



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CONVERSOR FLYBACK PARA CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DE GRUPOS DE LEDS COM CONTROLE INDEPENDENTE DE ILUMINAÇÃO

João P. S. Cipriani

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria
jpcipriani@gmail.com

Klaus T. Martin

Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica da UFSM
klaustm@gmail.com

Marcelo F. da Silva

Professor do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria
marcelo.ctism@gmail.com

Resumo. Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um conversor Flyback como primeiro estágio em um sistema com dois estágios para alimentação de LEDs com controle independente de luminosidade. O Flyback atua como estágio pré-regulador de fator de potência, sendo responsável pela conexão dos LEDs à rede elétrica alternada conforme a regulamentação vigente. Os resultados experimentais mostram que o conversor tem eficiência de aproximadamente 85% e fator de potência de 0,98 para a faixa de potência de saída

Palavras-chave: LED. Fator de Potência. Controle de espectro.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia dos Diodos Emissores de Luz (LEDs) promove novas possibilidades de aplicações em iluminação. Além das características do LED que o tornam interessante como fonte de iluminação ambiente, como a sua longa vida útil e alta eficiência, conforme *Schubert* [1], os diodos emissores de luz se destacam pela facilidade de variação de intensidade luminosa e pela disponibilidade comercial de modelos com espectros variados, característica ausente em outras fontes de iluminação artificial.

Nesse contexto, técnicas de variação de intensidade luminosa aplicadas a modelos de LEDs diversos podem ser vantajosas em relação a outras tecnologias no segmento da iluminação com espectro controlado, no qual o espectro luminoso total do sistema deve seguir um espectro de referência. Essa é uma característica desejada quando se trata de pesquisa e avaliação de organismos e dispositivos fotossensíveis, conforme *Martin et al.* [2].

Uma metodologia para reconstruir um espectro de referência a partir de modelos comerciais de LED é apresentada em [2], no qual o controle do espectro é realizado pela variação da potência média de conjuntos especificados de LEDs. Buscando-se a maior eficiência e confiabilidade do sistema, conversores chaveados são utilizados para proporcionar níveis adequados de corrente para modelos distintos de LEDs.

No entanto, o sistema eletrônico responsável por controlar a intensidade luminosa também é responsável pela conexão com a rede elétrica alternada, que possui seu próprio conjunto de normas regulamentadoras, referentes ao conteúdo harmônico e fator de potência. Com o objetivo de atender às diversas normas, costumam ser implementados circuitos com múltiplos estágios, em que cada estágio lida com uma tarefa específica dentro do acionamento dos LEDs, conforme *Almeida et al.* [3]. Embora o uso de múltiplos estágios esteja associado a um aumento no número de

componentes, no volume e na complexidade do sistema, um projeto adequado permite atingir maior eficiência e confiabilidade [3].

Assim, consideradas essas características dos sistemas eletrônicos de acionamento de LEDs, este trabalho apresenta o projeto e a implementação experimental de um conversor Flyback para operar como primeiro estágio, chamado pré-regulador de fator de potência, de uma topologia com dois estágios para acionamento de grupos distintos de LED, com fim de emular um espectro de referência.

2. CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Com o objetivo de garantir o bom funcionamento do sistema elétrico, existem diversas normas relativas à qualidade de energia dos equipamentos conectados à rede, referentes ao conteúdo harmônico (IEC61000-3-2 Classe C) e fator de potência (portaria Inmetro 478/2013) da corrente de entrada desses equipamentos, características profundamente afetadas pelo uso de cargas não lineares, como LEDs e circuitos eletrônicos de maneira geral.

Dessa maneira, para que seja possível a conexão do sistema eletrônico apresentado à rede, se fazem necessários circuitos reguladores, que sejam responsáveis pelo processamento da potência de entrada dos dispositivos que acionam os LEDs. Esses circuitos devem ser capazes de manter características senoidais de corrente na entrada enquanto garantem tensões contínuas na saída. Existem topologias tradicionais de conversores CC/CC adaptadas para realizarem essas funções. Cada topologia de conversor apresenta vantagens e desvantagens específicas, que dependem da aplicação e das características da carga. No entanto, algumas características são especialmente desejadas quando se trata de correção de fator de potência e serão discutidas na próxima seção.

2.1 A escolha da topologia

Dentre as principais topologias de conversores utilizados para correção de fator

de potência, é interessante que seja escolhida uma topologia que faça o processamento de potência independentemente do nível da tensão de saída em relação à entrada. O conversor Flyback se apresenta como uma escolha adequada de topologia para a aplicação. O uso do indutor acoplado que, no Flyback, permite a isolação galvânica entre entrada e saída, aumenta a segurança do sistema de LEDs. A relação de espiras do transformador pode auxiliar no processamento de potência, evitando o uso de razões cíclicas muito pequenas, associadas a grandes picos de corrente.

Em relação ao modo de operação, a operação do Flyback em Modo de Condução Descontínuo (MCD) apresenta algumas vantagens para o fim de correção de fator de potência. Assim como os outros conversores clássicos, o Flyback apresenta um modelo médio equivalente de uma resistência quando opera em MCD [4]. Com uma operação em alta frequência, o uso de um filtro LC na entrada do conversor pode garantir fator de potência praticamente unitário, filtrando apenas as altas frequências de comutação.

3. PROJETO DO CONVERSOR

O projeto do estágio pré-regulador deve ser realizado com base em algumas limitações, que estão relacionados às características da rede e da carga. A Tabela 1 expressa os limites para os quais o conversor é projetado.

Tabela 1. Parâmetros limitantes do sistema

Tensão eficaz de entrada	V_{ef}	$220 \pm 5\%V$
Tensão média de saída	V_{bus}	40 V
Variação da tensão de barramento	ΔV_{bus}	4 V
Potência máx. de saída	P_{outMax}	60 W
Rendimento aprox.	η	85%
Frequência da rede	f_g	60 Hz

A potência máxima de saída é uma parcela da potência de entrada, com relação dada pelo rendimento aproximado η . A razão cíclica de operação D deve ser sempre menor que a razão cíclica crítica D_C , determinada por (1), de forma a garantir a condução em MCD.

$$D_C = \frac{V_{bus} N_t}{V_{bus} N_t + V_{pk} Max} \quad (1)$$

Onde N_t é a relação de espiras do transformador. Essa relação deve ser escolhida de forma a permitir uma boa faixa de escolha da razão cíclica D . A relação de espiras é escolhida como $N_t = 3,5$. A razão cíclica de projeto é definida em $D_p = 0,25$ e corresponde à razão cíclica de operação para a máxima tensão de entrada com potência máxima de saída.

Outro parâmetro importante é a frequência de comutação f_s . Uma alta frequência de comutação garante a redução dos elementos passivos e ausência de ruído audível, quando acima da frequência de 20 kHz. Além disso, deve-se considerar que as harmônicas de f_s podem gerar interferência eletromagnética (EMI). Como a norma IEC 61000-3-2 considera ruído eletromagnético a partir de 150 kHz, a frequência é escolhida em 48 kHz, evitando EMI com as harmônicas de terceira ordem.

A indutância do primário estará relacionada com a impedância de entrada equivalente e, portanto, com a potência de entrada do conversor. A potência de entrada deve considerar uma parcela de perdas no conversor, conforme o rendimento η . A escolha da indutância do primário associada à razão cíclica de projeto deve permitir a potência máxima de saída no sistema, conforme a equação (2)

$$L_p = \frac{V_{efMax}^2 D_p^2}{f_s P_{outMax}} \eta = 495 \mu H \quad (2)$$

Determinada a indutância a partir de (eq.), é possível se obter D na eq. (3) como uma função da tensão eficaz de entrada e da potência de saída.

$$D = \sqrt{\frac{4 L_p f_s \frac{P_{outMax}}{\eta}}{V_{ef}^2}} \quad (3)$$

3.1 Filtro de entrada

O filtro de entrada pode ser estimado estabelecendo-se uma frequência de corte, abaixo da frequência das harmônicas de nosso sistema. Devido ao PFC, as harmônicas

serão todas múltiplas de f_s . Assim, é calculado um filtro com a frequência de corte ω_0 uma década abaixo da comutação. A metodologia utilizada para projeto do filtro é encontrada em *Kirsten* [5]. Com o coeficiente de amortecimento ξ definido em 0.708, tem-se o valor de C_f na eq. (4) e L_f na (5).

$$\frac{1}{2\xi \omega_0 R_f} = 246 \text{ nF} \quad (4)$$

$$\frac{1}{\omega_0^2 C_f} = 4,47 \text{ mH} \quad (5)$$

Para validar o projeto do conversor antes da implementação experimental, um software de simulação é utilizado. Os valores dos componentes projetados são programados em software. As não idealidades são consideradas na simulação de forma que o rendimento seja em torno do η estimado. Os resultados de simulação conferem a rotina de projeto utilizada e permitem a verificação dos esforços em cada elemento, necessários para escolha dos componentes.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O circuito do primeiro estágio foi implementado na prática de acordo com o projeto e a simulação. Ambos os indutores, tanto o acoplado quanto o de filtro, foram projetados conforme a rotina apresentada por *Barbi et al* [6]. Os resultados da simulação foram utilizados para a escolha dos componentes pela determinação dos esforços de tensão e corrente.

A Tabela 2 mostra o valor dos principais componentes utilizados, escolhidos conforme a disponibilidade do laboratório. Uma carga resistiva de aproximadamente 25 Ω foi utilizada para emular o segundo estágio.

Tabela 2. Valores usados experimentalmente

Capacitor de barramento	C_{bus}	2200 μF
MOSFET	S_1	IRFPG50
Diodo do secundário	D_{fly}	15ETH06
Diodo ponte retificadora	D_{ponte}	1N4007
Capacitor de filtro	C_f	210 nF
Indutor de filtro	L_f	4,47 mH

A Fig. 1 apresenta as formas de onda obtidas para os principais pontos do circuito. Percebe-se o comportamento em DCM durante todo o período da rede, conforme projetado. A tensão de saída se mantém em aproximadamente 40 V, com uma variação de inferior a 10%.

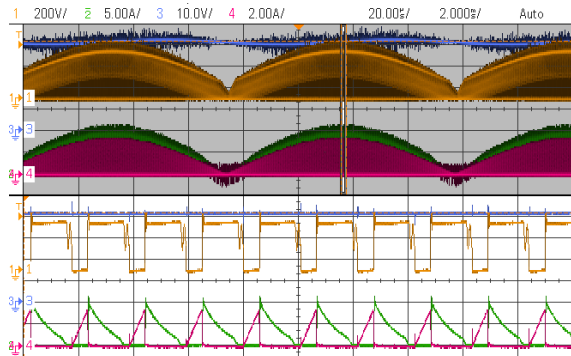


Fig. 1 – Formas de onda no conversor. CH1 – Tensão no MOSFET, 200 V/div. CH2 – Corrente no primário do indutor, 2 A/div; CH3 – Tensão de saída, 10 V/div. CH4 – Corrente no secundário do indutor

A Fig. 2 apresenta as formas de onda de entrada de corrente e tensão no conversor. Percebe-se que o conversor, embora tenha apresentado uma distorção harmônica pouco significativa, apresentou um fator de potência de 0,98 capacitivo. Isso se deve a escolha de componentes aproximados para a implementação do filtro. A comparação entre a potência de entrada e a potência de saída retorna um rendimento $\eta = 85\%$.

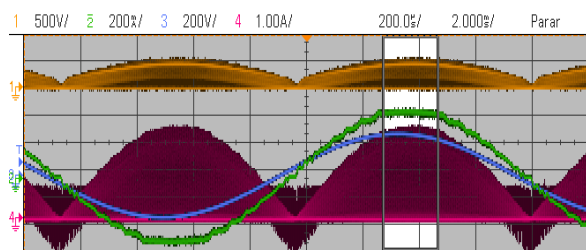


Fig. 2 – Formas de onda no conversor. CH1 – Tensão no MOSFET, 500 V/div. CH2 – Corrente de entrada, 200 mA/div; CH3 – Tensão de entrada, 200 V/div. CH4 – Corrente no primário do indutor

5. CONCLUSÕES

Um sistema eletrônico corretor de fator de potência para um conjunto de conversores

para alimentação de conjuntos distintos de LEDs foi projetado e implementado em simulação e na prática. Os resultados experimentais mostram que o sistema foi capaz de eliminar as componentes de alta frequência decorrentes da comutação do conversor, apresentando formas de onda aproximadamente lineares de corrente de entrada.

Em trabalhos futuros, pretende-se a introdução de técnicas de controle digital no sistema, permitindo a integração com o sistema de carga variável de espectro controlado. Também, estuda-se a redução da capacitância de barramento, regulando a corrente nos LEDs através do próprio controle por histerese.

Agradecimentos

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM).

2. REFERÊNCIAS

- [1] E.F. Schubert, Light Emitting Diodes, Cambridge, UK: 2003, p. 19.
- [2] K. T. Martin, O. C. B. de Araujo, S. A. Bonaldo, and M. F. da Silva, “Conception and design of a lighting system based on Light Emitting Diodes for spectrum simulation,” in 12th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), 2016, pp. 1–6.
- [3] P. S. Almeida, D. Camponogara and M. D. Costa “Matching LED and Driver Life Spans: A Review of Different Techniques” IEEE Industrial Electronics Magazine, vol 9, no. 2, June 2015, pp. 36-47.
- [4] M. Madigan, R. Erickson and E. Ismail, “Integrated High Quality Rectifier-regulators” in 1992 Power Electronics Specialists Conference), pp.1.
- [5] A. L. Kirsten, “Reator Eletrônico para Lâmpadas de Descarga em Alta Pressão Baseado no Conversor Biflyback Inversor”, 2011, pp. 91-94.
- [6] I. Barbi, C. H. I. Font and R. L. Alves, “Projeto Físico de Indutores e Transformadores”, Florianópolis, SC; 2002, pp. 3-9.