

CONVERSOR BOOST BRIDGLESS UTILIZADO PARA ACIONAR LEDs DE POTÊNCIA

ZITO PALHANO DA FONSECA¹

¹Ms. Professor Assistente, UEPG, Ponta Grossa-PR, zpfonseca@uepg.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Este trabalho propõe um conversor *Boost* de estágio único e elevada correção de fator de potência (CFP), sem ponte retificadora acoplado a um conversor meia ponte que aciona LEDs de potência através de um retificador meia onda e sem a utilização de capacitores eletrolíticos no barramento CC. A correção do fator de potência é obtida através de um indutor *Boost* operando em Modo de Condução Descontínua (MCD) conectado entre o estágio inversor e o estágio dobrador. Os LEDs são alimentados com corrente contínua, fornecida por uma ponte retificadoras meia onda conectada entre o ponto médio do estágio inversor e o terra do circuito. Este circuito possui a limitação de apenas operar com tensão de entrada de 127V eficaz, devido a sua característica dobradora. Resultados são apresentados para validar a metodologia de projeto proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Estágio único, meia onda, meia ponte, LED de potência.

BOOST BRIDGLESS CONVERTER USED TO ACTUATE POWER LEDs

ABSTRACT This paper proposes a single-stage Boost converter and high power factor correction (CFP), without a bridge rectifier coupled to a half-bridge converter that drives power LEDs through a half-wave rectifier and without the use of electrolytic capacitors in the DC bus. The power factor correction is obtained through a Boost inductor operating in Discontinuous Conduct Mode (MCD) connected between the inverter stage and the folder stage. The LEDs are DC powered, supplied by a half wave rectifier bridge connected between the midpoint of the inverter stage and the circuit ground. This circuit has the limitation of only operating with input voltage of 127V effective, due to its characteristic bender. Results are presented to validate the proposed project methodology.

KEYWORDS: Single stage, half-wave, half-bridge, power LED.

INTRODUÇÃO

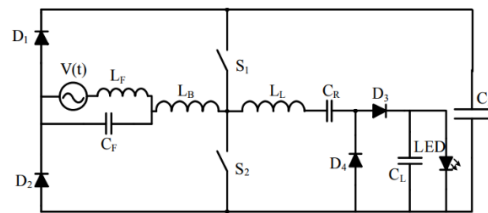
Em aplicações de baixa potência, onde sistemas de iluminação se destacam, atualmente são responsáveis por cerca de 19% de todo o consumo global da energia elétrica. Neste contexto sistemas de iluminação artificial que utilizam LEDs são amplamente utilizados em aplicações como sinais de trânsito, painéis arquitetônicos e iluminação interna de veículos. No entanto os LEDs em aplicações de iluminação de ambientes públicos, comerciais e domésticos vêm ocupando espaço e podendo competir com as lâmpadas convencionais, como as incandescentes, fluorescentes ou de vapor de sódio, possuindo vantagens em relação a elas, como durabilidade, reprodução de cor, não emissão de ultravioleta, robustez a choques mecânicos e eficiência (Crawford, H. M., 2008). Para que não haja perdas do fluxo luminoso nos LEDs, é necessário um sistema de alimentação que forneça uma corrente com pouca ondulação para a carga. De acordo com a recomendação IEEE 1789 de 2015, para sistemas que operam com frequência após o retificador de até 120Hz, para que não haja riscos à saúde humana os LEDs devem possuir um *flicker* máximo de 10% de corrente. Os LEDs, assim como as principais lâmpadas convencionais, fora as incandescentes, necessitam de um circuito para o controle da corrente que flui entre seus terminais. Geralmente, o circuito para acionar e estabilizar a corrente de um LED é conversor chaveado, assim como, *Buck*, *Flyback* e *SEPIC* (Britto, J. R., 2008 e Chiu, H. J., 2010). Geralmente os conversores clássicos, para reduzir a ondulação de tensão e corrente para a carga necessitam de capacitores eletrolíticos. Estes capacitores tendem a possuir valores mais elevados de capacitâncias e uma vida útil

reduzida, pois são expostos a níveis elevados de corrente eficaz. Segundo (Maddula, S. K, 2005), quanto maior for a capacitância e a tensão de operação de um capacitor, menor será a sua vida útil. Para resolver o problema de elevadas capacitâncias no barramento CC pode-se utilizar conversores de estágio único. As principais soluções encontradas na literatura relacionadas a conversores de estágio único, utilizam como base conversores *boost* e *buck-boost* operando em modo de condução descontínua ou crítica, isolados e não-isolados. Conversores de estágio único isolados possuem rendimento final em torno de 91% (Ma H, 2016 e Wang, Y, 2015). Já conversores de estágio único, onde não se utiliza transformador para adequar tensão e corrente para alimentar LEDs estão sendo desenvolvidos (Fonseca, Z. P, 2016). Nestas topologias é possível entregar a carga uma corrente contínua, com poucas ondulações e obter rendimento final acima de 92%. Para conversores chaveados utilizados em sistemas iluminação, quando energizados através de uma alimentação CA é necessário satisfazer a norma IEC 61000- 3-2 classe C. A topologia proposta apresenta características de funcionamento que reduzem o valor dos capacitores de barramento para valores menores que 50 μ F.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a topologia proposta, esta estrutura possui características de funcionamento que reduzem o valor dos capacitores de barramento, podendo utilizar capacitores de polipropileno. Essa estrutura também apresenta elevado Fator de Potência (FP) e pouca ondulação na carga. O indutor L_B realiza a conexão do estágio inversor de saída com o estágio de entrada, ativando a correção do fator de potência do sistema. O indutor L_L limita a corrente para os LEDs. O capacitor C_R tem a função de impedir a circulação de componentes CC. Como a corrente de L_L depende da tensão do capacitor C_B , sua forma é uma triangular simétrica. Para obter uma corrente contínua nos LEDs, é utilizado um retificador meia onda com filtro capacitivo.

Figura 1. Topologia proposta.

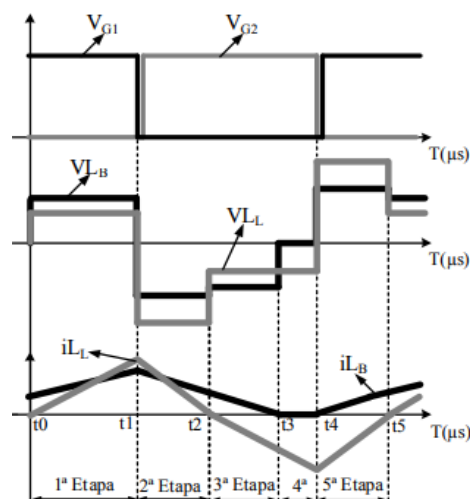


Para demonstrar o princípio de funcionamento do conversor proposto, as seguintes situações serão consideradas:

- A frequência de comutação f_s é muito maior que a frequência da rede $f_{60\text{Hz}}$. Assim, a tensão de entrada $v(t)$ e a tensão do capacitor $V_{CB}(t)$ e serão consideradas constantes;
- As etapas serão apresentadas para o semiciclo positivo da rede;

A Figura 2 apresenta as formas de ondas ideais do conversor proposto em regime permanente.

Figura 2. Formas de ondas teóricas das etapas de operação.



Modelo Matemático Do Conversor

O modelo matemático do conversor será realizado durante a máxima transferência de energia da rede, isto é, durante a tensão de pico $v(t)$. A tensão no capacitor C_R é expressa pela equação (1).

$$V_{C_R}(t) = \frac{V_B - V_{LED}}{2} \quad (1)$$

Onde:

$V_{C_R}(t)$ - Tensão no capacitor C_R .

V_B - Tensão de barramento.

V_{LED} - Tensão nos LEDs.

A. Indutor L_B

Através das etapas de operação do conversor pode-se observar os intervalos de tempo e as correntes de L_B e, portanto, é possível calcular o indutor L_B e a equação (2) representa seu valor através das etapas de operação.

$$L_B = \frac{(1-\alpha)^2 V_P}{2,5 I_{LED} f_s} \left[-2 - \frac{\pi}{\alpha} + \frac{2}{\alpha \sqrt{1-\alpha^2}} \left(\frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left(\frac{\alpha}{\sqrt{1-\alpha^2}} \right) \right) \right] \quad (2)$$

Onde: f_s - Frequência de chaveamento. V_P - Tensão de pico da entrada.

$\alpha = \frac{v(t)}{V_B}$ - Relação entre tensão de entrada e de barramento.

B. Indutor L_L

Para calcular o indutor L_L utiliza-se a corrente média de $I_{L_L}(t)$. Durante o intervalo de t_0 á t_2 a corrente média no indutor L_L é o dobro da corrente média que circula pela carga, ou seja, $I_{L_L} = 4 I_{LED}$. Desta forma se obtém a equação (3):

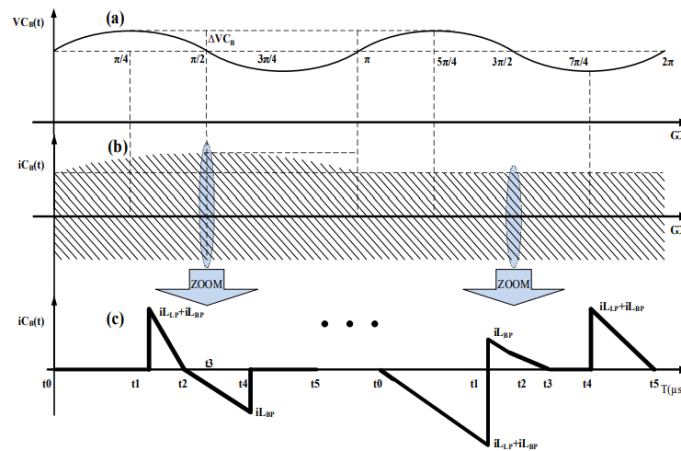
$$L_L = \frac{(V_B - V_{LED})^2}{32 V_B I_{LED} f_s} \quad (3)$$

C. Capacitor C_B

Para o cálculo de C_B se utiliza a análise da Figura 3, onde apresenta as formas de onda relacionadas ao capacitor C_B . Pode-se observar, através da Figura 3(a), que o valor máximo da ondulação da tensão sobre os capacitores Δv_{C_B} ocorre em $\pi/4$ para um ciclo da rede e para o outro ciclo a corrente é constante em todo ciclo, para facilitar a análise e cálculo de C_B será utilizado a primeira forma de onda de i_{C_B} . A equação (4) apresenta o cálculo de C_B na frequência da rede.

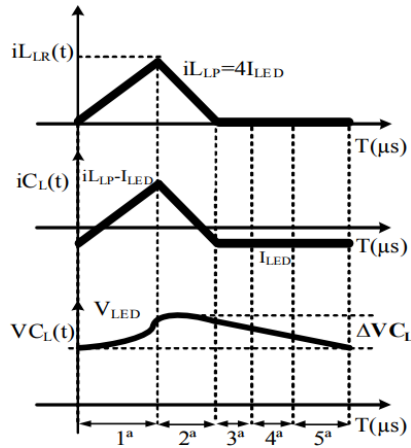
$$C_B = \frac{0,58 V_{LED} (V_B - V_{LED})^2}{32 \pi f_{60Hz} L_L V_B^2 f_s \Delta v_{C_B}} \quad (4)$$

Figura 3. tensão e corrente no capacitor C_B : (a) ondulação de tensão de $V_B(t)$ em 60Hz, (b) corrente $i_{C_B}(t)$ em 60Hz e (c) corrente $i_{C_B}(t)$ na frequência de chaveamento f_s .



D. Capacitor C_L

Figura 4. Formas de ondas teóricas das etapas de operação.



A Figura 4 apresenta as principais formas de onda teóricas do retificador de saída que alimenta os LEDs. Através desta figura é possível observar as formas de onda das correntes $i_{L_{LR}}(t)$, $i_{C_L}(t)$ e a ondulação da tensão do capacitor C_L .

Para o cálculo de C_L é considerada a forma de onda da corrente, onde pode-se observar que no intervalo de t_3 a t_5 sua corrente é igual a I_{LED} , desta forma a equação (5) é utilizada para seu projeto.

$$C_L = \frac{I_{LED}}{2f_s \Delta v_{C_L}} \quad (5)$$

E. Capacitor C_R

Sabendo que a corrente sobre o capacitor C_R é a mesma que circula no indutor L_L , e que a função deste capacitor no conversor é de impedir a circulação de componentes CC, e não é desejável ressonância com L_L . Então é possível calcular seu valor através da equação (6).

$$C_R = \frac{I_{LED}}{f_s \Delta v_{C_R}} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar a metodologia de projeto apresentada, são demonstrados resultados para 35 LEDs conectados em série. A tabela 1 apresenta os dados de projeto do conversor.

Tabela 1. Dados de projeto

Parâmetros	Valor
V_P	180V
f_s	60 kHz
V_B	460 V
I_{LED}	750 mA
V_{LED}	120 V
Δv_{C_B}	10%
Δv_{C_L}	1%
Δv_{C_R}	20%

Utilizando as equações (2), (3), (4), (5) e (6), encontra-se os valores de $L_B=550 \mu H$, $L_L=300 \mu H$, $C_B=15 \mu F$, $C_R=360 \text{ nF}$ e $C_L=5,6 \mu F$. A Figura 5 apresenta a tensão e a corrente fornecida pela fonte de entrada. O fator de potência e a taxa de distorção harmônica são 0,992 e 9,7% respectivamente. A Figura 6 apresenta a tensão e corrente nos LEDs. Através das Figuras 5 e 6 é possível calcular o rendimento da estrutura, que neste caso em torno de 93%. A Figura 7 apresenta a tensão de entrada e tensão de barramento, pode-se observar que a tensão de barramento é superior ao dobro da tensão de entrada e possui valor médio de 460 V, desta forma ativando a CFP.

Figura 5. Tensão de entrada(vermelho) e corrente de entrada (verde).

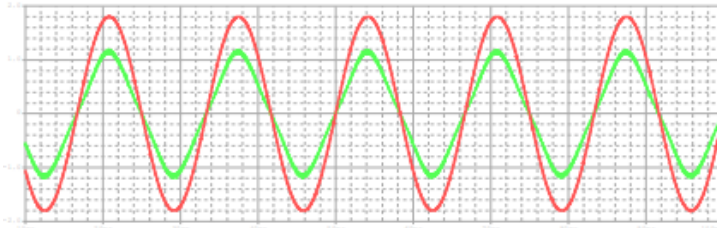


Figura 6. Tensão nos LEDs (Verde) e corrente nos LEDs (vermelho).

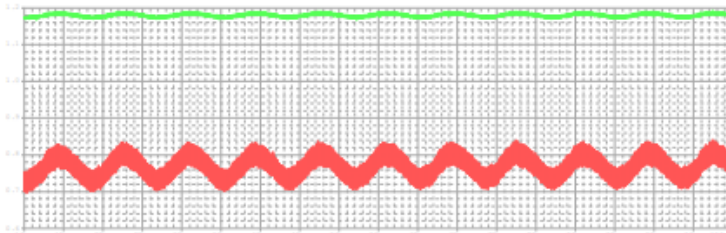
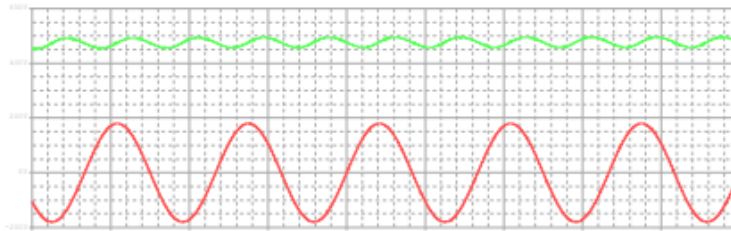


Figura 7. Tensão de barramento (Verde) e tensão de entrada (vermelho).



CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um conversor Boost sem ponte retificadora acoplado a um inversor meia ponte, que alimenta um retificador meia onda com correção de fator de potência para acionar e controlar LEDs de potência e sem capacitores eletrolíticos. Com número reduzido de componentes, elevado rendimento e taxa de distorção harmônica em conformidade com a norma IEC 61000-3-2 classe C a topologia proposta se apresenta como uma boa alternativa para as aplicações em sistemas de iluminação com LEDs. No entanto essa topologia não é adequada para aplicações onde exigem entrada universal devido sua característica dobradora.

REFERÊNCIAS

- Crawford , H. M. "LEDs for Solid-State Lighting: Performance Challenges and Recent Advances", in IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, v. 15, n. 4, p. 1028-1040. 2009.
- Britto, R. Demian, A. E. Freitas, L. C. Farias, V. J. Coelho, E. A. A. e Vieira, J. B. "A proposal of Led Lamp Driver for universal input using Cuk converter", Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE , v., n., p.2640-2644. 2008.
- Chiu, H. J. Lo, Y. K. Chen, J. T. Cheng, S. J. Lin, C. Y. e Mou, S. C. "A High Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Application", IEEE Trans. on Industrial Electronics, v. 57, n. 2, p. 735-743. 2010.
- Maddula, S. K, E e Balda, J. C, "Life time of electrolytic capacitor in regenerative induction motor drives", in Proc. IEEE Power Electron Spec. Conf., 2005, p. 153-159. 2005.
- Wang, B, X, Ruan, K, Yao and M. Xu. "A method of reducing the peak-to-average ratio of LED current for electrolytic capacitor-less ac-dc drivers". IEEE Trans. Power Electron., v. 25, n. 3, p. 592-601. 2010.
- Ma, H. Lai, J. S. Zheng, C. e Sun, P. "A High-Efficiency Quasi-Single-Stage Bridgeless Electrolytic Capacitor-Free High-Power AC-DC Driver for Supplying Multiple LED Strings in Parallel", in IEEE Transactions on Power Electronics, v. 31, n. 8, p. 5825- 5836. 2016.
- Fonseca, Z. P, Perin, A. J. Agostini Junior, E. e Bitencourt Nascimento, C. "Single-Stage High Power Factor Converters Requiring Low DC-Link Capacitance to Drive Power LEDs", in IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 64, n. 5, p. 3557-3567. 2016