



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## TOPOLOGIA DE CAPACITOR CHAVEADO COMO DRIVER PARA O ACIONAMENTO DE LÂMPADA LED TUBULAR

**Igor Bertoncello Barboza**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria  
igorbbbarboza1@gmail.com

**Priscila Ertmann Bolzan**

Pesquisadora do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria  
priscila@gedre.ufsm.br

**Josué Lopes Putzke**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria  
josueputzke@gmail.com

**Ricardo Nederson do Prado**

Professor/orientador do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria  
ricardo@gedre.ufsm.br

**Resumo.** Este artigo apresenta um circuito de acionamento para alimentação de lâmpada LED tubular baseada na técnica de capacitor chaveado. É possível ajustar a tensão de saída desse conversor por meio da alteração da razão cíclica de um dos interruptores, uma característica rara na aplicação dessa técnica. A carga é uma lâmpada LED tubular de 120 cm (T8/G13) e potência de 23 W, corrente de 450 mA e tensão de 52 V, com a tensão de entrada 220 Vrms, 60 Hz. O conversor apresenta menor volume, permitindo a inserção do circuito de acionamento no tubo da lâmpada. Esse documento dispõe de informações sobre projeto, simulação, etapas de operação e resultados experimentais a respeito desse conversor.

**Palavras-chave:** Conversor. Capacitor chaveado. LED tubular.

### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia de lâmpadas LED (Diodo emissor de luz, em inglês, *Light-emitting diode*) nas últimas décadas permitiu sua aplicação em sistemas de iluminação, em destaque pela alta eficácia luminosa, longa vida útil, alto IRC (Índice de

Reprodução de Cores), robustez e retorno financeiro a longo prazo, se comparadas às fontes convencionais, como incandescentes e fluorescentes.

Esse artigo propõe uma nova topologia de conversor para acionar uma lâmpada LED tubular. O circuito de acionamento das lâmpadas LED tubulares situa-se dentro do tubo, dispensando o uso de circuitos externos, exceto para o modelo T5. A lâmpada é acionada por um conversor a capacitor chaveado; topologia que leva à redução ou eliminação de componentes magnéticos, reduzindo o volume do conversor. Porém em conversores que empregam capacitor chaveado, o ganho normalmente depende da topologia empregada ou dos componentes do circuito e não da razão cíclica.

### 1. CONVERSOR A CAPACITOR CHAVEADO PROPOSTO

Apresenta-se, separadamente, as topologias de capacitor chaveado, que são a base do conversor proposto, e depois a união desses, que resulta na topologia de conversor proposta.

### 1.1. Conversor básico a capacitor chaveado (CBCC)

Esse conversor, apresentado por H. Chung *et. al* em [1] e por A. Ioinovici em [2], é formado por 2 interruptores que operam de forma complementar e 2 capacitores, onde C1 é o capacitor chaveado e Co é o capacitor de saída; C1 atua como elemento transferidor de potência e Co visa manter a tensão de saída constante. Na Figura 1, é mostrado o CBCC, onde Vin é a tensão de entrada retificada.

São duas etapas de operação: durante a 1ª, na Fig. 2, o interruptor S1 conduz, C1 carrega-se e Co descarrega na carga; na 2ª etapa, na Fig. 3, S1 está deligado e S2 conduz, de modo que C1 descarrega na saída, carregando Co e alimentando a carga.

O CBCC tem ganho unitário (a tensão de saída é igual à Vin), pois C1 é carregado por Vin na 1ª etapa e descarrega em Co na 2ª etapa. Mas pode-se mudar o ganho através da frequência de comutação ou da razão cíclica. Se o interruptor é aberto antes de C1 estar totalmente carregado, C1 transferirá menos potência à carga que o valor de Vin.

Esse conversor não se aplica quando o ganho é diferente de 1, pois o rendimento  $\eta$  é diretamente proporcional ao ganho, como é mostrado por A. Cervera *et al.* em [3]. Assim, esse conversor não satisfaz o objetivo do trabalho, pois Vo é 1/5 de Vin, resultando em uma eficiência de 20%.

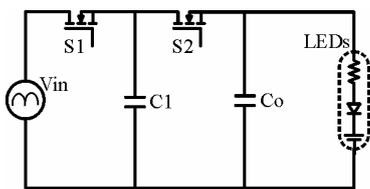


Figura 1 – Esquemático do CBCC.

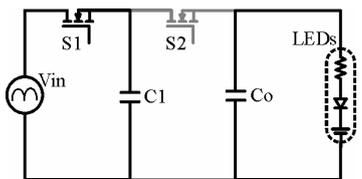


Figura 2 – Primeira etapa de operação do CBCC.

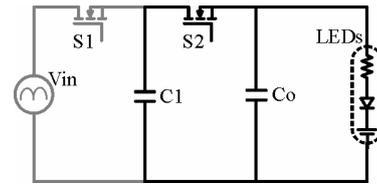


Figura 3 – Segunda etapa de operação do CBCC.

### 1.1. Conversor a capacitor chaveado baseado na célula Valley-Fill (CCVF)

Apresentado por G. B. Martins *et al.* em [4], o conversor original possuía 4 células de capacitor chaveado. Todavia o conversor desse trabalho, na Fig.4, apresenta 5 células, reduzindo a tensão de saída para 1/5 de Vin (1/5 de ganho).

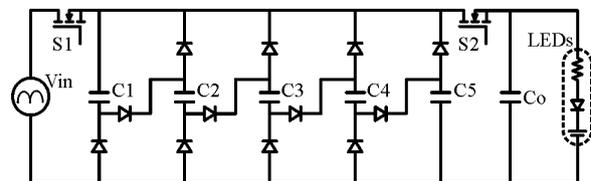


Figura 4 – Esquemático do CCVF com 5 células.

Possui duas etapas de operação (os 5 capacitores chaveados – C1 a C5 - têm a mesma capacitância): no 1º estágio, da Fig. 5, S1 conduz e S2 está aberto, os capacitores C1 a C5 são carregados com Vin e, ao final, cada um desses elementos possui 1/5 de Vin.

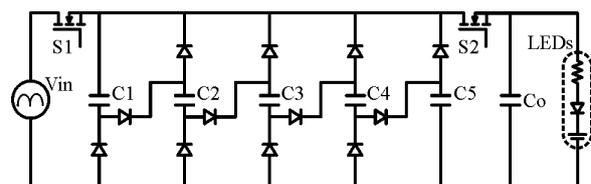


Figura 5 – 1º estágio do CCVF.

O 2º estágio, na Fig.6, inicia na metade do período de comutação, quando S1 abre e S2 conduz, todos os capacitores estão em paralelo, a tensão na saída é 1/5 de Vin.

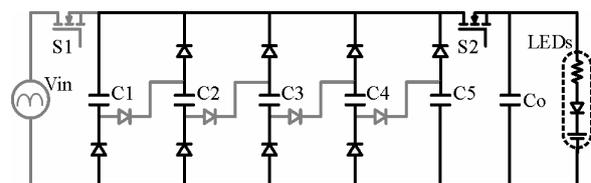


Figura 6 – 2º estágio do CCVF.

Essa topologia tem ganho fixo, dependendo do número de células de capacitor chaveado, e não é possível mudar a tensão de saída pela razão cíclica ou frequência de comutação, o que impede o uso dela para esse acionamento.

### 1.3. Topologia de capacitor chaveado proposta

Então o *CBCC* e o *CCVF* foram unidos em cascata, originando o conversor da Fig.7; um dos interruptores (S3) pode variar sua razão cíclica para regular a tensão de saída até o valor desejado. A eficiência do conversor não é alterada, já que a diferença de tensão antes e depois do *CCVF* é pequena. Na Fig.7, o conversor proposto.

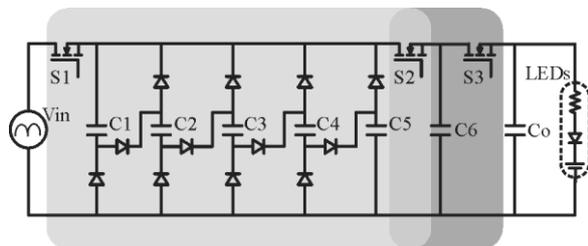


Fig.7 – Conversor a Capacitor Chaveado Proposto.

## 2. PARÂMETROS E ANÁLISES

As simulações e análises que permitiram o projeto desse conversor proposto estão presentes na Seção 3.1.

### 2.1. Análise de ripple e corrente de saída

Para apresentar a operação do conversor proposto, simulações foram realizadas e os principais parâmetros estão na Tabela 1.

Na Fig.8, na operação do *CCVF*, analisou-se, para obter 450 mA nos LEDs: 1) a corrente e o *ripple* de corrente para diferentes capacitâncias; 2) a razão cíclica de S3 necessária. Concluiu-se que só o *CCVF* não basta para alcançar valores adequados de corrente e *ripple* de corrente na carga. Quanto maior a capacitância, menor o *ripple* de corrente de saída e a razão cíclica de S3. Ao final, a capacitância escolhida foi 220  $\mu\text{F}$ ,

com *ripple* de corrente 17,3%, razão cíclica de S3 0,25 e corrente média 450 mA.

Na Fig.9, tensão e corrente de saída mudando com a alteração da razão cíclica de S3, provando a importância do *CCVF*.

Tabela 1. Principais Parâmetros de Simulação

Parâmetro	Nome	Valor
<b>Tensão de entrada</b>	Vin	220
	Vrms	/ 60
	Hz	
<b>Frequência de comutação</b>	fs	50 kHz
<b>Corrente nos LEDs</b>	Io	450 mA
<b>Tensão nos LEDs</b>	Vo	51.74 V
<b>Razão cíclica de S1 e S2</b>	DS1 - DS2	0.5
<b>Razão cíclica de S3</b>	DS3	0.23
<b>Capacitores chaveados</b>	C1- C5	220 $\mu\text{F}$
<b>Capacitor do CBCC</b>	C6	220 $\mu\text{F}$
<b>Capacitor de saída</b>	Co	3.3 $\mu\text{F}$
<b>Ripple de corrente nos LEDs</b>	$\Delta i_o$	19.2%
<b>Tensão de limiar dos diodos: ponte retificadora/conversor chaveado</b>	Vdrec	1 V / 1.1 V

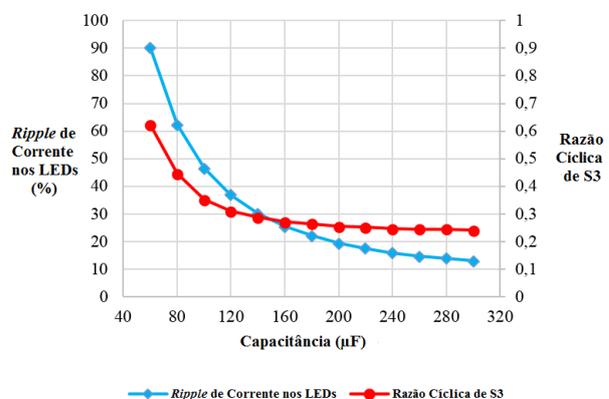


Fig.8 - Conversor Proposto: Análise de capacitâncias para a corrente nos LEDs de 450 mA.

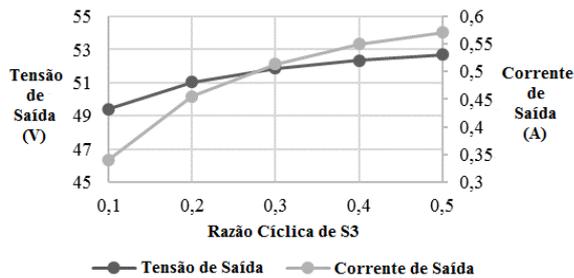


Fig.9 – Relação entre a saída e a razão cíclica de S3.

### 3. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO E EXPERIMENTAIS

Por simulação (Tabela 1), analisou-se os valores de entrada e saída do conversor proposto. Os resultados de simulação para corrente de entrada, tensão de entrada, tensão na lâmpada, corrente na lâmpada e *ripple* de corrente de lâmpada são mostrados na Fig.10 e estão de acordo com o desejado, sendo, respectivamente, 51,7 V, 450 mA e 17,4%. Na Fig.11, os resultados experimentais de entrada e saída para  $V_{in} = 220$  Vrms e a carga lâmpada LED tubular, cujo modelo elétrico é 14,12  $\Omega$  e 44,6 V. A corrente de entrada está em baixa frequência devido ao filtro LC na entrada. Tensão, corrente e potência de saída com valores médios de 50,1 V, 451 mA e 22,9 W, resultados esperados para essa  $V_{in}$ , provando que o conversor funciona. Chegou-se a essa potência de saída pela regulação da razão cíclica de S3. O *ripple* de corrente nos LEDs é de 18,6 %, abaixo do máximo (19,2 %).

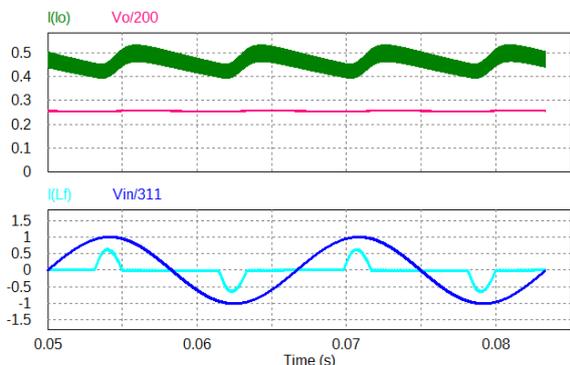


Fig.10 – Resultados de Simulação do Conversor: tensão de entrada ( $V_{in}/311$  - azul escuro), corrente de entrada ( $I(L_f)$  – ciano),

tensão na lâmpada ( $V_o/200$  – rosa) e corrente na lâmpada ( $I(I_o)$  – verde) - 3,3 ms.

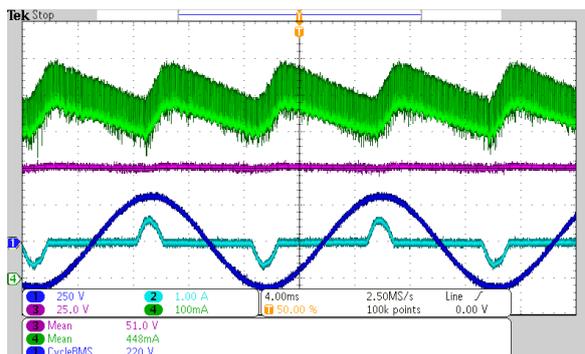


Fig.11 – Resultados Experimentais: tensão de entrada (CH1 – 250 V/div.), corrente de entrada (CH2 – 1 A/div.), tensão de saída (CH3 – 25 V/div.) e corrente de saída (CH4 – 100 mA/div.) – 4 ms.

### 4. CONCLUSÕES

Esse artigo propôs um conversor a capacitor chaveado para acionar uma lâmpada LED tubular. O conversor foi projetado e os resultados provam que ele funciona adequadamente, podendo alimentar a lâmpada com os valores corretos de tensão e corrente pela regulação da razão cíclica do interruptor S3, o que não é uma técnica usual em conversores a capacitor chaveado.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio fornecido pela FAPERGS e pelo GEDRE.

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] H. Chung, O. B. O. B., and a. Ioinovici, "Switched-capacitor-based DC-to-DC converter with improved input current waveform," *1996 IEEE Int. Symp. Circuits Syst. Circuits Syst. Connect. World. ISCAS 96*, vol. 1, pp. 541–544, 1996.
- [2] A. Ioinovici, "Switched-Capacitor Power Electronics Circuits," *IEEE Circuits Syst. Mag.*, vol. 1, no. 3, pp. 37–42, 2001.
- [3] A. Cervera, S. Member, M. Evzelman, S. Member, M. M. Peretz, and S. S. Ben-Yaakov, "A High-Efficiency Resonant Switched Capacitor Converter With Continuous Conversion Ratio," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 3, pp. 1373-1382, 2015.

- [4] G. B. Martins, “Estudo de Conversores a Capacitor Chaveado,” Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.