

Conversor estático CC-CC elevador de alto ganho quadruplicador com indutores acoplados e comutação suave

High static gain DC-DC quadrupler converter with coupled-inductors and soft-switching

Leandro de OrteStamm

leandro.orts@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Roger Gules

rgules@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Willian Teixeira Luiz

wtl.teixeira@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

RESUMO

Empregados desde a geração fotovoltaica até em sistemas de carros elétricos e fontes ininterruptas de energia, entre outras aplicações, os conversores estáticos CC-CC elevadores de alto ganho vem sendo alvo de diversos estudos visando à elaboração de topologias dos mesmos com maior rendimento e ganho estático. Dentre estas topologias, verifica-se a denominada de conversor quadruplicador, a qual apresenta boas características com baixo número de componentes. O objetivo do presente trabalho relaciona-se com o estudo do conversor quadruplicador e de derivados do mesmo com a inserção de indutores acoplados. Para tanto, inicialmente se realizou um levantamento bibliográfico a respeito do assunto e se desenvolveu de maneira teórica algumas topologias de conversores, as quais tiveram seu funcionamento verificado por meio de programas de simulação, sendo, a seguir, confeccionado um protótipo da estrutura original mais promissora, para tensão de entrada de 30 V, tensão de saída de 432 V e carga nominal de 400 W. Os testes realizados com o protótipo na prática indicaram, conforme esperado, um alto rendimento e ganho estático, bem como a ocorrência do fenômeno conhecido como comutação suave, indicando baixas perdas de comutação.

PALAVRAS-CHAVE: Comutação suave. Conversores estáticos CC-CC elevadores de alto ganho. Indutores acoplados.

ABSTRACT

With applications ranging from photovoltaic generation to systems in electric cars and uninterrupted power supplies, among others, the high static gain DC-DC converters have been the target of several studies aimed at the elaboration of topologies with higher efficiency and static gain. Among these topologies, there is the transformer-less adaptable voltage quadrupler DC converter with low switch voltage stress, which has good characteristics with low number of components. The objective of the present work is related to the study of the quadrupler converter and derivatives with the insertion of coupled-inductors. A bibliographic survey was carried out on the subject and theoretical development of some topologies of converters were done, which had their operation verified by means of simulation programs. A prototype of the most promising original structure was made, for input voltage of 30 V, output voltage of 432 V and nominal load of 400 W. The tests performed with the prototype indicated, as expected, a high efficiency and static gain as well as the occurrence of the phenomenon known as soft-switching, indicating low switching losses.

KEYWORDS: Soft-switching. High static gain DC-DC boost converter. Coupled-inductor.

Recebido: 29 ago. 2018.

Aprovado: 04 out. 2018.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos verifica-se um grande crescimento na aplicação de conversores estáticos CC-CC, o que se deve tanto a avanços tecnológicos na produção de componentes eletrônicos quanto ao desenvolvimento e atenção que se dá a áreas correlatas a de sua utilização. Os conversores estáticos CC-CC elevadores de alto ganho são um exemplo do comentado, empregados desde na geração fotovoltaica até em sistemas de carros elétricos e fontes ininterruptas de energia, entre outras aplicações (SCHWAMBACH; ORSI; GULES, 2017).

Diversas técnicas foram desenvolvidas e topologias propostas relacionadas aos conversores estáticos CC-CC elevadores de alto ganho, visando um alto ganho estático e rendimento com baixos esforços elétricos. Dentre estas topologias, a denominada de conversor quadruplicador (PAN; CHUANG; CHU, 2014), não isolada apresenta boas características com um pequeno número de componentes. Outras topologias relacionadas ao conversor quadruplicador adicionando-se indutores acoplados foram criadas (CHEN; LU; LIANG, 2018; SCHWAMBACH; ORSI; GULES, 2017), permitindo aumentar o ganho estático e diminuir as perdas na comutação.

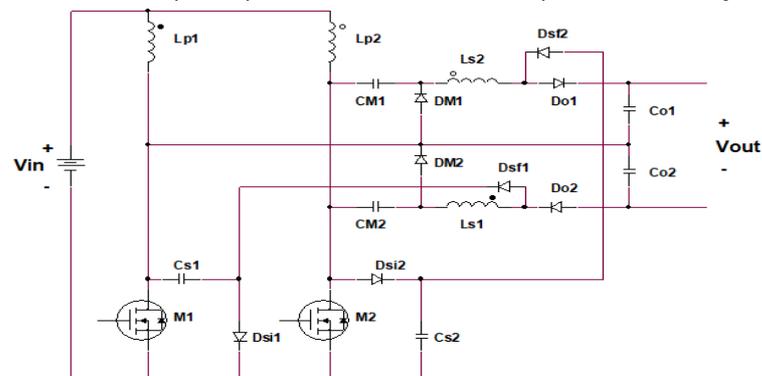
A diminuição nas perdas de comutação possibilita que se aplique maiores frequências de chaveamento e, conseqüentemente, elementos magnéticos de menor volume, o que pode ser interessante para produtos comerciais.

Assim sendo, estudou-se a respeito do conversor quadruplicador e de derivados com a inserção de indutores acoplados, visando à obtenção de uma nova topologia com alto ganho estático, elevado rendimento e com baixas perdas de comutação.

METODOLOGIA

Com base no levantamento bibliográfico realizado, elaboraram-se novas configurações de conversores, testadas por meio de análises teóricas e simulações por programas computacionais (PSIM, OrCAD Lite). Dentre as configurações originais obtidas, uma baseada em certa topologia derivada da quadruplicadora com indutores acoplados (SCHWAMBACH; ORSI; GULES, 2017) apresentou bom desempenho nos testes realizados, sendo a mesma retratada pela Figura 1.

Figura 1 – Conversor quadruplicador com indutores acoplados e comutação suave



Fonte: Autoria própria (2018).

Essa nova topologia, a qual se denomina conversor quadruplicador com indutores acoplados e comutação suave, foi concebida de forma a se reduzir ainda mais as perdas por chaveamento. Os indutores acoplados presentes, tanto na nova estrutura quanto na que serviu como base, acabam limitando a derivada de corrente na entrada em condução (*zero currents witching*, ZCS).

A adição de dois capacitores que possam ficar em paralelo às chaves quando elas bloqueiam juntamente com uma estrutura de ressonância para a descarga deles, o que é observado na Figura 1 pelos capacitores Cs1 e Cs2 em conjunto com os diodos Dsi1, Dsi2, Dsf1 e Dsf2, permite que se limite também a derivada de tensão no bloqueio das chaves (*zero voltages witching*, ZVS). Essas duas características, relacionadas ao fenômeno conhecido como comutação suave, levam a redução das perdas de comutação.

A equação (1) apresenta o ganho estático simplificado dessa nova configuração em função da razão cíclica (D) e da relação de espiras entre primário e secundário dos indutores (n). Um protótipo dela foi confeccionado, conforme os parâmetros expostos na Tabela 1 e os componentes indicados na Tabela 2.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{4 + n \cdot (1 + D)}{1 - D} \tag{1}$$

Tabela 1 – Especificações para o protótipo

Parâmetro	Valor
Tensão de entrada (V_{in})	30 V
Tensão de saída (V_{out})	432 V
Ganho estático (V_{out}/V_{in})	14,4
Potência nominal	400 W
Frequência de chaveamento nominal	60 kHz
Relação entre indutores acoplados (n)	2

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 2 – Componentes aplicados na construção do protótipo

Elemento	Componente
M1 e M2	IRFP4668
DM1, DM2, Do1, Do2 e Dsf1	MUR860
Dsi1, Dsi2 e Dsf2	MBR20200CT
Lp1 e Lp2	100 μ H / Np = 29 voltas
Ls1 e Ls2	400 μ H / Ns = 58 voltas
Núcleo magnético	Núcleo EE42/20 – Thornton
Indutância de dispersão	1 μ H
Cs1 e Cs2	18 nF
Co1 e Co2	100 μ F
CM1 e CM2	4,7 μ F

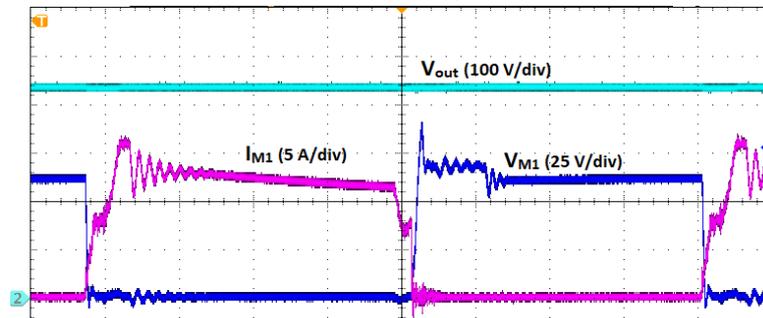
Fonte: Autoria própria (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes realizados no protótipo construído confirmaram a validade da equação (1), indicando que a topologia em questão apresenta um alto ganho estático uma vez que mesmo para um valor de razão cíclica não muito elevado, próximo aos 0,5, a tensão que se obteve na saída foi bem maior, mais de quatorze vezes, em relação à de entrada.

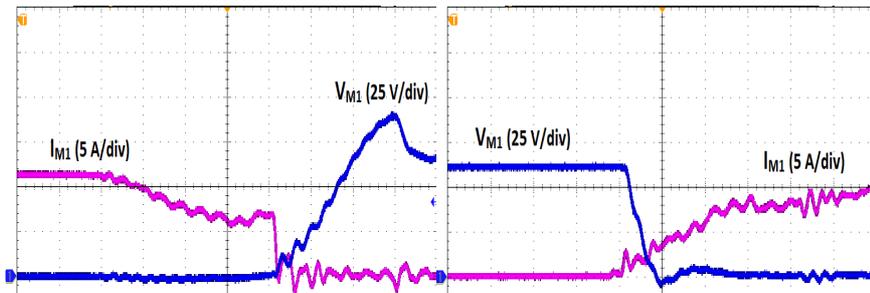
As Figuras 2 e 4 apresentam a tensão e corrente nas chaves M1 e M2, respectivamente, juntamente com a tensão de saída. Pode-se notar que as tensões nas chaves são bem inferiores a de saída. As ilustrações na esquerda das Figuras 3 e 5 mostram a comutação de bloqueio das chaves M1 e M2, nessa ordem, indicando característica de chaveamento ZVS. As ilustrações na direita das Figuras 3 e 5 mostram a comutação de condução das chaves M1 e M2, respectivamente, indicando característica de chaveamento ZCS.

Figura 2 – Tensão e corrente na chave M1 em conjunto com a tensão de saída (2 μ s/div)



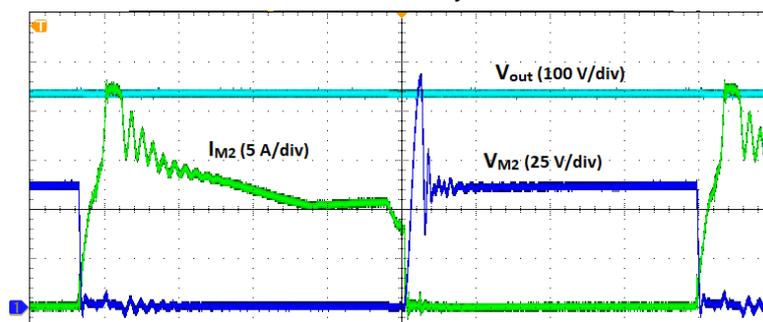
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 3 – Bloqueio (esquerda) e condução (direita) para a chave M1 (100 ns/div)



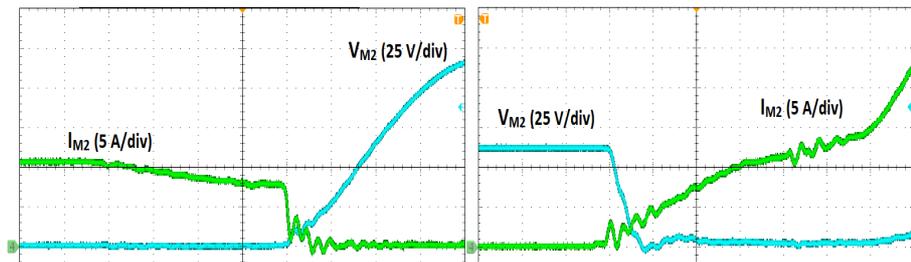
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 4 – Tensão e corrente na chave M2 em conjunto com a tensão de saída (2 μ s/div)



Fonte: Autoria própria (2018).

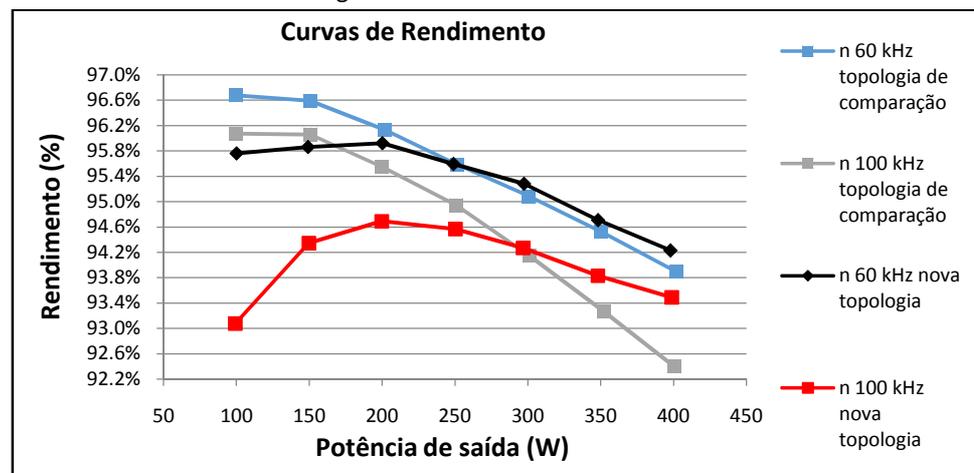
Figura 5 – Bloqueio (esquerda) e condução (direita) para a chave M2 (100 ns/div)



Fonte: Autoria própria (2018).

A Figura 6 apresenta curvas de rendimento para a nova topologia proposta (curva preta para 60 kHz e vermelha para 100 kHz) em conjunto com curvas de comparação (curva azul para 60 kHz e verde para 100 kHz) da topologia que serviu de base para ela. Ao se aumentar a frequência do chaveamento nota-se uma queda de rendimento nas duas topologias, a qual é devida ao aumento das perdas nos indutores e às perdas de comutação, entretanto essa queda é menos acentuada em maiores potências na nova topologia, o que é decorrente dela apresentar comutação suave. Para uma mesma frequência, percebe-se que o rendimento no valor nominal de potência (400 W) para a nova topologia é superior.

Figura 6 – Curvas de rendimento



Fonte: Autoria própria (2018).

CONCLUSÕES

Visando a obtenção de uma nova topologia de conversor estático CC-CC de alto ganho não isolado, baseado na configuração conversor quadruplicador, com elevado rendimento e com baixas perdas de comutação, realizaram-se diversos estudos que culminaram na obtenção da topologia denominada conversor quadruplicador com indutores acoplados e comutação suave, a qual foi apresentada e discutida pelo presente trabalho.

Essa nova topologia se sobressai por apresentar limitação tanto na derivada de corrente na entrada em condução (característica ZCS) quanto na derivada de tensão no bloqueio (característica ZVS) das chaves, o que indica que a mesma



possui comutação suave e, com isso, baixas perdas de comutação, propiciando sua aplicação com maiores frequências de chaveamento.

REFERÊNCIAS

CHEN, Y. T.; LU, Z. X.; LIANG, R. H. Analysis and Design of a Novel High-Step-Up DC/DC Converter with Coupled Inductors. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 33, n. 1, p. 425-436. 2018.

FOROUZESH, M.; SIWAKOTI, Y. P.; GORJI, S. A.; BLAABJERG, F.; LEHMAN, B. Step-up DC–DC converters: a comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 32, n. 12, p. 9143-9178. 2017.

PAN, C. T.; CHUANG, C. F.; CHU, C. C. A novel transformer-less adaptable voltage quadrupler DC converter with low switch voltage stress. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 29, n. 9, p. 4787-4796. 2014.

SCHWAMBACH, M.; ORSI, G. C.; GULES, R. A high static gain DC-DC-quadrupler converter with coupled-inductors. **Power Electronics Conference (COBEP), 2017 Brazilian**. IEEE, p. 1-6. 2017.