

CONVERSOR AC-DC EM MODO CONTÍNUO DE CORRENTE COM COMPENSAÇÃO EM FREQUÊNCIA PARA LÂMPADAS LED DE BAIXO CUSTO E ALTA EFICIÊNCIA

CONVERTER AC-DC POWER IN CONTINUOUS MODE WITH COMPENSATION IN FREQUENCY FOR LOW COST LED LAMPS AND HIGH EFFICIENCY

Maria Eduarda A. Boscoli, Araújo C.M.B., Berci C.D., Guelfi, A. E., Donzelli D

Universidade do Oeste Paulista –UNOESTE, Curso de Engenharia Elétrica, Laboratório de Instrumentação e Eletroeletrônica (IEE), Presidente Prudente, SP. E-mail: dudaboscoli@hotmail.com

RESUMO - Este artigo apresenta uma nova arquitetura de um driver de LEDs de alto brilho, com baixo custo e elevado rendimento. Empregase um conversor do tipo CUK em modo contínuo de corrente com compensação em frequência, para alimentação dos LEDs de alto brilho através da rede elétrica, a partir de 85V a 265V, operando em alta frequência com comutação por Modulação por Largura de Pulso (MLP) e conectado a um filtro ressonante LC série para alimentação da carga com proteção contra surto de tensão na entrada. Foram utilizados vinte LEDs de Alta Potência da OSRAM 720-GWPSL e um circuito com corrente constante em modo Off-line. A arquitetura proposta visa apresentar uma proposta de um driver de baixo custo e baixo consumo de corrente. É apresentado o estudo comparativo entre o protótipo deste dispositivo a partir dos gráficos obtidos com os resultados de medições em laboratório.

Palavras-chave: Conversor CUK; Lâmpada LED; Modo Contínuo de Corrente; Modulação por Largura de Pulso (MLP).

ABSTRACT - This paper presents a new architecture of a driver of high brightness LEDs, with low cost and high yield. Employs a CUK type converter in continuous mode with current compensation rate to feed the high-brightness LEDs through the grid, from 85V to 265V, operating at high frequency switched Pulse Width Modulation (MLP) and connected to a series LC resonant filter for load feeding entry in protection against voltage surges. Twenty LEDs High Power OSRAM 720-GWPSL and a circuit with constant current in Offline mode were used. The proposed architecture aims to present a proposal for a low-cost and low current consumption driver. The comparative study between the prototype of this device from the graphs obtained from the results of laboratory measurements.

Keywords: CUK Converter; LED Lamp; Continuous Current Mode; Pulse Width Modulation (PWM).

Recebido em: 19/08/2015
Revisado em: 25/08/2015
Aprovado em: 05/09/2015

1. INTRODUÇÃO

Conforme nota técnica DEA 03/11 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que apresenta uma projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos, horizonte de médio prazo 2011 a 2020 (EPE, 2011), as consequências da crise financeira internacional manifestaram-se intensamente no comportamento do setor elétrico brasileiro, com forte retração do consumo industrial de eletricidade e nos primeiros meses de 2015 e um aumento acentuado na tarifação da energia elétrica em todas as classes de consumidores. Diante deste cenário, é de suma importância o desenvolvimento e utilização de materiais e equipamentos elétricos mais eficientes e de

baixo custo, para viabilização da utilização da tecnologia de iluminação LED em grande escala. Os LEDs (diodos emissores de luz) são semicondutores constituídos por dois materiais diferentes que formam uma junção PN, a qual permite o fluxo de corrente em apenas uma direção. Se a junção PN é polarizada diretamente, as lacunas na camada P e os elétrons da camada N movem-se em direção à região de depleção (área de transição entre os materiais P e N). Perto dessa região, a recombinação de elétrons e lacunas gera energia que é liberada sob a forma de fótons de luz (BULLOUGH, 2003; U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2009). Na Figura 1 é representada de forma simplificada a estrutura física do LED e do processo de emissão de luz (OSRAM, 2014).

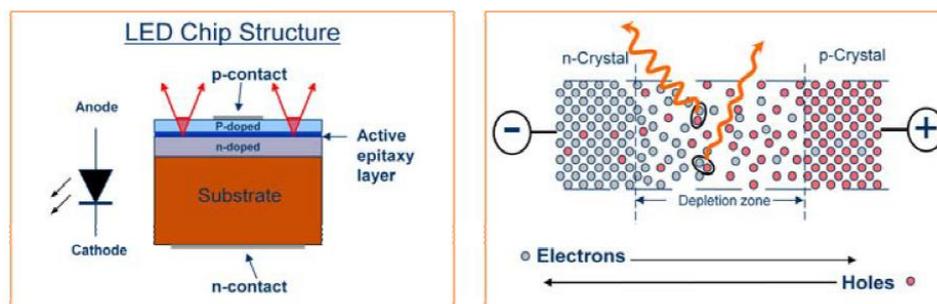


Figura 1. Representação da estrutura física e do comportamento de um LED (OSRAM Opto Semiconductors)

Na Figura 2 mostra a representação construtiva do LED empregado no protótipo. No interior da cavidade do LED é montada uma pastilha semicondutora sobre uma armação de terminais condutores, que são

alojados em encapsulamento pré-moldado. Os terminais condutores atuam como um caminho para dissipação térmica do calor a partir da pastilha semicondutora e também serve como interface elétrica e mecânica

para a Placa de Circuito Impresso (PCI). Um fio de ouro é utilizado para ligação do lado superior da pastilha para os terminais condutores laterais anodo (A) e catodo (C). A cavidade do invólucro é preenchida com

resina epóxi e serve como refletor para extração da quantidade máxima de luz para o exterior do encapsulamento.

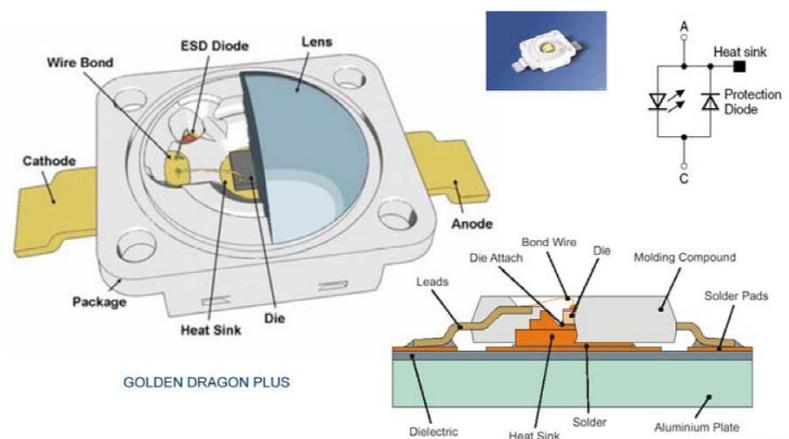


Figura 2. LED GW PSLRS1.EC de Alta Potência (OSRAM Opto Semiconductors)

No protótipo apresentado neste artigo são utilizados vinte LEDs, modelo GW PSLRS1.EC do fabricante OSRAM Opto Semiconductors. Os LEDs são alimentados por um driver constituído de quatro estágios. O primeiro estágio é composto por um filtro ressonante RLC (resistor-indutor-capacitor) e por uma proteção contra surto de tensão (varistor e fusistor), o segundo estágio por um retificador AC-DC, o terceiro estágio composto por um comutador primário com potência de 12W, frequência de chaveamento fixa em 42kHz, modo contínuo de corrente e o último estágio é composto por um filtro de saída para redução a níveis aceitáveis de corrente de ondulação (MELLO,

2011), conforme a norma (IEC 61000-3-2:2014).

2. METODOLOGIA

O projeto da lâmpada LED do tipo bulbo começa com a escolha da potência de saída e com a especificação do fluxo luminoso. A maioria das lâmpadas incandescentes possuem potências entre 40 W e 100 W. Supondo que uma lâmpada de LED pode fazer o trabalho com uma eficiência 30% maior (devido à sua melhor eficácia luminosa e uma distribuição mais objetiva da iluminação sobre a área pretendida), a potência do conjunto de 9 LEDs poderia ser de cerca de 24 W. Estabelecida esta potência de 11W almeja-se uma eficiência energética

comparada com os modelos das incandescentes, mas com uma vida útil superior à dessas lâmpadas. Como os LEDs serão ligados em série, a tensão em seus terminais pode atingir baixos valores (operando com uma tensão típica de 6, 10V, assumindo LEDs de 1,2 W que apresentam tensão direta menores que 4 V entre seus terminais). Assumindo 20 LEDs associados em série, operando com 1,2 W cada, com tensão direta de aproximadamente 6,1 V, será requerida uma corrente de 196 mA. Para

essa corrente média, o valor de pico pode ser maior que 189 mA através dos LEDs empregando o conversor CUK. Embora a corrente média de 200 mA possa ser tolerada por alguns LEDs de 1,2 W, eles teriam que operar acima da corrente limite de pico. Assim, neste caso, a potência do LED deve ser de 2 W ou 3 W. Logo, para a implementação da lâmpada foi escolhido utilizar o LED GW PSLRS1.EC-LPLR-5U8X-1. Na Tabela 1 são exibidos seus principais parâmetros.

Tabela 1. Principais Características do LED GW PSLRS1.EC-LPLR-5U8X-1 (OSRAM)

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Limite de Temperatura de Operação	T_{op}	-40 a 110	°C
Temperatura de Junção	T_j	125	°C
Corrente Direta	I_d	10 a 200	mA
Corrente Reversa	I_R	20	mA
Corrente de Surto	I_S	300	mA
Ângulo de Visão em 50%	2ϕ	120	°
Tensão Direta (min) (tip) (max)	V_d	5.60 6.10 6.40	V V V
Temperatura Cor	K	2700	-
Fluxo Luminoso $I_F=150mA$ (min) (max)	Φ_V	112 121	lm
Intensidade Luminosa	I_L	39,6	cd
Resistência Equivalente	R_{EQ}	1,8	Ω

Utilizando os dados da Tabela 1, foram obtidas uma queda de tensão (V_0) de 24,3 V e uma resistência equivalente (R_s) de 16,2 Ω para o conjunto de 9 LEDs. Assim, seria esperada uma tensão direta de 29,2 V. Neste caso, seria

recomendado utilizar um transformador com tensão no secundário de 30 Vrms. Na equação 1 é apresentado o modelo elétrico para o LED utilizado:

$$V_{LED} = \frac{\eta \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{LED}}{I_s}\right) + R_s \cdot I_{LED} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

V_{LED} = Tensão Direta do LED em Volts (V);

η = Fator de Idealidade;

k = Constante de Boltzmann, $1.3805 \cdot 10^{-23}$ (j/°k);

T = Temperatura em Kelvin (°k);

q = Carga em Eletron-Volt, $1.602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb (C);

I_{LED} = Corrente Direta do LED em Amperes (A);

I_s = Corrente Direta de Saturação em Amperes (A).

Inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica afim de um embasamento teórico acerca dos conversores principalmente os conversores AC-CC, tema deste trabalho. Foi elaborado um estudo teórico da topologia do conversor AC-CC "CUK", operando em modo contínuo de corrente. Buscou-se enfatizar a eficiência do protótipo frente às lâmpadas LED do tipo bulbo atuais, além de descrever o projeto e dimensionamento dos elementos constituinte da mesma. Para elucidar as etapas de projeto e dimensionamento foram feitos alguns estudos de caso. Confeccionaram-se tabelas para expor os dados resultantes desses estudos e propiciar a comparação dos mesmos.

1.1 O CONVERSOR CUK NÃO ISOLADO

O conversor chaveado desenvolvido para a lâmpada LED opera em frequência de 42kHz, o que faz com que seu volume seja reduzido. O conversor é utilizado para a conversão CC/CC que possui melhores características quanto a ruído emitido pelo conversor tanto na tensão de entrada (V_e) quanto a tensão de saída (V_s). A saída possui baixo ruído devido à característica não pulsante da corrente no indutor (BILLINGS, 1999). Para o conversor empregado, são adotados dois indutores, um na entrada e outro na saída, proporcionado uma baixa ondulação tanto na entrada quanto na saída, pois a corrente nos indutores é contínua.

A Figura 4 ilustra a diagrama elétrico do circuito proposto, cuja concepção seguiu o modelo de Ridley.

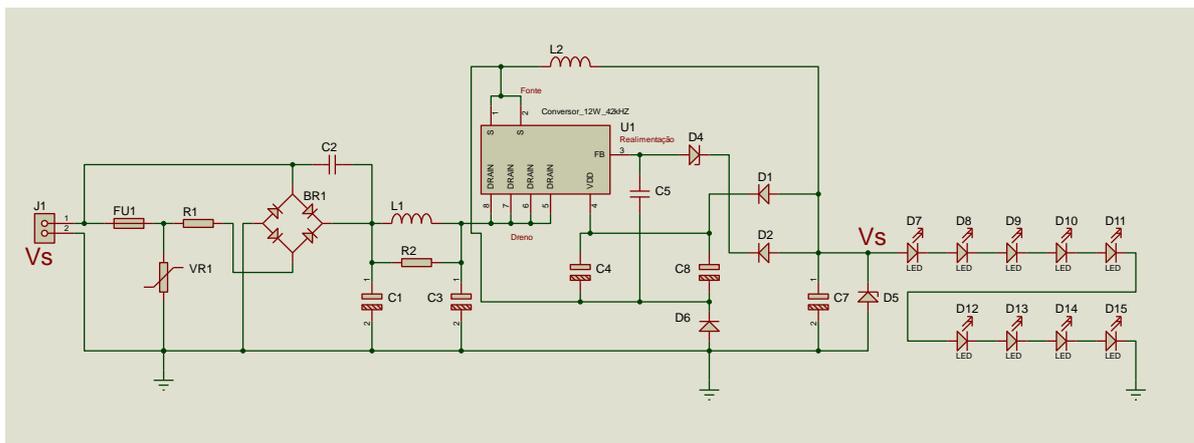


Figura 4. Diagrama elétrico do conversor CUK proposto

Em 1990, Dr. Raymond Ridley na *Virginia Tech University (VPEC)*, apresentou um modelo de amostragem para o Modo de Controle de Corrente (MCC), modelando no estágio de potência do conversor uma forma polinomial de terceira ordem (KASSAKIAN; SCHLECHT; VERGHESE, 1991), que resultou em uma baixa frequência de um polo ω_p e para duplo polo ω_n , em um ciclo completo

de chaveamento em frequência. A baixa frequência no polo ω_p resultou em uma baixa frequência de movimento em relação ao ciclo de trabalho, bem como para uma compensação externa do sinal em rampa quando presente, conforme demonstrado na figura 5.

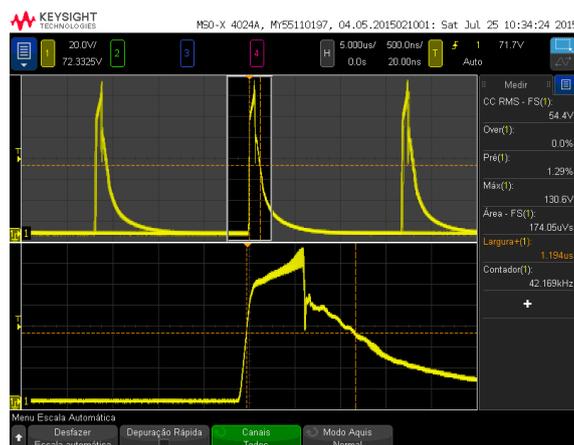


Figura 5. Frequência no indutor L de saída para um polo ω_p

A figura 6 apresenta a frequência medida no osciloscópio em laboratório para a ação do chaveamento no indutor de saída

para uma corrente constante, atuando como um filtro de segunda ordem equivalente.



Figura 6. Frequência no indutor L de entrada para um polo ω_n

3. RESULTADOS

O conversor CA-CC tipo CUK de baixa frequência para um driver de lâmpada LED foi implementado no Laboratório de

Instrumentação e Eletroeletrônica (IEE), os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Principais componentes eletrônicos utilizados na construção do driver.

Parâmetro	Descrição
Chaveamento por Largura do Pulso (MLP)	Circuito Integrado VIPer22AS
Indutor de Entrada	1 μ H – 100mA
Indutor de Saída	1 μ H – 200mA
Proteção Contra Surto na Entrada	Varistor EPCOS 250V
Retificador de Onda Completo	Ponte Retificadora DF06
Proteção de Entrada	Fusível de 1A - 250V
Proteção de Saída	Resistor 1.3 Ω (Ohm)

A figura 7 apresenta o protótipo montado em placa de circuito impresso padrão no laboratório.

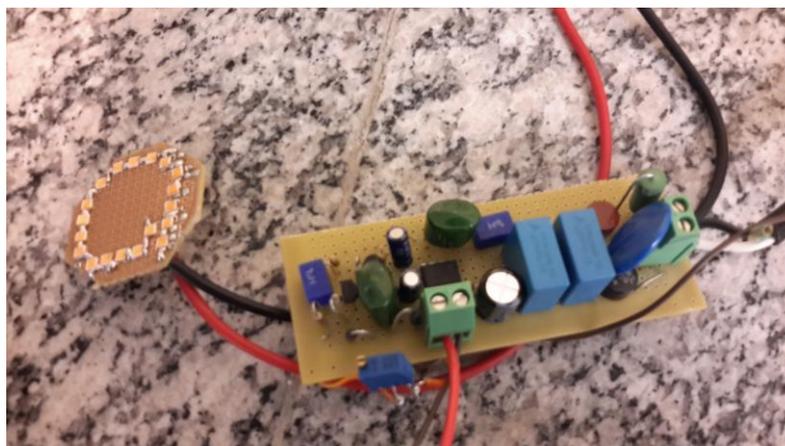


Figura 7. Protótipo montado em laboratório para com LED de alto brilho (luminância)

Conforme pode ser constatado na Figura 7 o protótipo foi construído em placa de circuito impresso padrão (matriz), com poucos componentes e baixo custo. Uma vantagem muito relevante no circuito desenvolvido é a ausência de transformador, pois a limitação da tensão é realizada através de capacitor e regulação pelo circuito integrado. Figura 8 mostra o teste de iluminância média do protótipo, cujo desempenho fotométrico do arranjo de LEDs

foi comprovado através da medição da luminosidade medida por meio de um Luxímetro Digital. As medições foram realizadas com a fonte de luz a 100 cm do sensor do Luxímetro Digital para 6 posições diferentes. Foi obtida uma iluminância média de 843 lx (Lux) para o conjunto de LEDs. Na figura 9 temos o conjunto de LEDs iluminando, onde é possível constatar a luminosidade uniforme.



Figura 8. Teste de iluminância do protótipo com Luxímetro Digital



Figura 9. Arranjo de LEDs durante o teste de iluminância

4. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentado o projeto de um driver para lâmpada LED de baixo custo e alta iluminância. Foram mostrados todas as etapas de desenvolvimento do projeto e os resultados experimentais obtidos com o protótipo. Foram realizados testes para avaliação da eficiência elétrica e fotométrica.

Nos testes foi constatada a alta eficiência apresentada pelo protótipo, tanto no consumo de energia em 189mA de corrente de carga, tanto na eficiência fotométrica com 843lx registrado como valor médio nas medições.

Como trabalho futuro o grupo de pesquisa do IEE, irá produzir uma lâmpada do tipo bulbo na impressora 3D e uma placa de circuito impresso industrializada com componentes eletrônicos montados sobre a superfície da placa.

REFERÊNCIAS

BILLINGS, K.H. **Switchmode power supply handbook**. New York: McGraw-Hill Professional, 1999.

BULLOUGH, J. D. Light Emitting Diode Lighting Systems. NLPPI - Lighting Answers. v. 7. Issue 3. May, 2003.

MELLO, L. **Projeto de fontes chaveadas-teoria e prática**. São Paulo: Érica, 2011.

KASSAKIAN, J.G.; SCHLECHT, M.F.; VERGHESE, G.C. **Principles of power electronics**. Reading, USA: Addison-Wesley, 1991.

OSRAM Opto Semiconductors. **Datasheet DURIS S 5 – Version 1.0**. Regensburg: OSRAM, 2014.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Efficiency and Renewable Energy. Thermal Management of White LEDs. November 2009.

http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20110222_1.pdf. Acesso em 05/07/2015.

<https://webstore.iec.ch/publication/4149>. Acesso em 21/07/2015.