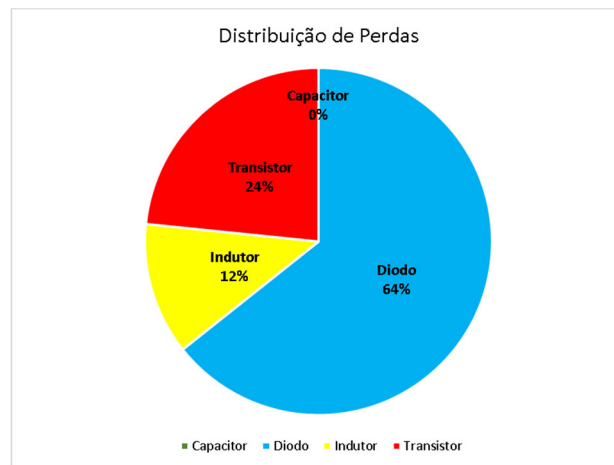
Os gráficos de distribuição das perdas para os conversores Ponte Completa e Ponte Completa *Interleaved* são apresentados nas Fig. 3 e Fig. 4, respectivamente. Observa-se que os diodos são os componentes que apresentam maiores perdas em ambos os conversores.

Figura 3 – Gráfico de distribuição de perdas para o conversor Ponte Completa



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 4 – Gráfico de distribuição de perdas para o conversor Ponte Completa *interleaved*



Fonte: Autoria própria (2021).

Considerando os cálculos realizados e, desprezando-se outras fontes de perdas, estima-se que em potência nominal o conversor Ponte Completa irá apresentar um rendimento de aproximadamente 96,7% e o conversor Ponte Completa *interleaved* um rendimento de aproximadamente 97,2%.

5 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos através dos cálculos realizados, foi possível concluir que o circuito que possui o método *interleaved* apresenta menores perdas nos componentes, mesmo com um maior número de



componentes. Embora o custo do *interleaved* seja maior, justifica-se o seu uso por elevar o rendimento e melhorar a confiabilidade do carregador de baterias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura e pelos recursos disponibilizados para realizar esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BALOGH, Laszlo. **The current-doubler rectifier: an alternative rectification technique for push-pull and bridge converters**. Unirode Design Note DN-63, p. 1-3, 1994.
- BARBI, Ivo. Projeto de fontes chaveadas. 3ª edição. Florianópolis: Edição do Autor, 2014.
- GERARDI, Denise. **Conversor CC-CC para aplicações com elevada tensão de entrada e alta potência**. 2002. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2002.
- ILLA FONT, Carlo Henrique. **Desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de energia para baterias de lítio com equalização de tensão**. 2019. Relatório de Pós-Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2019.
- KUTKUT, Nasser H. A full bridge soft switched telecom power supply with a current doubler rectifier. In: Proceedings of Power and Energy Systems in Converging Markets. **Proceedings**, 1997. p. 344-351.
- LIN, B.-R.; HUANG, Kevin; WANG, David. Analysis and implementation of full-bridge converter with current doubler rectifier. **IEE Proceedings-Electric Power Applications**, v. 152, n. 5, p. 1193-1202, 2005.
- MIWA, Brett A.; OTTEN, David M.; SCHLECHT, M. E. High efficiency power factor correction using interleaving techniques. In: APEC'92 - Seventh Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition. **Proceedings**, 1992. p. 557-568.
- OLIVEIRA, Sérgio Vidal Garcia. **Otimização de projeto de fontes de alimentação para centrais de telecomunicações**. 2001. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2001.
- PAGLIOSA, M. A. **Conexão série de conversores modulares: metodologia para análise do auto-equilíbrio das tensões e estudo do conversor Flyback a duas chaves**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2018.
- SIMÃO, Claudenei. **Conversor CC-CC de 6W para aplicações em carregadores de baterias para telecomunicações**. 2001. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2001.