



INTEGRAÇÃO DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Parte 2

Exemplos de Aplicação em Sistemas de Iluminação

Apresentadores: **Marco Antonio Dalla Costa**
Tiago Bandeira Marchesan

Universidade Federal de Santa Maria
GEDRE – Inteligência em Iluminação

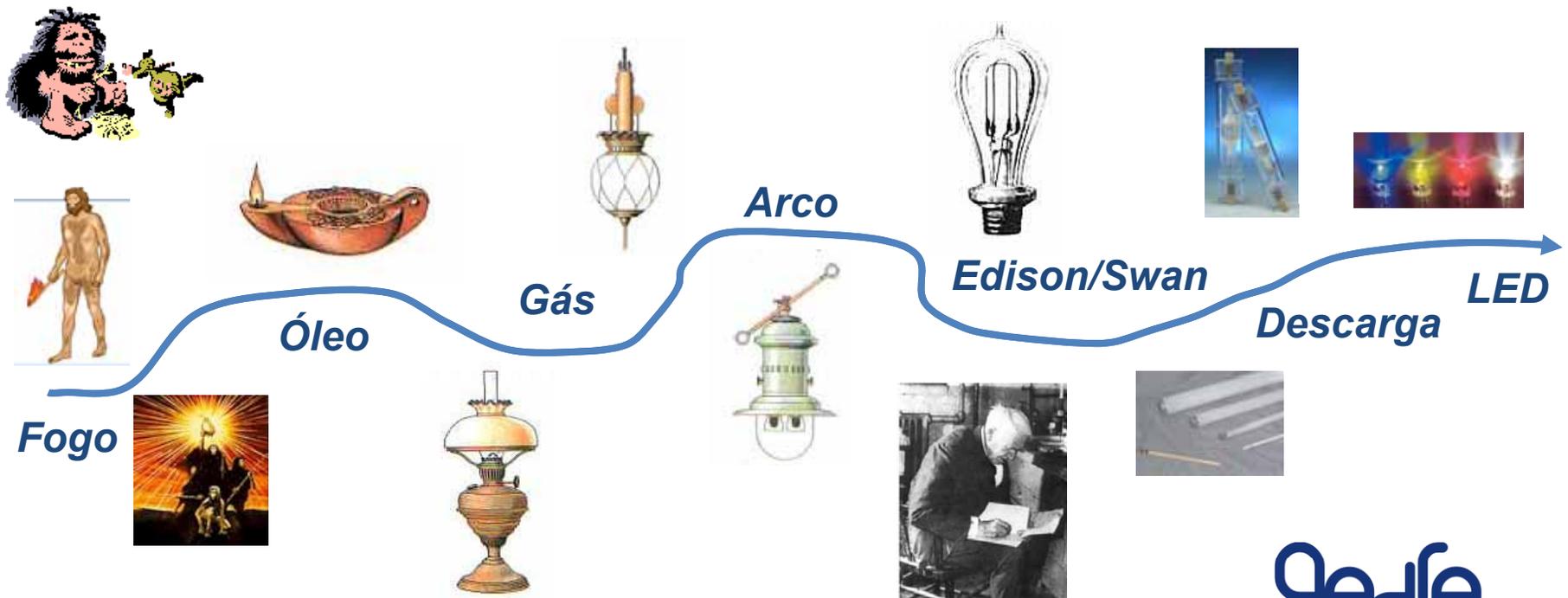


UFSM



Motivação

- Aproximadamente 20% da energia mundial é consumida em sistemas de iluminação.
- Busca constante por sistemas de iluminação mais eficientes.



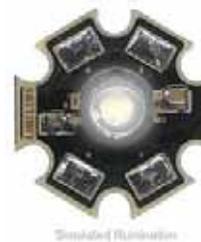
Motivação

- Principais sistemas de iluminação:

- Incandescentes;
- Fluorescentes (descarga a baixa pressão);
- Descarga a alta pressão (HPS, MH, HPM);
- Iluminação de estado sólido (LEDs).

DESUSO

BALLAST



Motivação

- Principais sistemas de iluminação:
 - Residenciais e Comerciais (<100W);
 - Iluminação Pública (<400W).

- Vantagens da Integração de Conversores:
 - Menor custo;
 - Menor dimensão e volume.

- Desvantagens da Integração de Conversores:
 - Complexidade de projeto;
 - Esforços nos semicondutores.

Integração de
Conversores é
Possível!!!



Sumário

Integração de Conversores Estáticos aplicada a:

- **Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes**
- Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID
- Drivers para LEDs

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Lâmpada Fluorescente Tradicional

Características

Bulbo com material a base de fósforo.

Presença de filamentos (eletrodos).

Baixa pressão (2 a 3 Torr).

Mercúrio vaporizado.

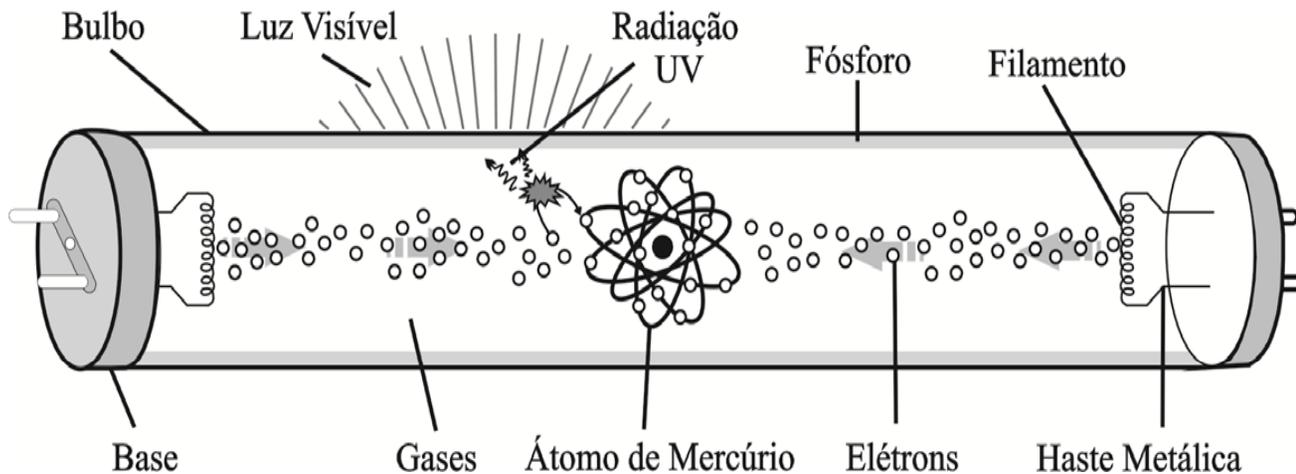
Características

IRC 90 %

Vida Útil 22.000 horas

Eficiência Luminosa 100 lm/W

Frequência Hz a kHz



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Lâmpada Fluorescente Tradicional

Comportamento dos Eletrodos

- Restrições quanto a corrente máxima, vida útil e pressão interna da lâmpada.
- Necessidade de pré-aquecimento dos eletrodos.
- A vida útil é limitada pela evaporação e pelo *sputtering* do revestimento do eletrodo.



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Lâmpada Fluorescente sem Eletrodos (Electrodeless)

Características

Ausência de filamentos

Excitação do gás por efeitos eletromagnéticos

Mercúrio na forma de amálgama

Camada a base de fósforo

IRC 90 %

Vida Útil 100.000 horas

Eficiência Luminosa 100 lm/W

Alta frequência kHz a GHz



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Lâmpada Fluorescente sem Eletrodos (Electrodeless)

Aplicações

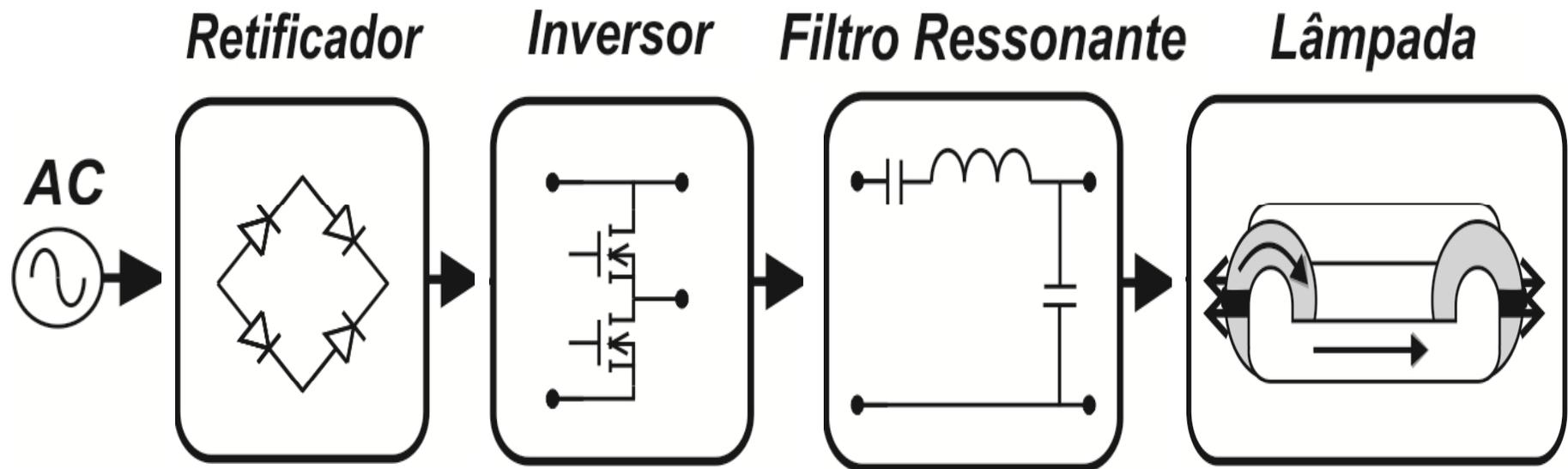
- Indicada para locais de difícil acesso – exemplo pontes
- Ambientes onde há necessidade de iluminação constante



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estágios Básicos para o Acionamento da Lâmpada

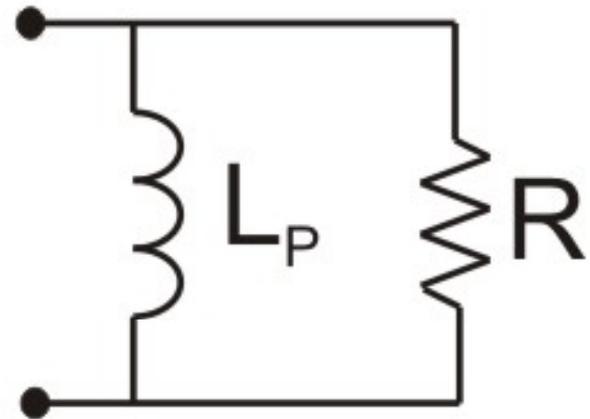
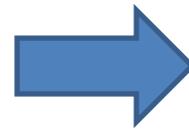
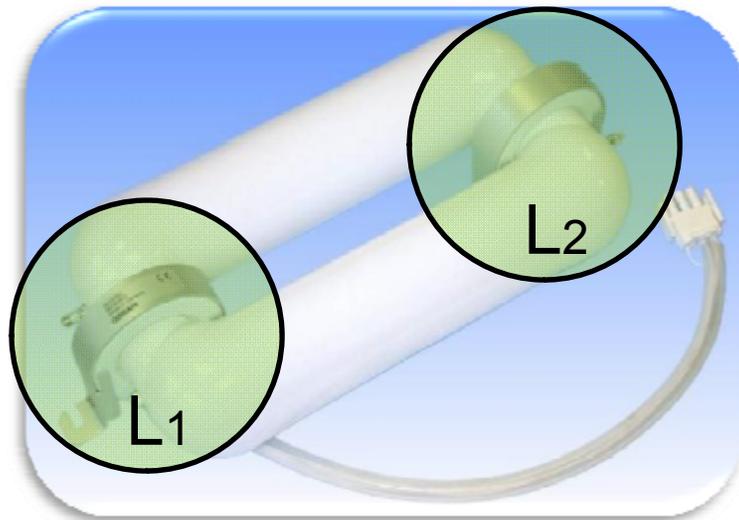
- Retificador, inversor e controle de potência (filtro ressonantes).



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Equivalente Elétrico

- As bobinas agem como um transformador.
- O enrolamento secundário corresponde ao plasma no interior da lâmpada.
- Há transferência de energia das bobinas para a descarga elétrica.



Tae-Eun Jang, 2009

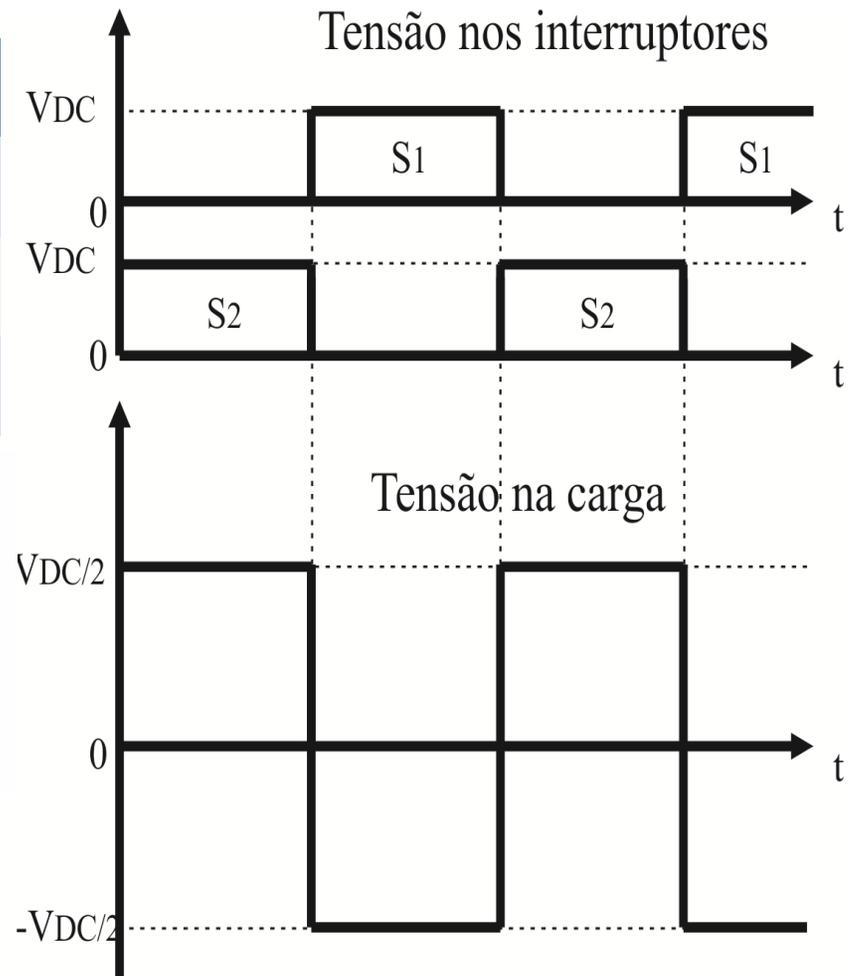
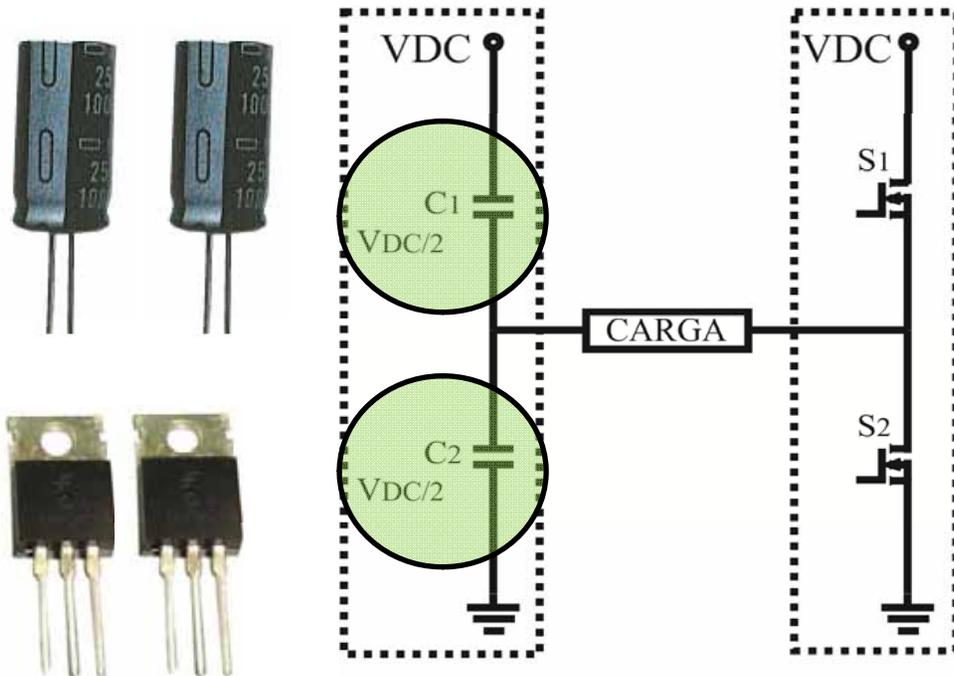
$$L_1 // L_2 = L_P$$

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Inversores

Half-Bridge Simétrico

- Dois capacitores de mesmo valor.
- Tensão de saída alternada e simétrica.
- Tensão de pico igual a metade da entrada.

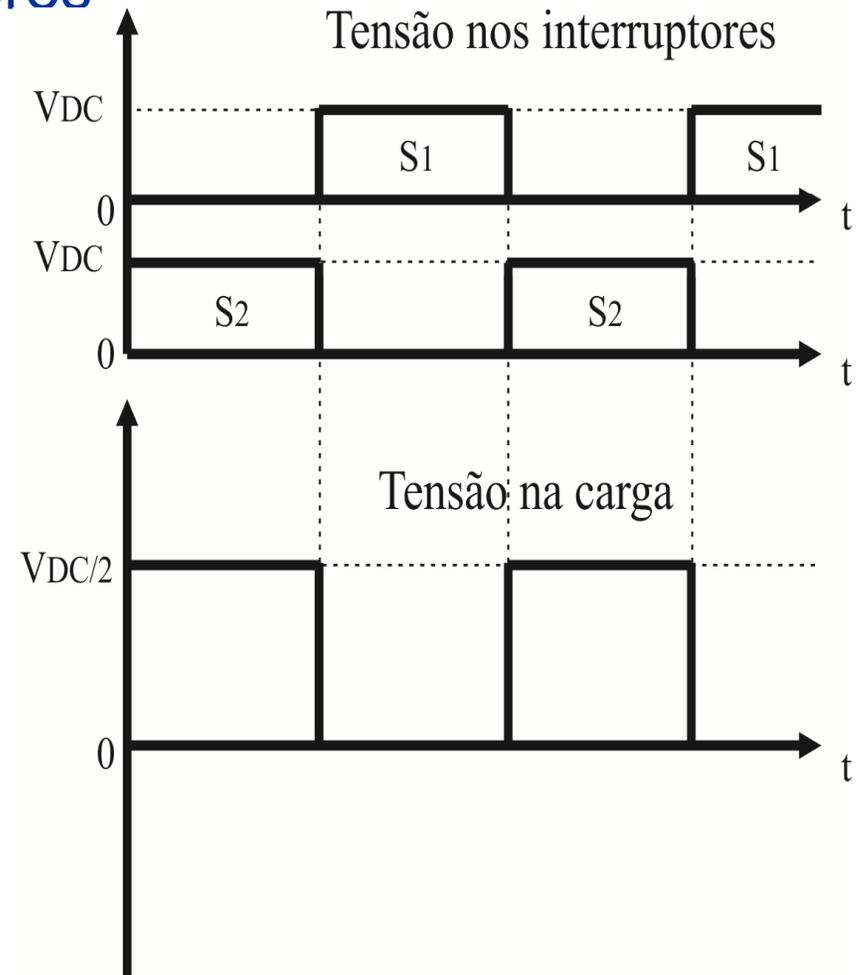
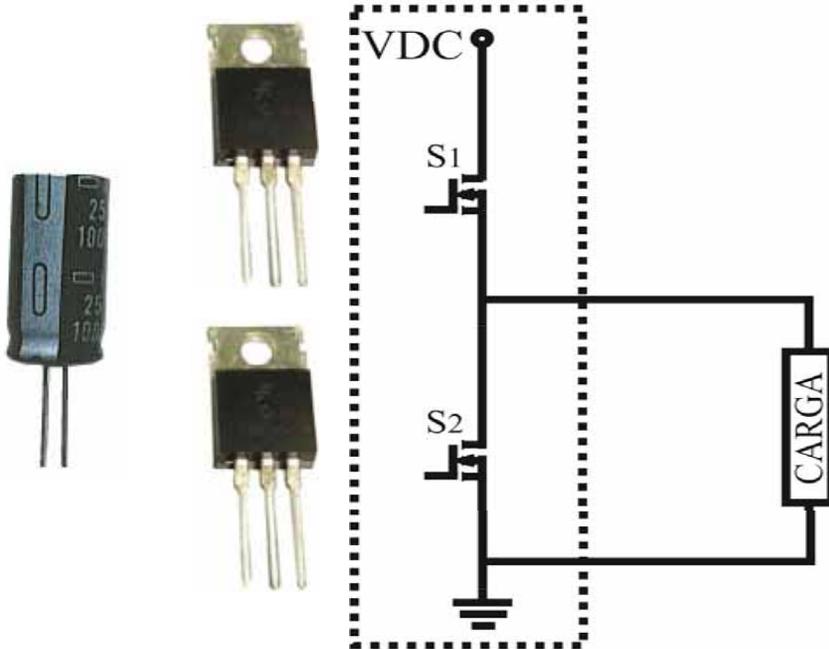


Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Inversores

Half-Bridge Assimétrico

- Sem a necessidade de dois capacitores.
- Tensão de saída alternada assimétrica.
- Valor de pico igual a tensão aplicada.



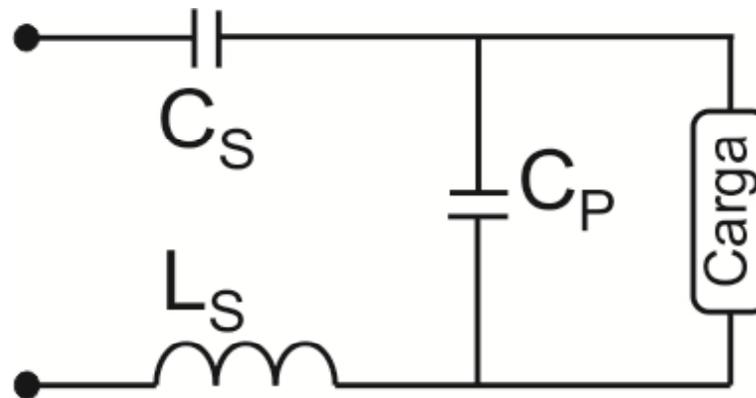
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Filtro Ressonante

Características e Funções

- Escolhido com base nas necessidades e características da lâmpada.
- Proporcionar a ignição da lâmpada.
- Possibilidade de utilização de uma alta frequência de comutação.
- Alimentado por uma forma de tensão retangular (inversor).

Filtro Ressonante
LCC

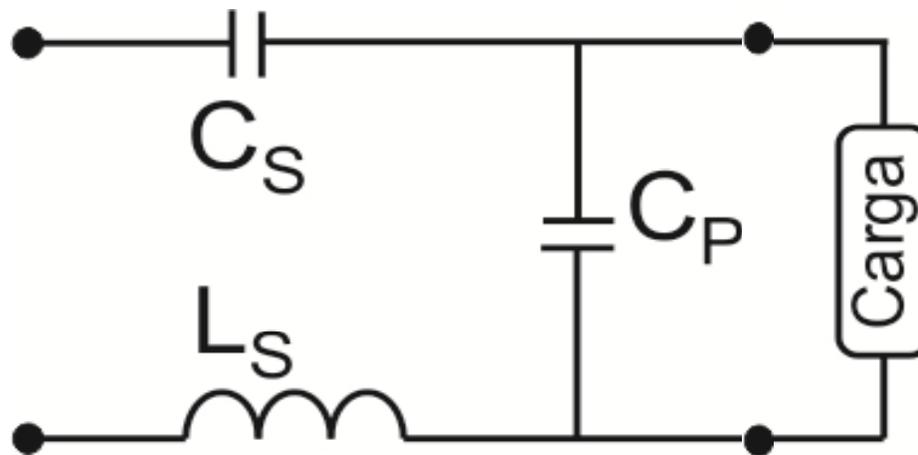


Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Filtro Ressonante

Características e Funções

- Atenua as componentes harmônicas de ordem superior.
- Providenciar a ignição da lâmpada.

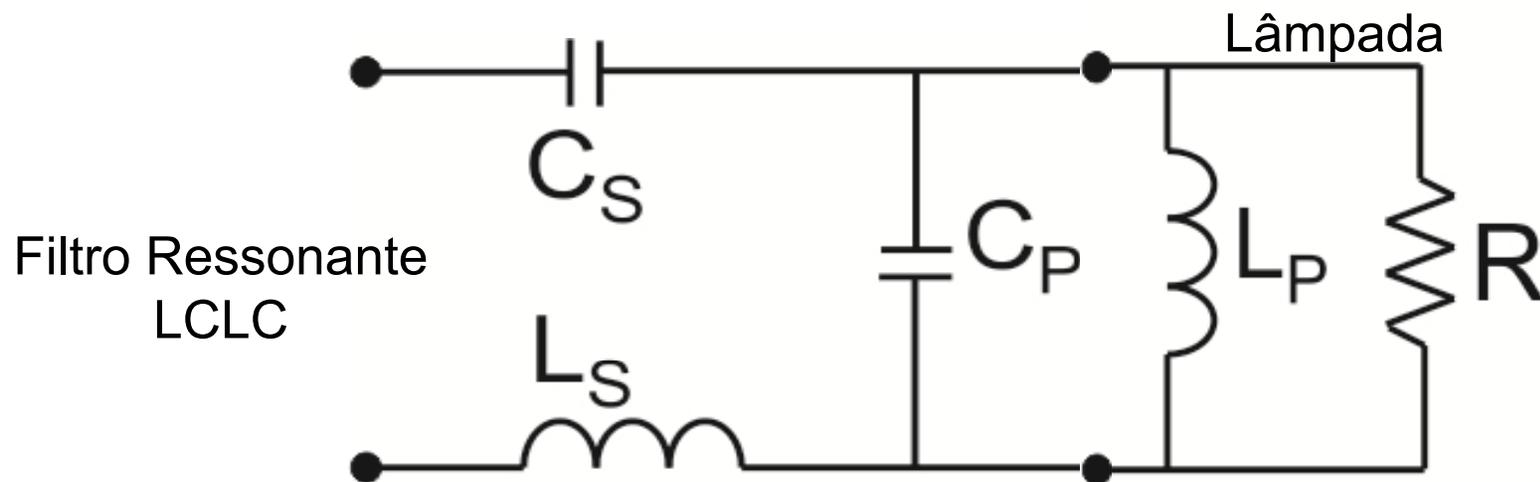


Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Filtro Ressonante

Características e Funções

- Atenua as componentes harmônicas de ordem superior.
- Providenciar a ignição da lâmpada.



Novo elemento L_P no circuito

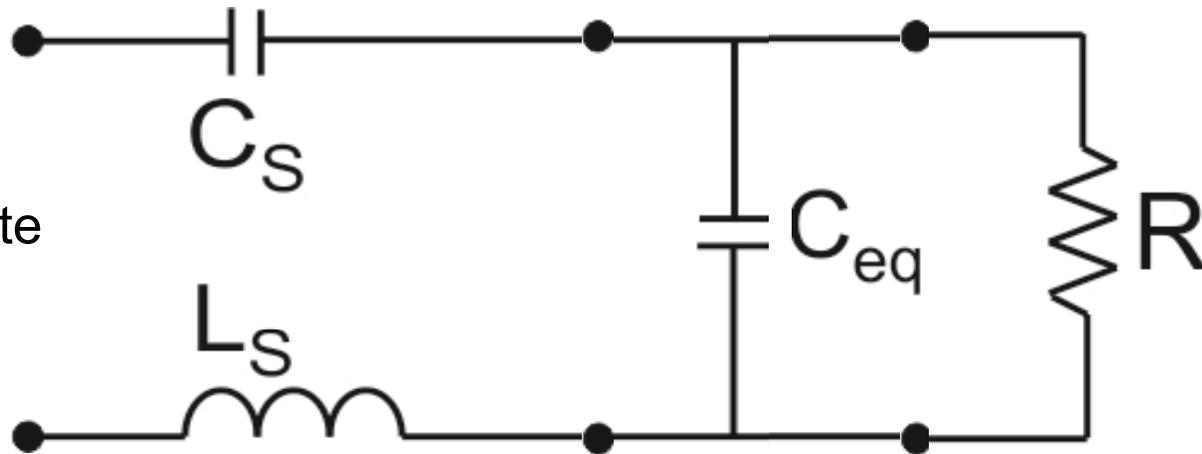
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Filtro Ressonante

Equivalência

- Equivalência entre os elementos **LP** e **CP**.
- Resultando em um novo elemento com características capacitivas **C_{eq}**.

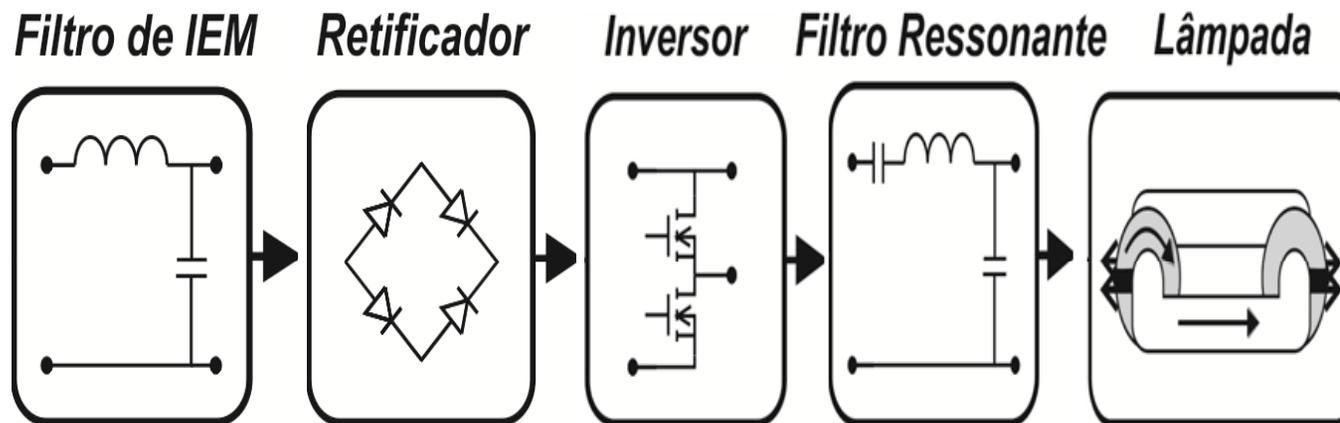
Filtro Ressonante
LCC



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estágios Completos para o Acionamento da Lâmpada

- Filtro de IEM, retificador, PFC, inversor e controle de potência.



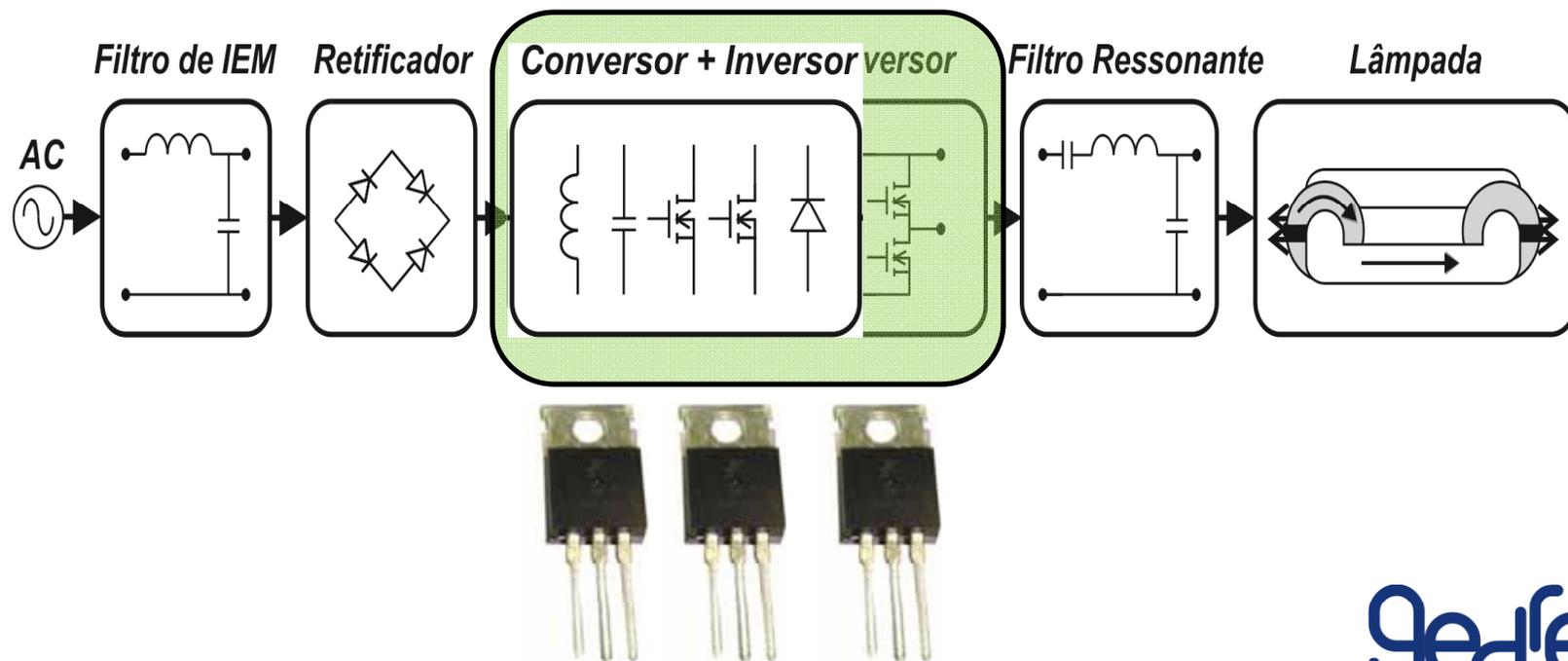
CISPR – 15
EN - 55015

IEC 61000-3-2
ANEEL Res.- 456

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

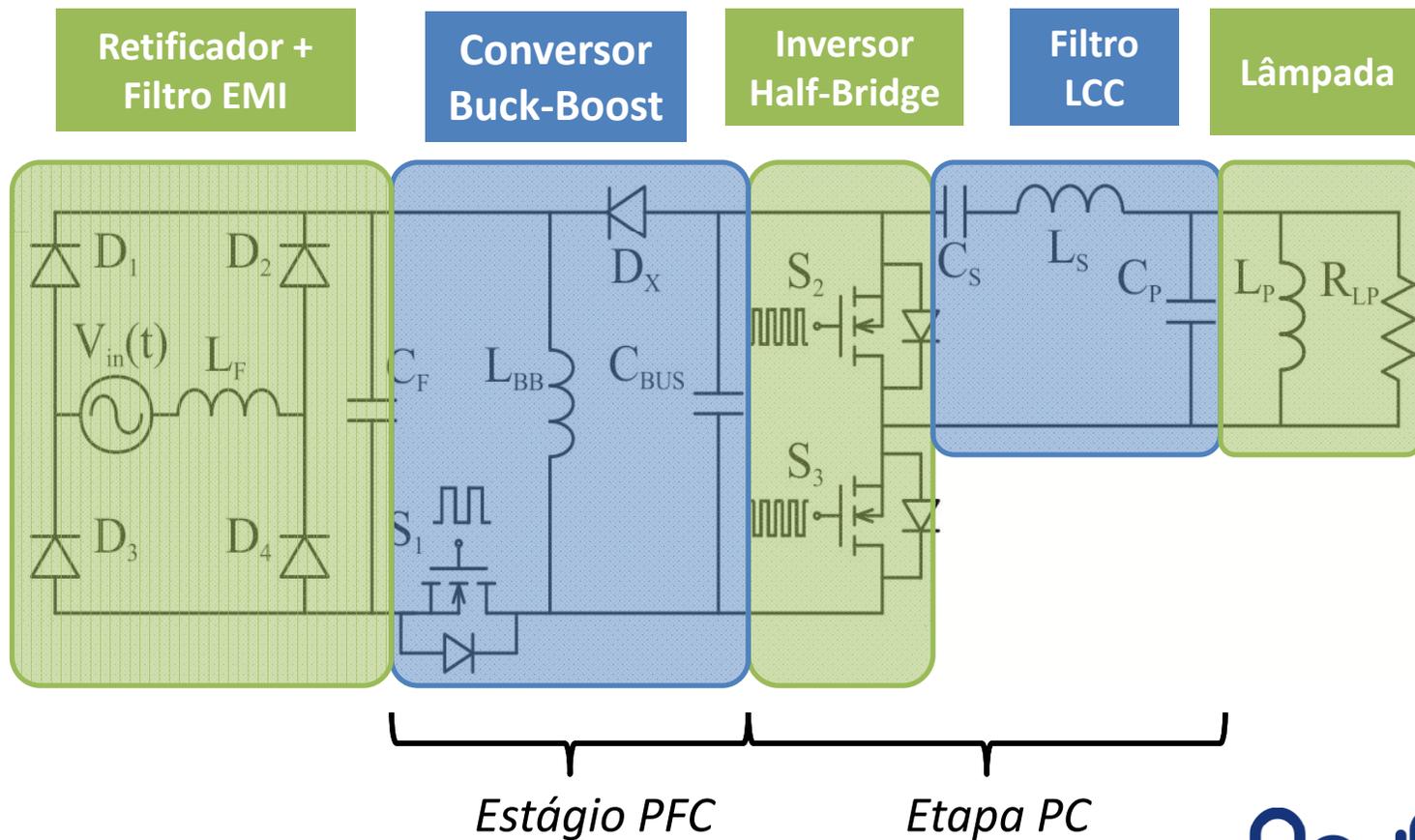
Integração dos Estágios de Alimentação da Lâmpada Fluorescente

- Redução do número de componentes de comando do circuito.
- Integração entre o estágio conversor e o estágio inversor.



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge



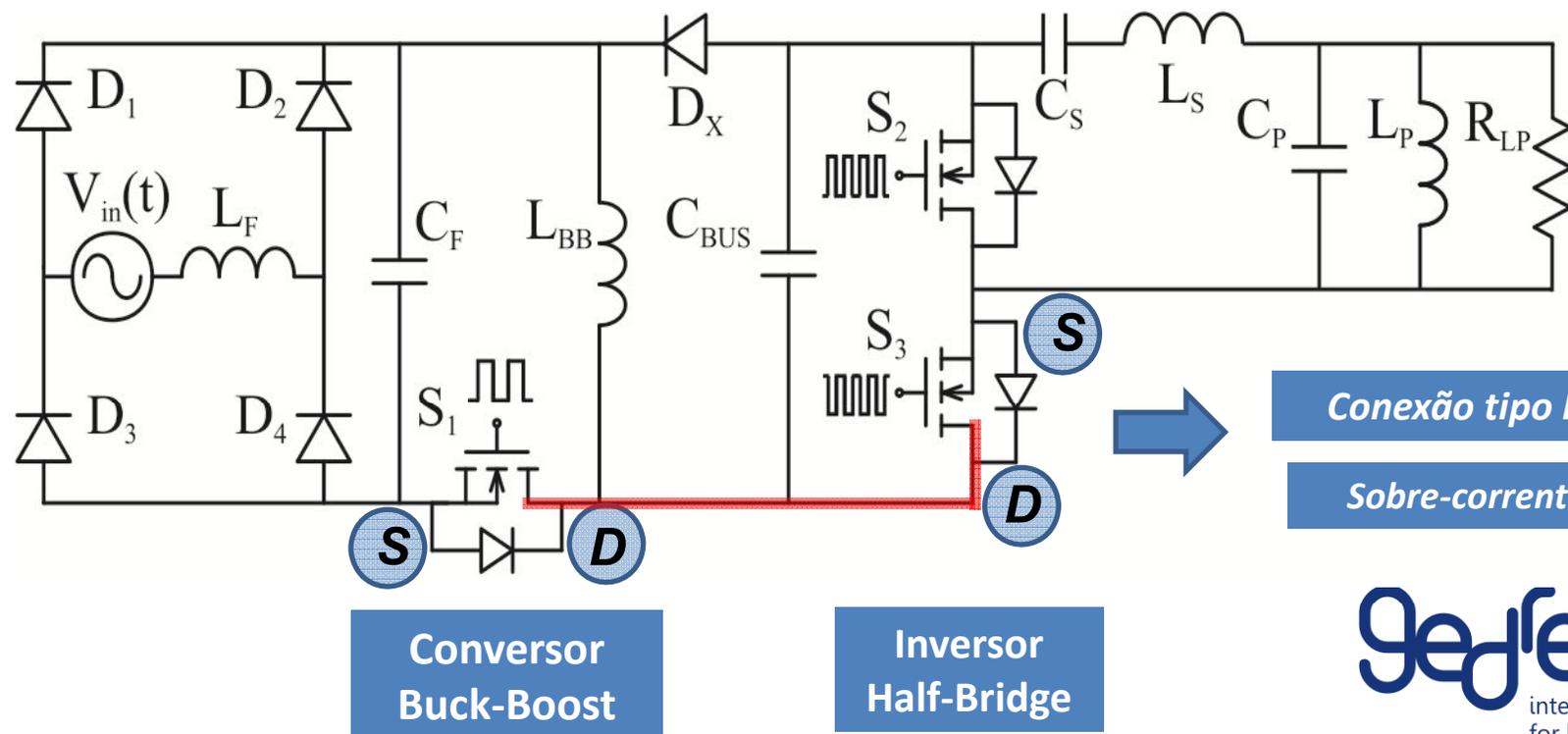
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

Critério para Integração de Interruptores

Os estágios devem operar com mesma frequência e razão cíclica.

Os interruptores devem possuir ao menos um ponto em comum.

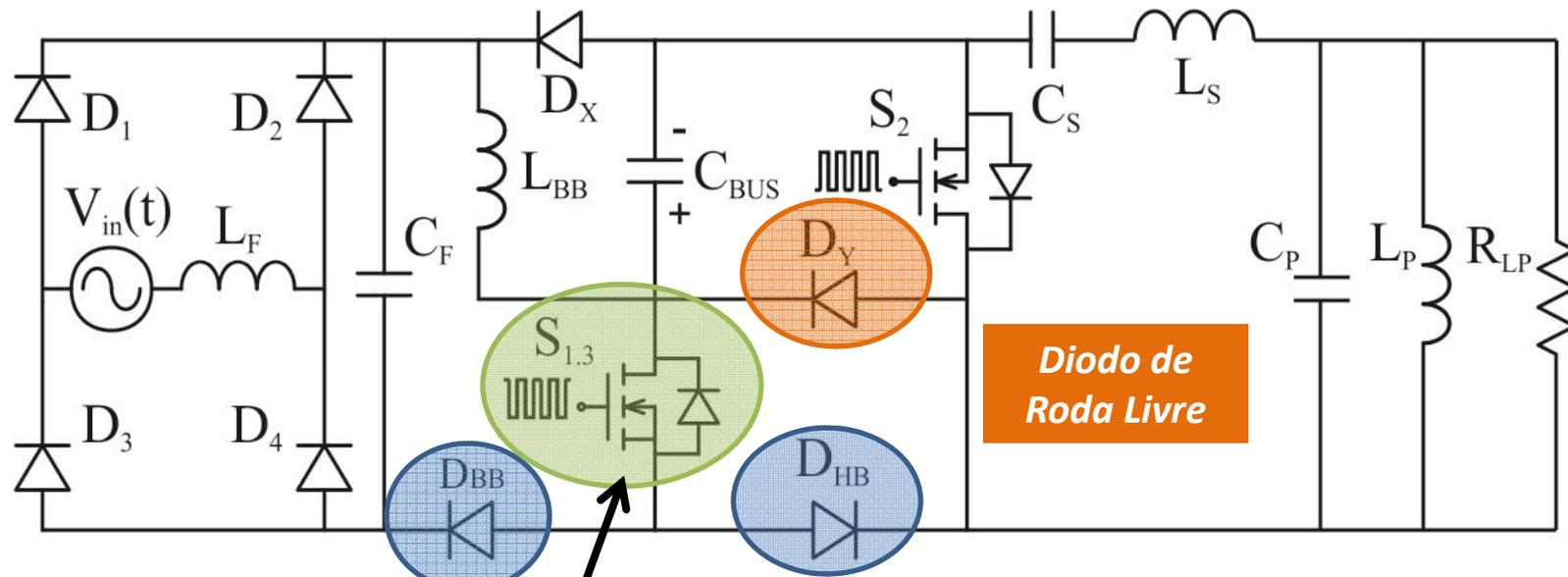


Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

Topologia Integrada

Single-stage electronic ballast.



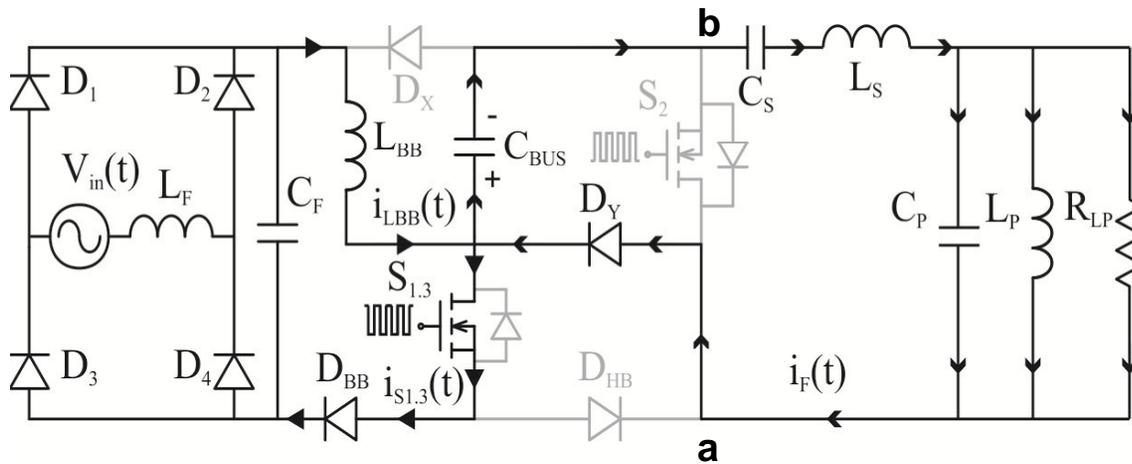
Interruptor Compartilhado

Diodos de Bloqueio

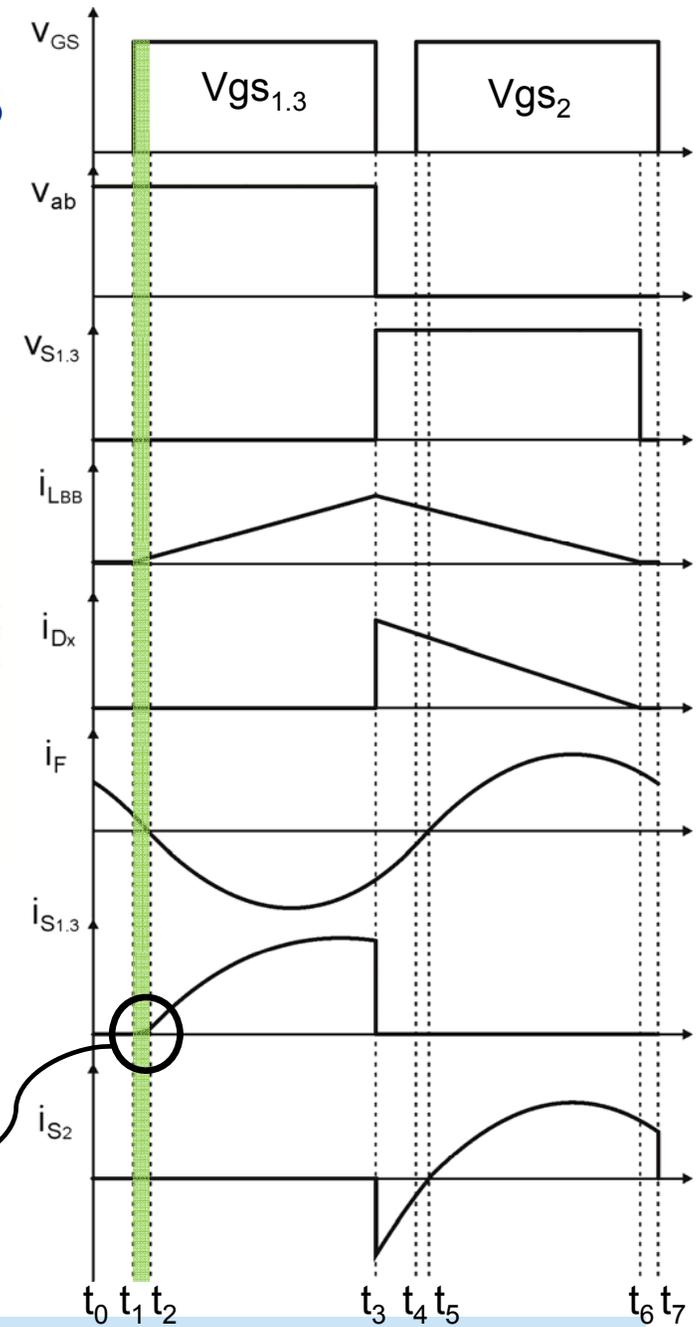
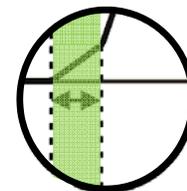
Diodo de Roda Livre

Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_1 - t_2$

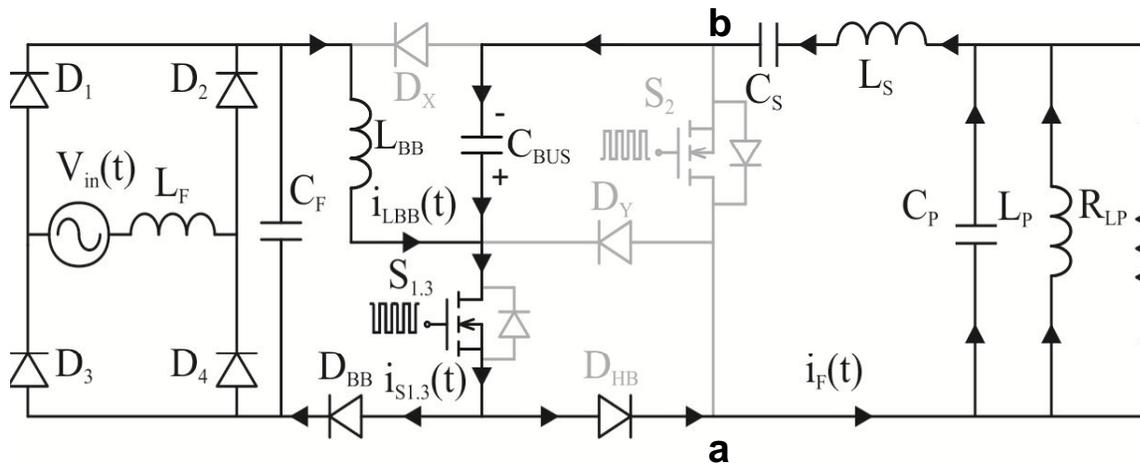


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

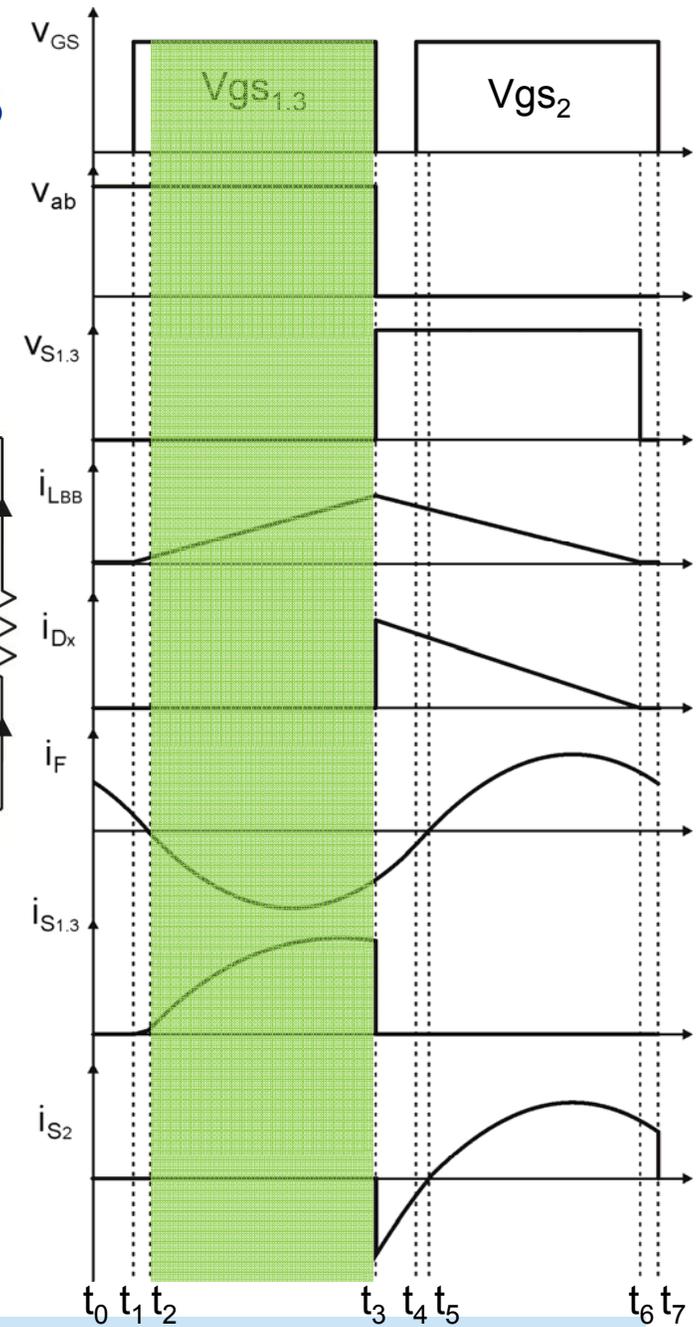


Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_2 - t_3$

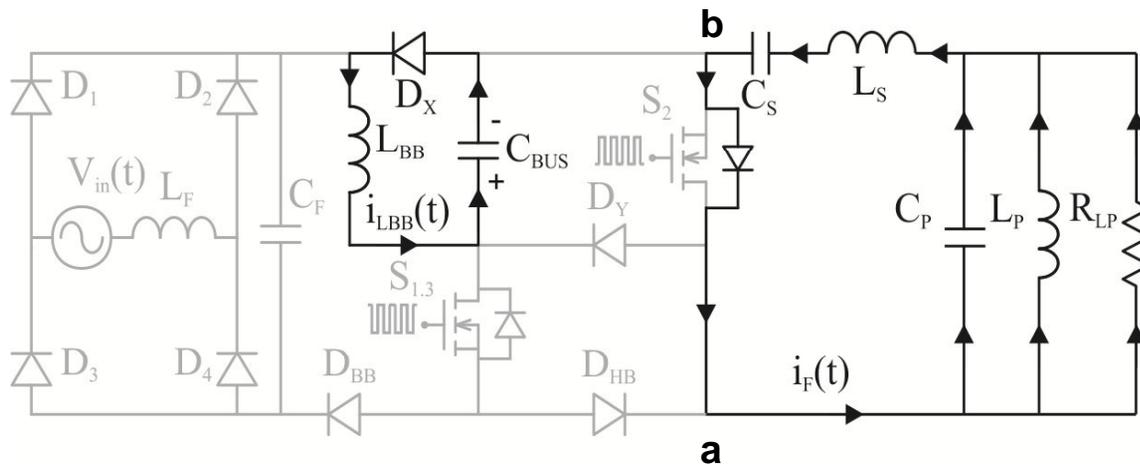


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

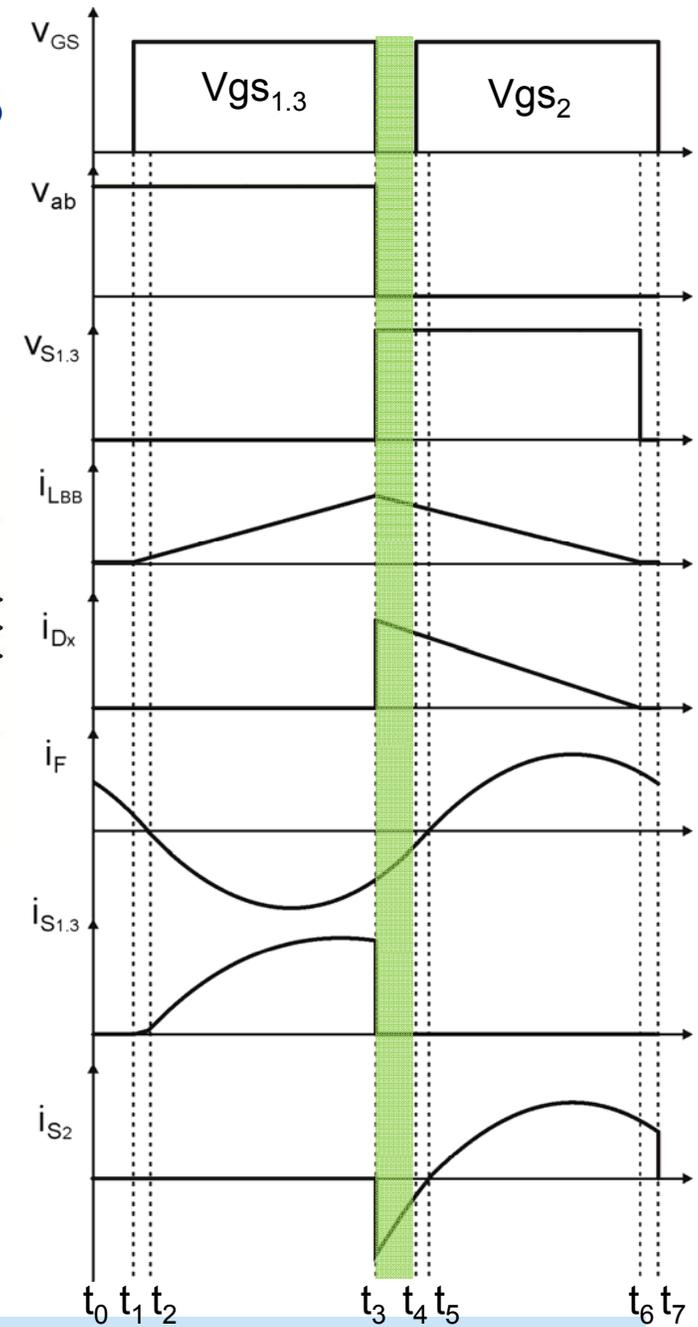


Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_3 - t_4$

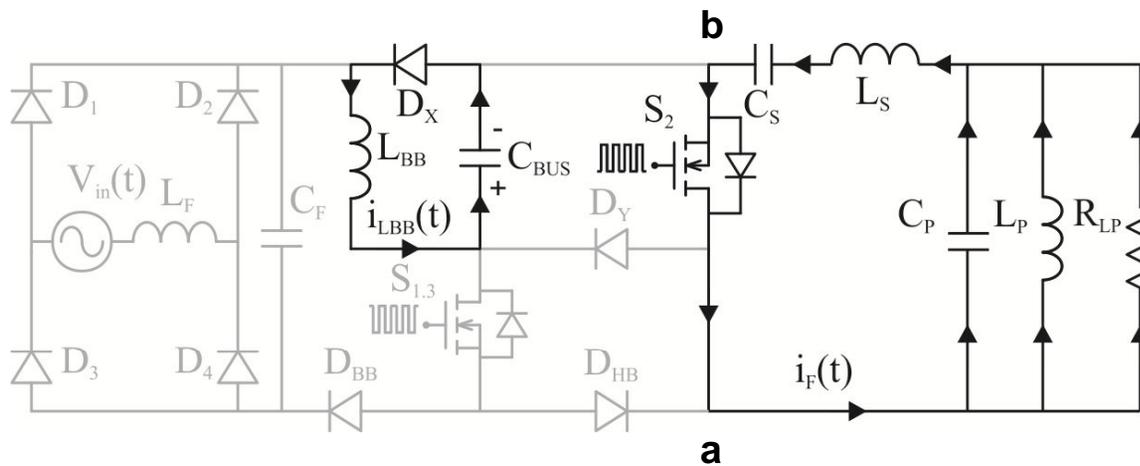


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7



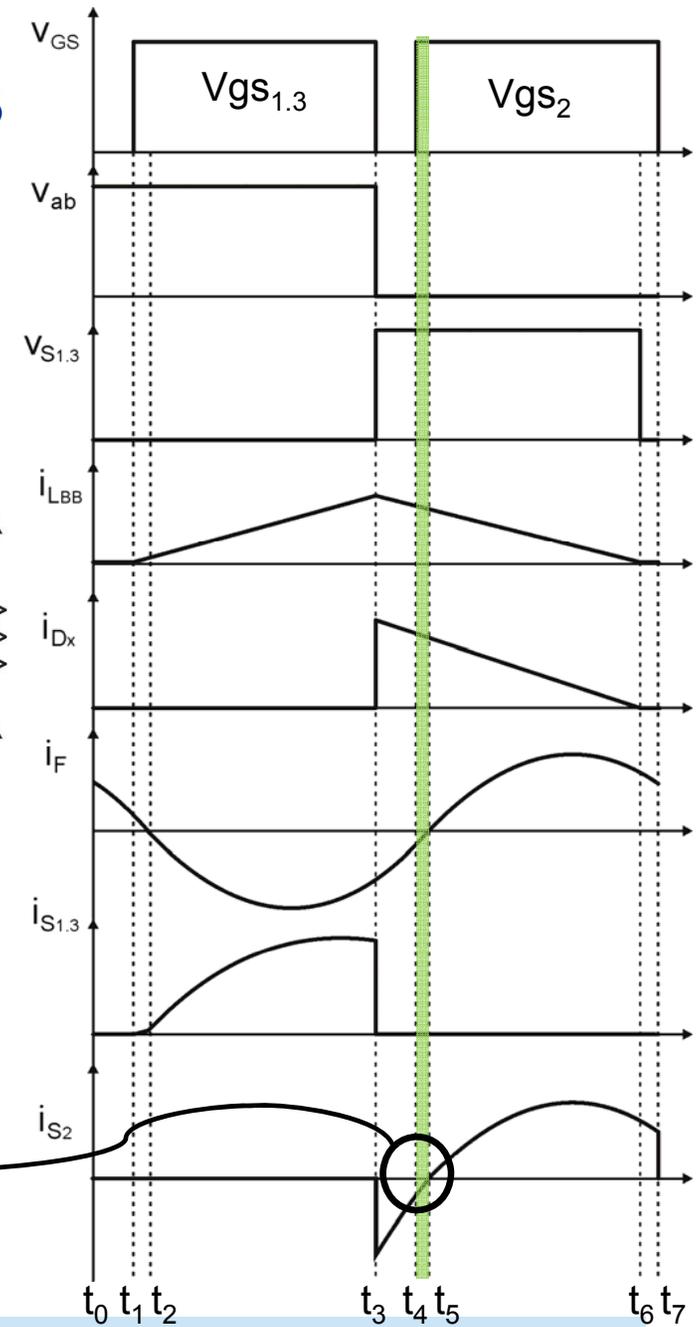
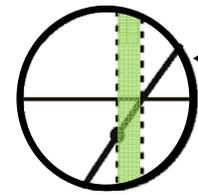
Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_4 - t_5$



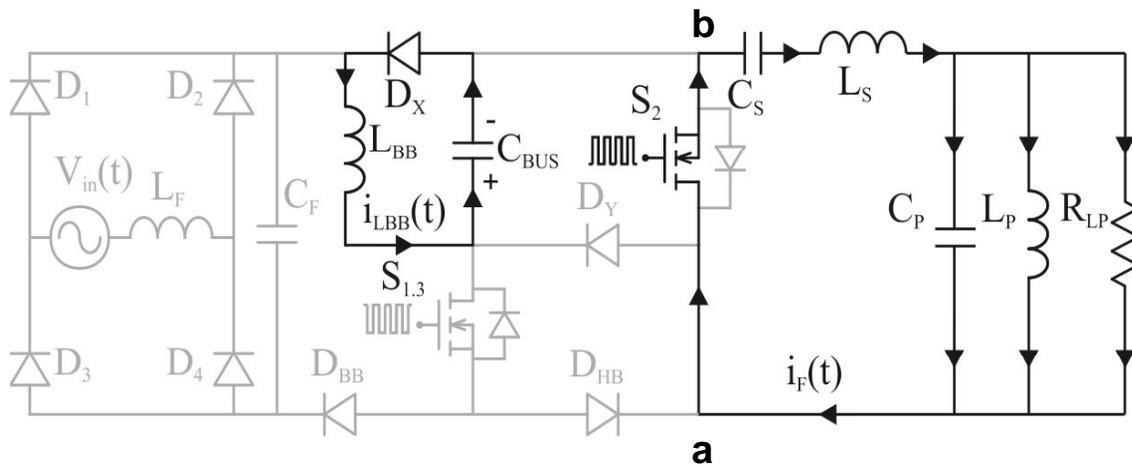
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

ZVS em S_2

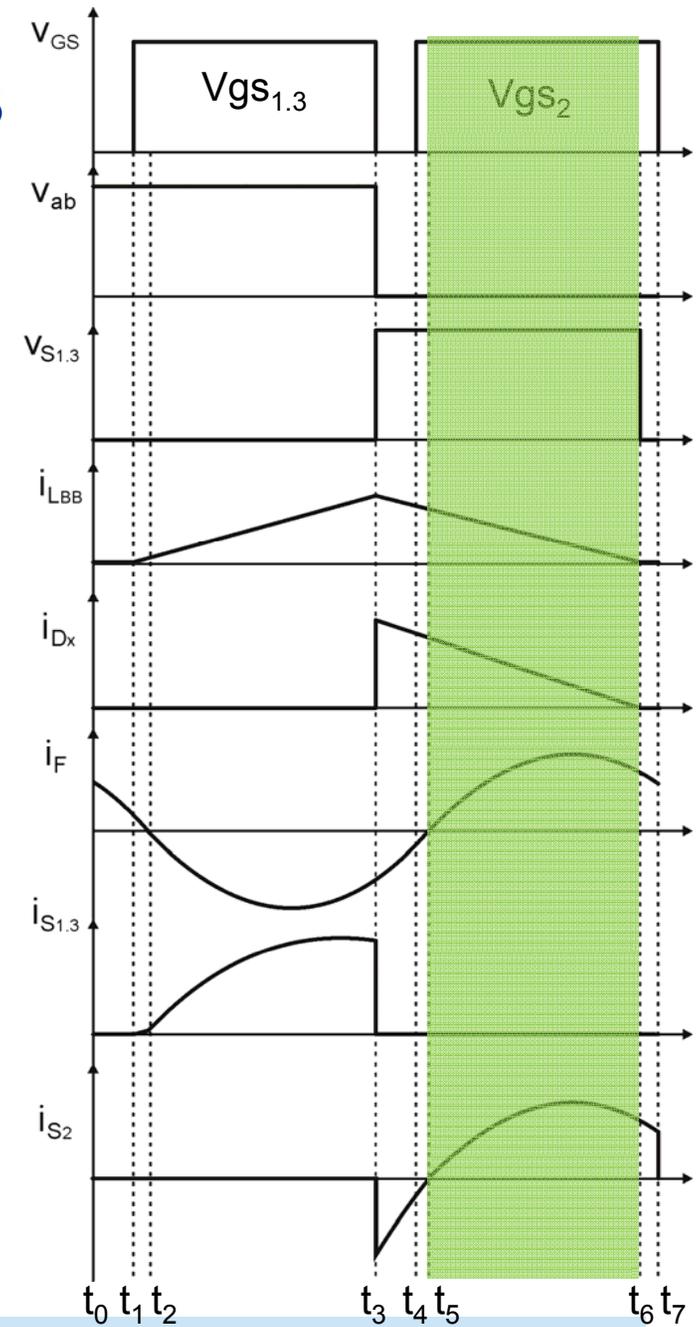


Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_5 - t_6$

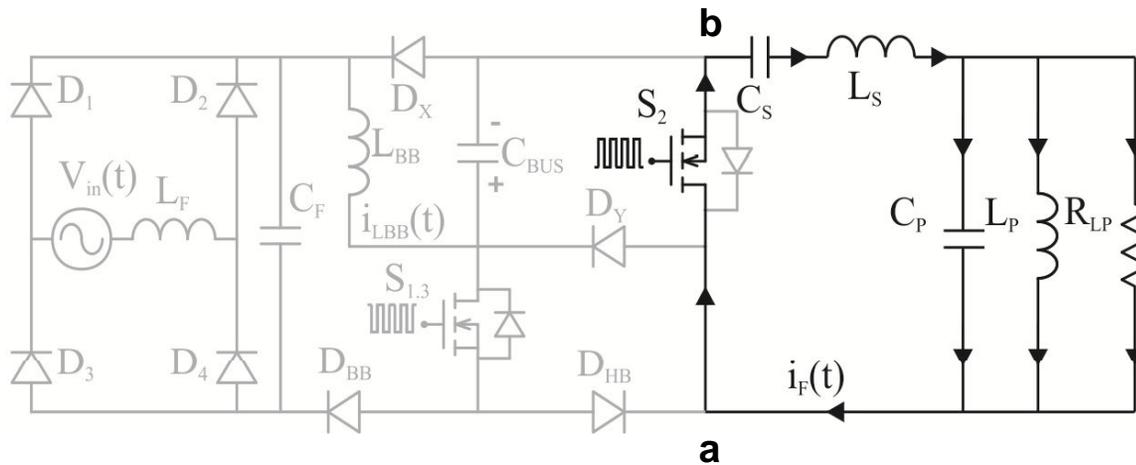


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

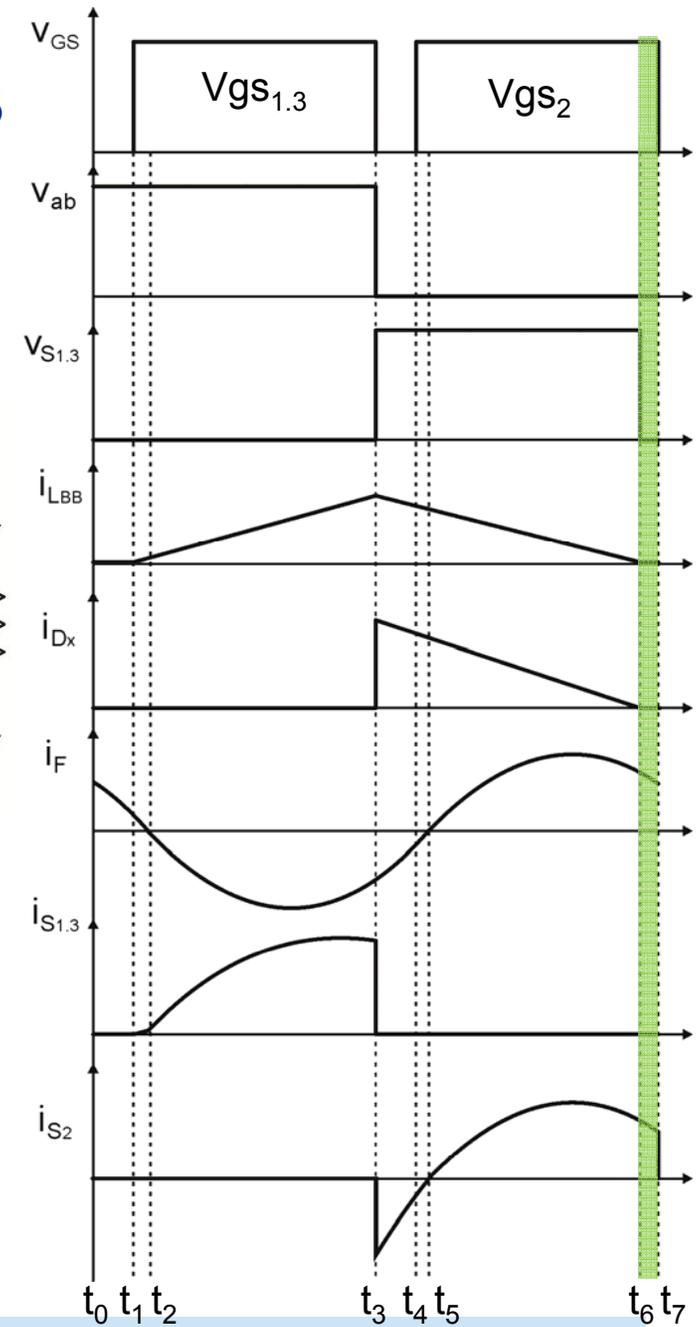


Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_6 - t_7$

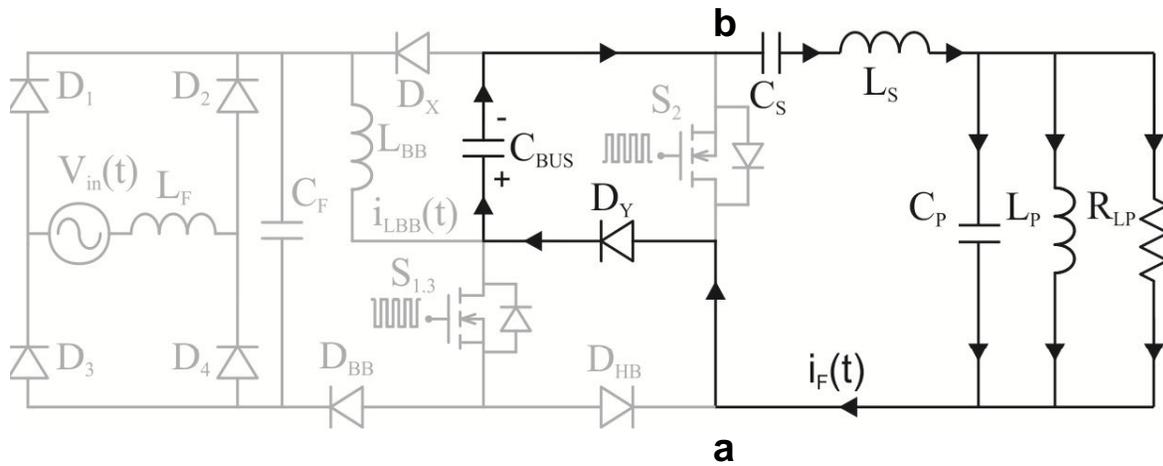


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

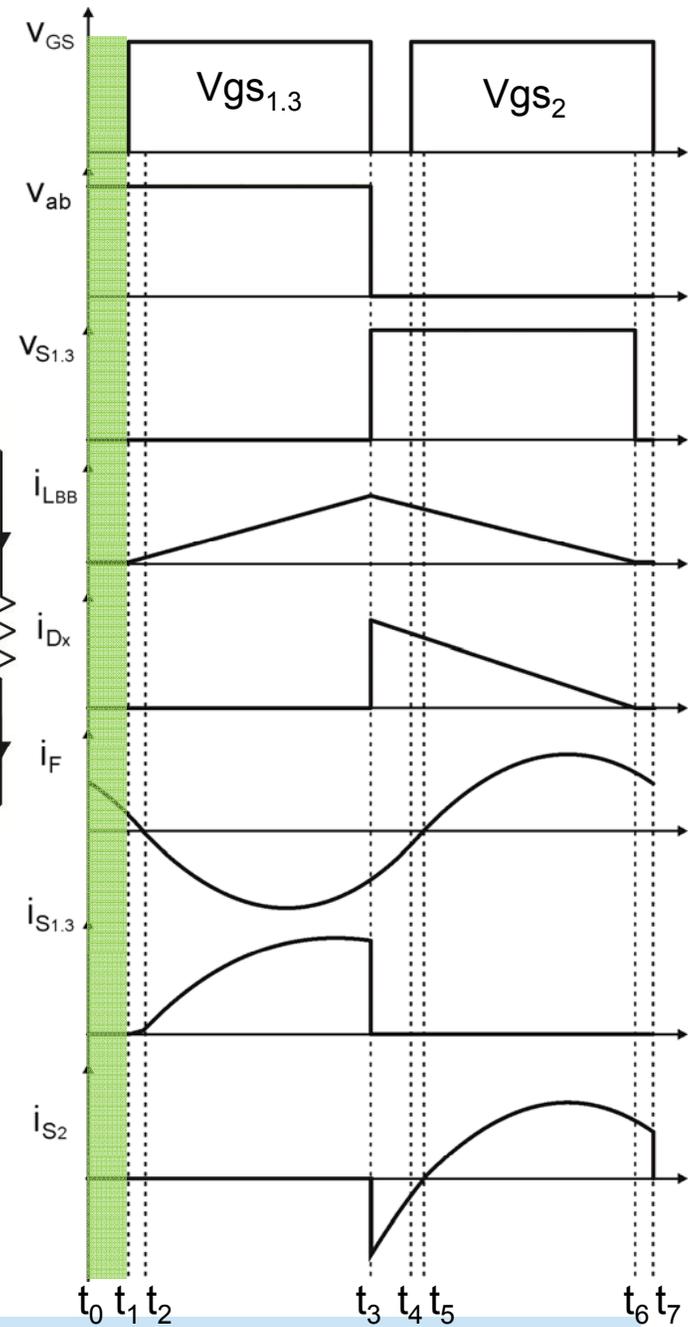


Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_0 - t_1$

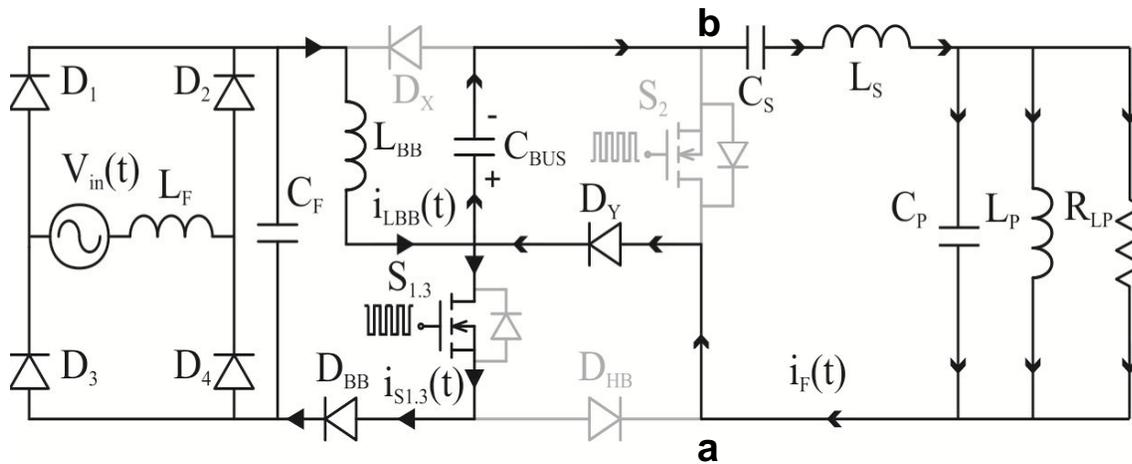


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

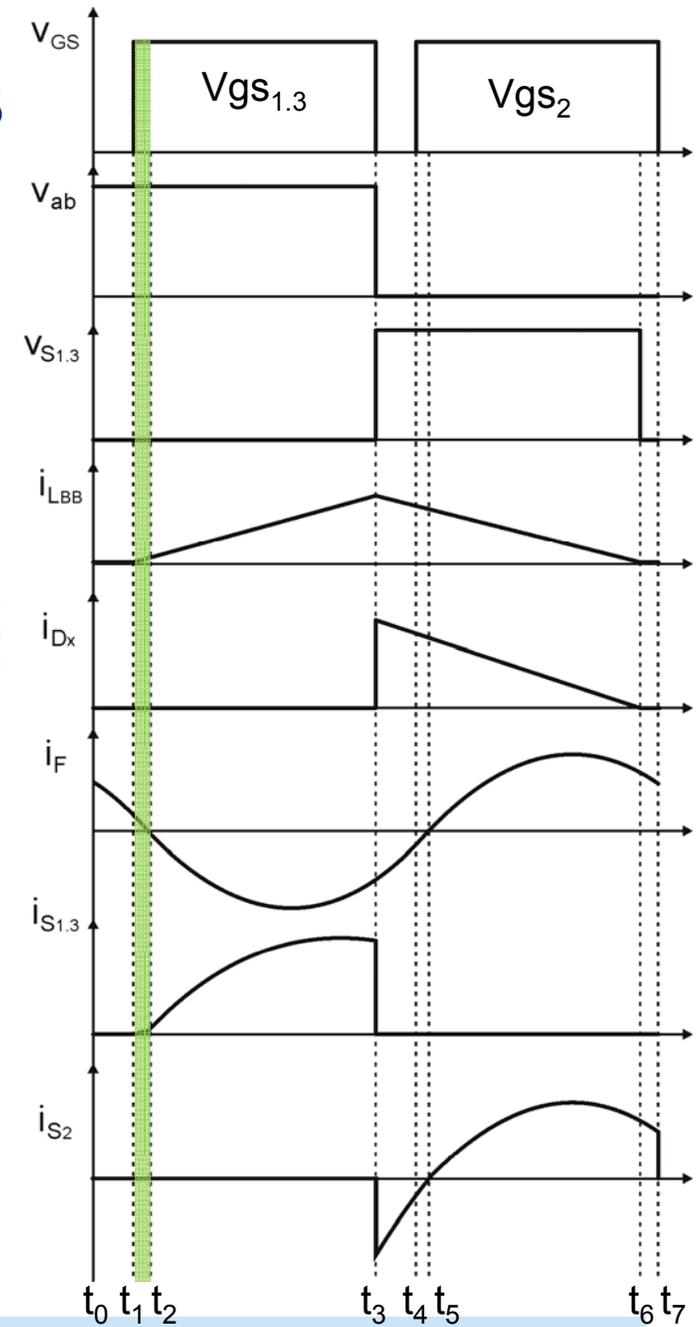


Etapas de Operação – Conversor BB HB

$t_1 - t_2$



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

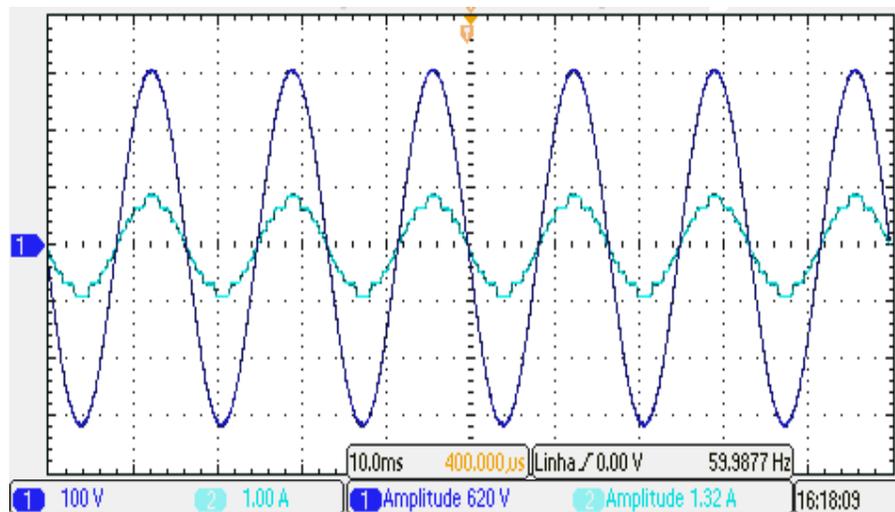


Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

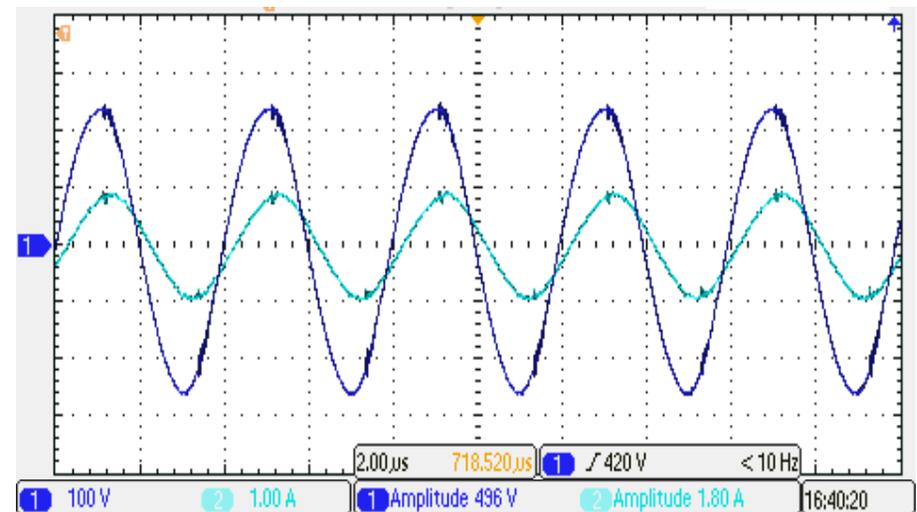
Resultados Experimentais

Tensão e Corrente de Entrada



(100 V/div; 1 A/div; 10 ms/div)

Tensão e Corrente no Filtro de Saída



(100 V/div; 1 A/div; 2 µs/div)

$PF = 0.994$

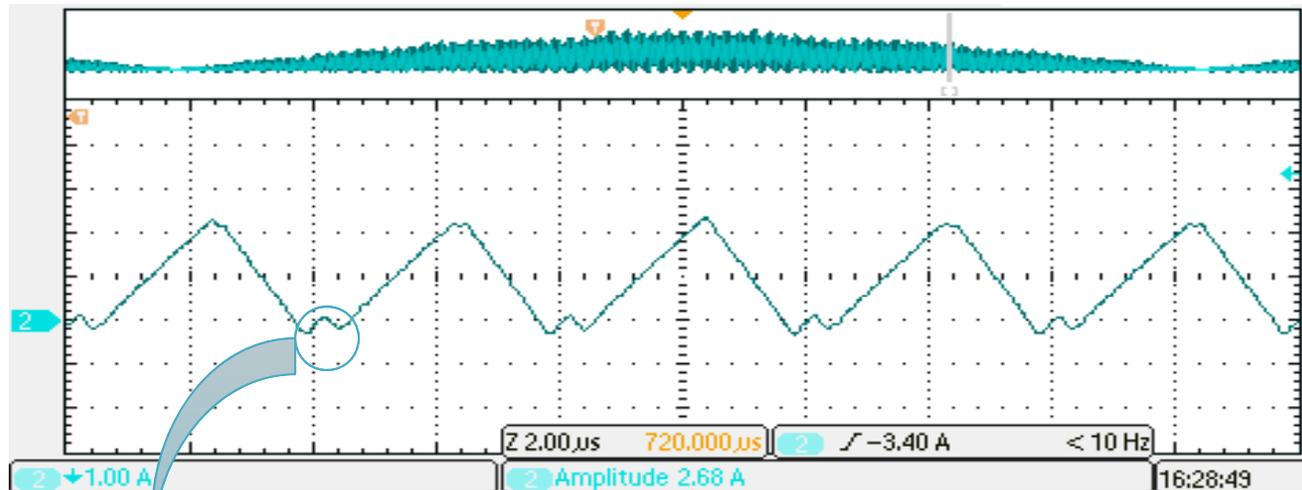
$P_{LAMP} = 100 W$

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

Resultados Experimentais

Corrente em L_{BB}



DCM

(1 A/div; Scale: 2 μs /div)

Causa distorção na corrente de entrada!!!

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 54, NO. 2, APRIL 2007

Input-Current Distortion of CCM Boost PFC Converters Operated in DCM

Koen De Gussemé, *Member, IEEE*, David M. Van de Sype, *Member, IEEE*,
Alex P. M. Van den Bossche, *Senior Member, IEEE*, and Jan A. Melkebeek, *Senior Member, IEEE*

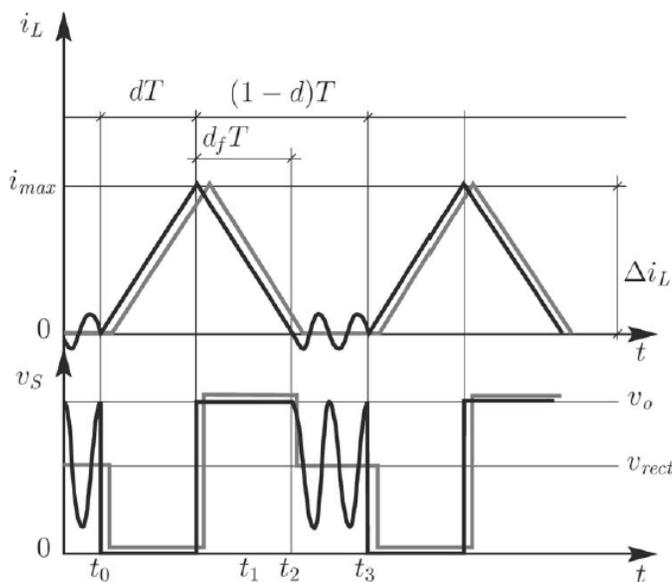


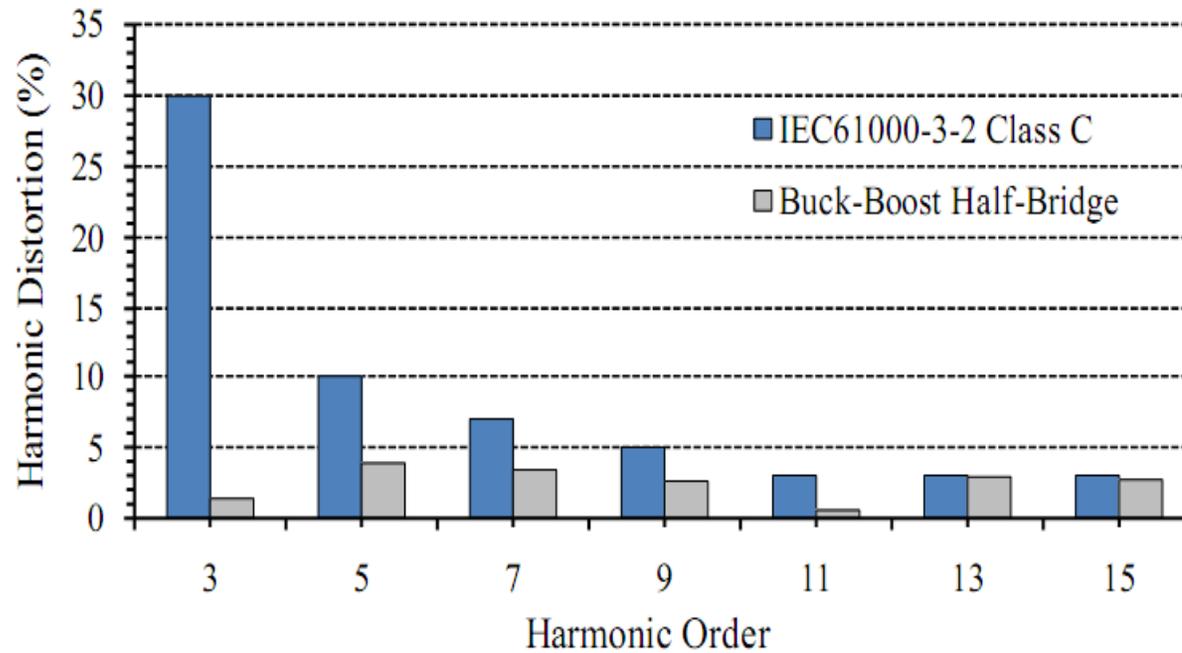
Fig. 3. Theoretical inductor current and switch voltage in DCM with high input voltage. Ideal switches (gray). Real switches (black).

current, will diminish this effect. Equation (4) reveals that this amplitude can be reduced by choosing a switch and a diode with a low parasitic capacitance, yielding a minimal value of C_n . To achieve this, a switch that is as small as the application allows should be chosen since the switch output capacitance is closely related to the current rating for a given switch type. As the converter is designed for CCM operation at a higher power level, demanding a high input current, large switching devices are needed. Since the parasitic capacitance of a switch is proportional to its current rating, this reduction is limited. Further reduction of the capacitance of the switch can be achieved by using an IGBT instead of a MOSFET for switch S . However, even with the smallest possible IGBT and diode, parasitic resonances occur, causing distortion in the line current.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

Resultados Experimentais



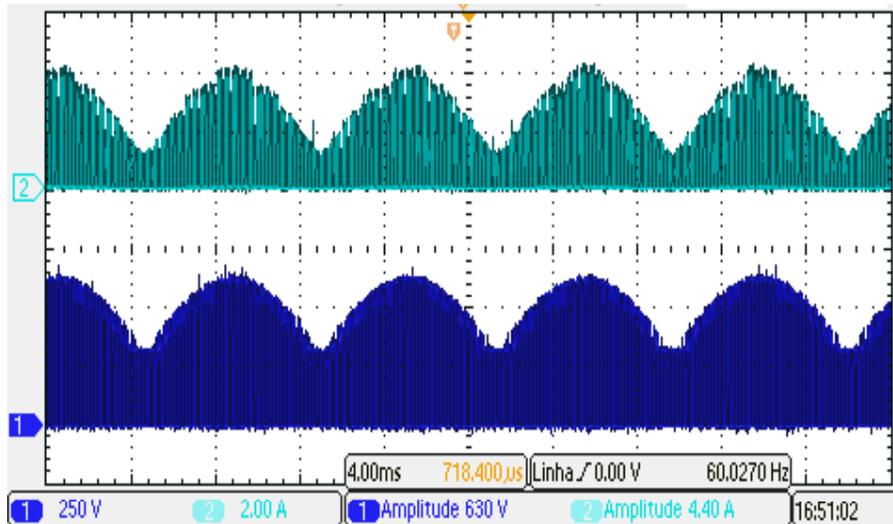
THD_{CURRENT} = 8.016 %

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

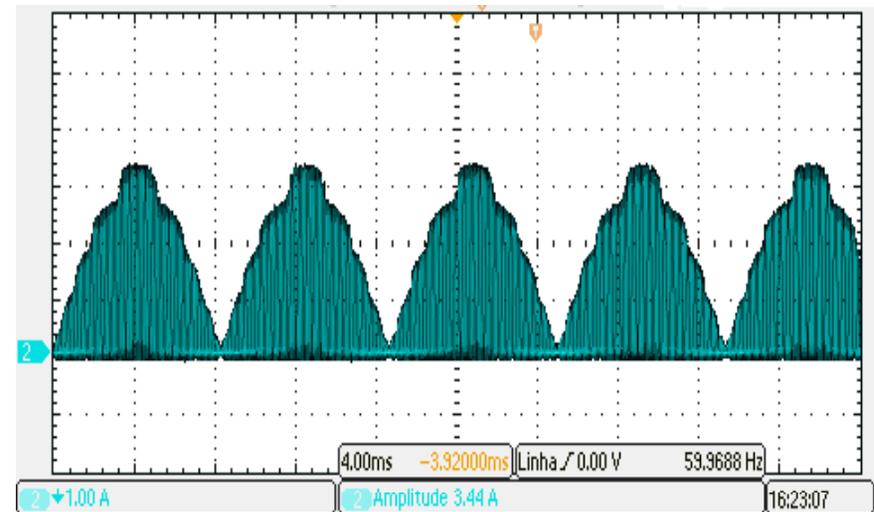
Resultados Experimentais

Tensão e Corrente em $S_{1,3}$



(250 V/div; 2 A/div; 4 ms/div)

Corrente em L_{BB}

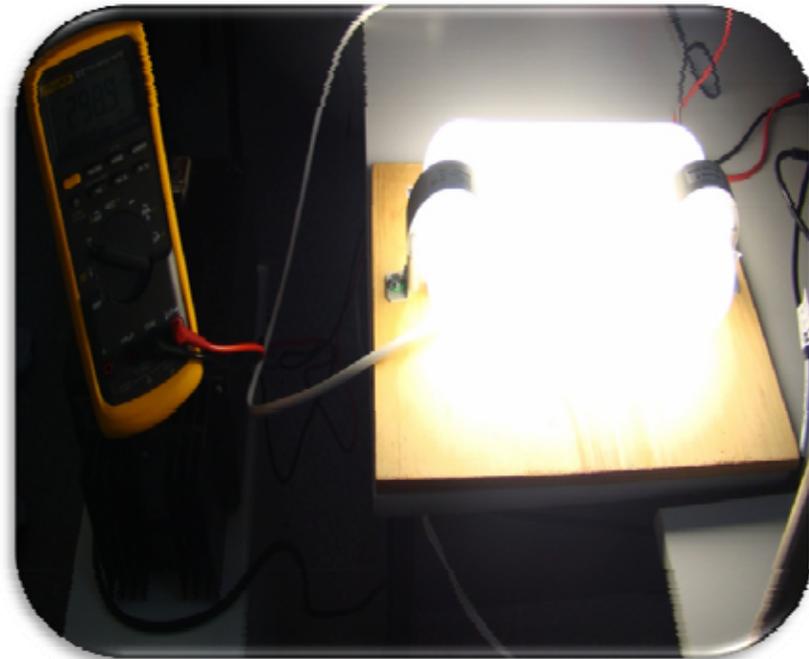
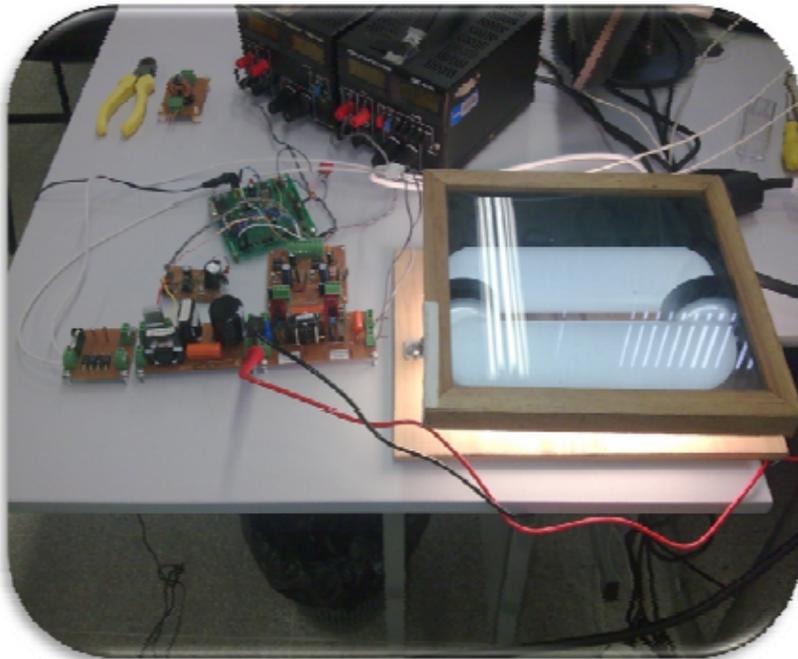


(1 A/div; 4 ms/div)

DCM

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Estudo de Caso: Buck-Boost + Half-Bridge

Análise dos Resultados

Alto fator de potência (0.994).

Baixa distorção harmônica da corrente (8.016 %).

Reduzido número de componentes.

Esforços de corrente no interruptor compartilhado.

Rendimento de 85%.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Outros Exemplos de Integração

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 46, NO. 4, AUGUST 1999

A High-Power-Factor Electronic Ballast Using a Flyback Push–Pull Integrated Converter

Ricardo Nederson do Prado, *Member, IEEE*, and Saul Azzolin Bonaldo, *Student Member, IEEE*

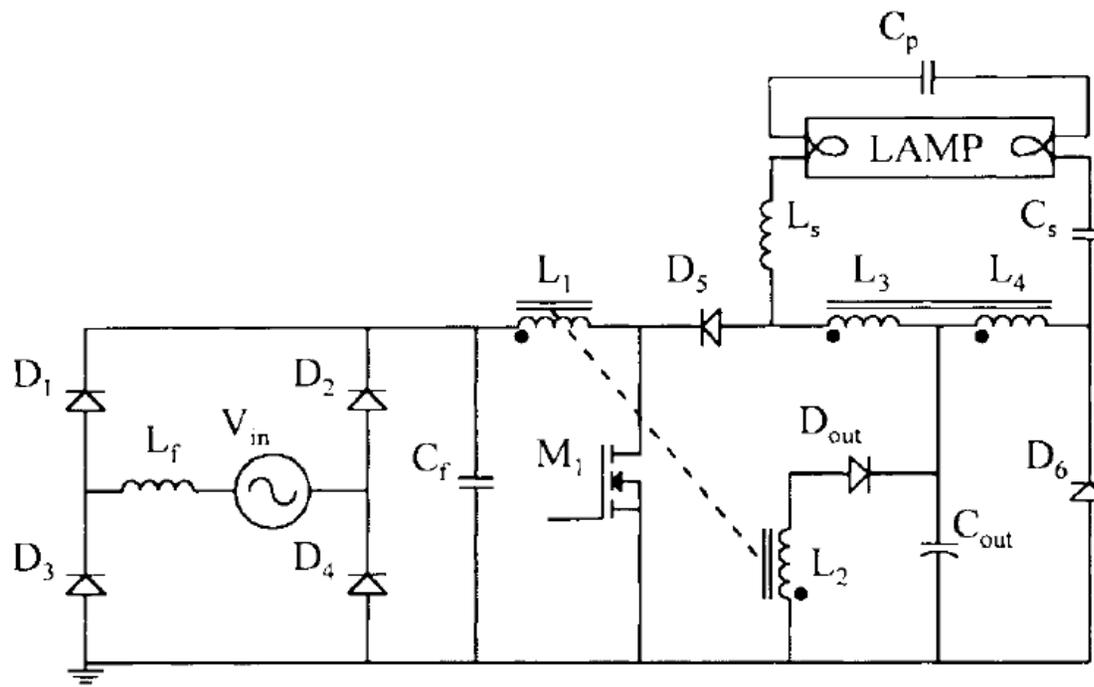


Fig. 1. Proposed topology.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Outros Exemplos de Integração

74

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 41, NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2005

A Practical Comparison Among High-Power-Factor Electronic Ballasts With Similar Ideas

Álysson Raniere Seidel, *Member, IEEE*, Fábio Ecke Bisogno, Tiago Bandeira Marchesan, *Student Member, IEEE*, and Ricardo Nederson do Prado, *Member, IEEE*

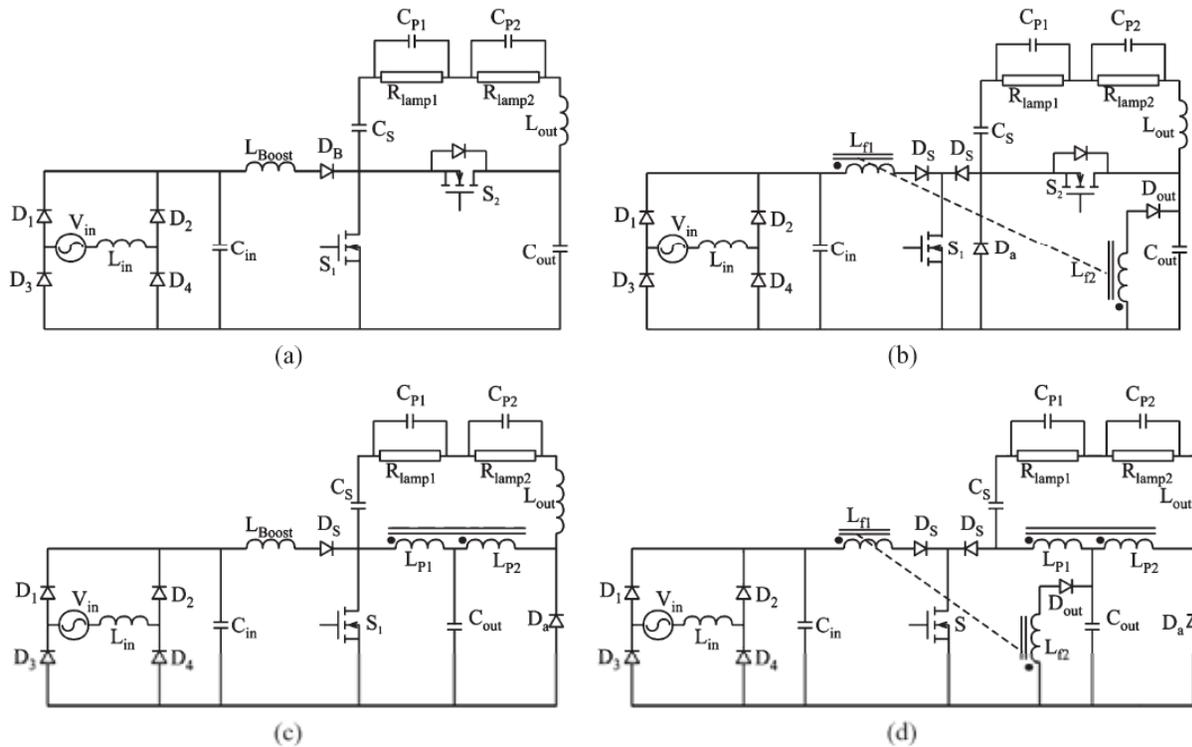


Fig. 1. Electronic ballasts topologies. (a) Boost half-bridge. (b) Flyback half-bridge. (c) Boost push-pull. (d) Flyback push-pull.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

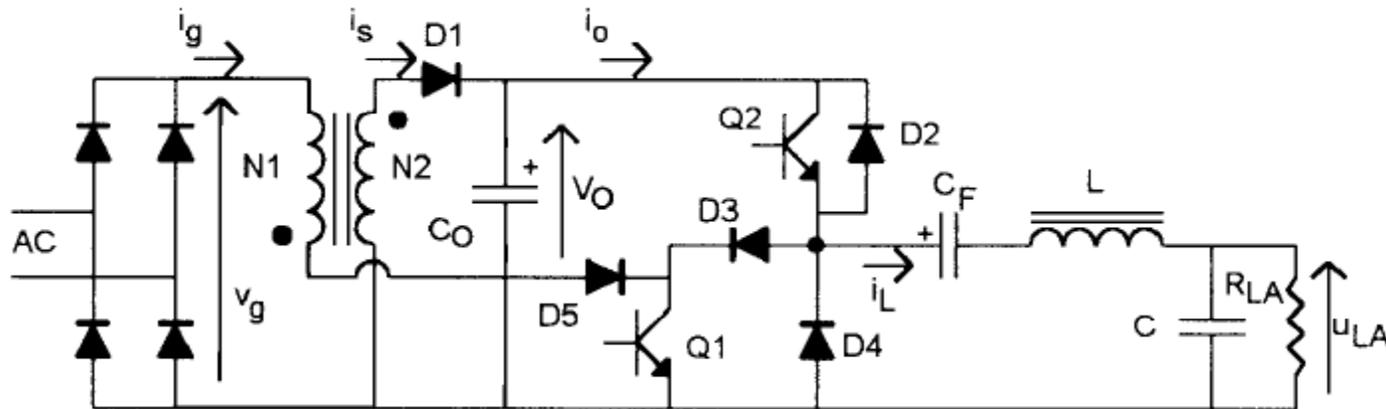
Outros Exemplos de Integração

998

IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 14, NO. 6, NOVEMBER 1999

Analysis and Experimental Results of a Single-Stage High-Power-Factor Electronic Ballast Based on Flyback Converter

Antonio J. Calleja, *Associate Member, IEEE*, J. Marcos Alonso, *Member, IEEE*, Emilio López, *Member, IEEE*, Javier Ribas, *Student Member, IEEE*, Juan Angel Martínez, *Member, IEEE*, and Manuel Rico-Secades, *Member, IEEE*



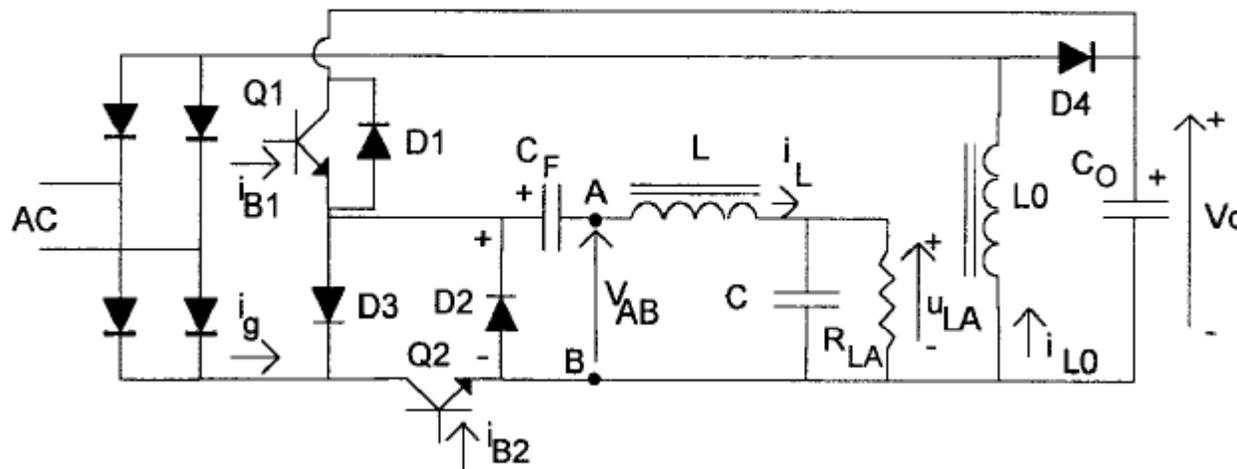
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Outros Exemplos de Integração

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 46, NO. 6, DECEMBER 1999

A Novel Single-Stage Constant-Wattage High-Power-Factor Electronic Ballast

J. Marcos Alonso, *Member, IEEE*, Antonio J. Calleja, *Associate Member, IEEE*, Emilio López, *Member, IEEE*, Javier Ribas, *Student Member, IEEE*, and Manuel Rico-Secades, *Member, IEEE*



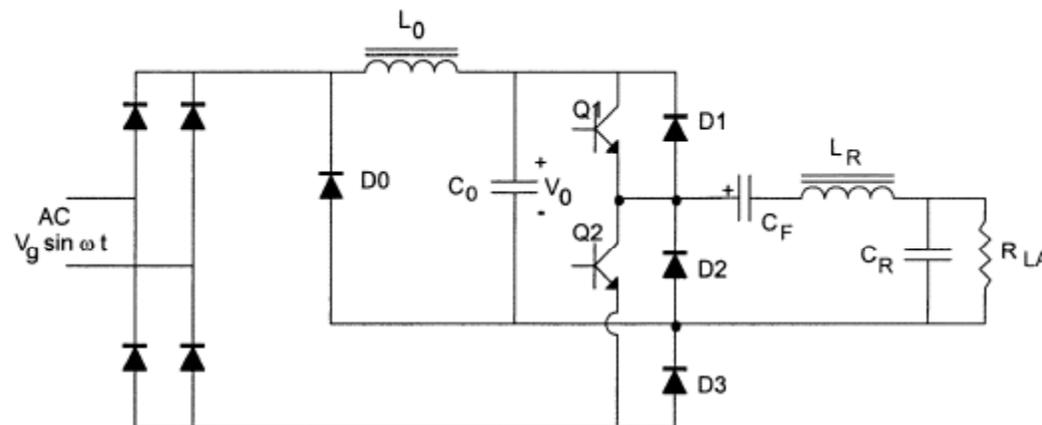
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes

Outros Exemplos de Integração

IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 19, NO. 2, MARCH 2004

Analysis and Design of a Novel Single-Stage High-Power-Factor Electronic Ballast Based on Integrated Buck Half-Bridge Resonant Inverter

J. Marcos Alonso, *Senior Member, IEEE*, Antonio J. Calleja, *Associate Member, IEEE*, Javier Ribas, *Associate Member, IEEE*, Emilio López Corominas, *Member, IEEE*, and Manuel Rico-Secades, *Member, IEEE*



Sumário

Integração de Conversores Estáticos aplicada a:

- Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes
- **Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID**
- Drivers para LEDs

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

SUMÁRIO

- Lâmpadas HID
- Ressonâncias Acústicas
- Alimentação com Onda Quadrada de Baixa Frequência (OQBF)
- Integração aplicada a Reatores OQBF

Lâmpadas HID

- ✓ Descarga em Alta Pressão entre dois eletrodos;
- ✓ Dimensões compactas;
- ✓ Impedância dinâmica negativa;
 - ✓ Necessidade de um REATOR.
 - ✓ Ignição
 - ✓ Limitação da corrente
- ✓ Reatores Eletromagnéticos;
- ✓ Reatores Eletrônicos;

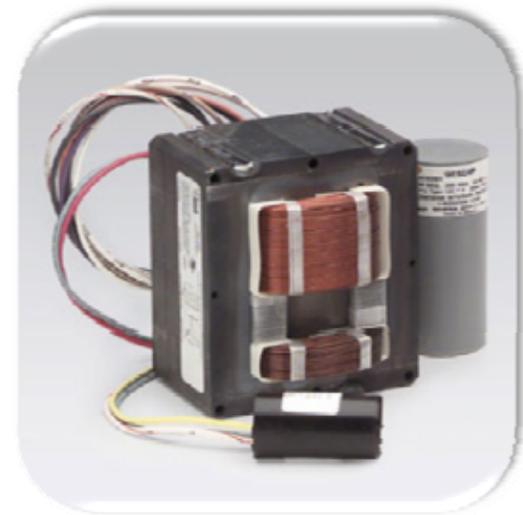


Reatores Eletromagnéticos

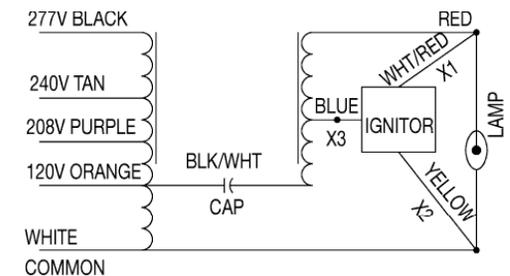
✓ Reatores Eletromagnéticos

Reatores Eletromagnéticos

- ✓ Componente magnético
 - ✓ Operam na frequência da rede de alimentação (50 / 60 Hz)
 - ✓ Robustos

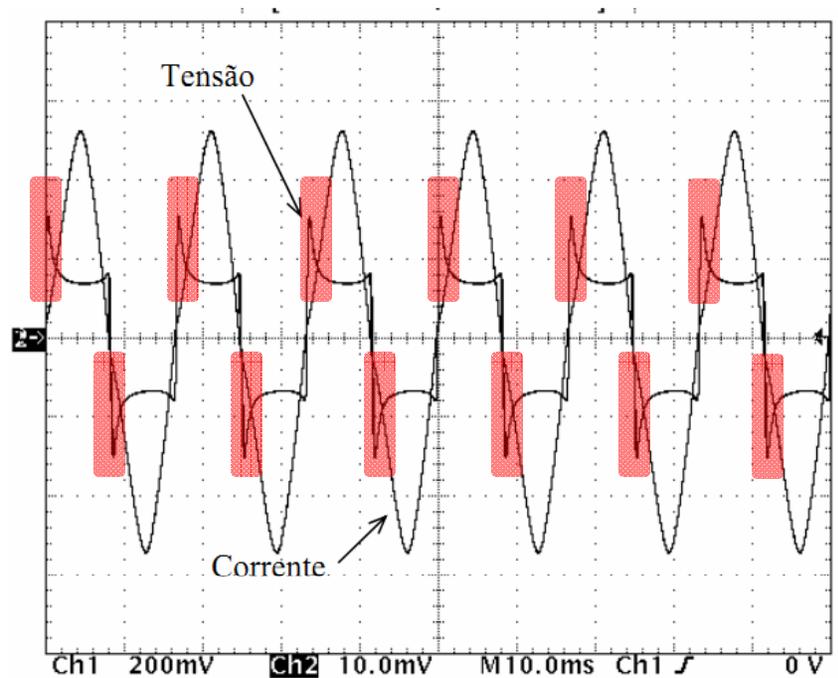


- ✓ Pesados e volumosos
- ✓ Distorção na corrente
- ✓ Baixa regulação de potência



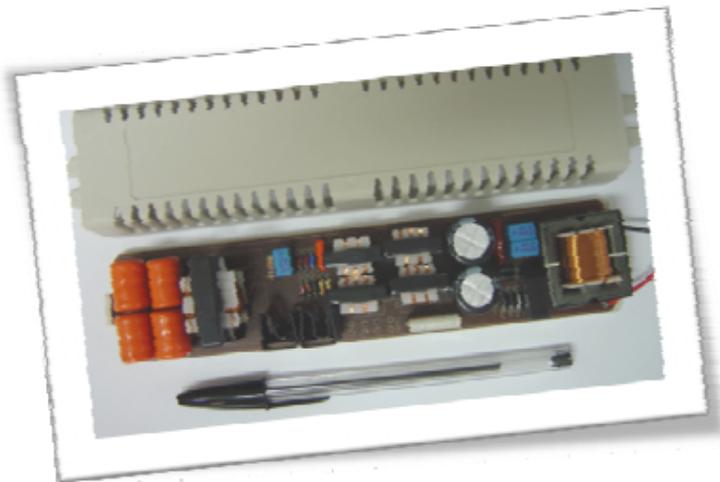
Reatores Eletromagnéticos

- ✓ Operação em baixa frequência senoidal
- ✓ Re-ignição a cada meio ciclo da rede



Reatores Eletrônicos

- ✓ Tecnologia consolidada em lâmpadas fluorescentes
 - ✓ Operação em alta-frequência
 - ✓ Reduz componentes passivos
 - ✓ Sem cintilamento luminoso
 - ✓ Ausência de ruído audível



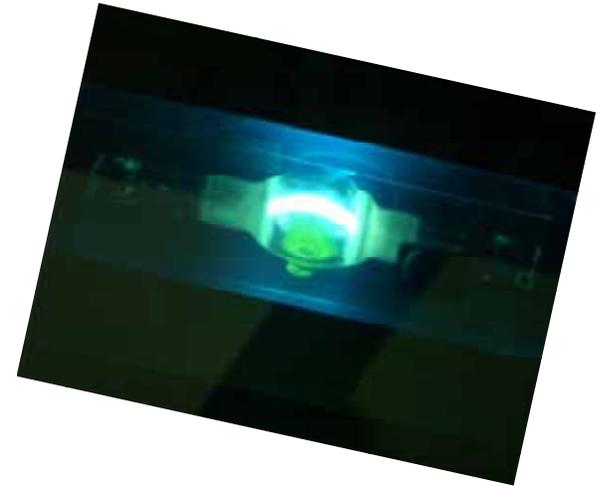
Ressonância Acústica

- ✓ Distúrbio na descarga do arco;



Ressonância Acústica

- ✓ Distúrbio na descarga do arco;
- ✓ Causa:
 - ✓ Frêq. Natural do tubo \approx Frêq. Imposta pelo reator
- ✓ Conseqüências:
 - ✓ Mudança na cor emitida;
 - ✓ Flutuações na intensidade luminosa;
 - ✓ Quebra do tubo de descarga.



Ressonância Acústica

✓ Frêq. Natural do tubo

✓ Frêq. Natural do tubo

Ressonância Acústica

✓ Frêq. Natural do tubo

- Aspectos físicos do tubo de descarga:

- Geometria:

- Pressão;

- Temperatura.

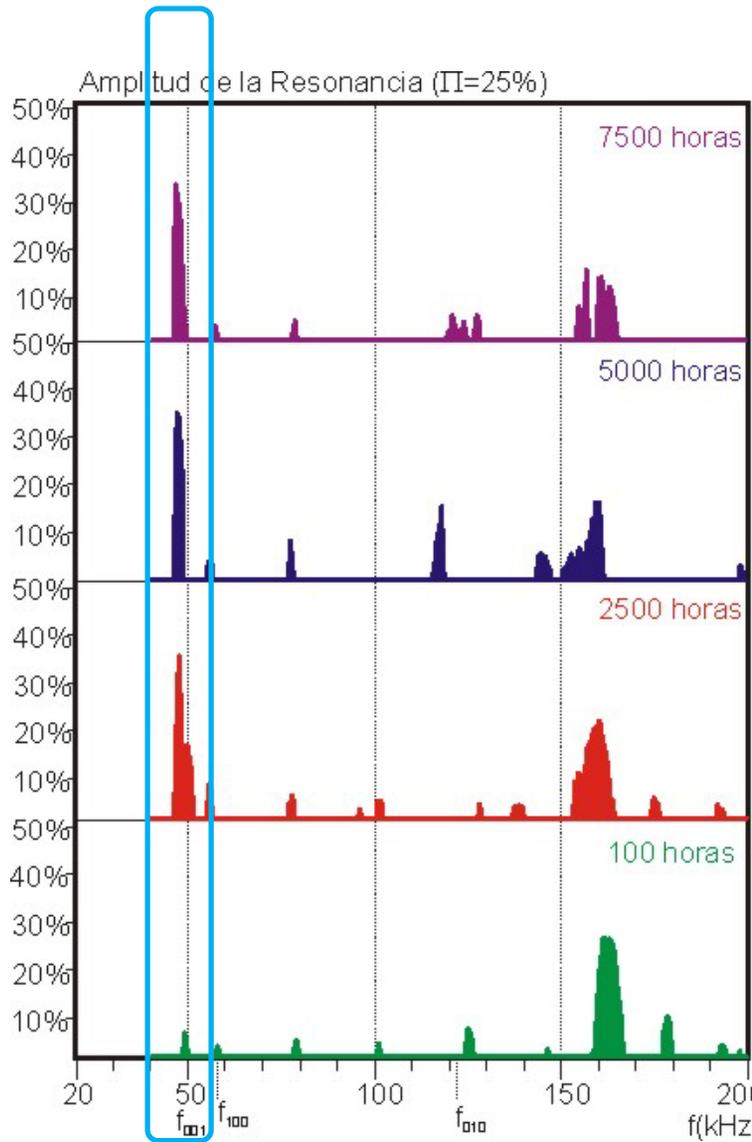
- Envelhecimento;



Mudança na energia de ativação

Novas frequências de ressonância

Ressonância Acústica



do tubo de descarga:

Mudança na energia de ativação
Novas frequências de ressonância

om o fabricante:

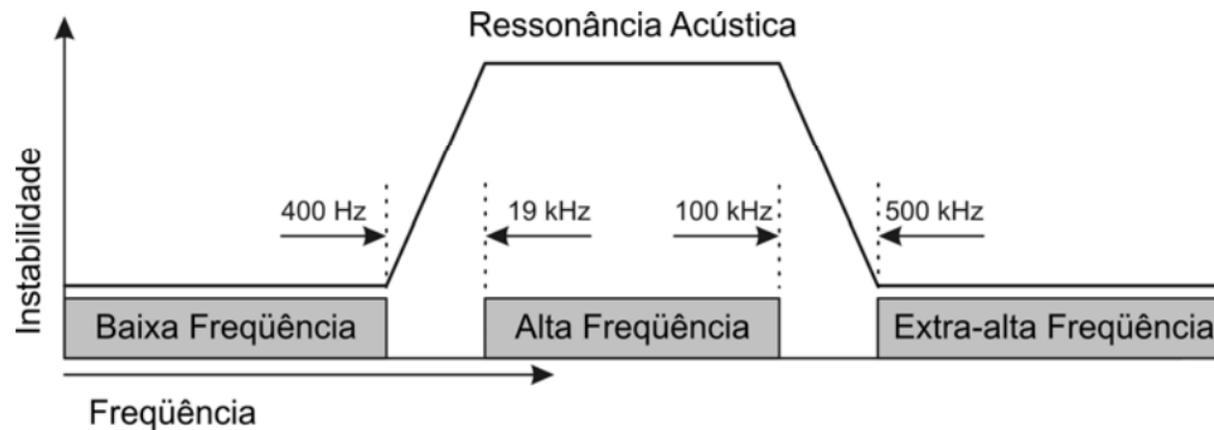
Dalla Costa, Alonso, IEEE Trans on
Plasma Science, 2007.

Ressonância Acústica

- Em que frequência operar ?

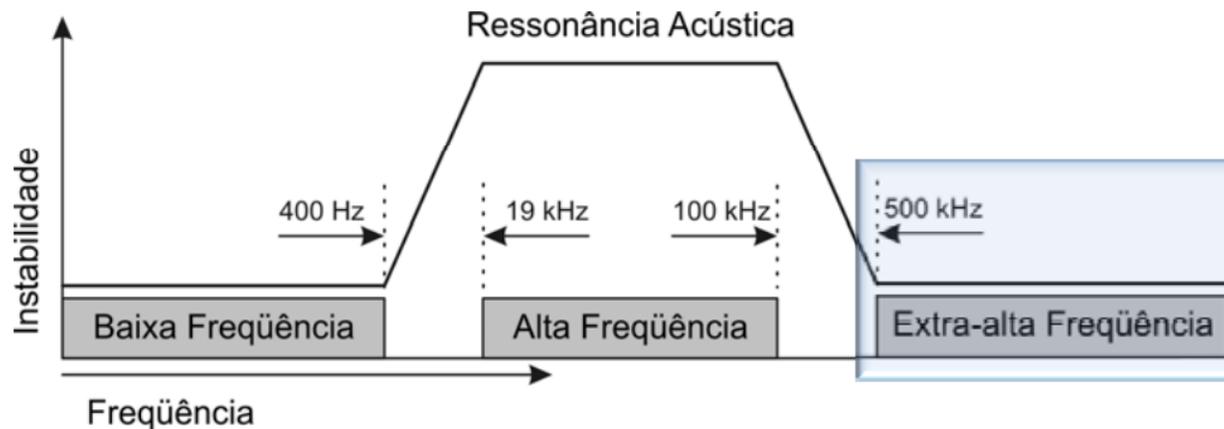
Ressonância Acústica

- Em que frequência operar ?



Ressonância Acústica

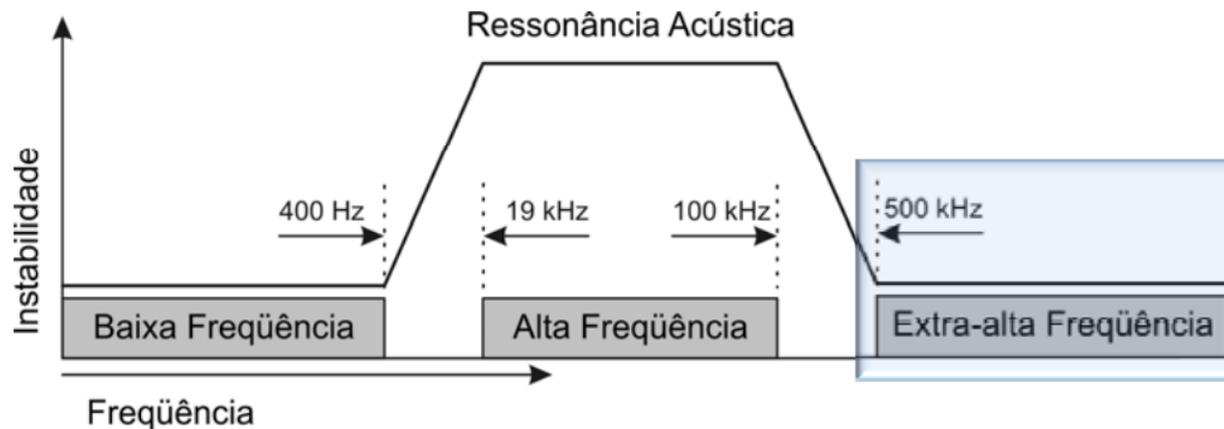
- Em que frequência operar ?



- Extra-alta Frequência:
 - ✓ Indutâncias e capacitâncias parasitas
 - ✓ Interferência eletromagnética
 - ✓ Perdas por comutação

Ressonância Acústica

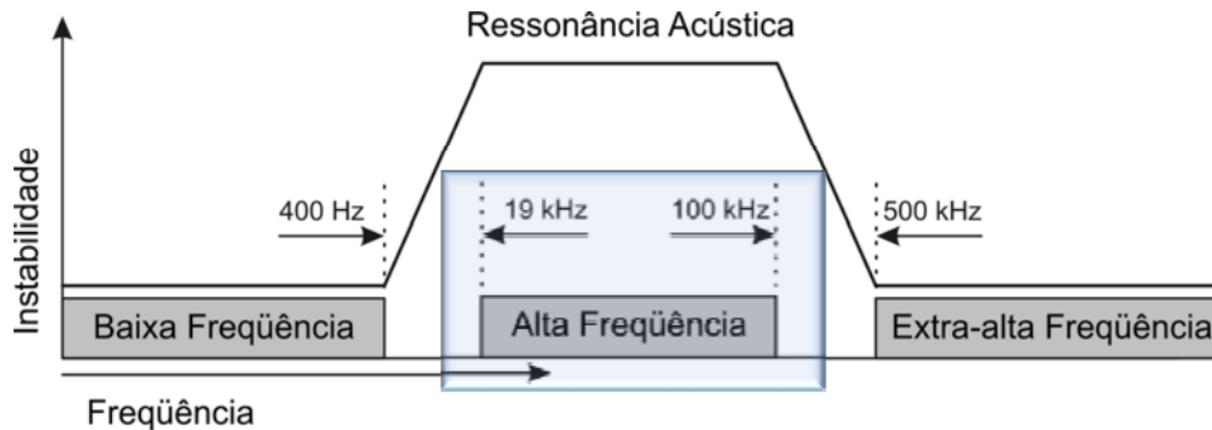
- Em que frequência operar ?



- Alta Frequência:
 - ✓ Faixa de ocorrência da Ressonância Acústica
 - ✓ As faixas de ressonância variam com o envelhecimento e o modelo da lâmpada

Ressonância Acústica

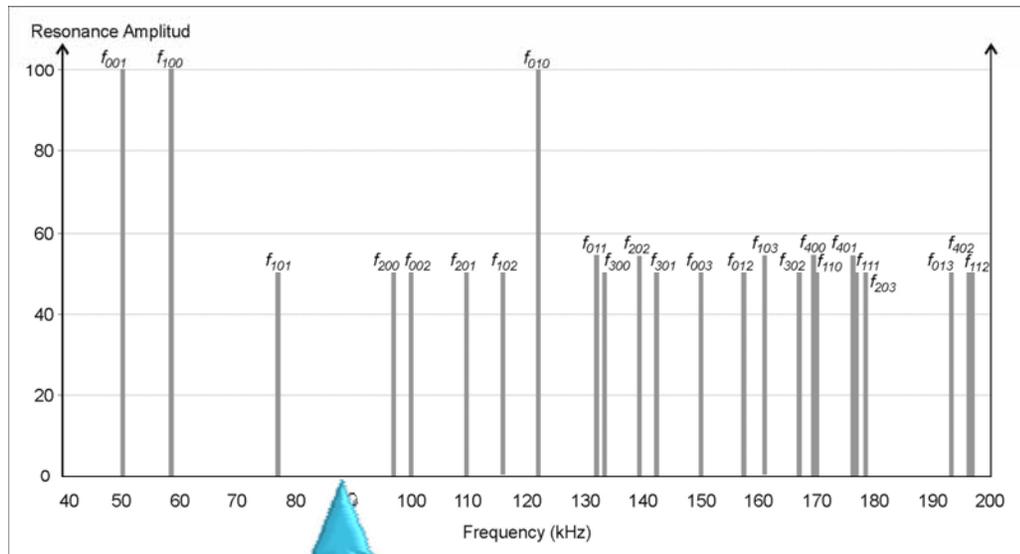
- Em que frequência operar ?



- Baixa Frequência:
 - ✓ Operação estável
 - ✓ Reatores eletromagnéticos

Estratégias Propostas para evitar a Ressonância Acústica

Operação em uma janela livre de ressonâncias.



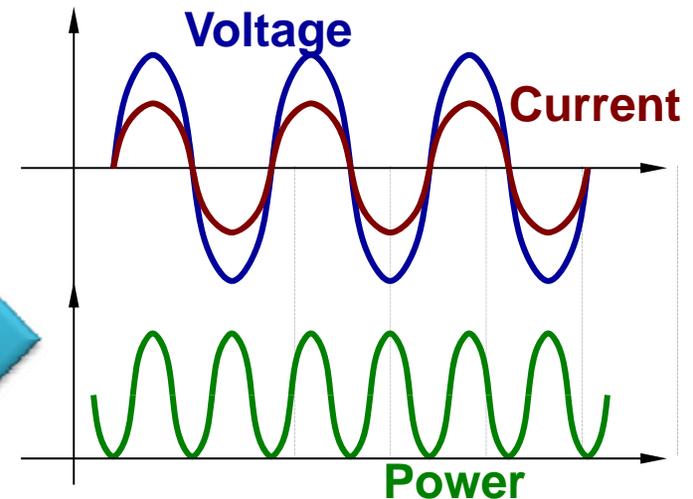
Y. Koshimura, et al. "Several Ways for Stabilizing HID Lamps Operation on High Frequency Power." *Journal of Illuminating Engineering Institute of Japan*, 1983.

Ressonâncias Teóricas

Baixo Custo

Confiabilidade

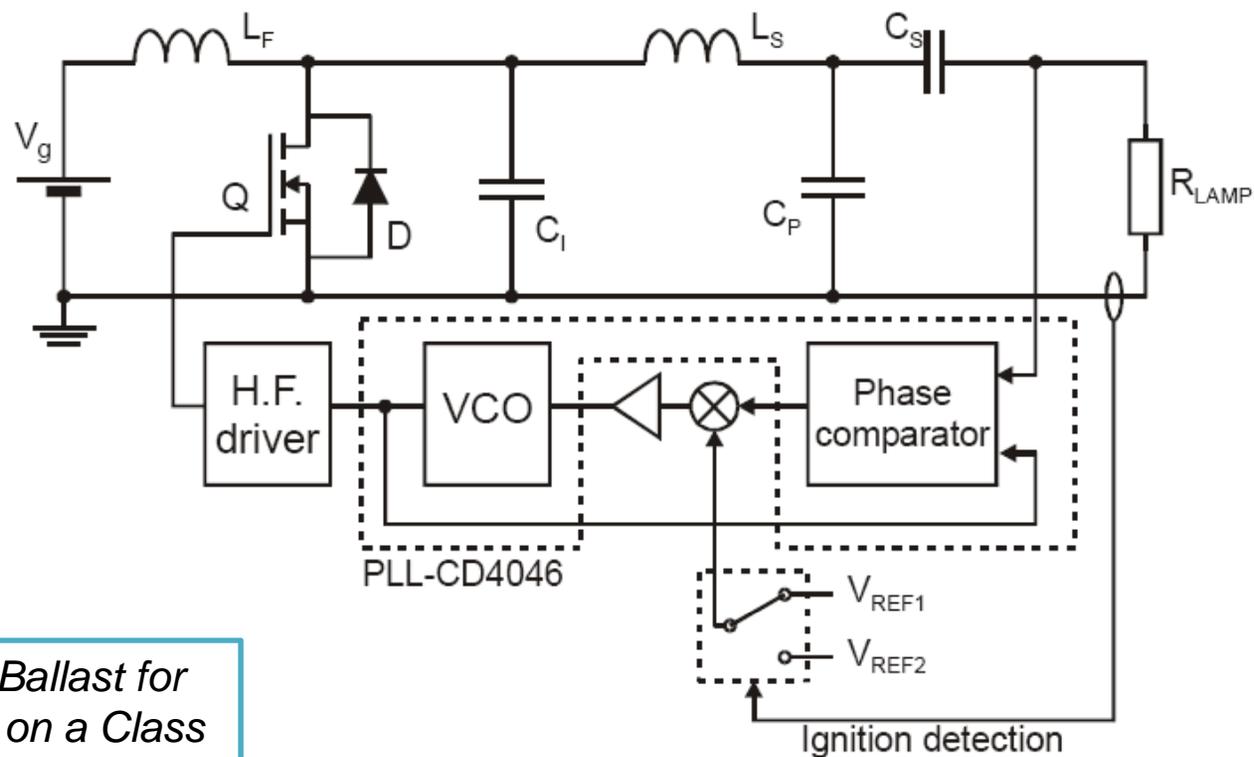
Potência Instantânea



Estratégias Propostas para evitar a Ressonância Acústica

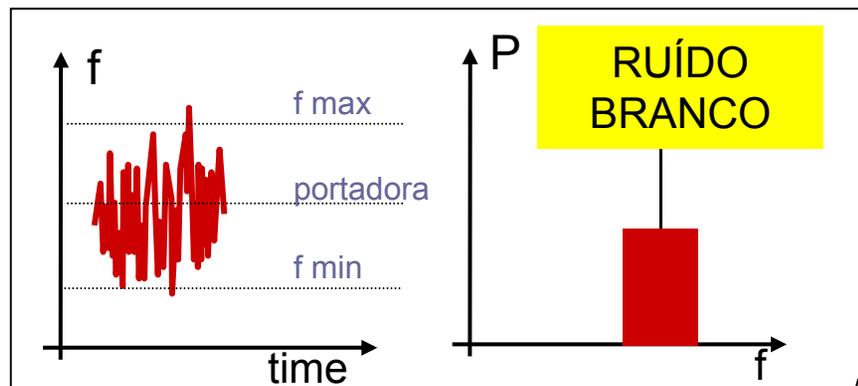
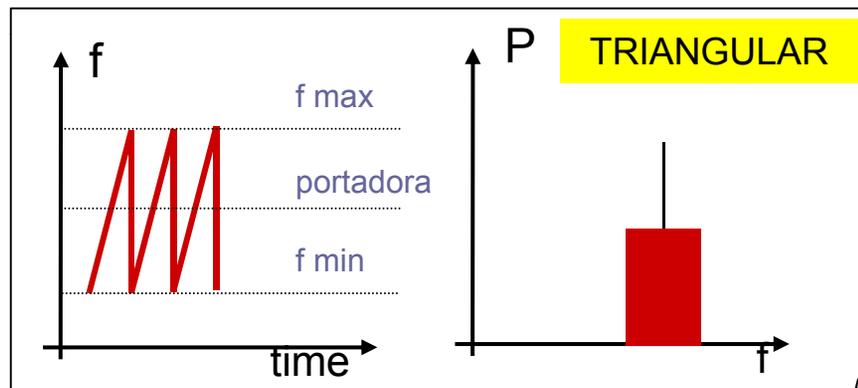
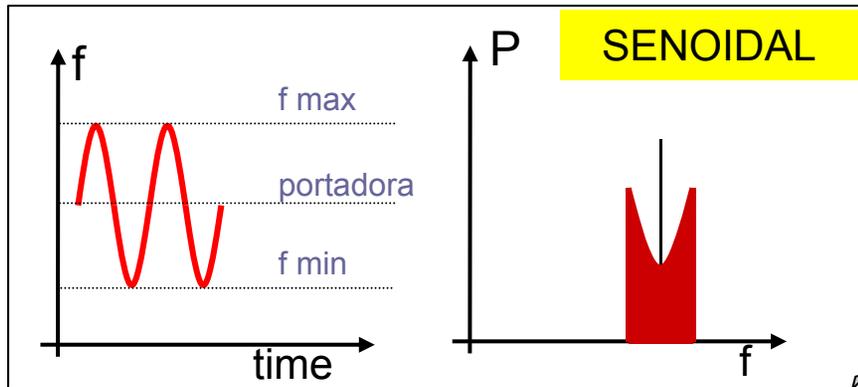
Operação acima de 1MHz.

Perdas de Comutação

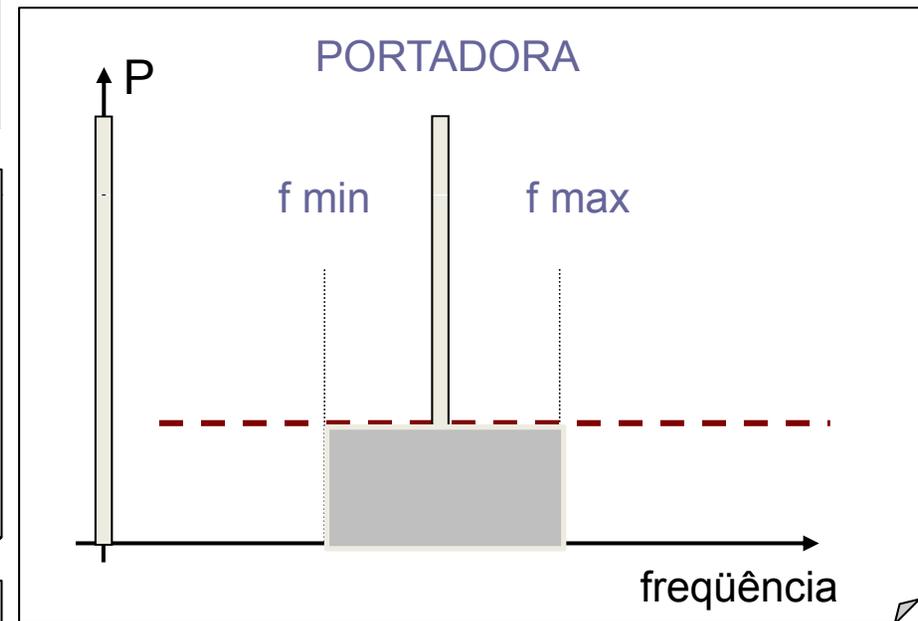


J. Ribas, et. al. "Electronic Ballast for Metal Halide Lamps based on a Class E Resonant Inverter Operating at 1 MHz." APEC 2005.

Modulação.



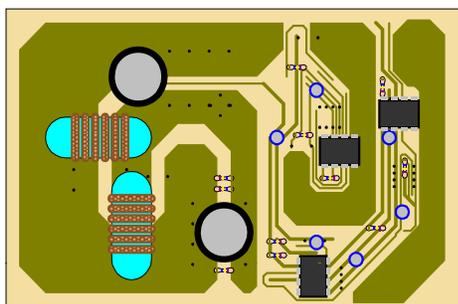
L. Laskai, et al. "White-Noise Modulation of High-Frequency High-Intensity Discharge Lamp Ballasts." IEEE Trans. on Ind. Appl., 1998.



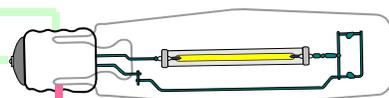
**Custo Elevado
Complexidade
EMI**

Realimentação.

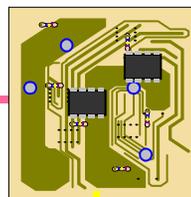
J. Correa, et. al. "Evaluation of Close Loop Digital Control Based in a Microcontroller and Used to Eliminate Acoustic Resonances in HID Lamps." PESC 2004.



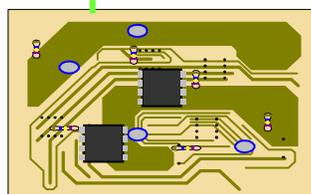
REATOR



LÂMPADA



DETECÇÃO RA

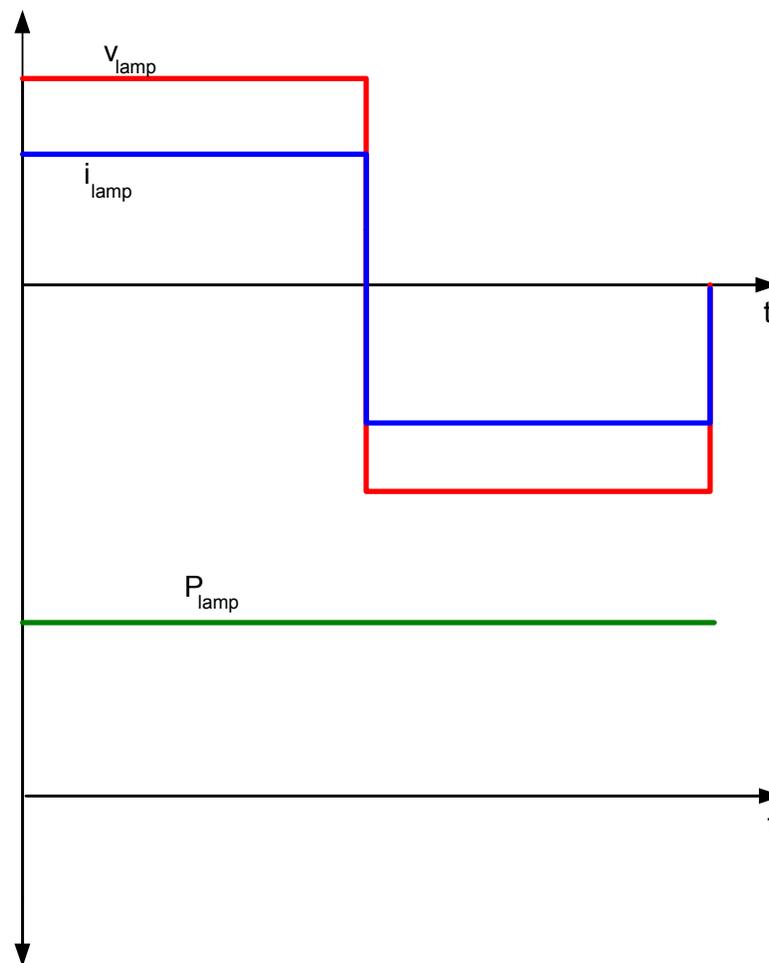


COMANDO

Custo Elevado
Complexidade
Confiabilidade

Onda quadrada de baixa frequência.

M. Shen, et. al. "Design of a Two-Stage Low-Frequency Square Wave Electronic Ballast for HID Lamps." IEEE Trans. on Ind. Appl. 2003.



Confiabilidade

**Custo Elevado
Rendimento**

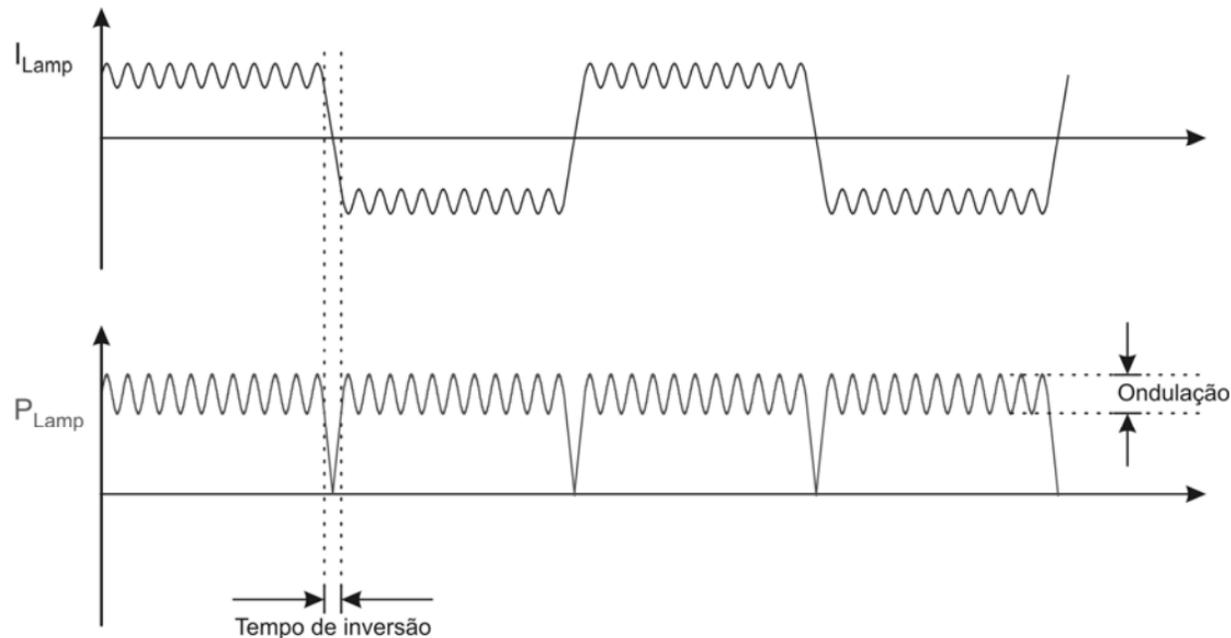
Ressonância Acústica

- Em que frequência operar ?
- Baixa Frequência:
 - ✓ Evitar a ocorrência da Ressonância Acústica
- Forma de Onda Quadrada:
 - ✓ Evitar a re-ignição

LFSW (Low Frequency Square Waveform)

Ressonância Acústica

➤ LFSW (Low Frequency Square Waveform)



➤ Qual a ondulação máxima para não excitar a Ressonância Acústica ?

Ressonância Acústica

➤ **LFSW (Low Frequency Square Waveform)**

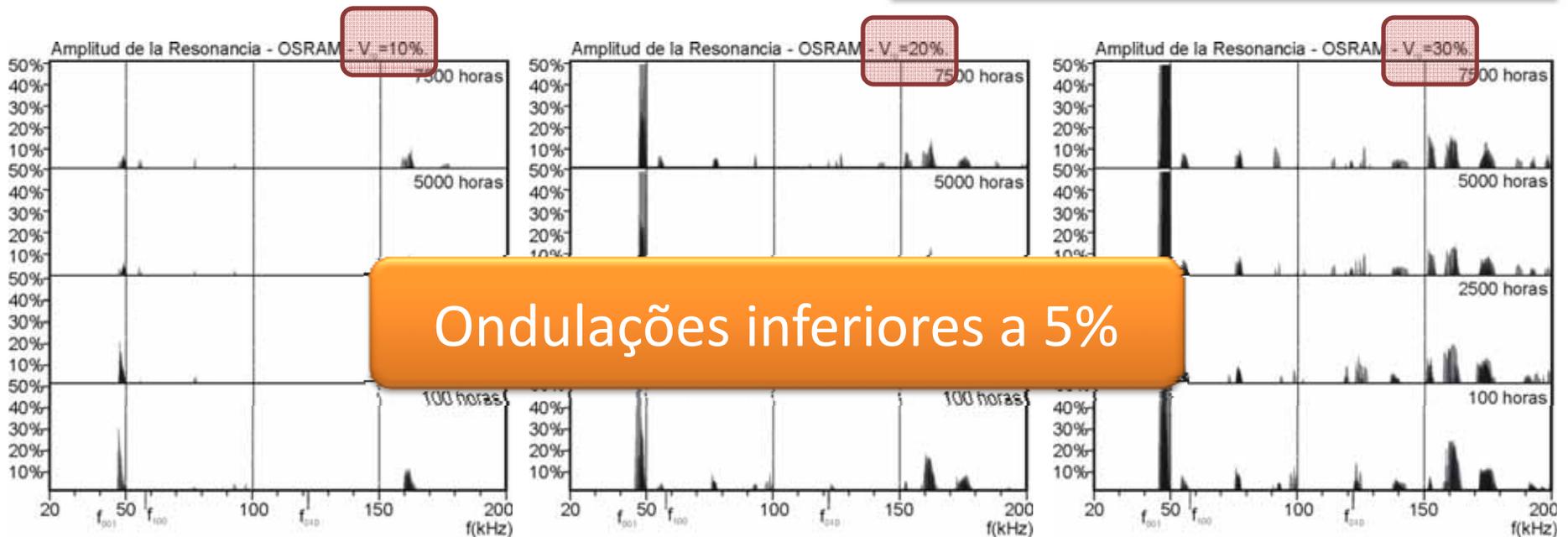
➤ Qual a ondulação máxima para não excitar a Ressonância Acústica ?

Ressonância Acústica

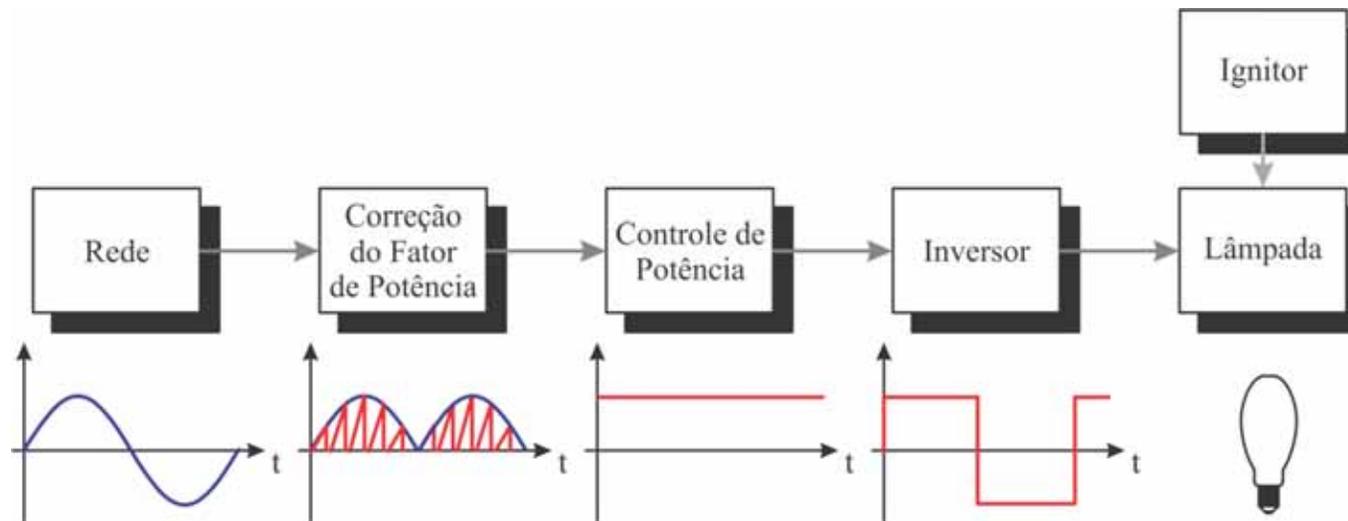
- **LFSW (Low Frequency Square Waveform)**

- Qual a ondulação máxima para não excitar a Ressonância Acústica

Dalla Costa, Alonso, IEEE Trans on Power Electronics, 2007.

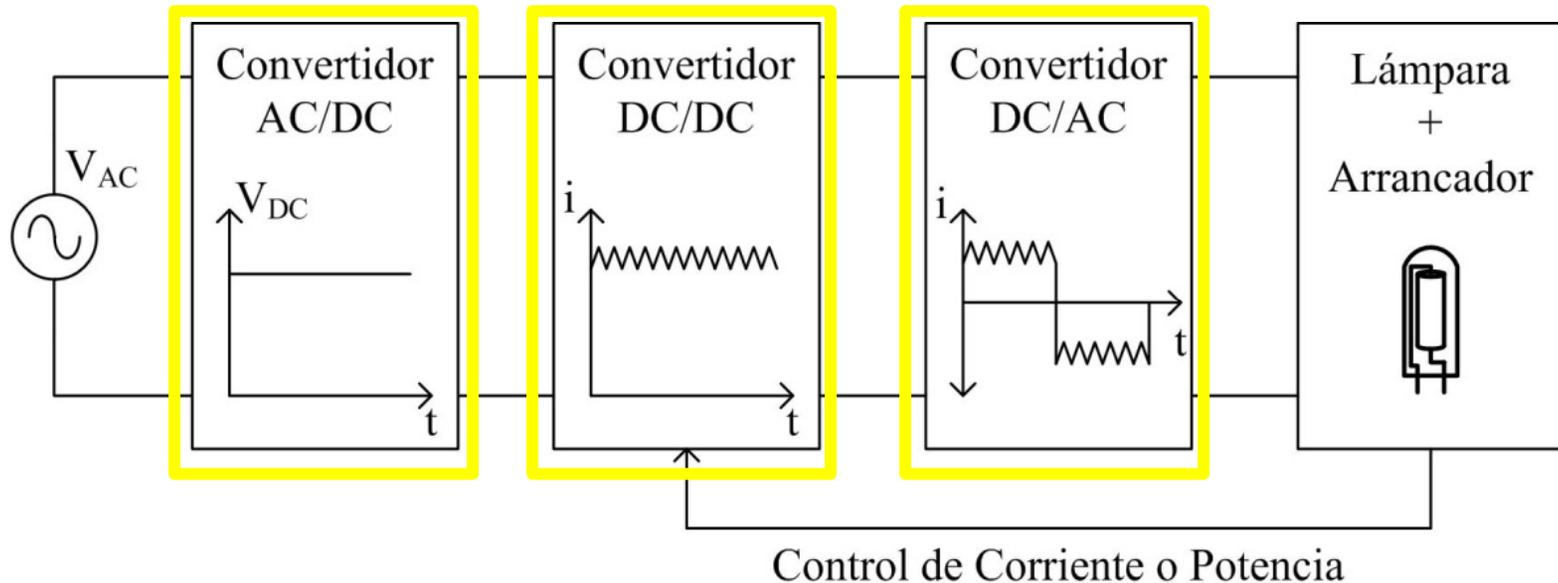


Reator Eletrônico Operando em LFSW



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Por que integrar etapas?



Correção do FP

Controle de Corrente

Etapa Inversora

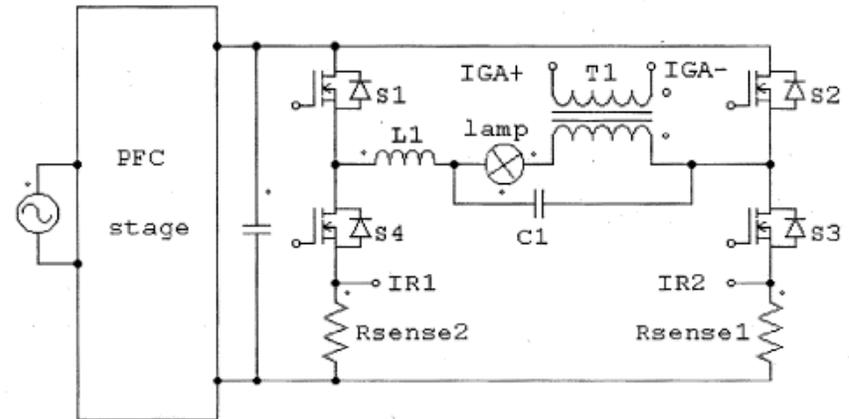
Reatores OQBF: custo e complexidade elevados.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Exemplos de Integração de Etapas

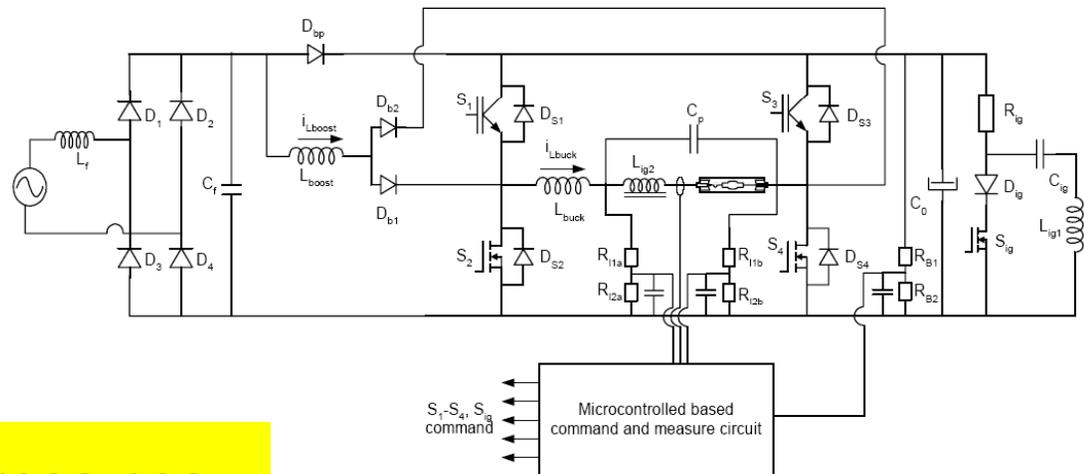
Reatores de 2 etapas.

Qian, IEEE Trans on Ind Appl. 2003.



Reator de 1 etapa.

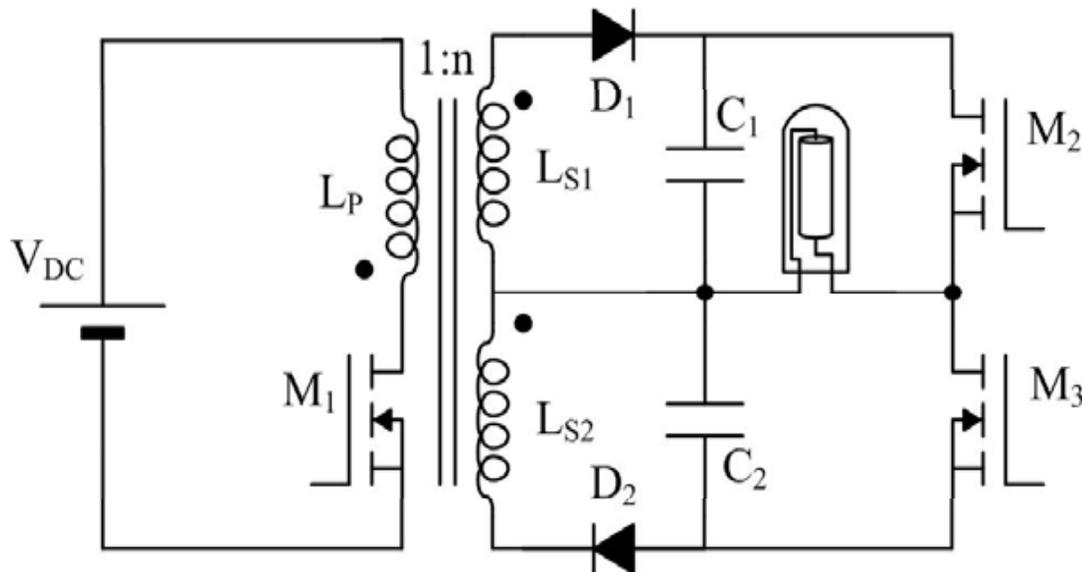
Simonetti, IAS 2003.



**Desvantagens: esforços nos
semicondutores.**

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Conversor Flyback como Controle de Potência



**Vantagens: Inversor HB.
Possibilidade de Integração.**

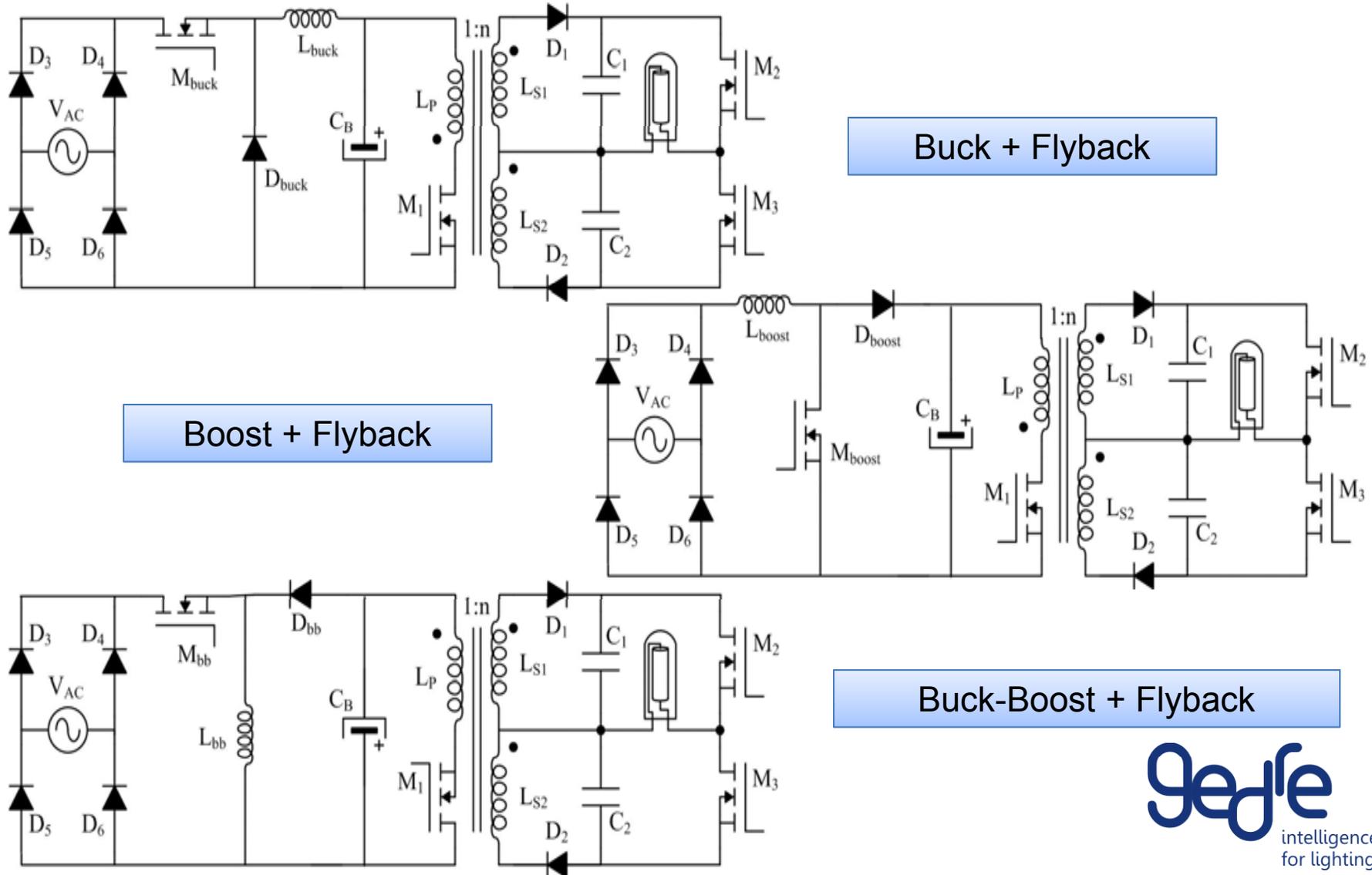
Low-cost electronic ballast to supply MH lamps based on flyback converter

M.A. Dalla Costa, J.M. Alonso, J. García and J. Cardesín

ELECTRONICS LETTERS 12th May 2005 Vol. 41 No. 10

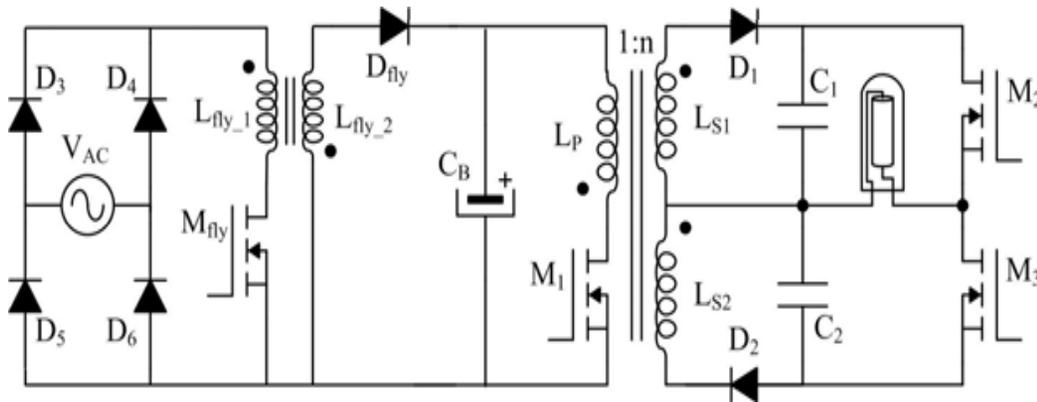
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Reatores sem Integrar



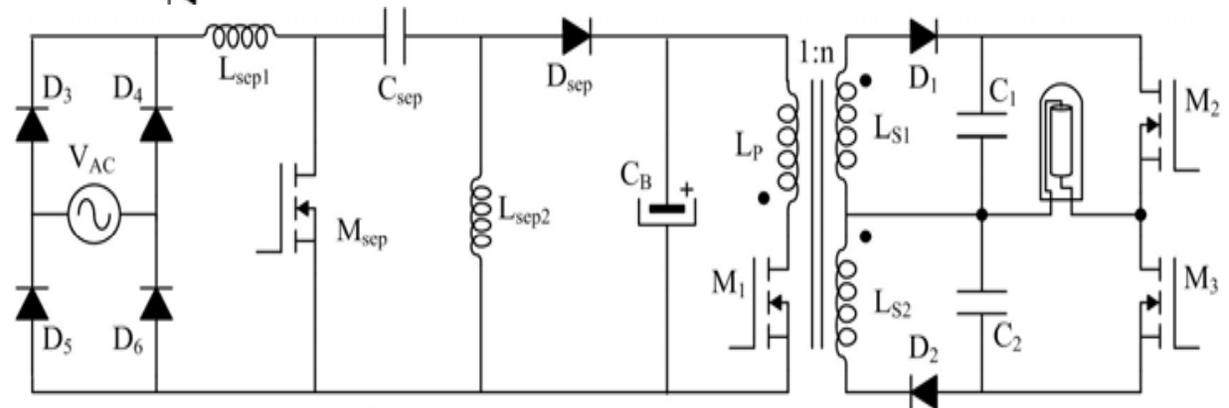
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Reatores sem Integrar

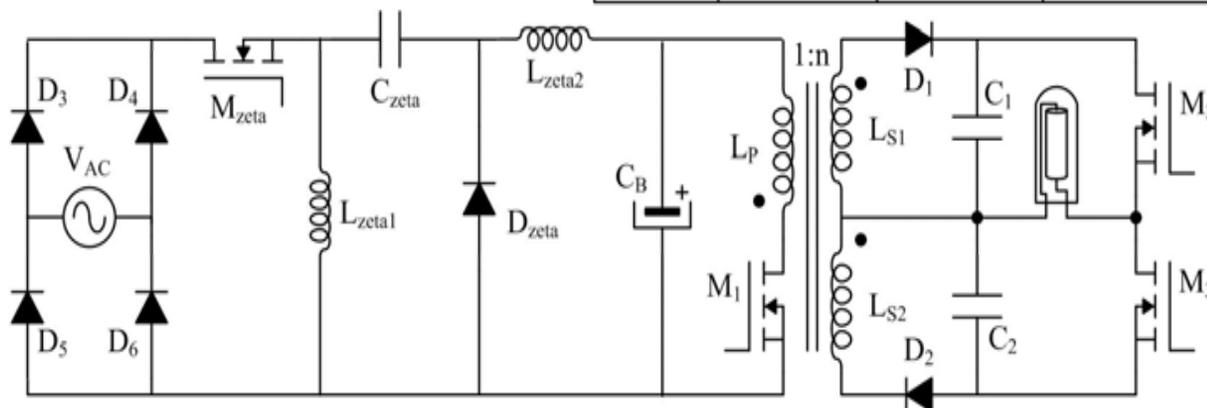


Flyback + Flyback

Sepic + Flyback



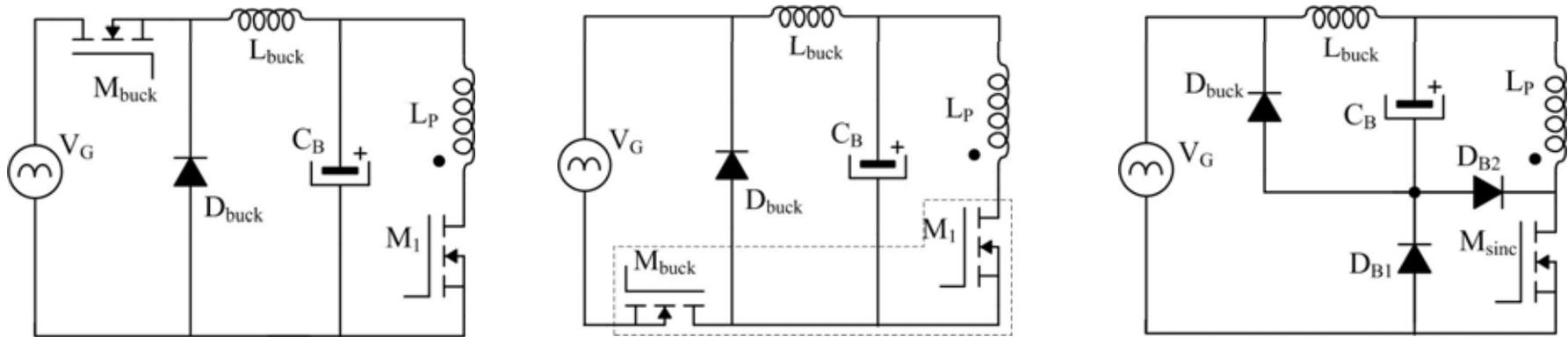
Zeta + Flyback



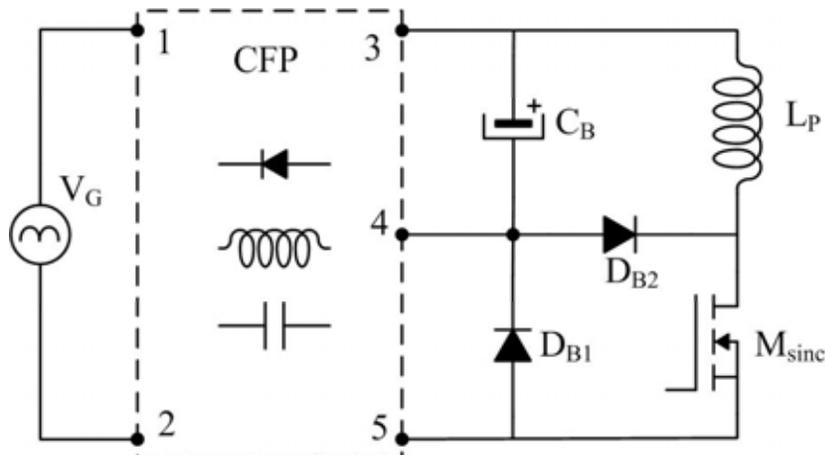
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Exemplo de Integração

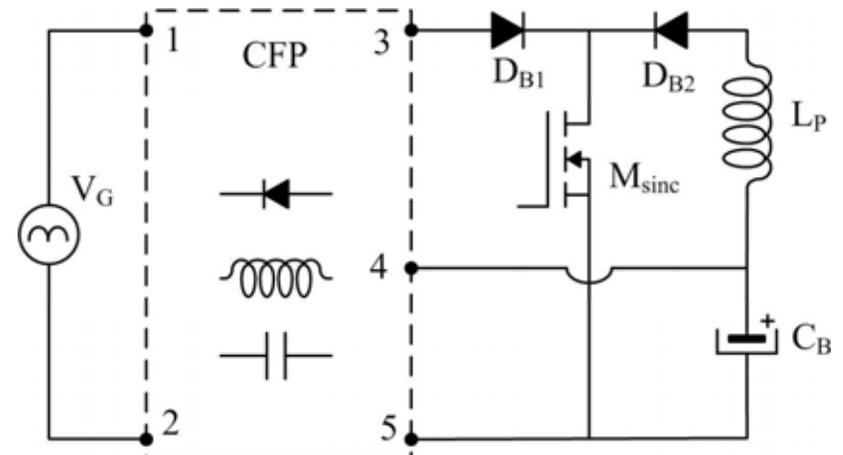
Buck + Flyback



Célula de Sobretensão (ST)



Célula de Sobrecorrente (SC)



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

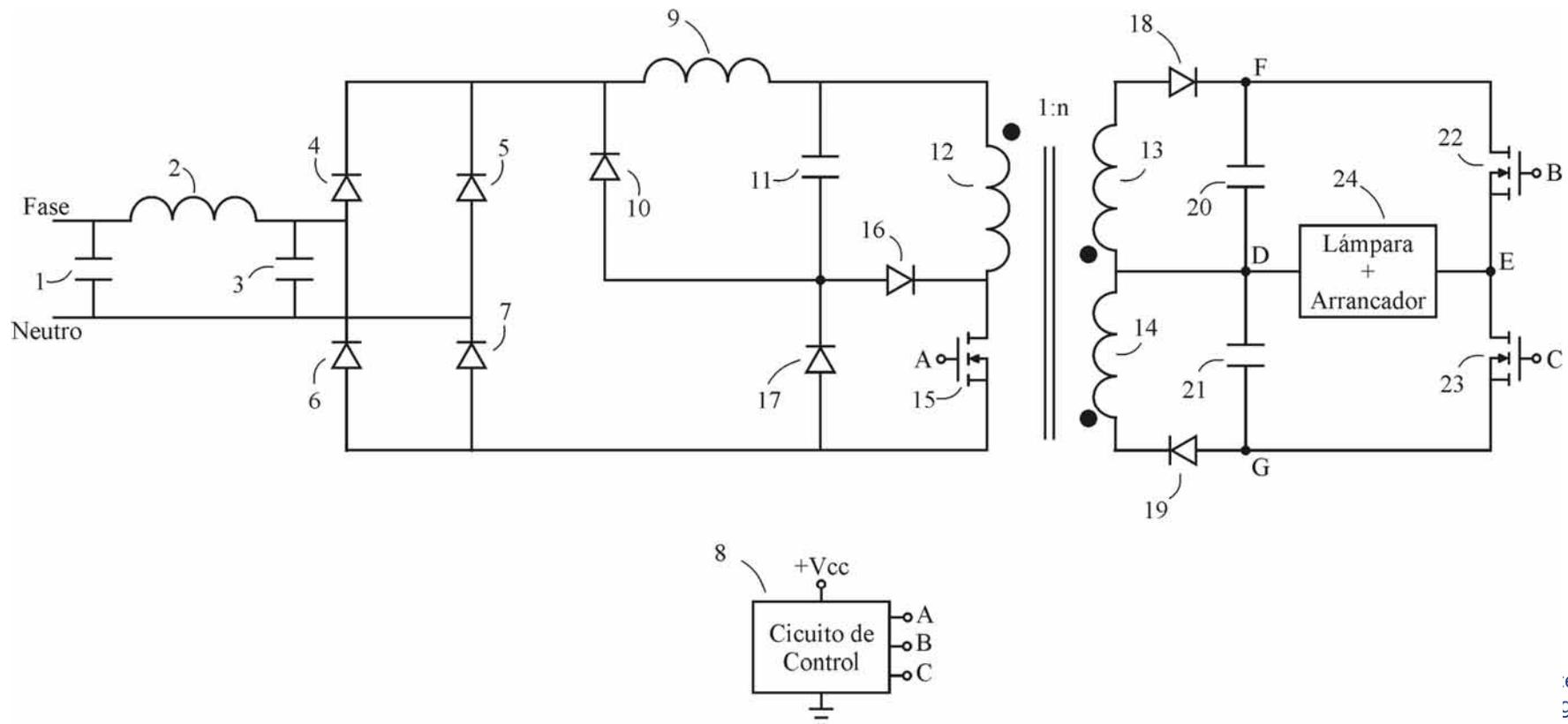
① Número de publicación: **2 296 459**

② Número de solicitud: 200501724

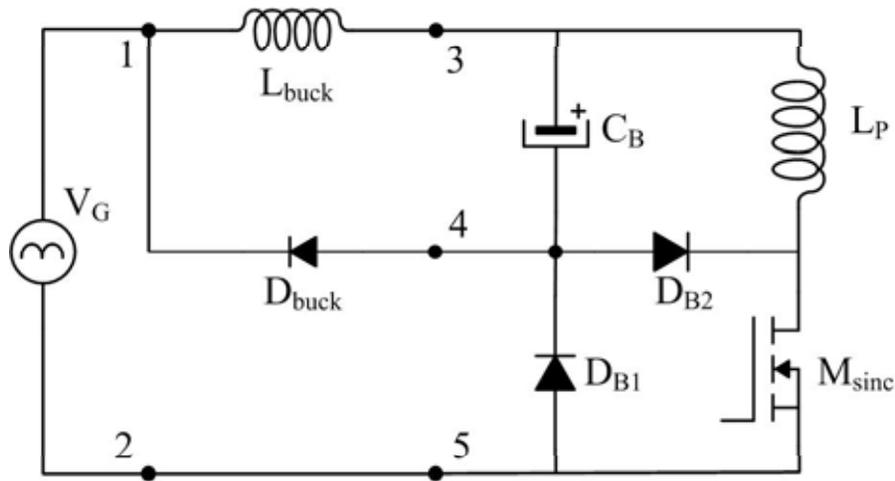
⑤ Int. Cl.:

H05B 41/288 (2006.01)

⑤4 Título: **Balasto electrónico integrado de alto factor de potencia para alimentación de lámparas de descarga de alta presión.**

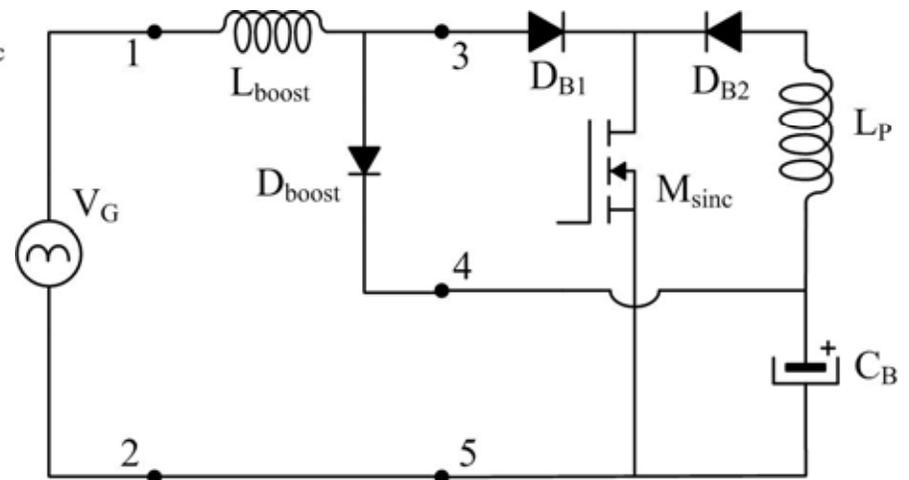


Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

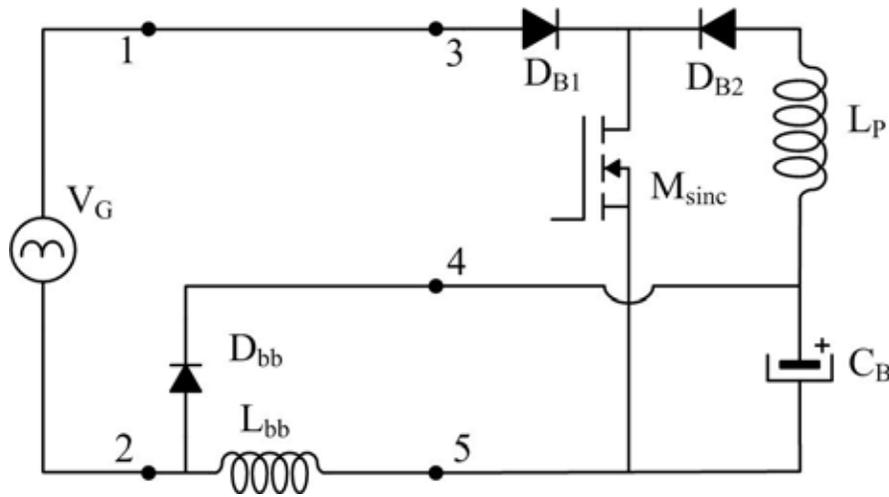


Buck + Flyback

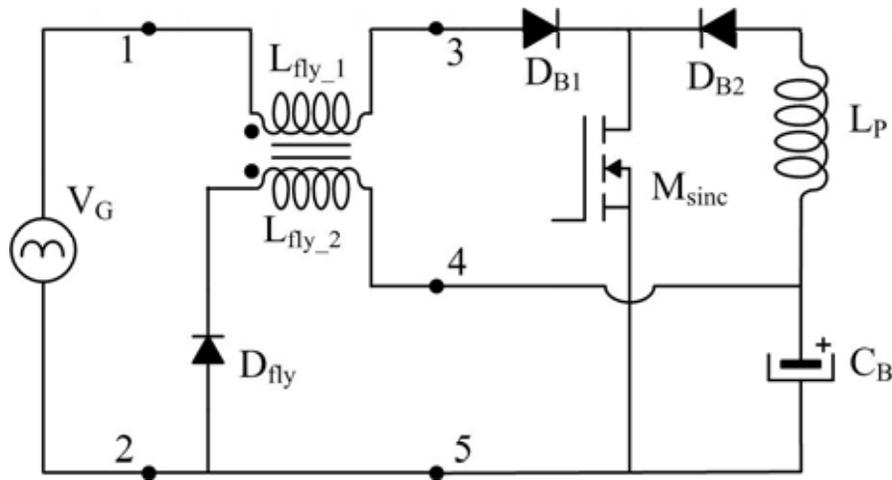
Boost + Flyback



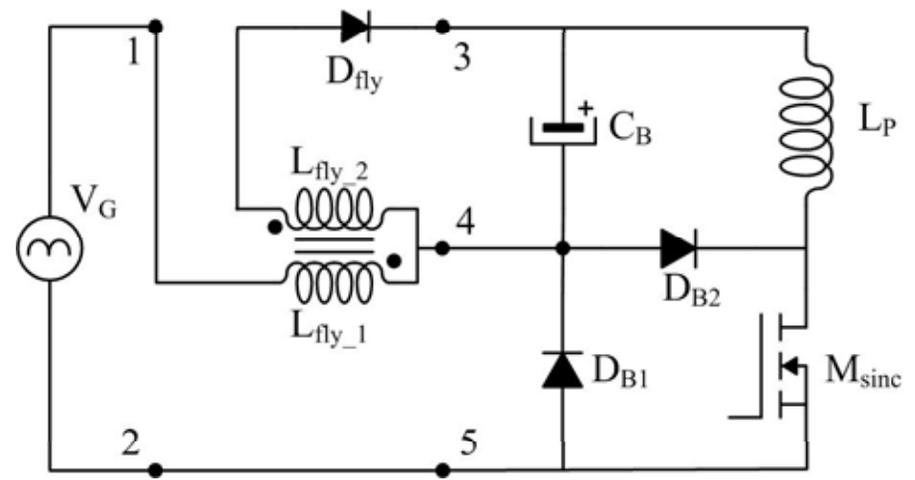
Buck-Boost + Flyback



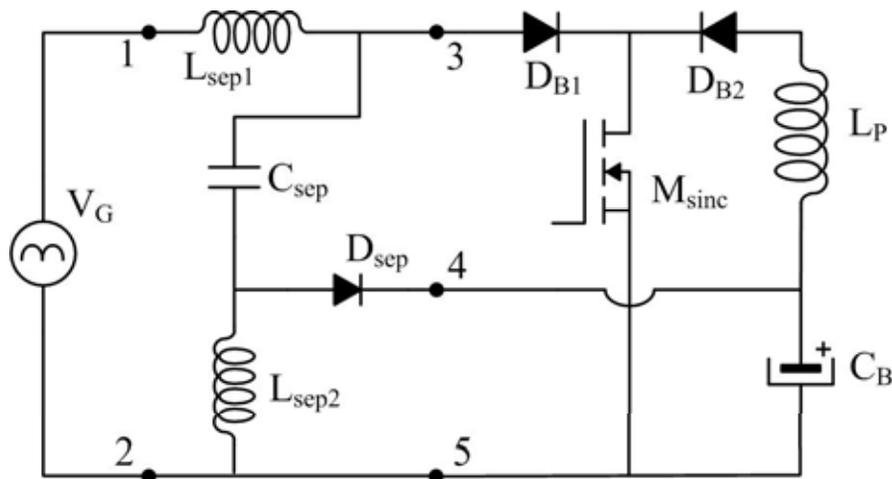
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID



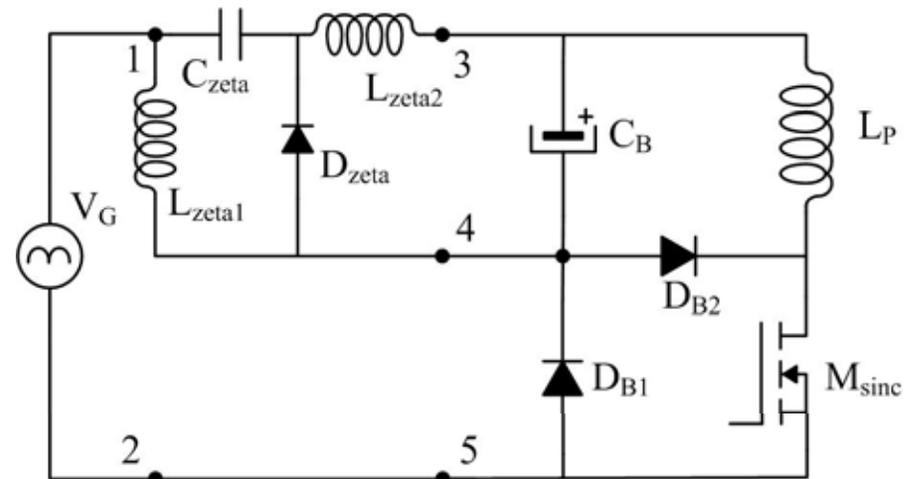
Flyback + Flyback (SC)



Flyback + Flyback (ST)



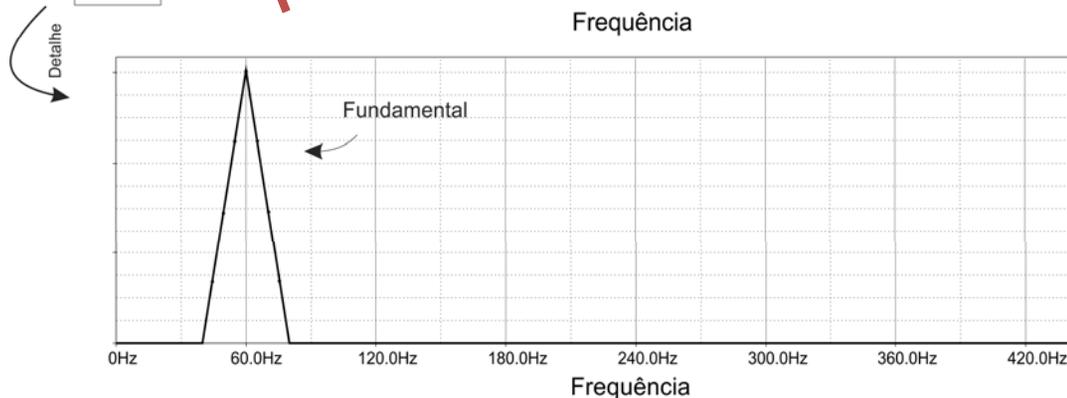
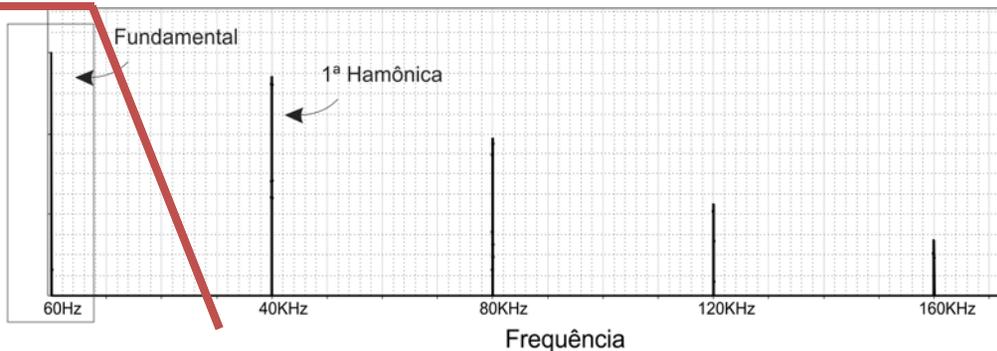
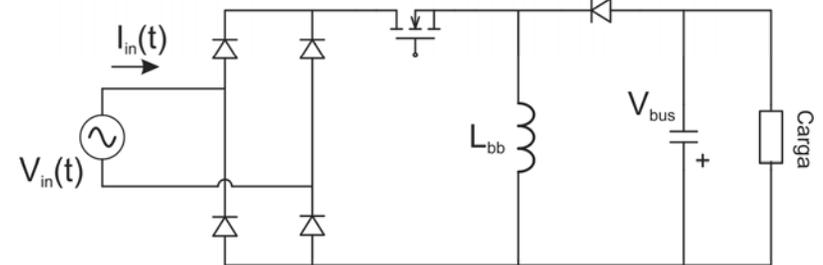
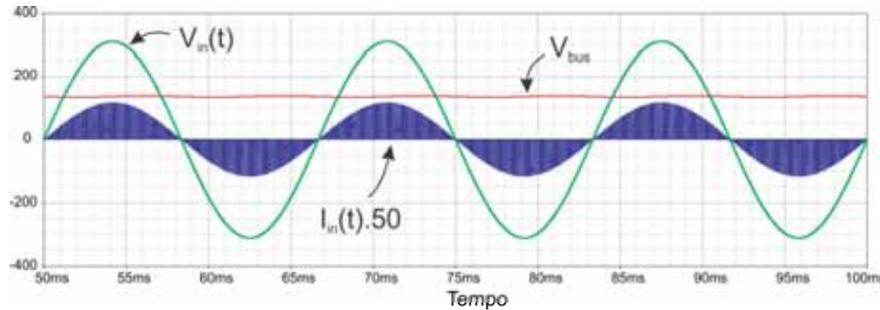
Sepic + Flyback



Zeta + Flyback

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Buck-Boost, Flyback, Sepic e Zeta



IEC61000-3-2

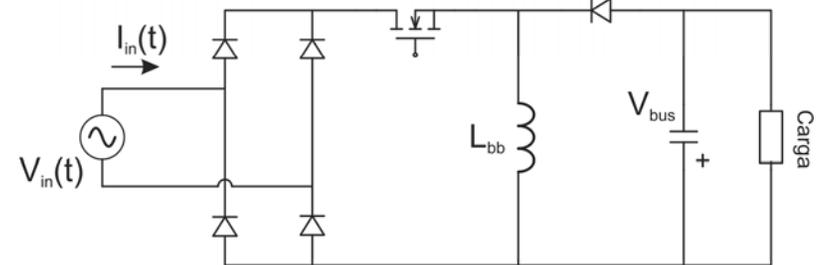
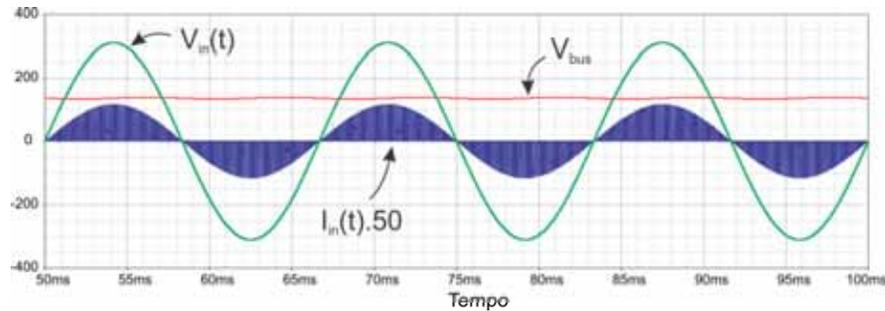
39ª Harm x 60 Hz = 2340 Hz

$$FP = \frac{\cos(\phi_1)}{\sqrt{1+THD^2}}$$

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

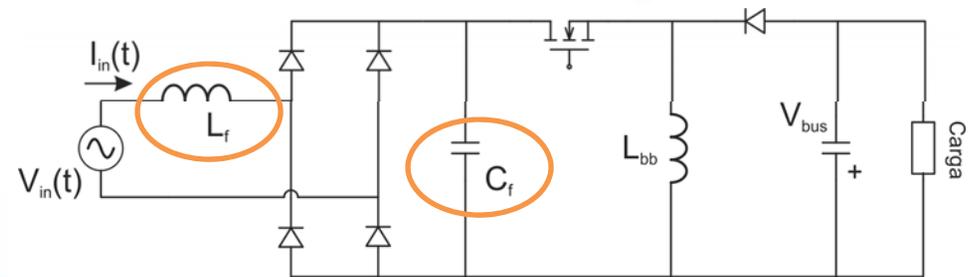
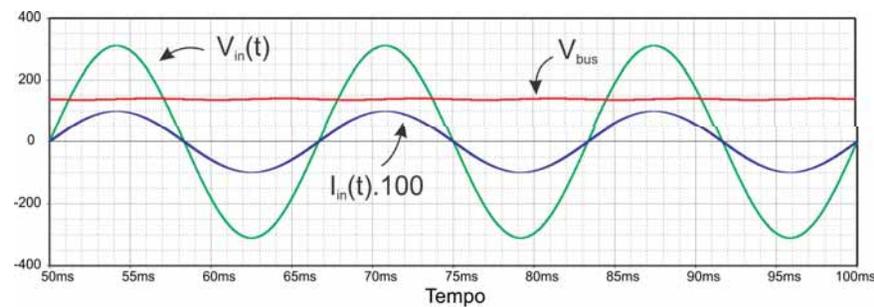
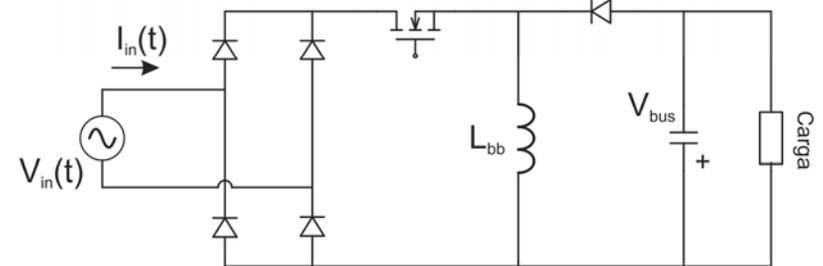
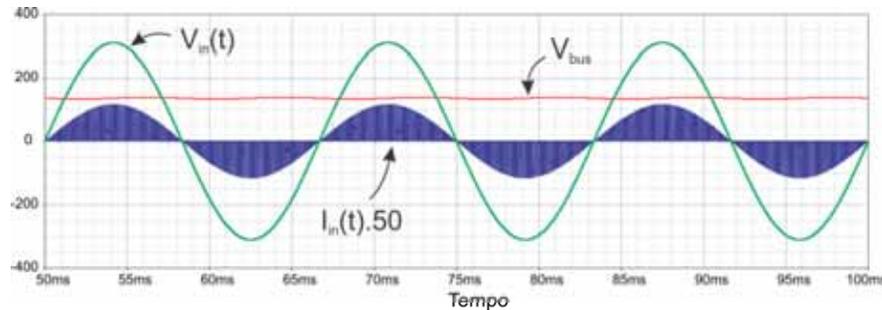
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Buck-Boost, Flyback, Sepic e Zeta



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

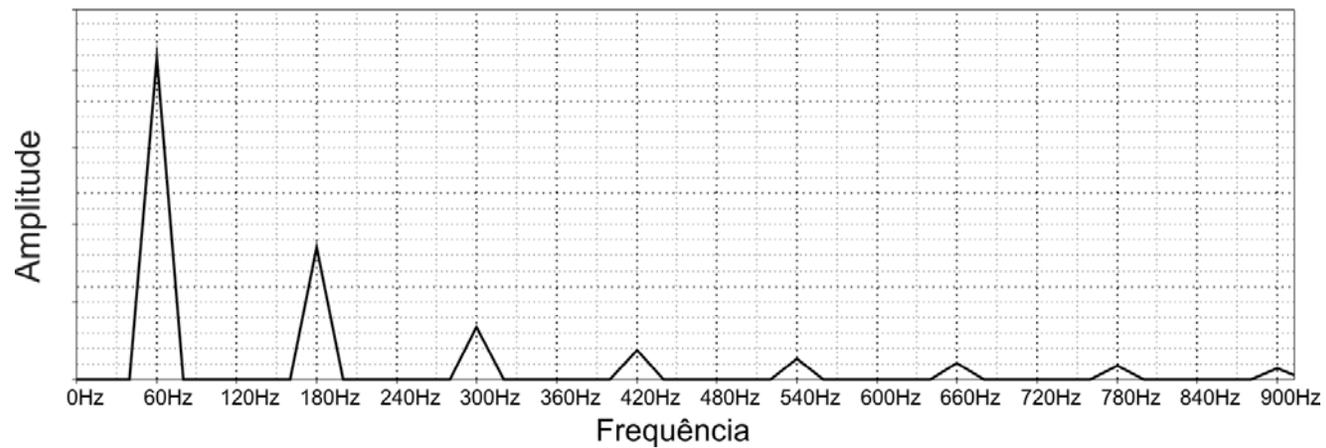
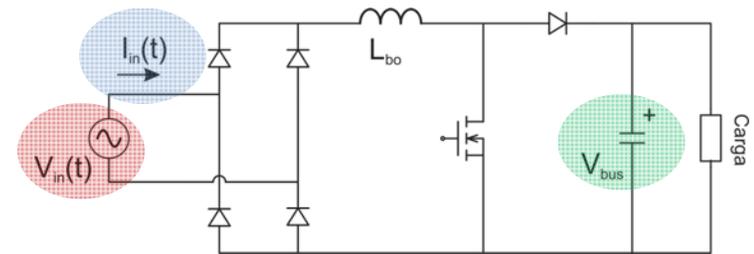
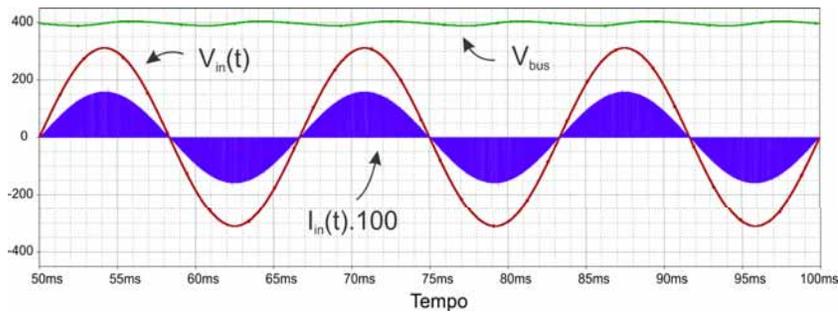
Buck-Boost, Flyback, Sepic e Zeta



$$I_{in}(t) = \frac{V_{in}(t) \cdot D^2 \cdot T_S}{2 \cdot L_{bb}}$$

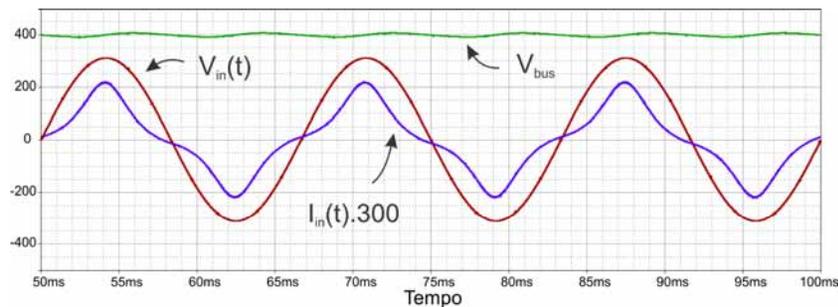
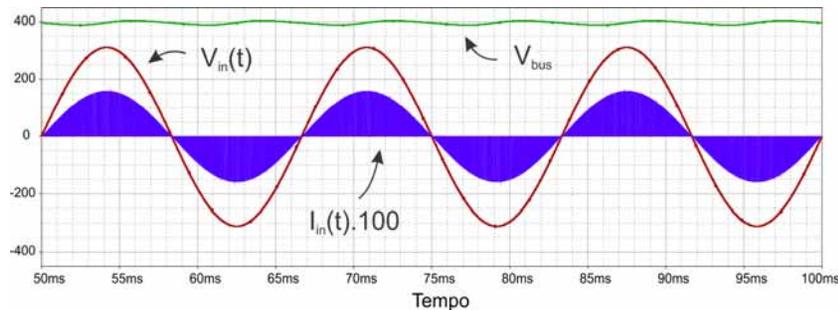
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Boost



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Boost

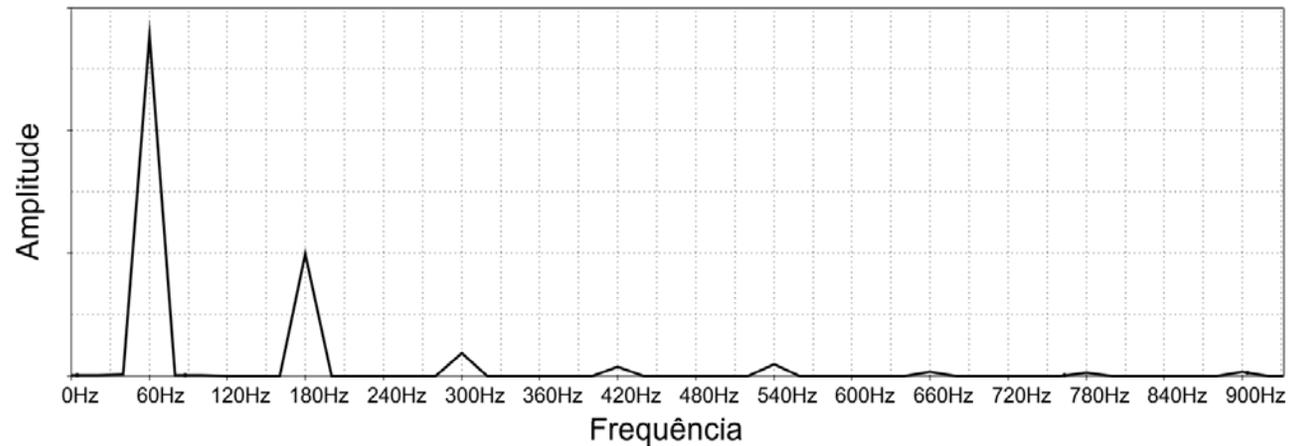
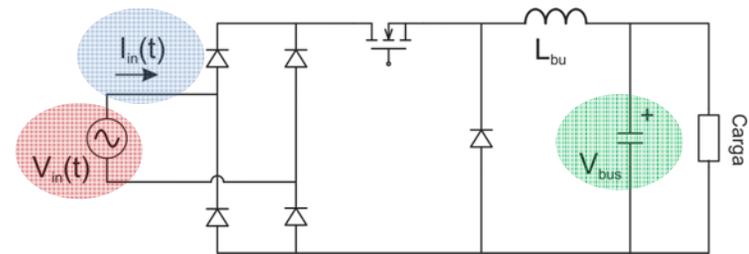
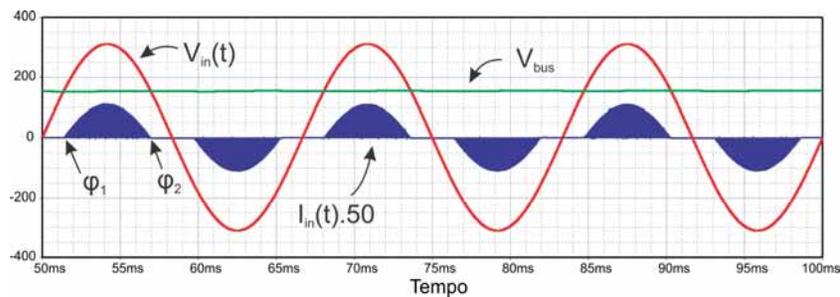


$$I_{in}(t) = \frac{V_{in}(t) \cdot D_{bo}^2 \cdot T_S}{2 \cdot L_{bo}} + \frac{D_{bo}^2 \cdot T_S \cdot V_{in}(t)^2}{2 \cdot L_{bo} \cdot [V_{bus} - V_{in}(t)]}$$

V_{bus}	$V_{bus} / V_{in(ef)}$	FP	THD (%)	Harmônicas
320	1,455	0,770	82,8%	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
330	1,500	0,850	62,1%	3, 5, 7, 9, 11
340	1,545	0,888	51,8%	3, 5, 7
350	1,591	0,911	45,2%	3, 5
360	1,636	0,927	40,4%	3, 5
370	1,682	0,939	36,7%	3
380	1,727	0,947	33,8%	3
390	1,773	0,954	31,3%	3
400	1,818	0,960	29,3%	Atendem a norma IEC 61000-3-2
410	1,864	0,964	27,5%	
420	1,909	0,968	26,0%	
430	1,955	0,971	24,6%	
440	2,000	0,974	23,4%	
450	2,045	0,976	22,3%	
460	2,091	0,978	21,3%	
470	2,136	0,979	20,9%	
480	2,182	0,981	19,6%	
490	2,227	0,983	18,8%	

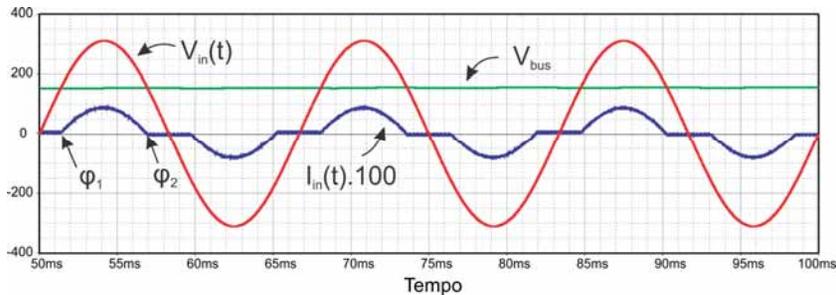
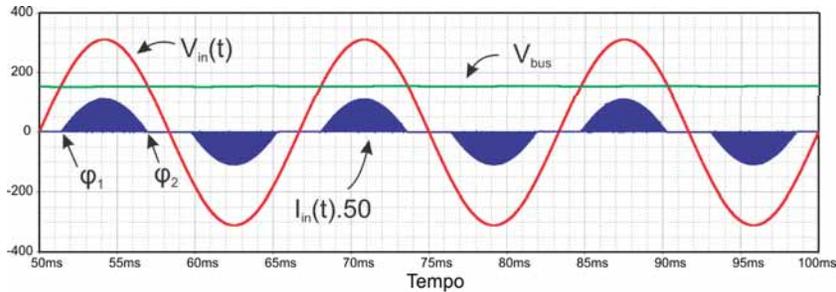
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Buck



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Buck



$$I_{in}(t) = \frac{[V_{in}(t) - V_{bus}] \cdot D^2 \cdot T_S}{2 \cdot L_{bu}}$$

$$\varphi_1 = \arcsen\left(\frac{V_{bus}}{V_{in(pk)}}\right)$$

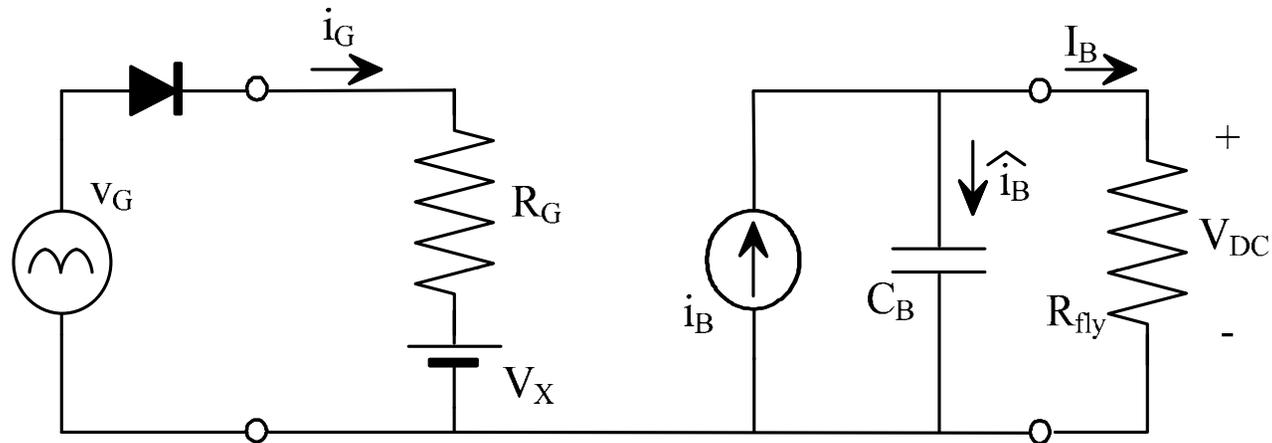
$$\varphi_2 = \pi - \varphi_1$$

V_{bus}	$V_{bus} / V_{in(ef)}$	FP	THD (%)	Harmônicas
40	0,182	0,997	8,1%	
50	0,227	0,995	10,2%	
60	0,273	0,992	12,3%	
70	0,318	0,990	14,5%	
80	0,364	0,986	16,8%	Atendem a norma IEC61000-3-2
90	0,409	0,982	19,1%	
100	0,455	0,978	21,5%	
110	0,500	0,973	23,9%	
120	0,545	0,967	26,4%	
130	0,591	0,960	29,0%	
140	0,636	0,953	31,8%	3
150	0,682	0,945	34,6%	3
160	0,727	0,936	37,6%	3
170	0,773	0,926	40,8%	3
180	0,818	0,915	44,2%	3
190	0,864	0,902	47,8%	3, 7
200	0,909	0,889	51,6%	3, 7, 11
210	0,955	0,873	55,8%	3, 7, 11

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Análise Generalizada

Circuito equivalente das topologias integradas propostas



Determinação de V_{DC}

$$V_{DC} = I_B \cdot R_{fly} \quad R_{fly} = \frac{2 L_P}{D^2 T_s}$$

Determinação de variáveis

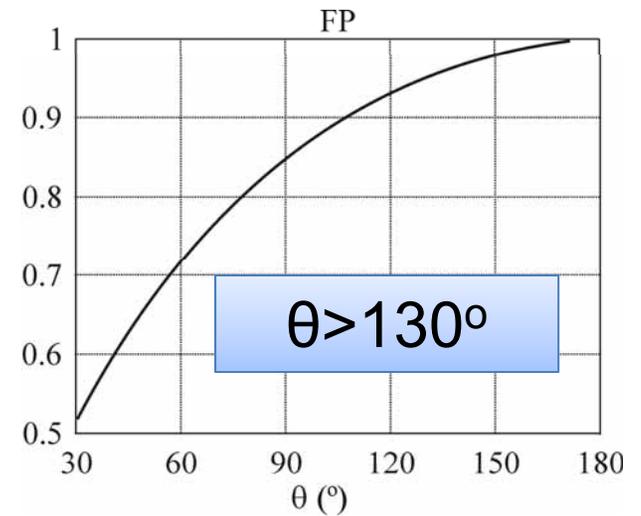
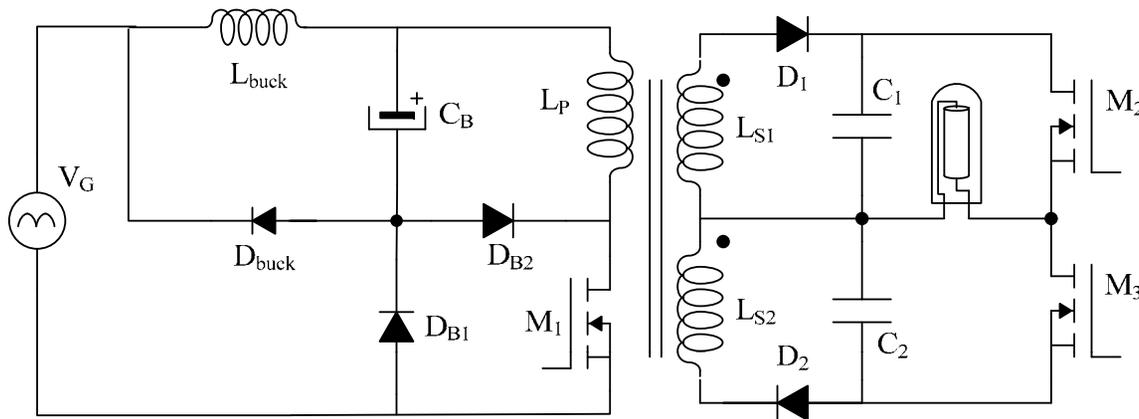
$$\alpha = \frac{L_{ER}}{L_P} \quad v = \frac{\Delta V_{DC}}{V_{DC}} \quad m = \frac{V_G}{V_{DC}}$$

Cálculo da ondulação do barramento

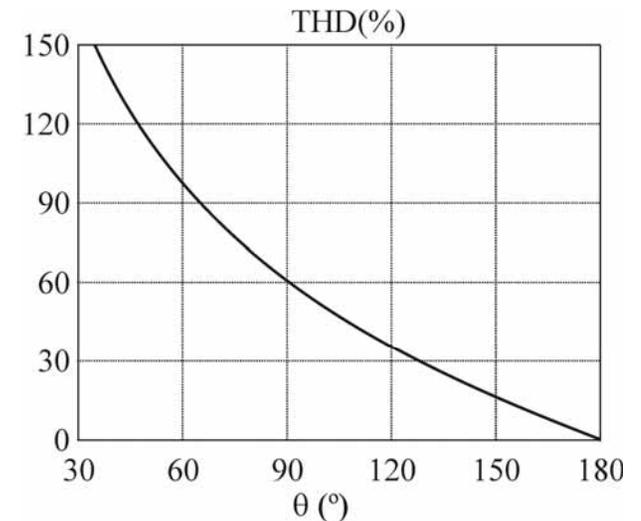
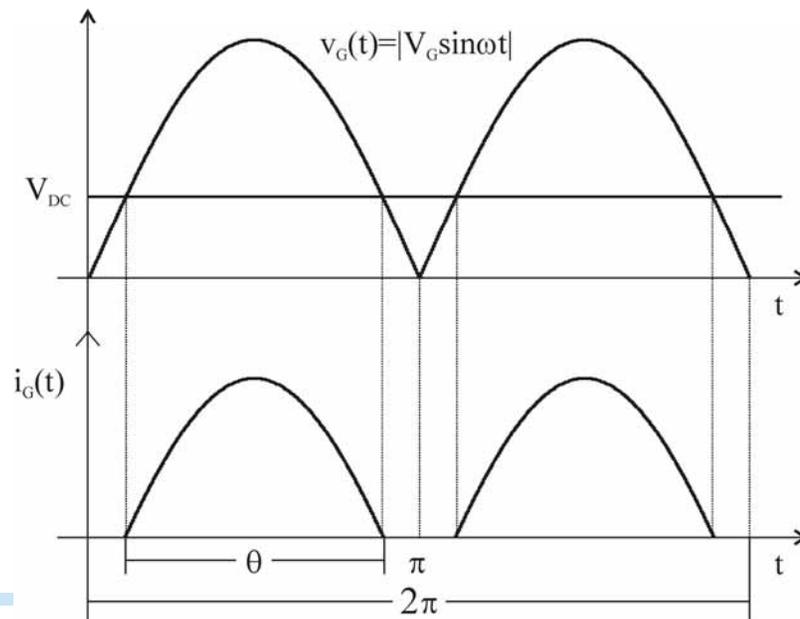
$$\Delta V_{DC} = \frac{\Delta Q}{C_B} = \frac{1}{2 \omega C_B} \int_0^{\pi} |i_B| d(\omega t)$$

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Buck + Flyback



Formas de onda teóricas de entrada



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

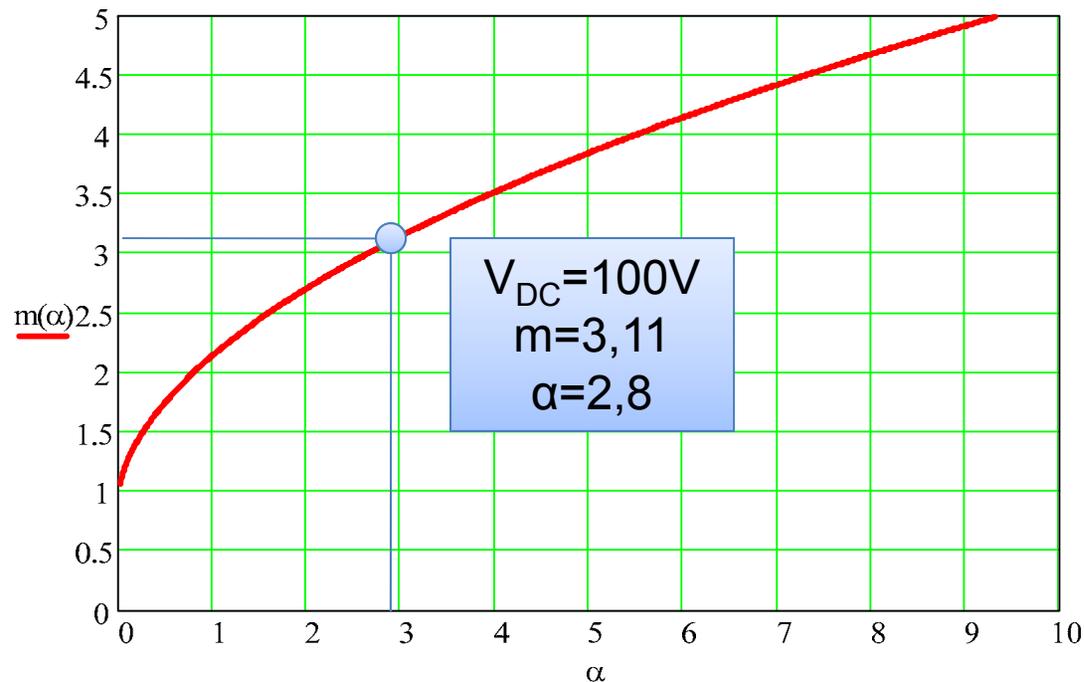
Relação entre m e α

$$V_{DC} = I_B \cdot R_{fW} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{m} = \frac{1}{\alpha} I_{B,n}$$

Tensão máxima no interruptor

$$\frac{1}{m} - \frac{m}{2\alpha} \left(1 - \frac{2}{\pi} \sin^{-1} m^{-1} \right) + \frac{1}{\pi\alpha} \sqrt{\frac{m^2 - 1}{m^2}} = 0$$

$$V_{DS_BUCK} = V_G + V_{DC} + \frac{V_L}{n}$$



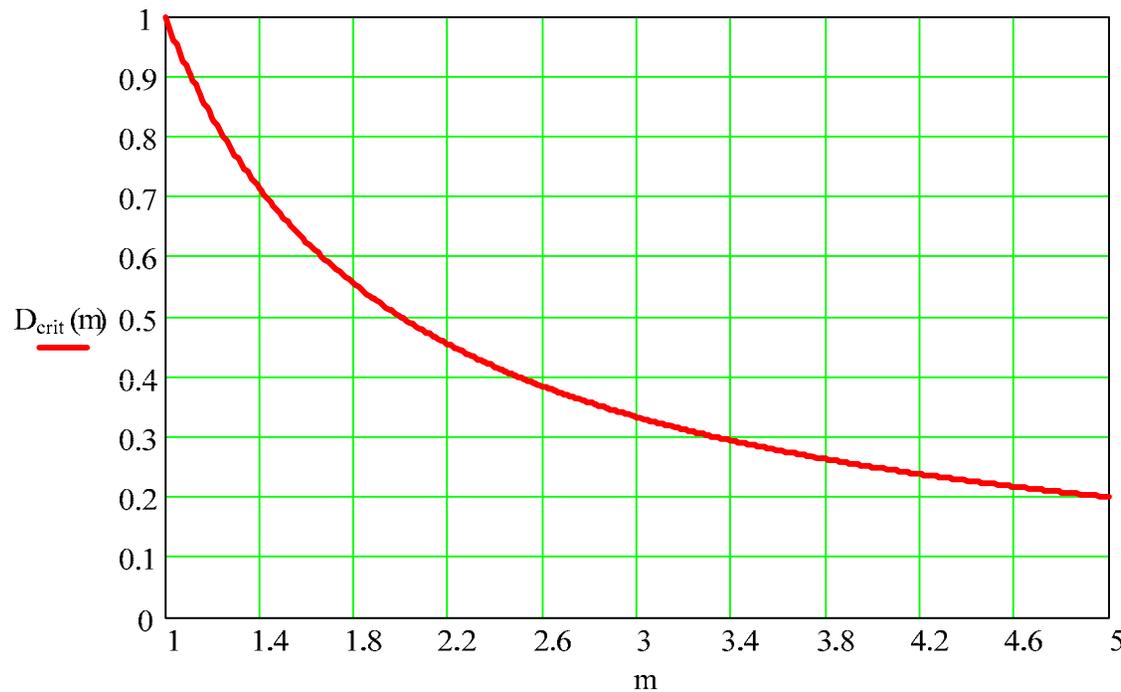
Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Cálculo da ondulação de barramento

$$V_{\text{buck}} = \frac{m}{2 \omega R_G C_B} \int_0^{\pi} |i_{B,n}(\omega t) - I_{B,n}| d(\omega t)$$

Cálculo da razão cíclica máxima

$$\frac{V_G - V_{DC}}{L_{\text{buck}}} D_{\text{crit}} = \frac{V_{DC}}{L_{\text{buck}}} (1 - D_{\text{crit}})$$
$$D_{\text{crit}} = \frac{1}{m}$$



Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

- Rede: 220 V - 50 Hz.
- Lâmpada: 35 W y 90 V, $R_L = 230\Omega$.
- $f_s = 80\text{kHz}$.
- Ondulação de barramento 5%.

$$m = \frac{V_G}{V_{DC}} = \frac{311}{100} = 3,11$$

$$D_{crte} = \frac{1}{m} = \frac{1}{3,11} = 0,32$$

$$v_{buck} = 0,05$$

Projeto do Conversor Flyback

$$n \leq \frac{(1-D) V_L}{D V_{DC}} \quad L_S = n^2 L_P \quad L_P = \frac{V_{DC}^2 D^2 T_S \eta_{fly}}{2 P_L}$$

$$L_P = 144\mu\text{H} \quad n \leq 2,1 \quad L_S = 550\mu\text{H} \quad C = 330\text{nF}$$

Projeto do Capacitor de Barramento

$$C_B = \frac{m}{2 \omega R_G v_{buck}} \int_0^\pi |i_{B,n}(\omega t) - I_{B,n}| d(\omega t) = 310\mu\text{F}$$

Projeto do Conversor Buck

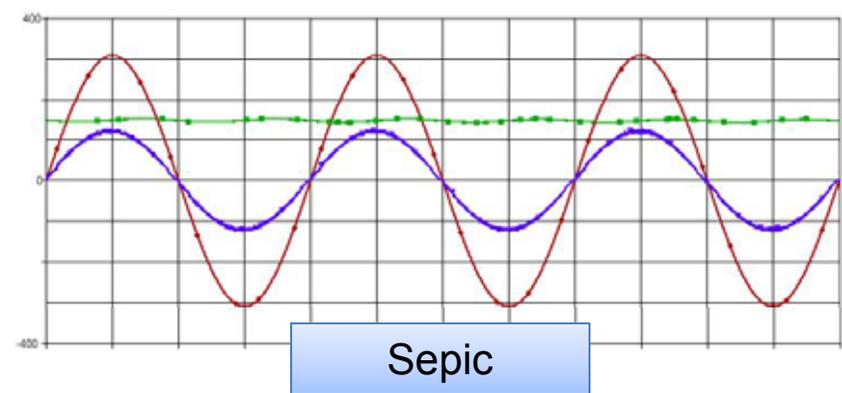
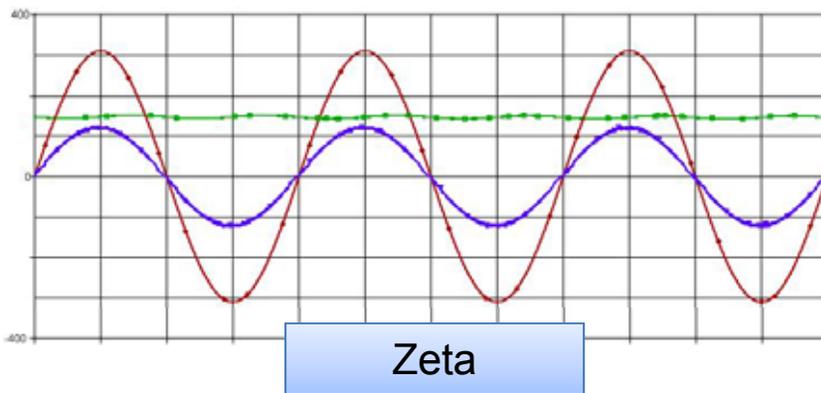
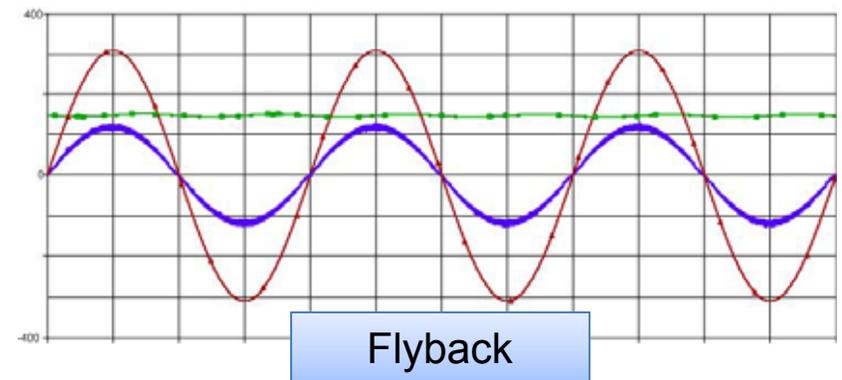
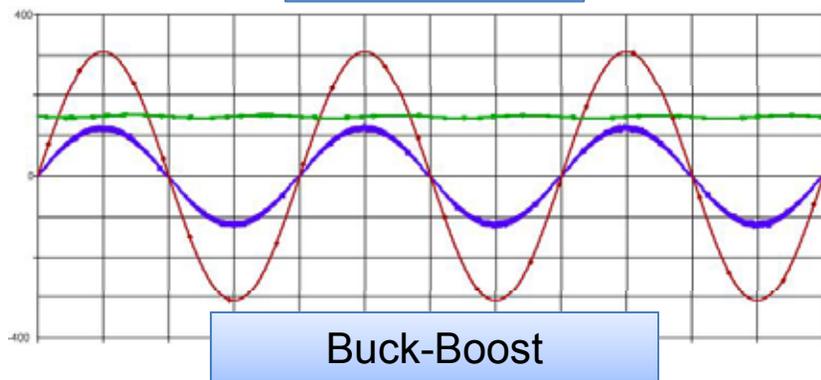
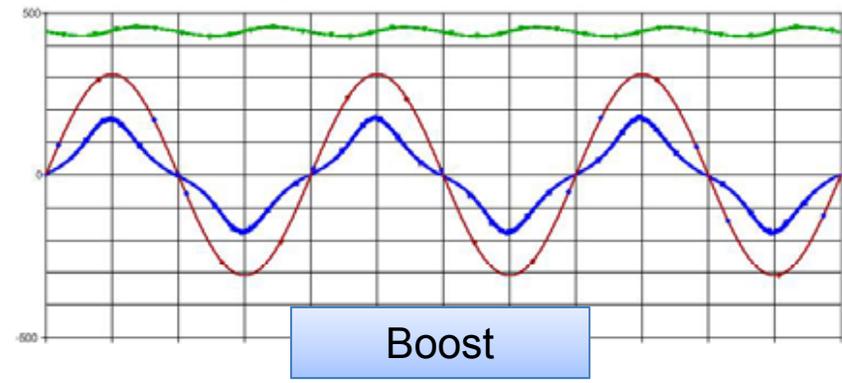
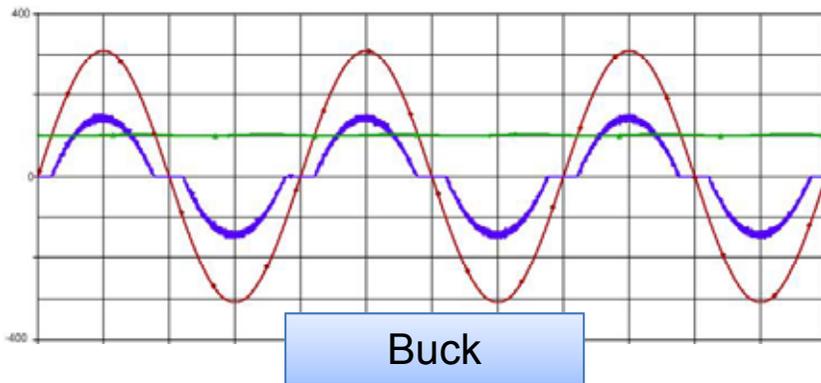
$$L_{buck} = \alpha L_P = 2,8 \cdot 144\mu = 403\mu\text{H}$$

Resultados de Simulação

	V_{DC} (V)	D_{crit}	m	α	(%)
Buck	100	0,3	3,11	2,8	5
Boost	450	0,3	0,69	0,609	5
Buck-Boost	150	0,3	2,07	2,15	5
Flyback	150	0,3	2,07	2,15	5
Zeta	150	0,3	2,07	2,15	5
Sepic	150	0,3	2,07	2,15	5

	L_P (μ H)	L_S (μ H)	n	L_1 (μ H)	L_2 (μ H)	n_2	C_1 (nF)	C_B (μ F)
Buck	144	550	1,95	403	-	-	-	330
Boost	2920	618	0,46	1780	-	-	-	18
Buck-Boost	325	550	1,3	700	-	-	-	120
Flyback	325	550	1,3	700	700	1	-	120
Zeta	325	550	1,3	1030	2200	-	10	120
Sepic	325	550	1,3	7000	777	-	47	120

Resultados de Simulação



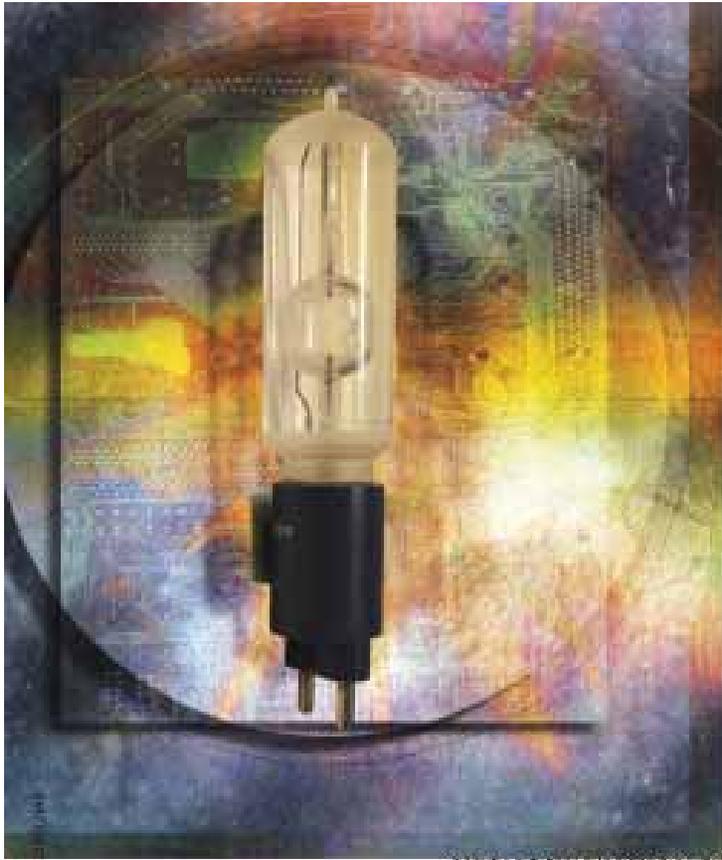
(100V/div; 0,5A/div; 5ms/div).

Resultados de Simulação

	P_{MOS} (W)	I_{MOS} (A)	V_{MOS} (V)	THD (%)	FP	I_{L1}	I_{L2}
Buck	1,8	0,74	470	22	0,977	0,57	-
Boost	6,8	0,36	650	22	0,977	0,265	-
Buck-Boost	4	0,82	470	1	0,999	0,55	-
Flyback ST	3,1	0,485	680	1	0,999	0,35	0,35
Flyback SC	4,3	0,965	470	1	0,999	0,35	0,35
Zeta	2,35	0,69	700	1	0,999	0,31	0,34
Sepic	3,4	0,81	470	1	0,999	0,177	0,44

Resultados de Simulação

	P_{MOS}	I_{MOS}	V_{MOS}	CFP	Magnéticos
Buck	😊	😐	😊	😊	😊
Boost	😞	😊	😐	😊	😊
Buck-Boost	😐	😐	😊	😊	😊
Flyback ST	😐	😊	😞	😊	😐
Flyback SC	😐	😞	😊	😊	😐
Zeta	😊	😐	😞	😊	😞
Sepic	😐	😐	😊	😊	😞



BY MARCO A. DALLA COSTA,
J. MARCOS ALONSO,
TIAGO B. MARCHESAN,
MIRLO CERVI,
& RICARDO N. PRADO

High-power-factor
topologies in
supplying metal
halide lamps

ELECTRONIC BALLASTS FOR HID LAMPS

LAMPS MAGAZINE • MAY/JUNE 2011 • WWW.IEEE.org

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Outros Exemplos de Integração

2124

IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 25, NO. 8, AUGUST 2

Integrated Power Topologies to Supply HPS Lamps: A Comparative Study

Marco Antonio Dalla Costa, *Member, IEEE*, Tiago Bandeira Marchesan, *Member, IEEE*, Jeferson Scheffer da Silveira, Álysson Ranieri Seidel, *Member, IEEE*, Ricardo Nederson do Prado, *Member, IEEE*, and José Marcos Alonso Álvarez, *Senior Member, IEEE*

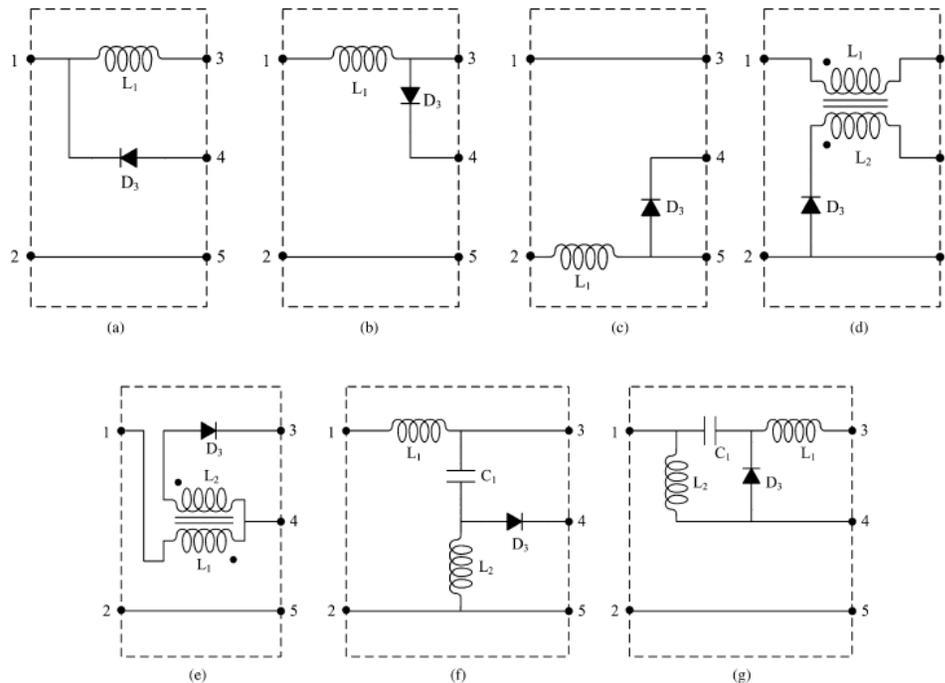


Fig. 4. PFC-analyzed circuits. (a) Buck-OV cell. (b) Boost-OC cell. (c) Buck-boost-OC cell. (d) Flyback-OC cell. (e) Flyback-OV cell. (f) Sepic-OC cell. (g) Zeta-OV cell.

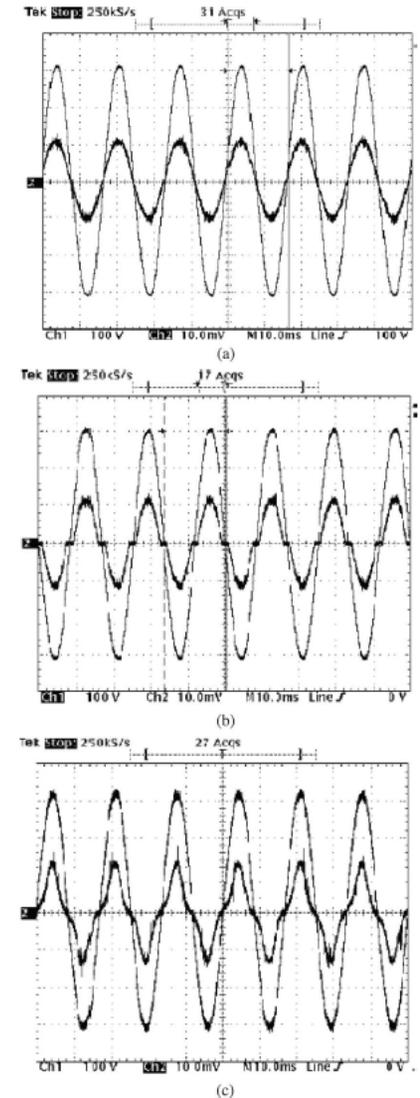


Fig. 7. Line voltage and current (100 V/div; 500 mA/div; 10 ms/div). (a) BFIB-OC result. (b) BUFIB result. (c) BOFIB result.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Outros Exemplos de Integração

1112

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 55, NO. 3, MARCH 2008

A Single-Stage High-Power-Factor Electronic Ballast Based on Integrated Buck Flyback Converter to Supply Metal Halide Lamps

Marco A. Dalla Costa, *Student Member, IEEE*, J. Marcos Alonso, *Senior Member, IEEE*,
Jesús Cardesín Miranda, *Member, IEEE*, Jorge García, *Member, IEEE*, and Diego G. Lamar, *Student Member, IEEE*

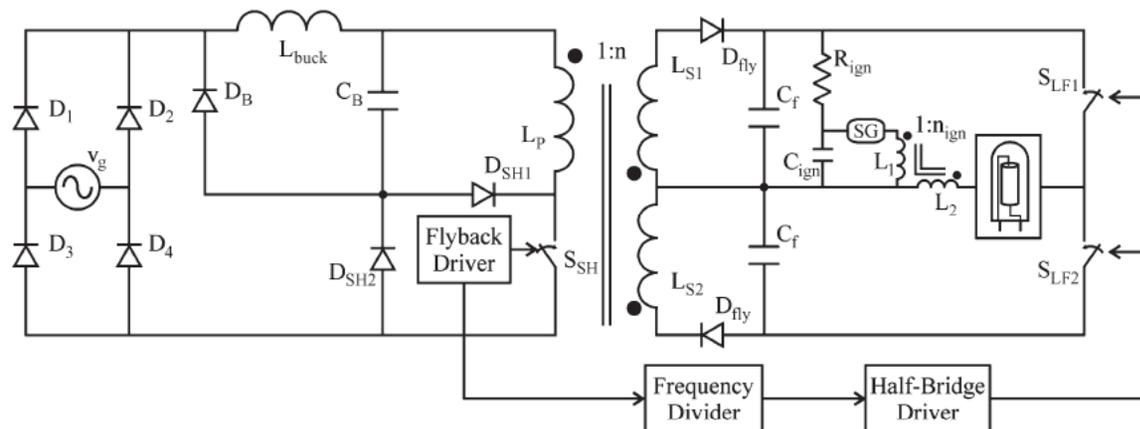


Fig. 9. Proposed ballast complete circuit.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Outros Exemplos de Integração

INTEGRATED ZETA – FLYBACK CONVERTER TO SUPPLY HID LAMPS

Tiago B. Marchesan¹, Marco Dalla Costa², J. Marcos Alonso² and Ricardo N. Prado¹

1. Electronic Ballast Research Group – GEDRE,PPGEE, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil.

2. Universidad de Oviedo, DIEECS, Tecnología Electrónica, Campus de Viesques,Gijón, Spain.

mprado@ieec.org

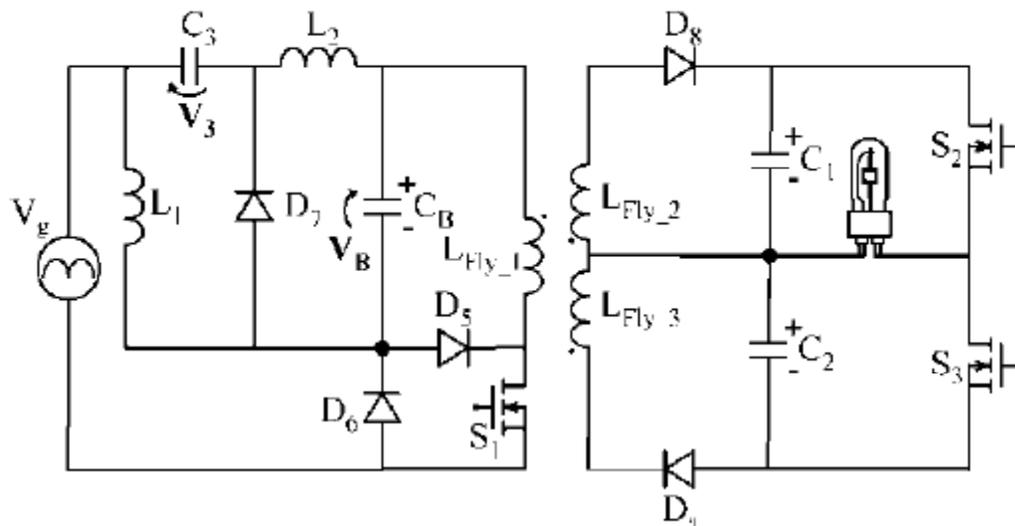


Fig. 1. Proposed electronic ballast topology.

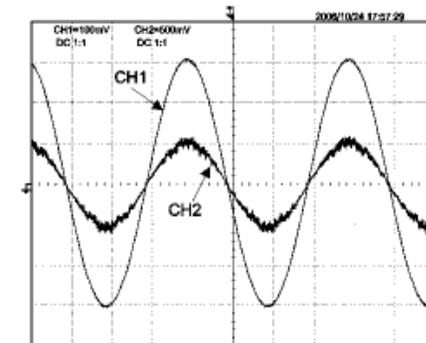


Fig. 7. Input voltage (CH1-50V/div) and current (CH2-500mA/div), 5ms/div.

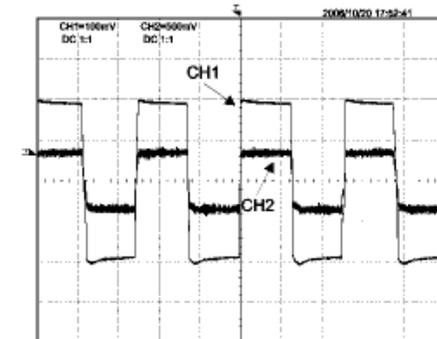


Fig. 8. Lamp voltage (CH1-50V/div) and current (CH2-500mA/div), 1ms/div.

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID

Outros Exemplos de Integração

12

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 46, NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 2010

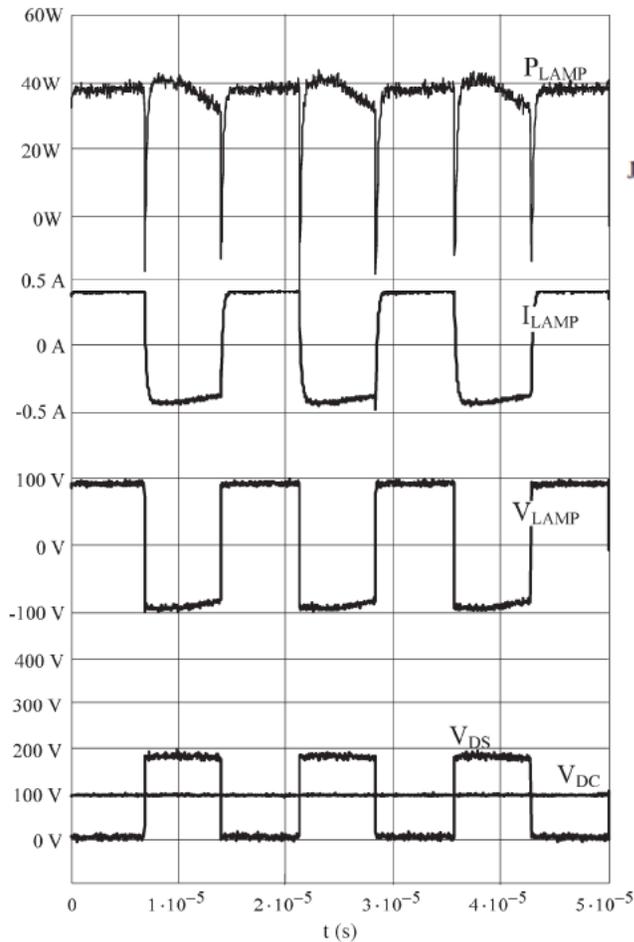


Fig. 21. Lamp instant waveforms (V_{LAMP} , I_{LAMP} , and P_{LAMP}); bus dc voltage, V_{DC} ; and drain-to-source voltage of switch S V_{DS} ; at low line instant voltage ($\theta_{LINE} = 20^\circ$).

Single-Switch Offline Ballast With PFC for Low-Wattage Metal Halide Lamps

Jorge Garcia, *Member, IEEE*, Antonio J. Calleja, *Member, IEEE*, David Gacio Vaquero, *Student Member, IEEE*, Javier Ribas, *Member, IEEE*, and Emilio López Corominas, *Member, IEEE*

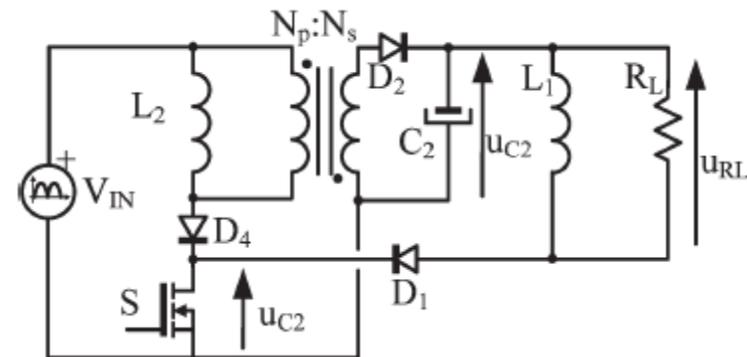


Fig. 12. Simplified diagram of integrated ballast.

Sumário

Integração de Conversores Estáticos aplicada a:

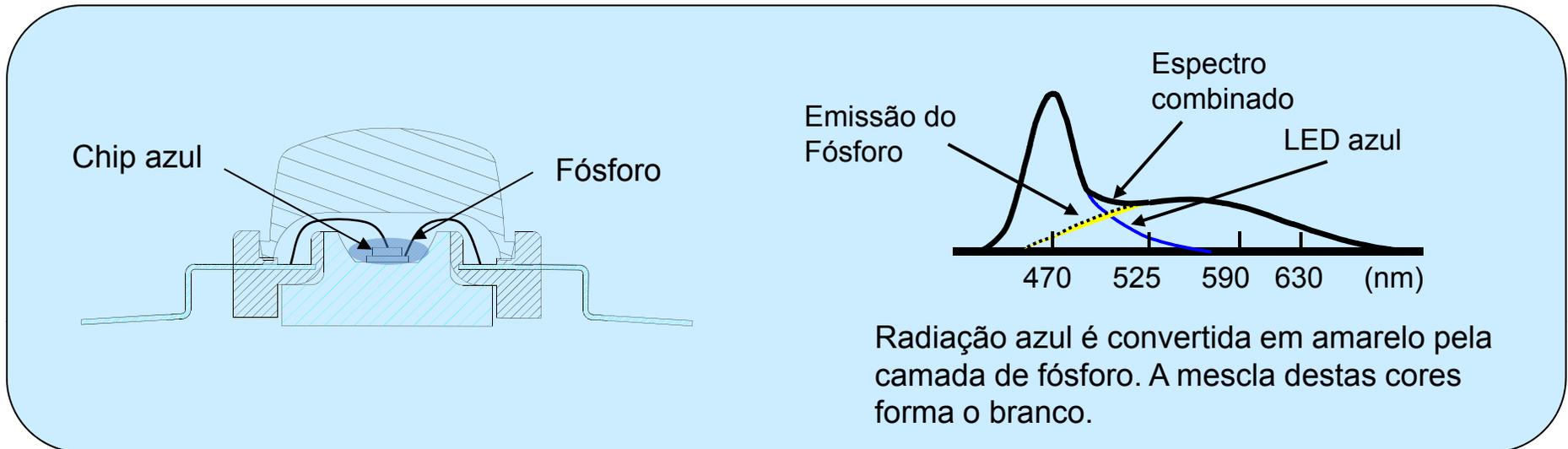
- Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes
- Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HID
- **Drivers para LEDs**

Drivers Integrados para LEDs

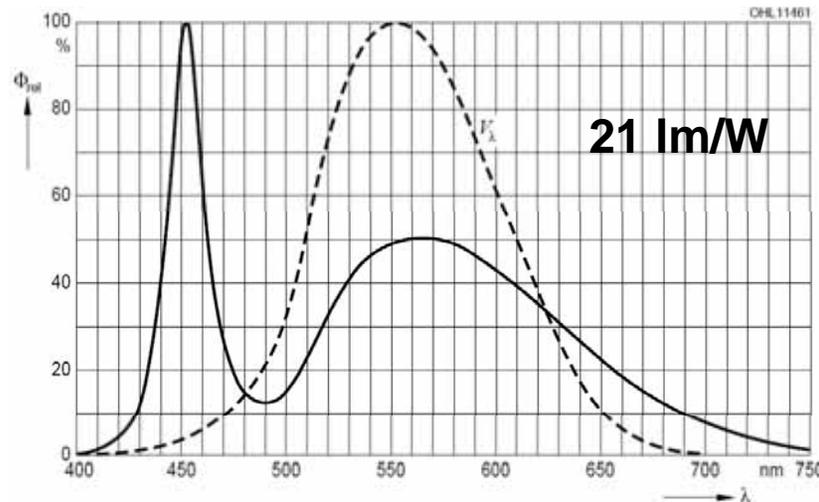
SUMÁRIO

- Diodos Emissores de Luz
- Conversor Buck-Boost Quadrático
- Projeto e Resultados
- Integração aplicada a Drivers de LEDs

Drivers Integrados para LEDs

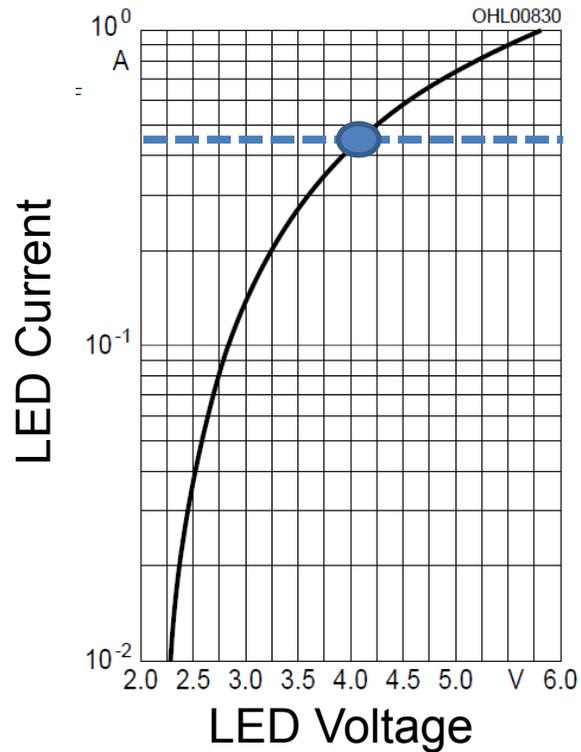


Golden Dragon
LW W5SG Osram

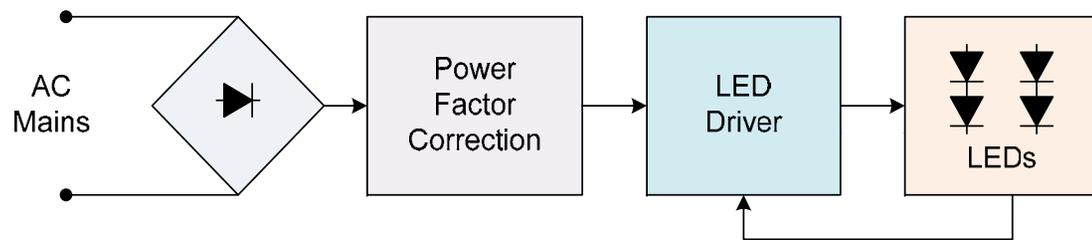


- Confiabilidade**
- Longa vida útil**
- Rendimento elevado**
- Elevado IRC**
- Compacto**

Drivers Integrados para LEDs



- ❑ Comportamento do LED se assemelha a uma fonte de tensão
- ❑ Elemento limitador de corrente deve ser utilizado: Driver



- ❑ Alto FP é exigido para potências superiores a 25W
- ❑ Standard: IEC-61000-3-2 Class C

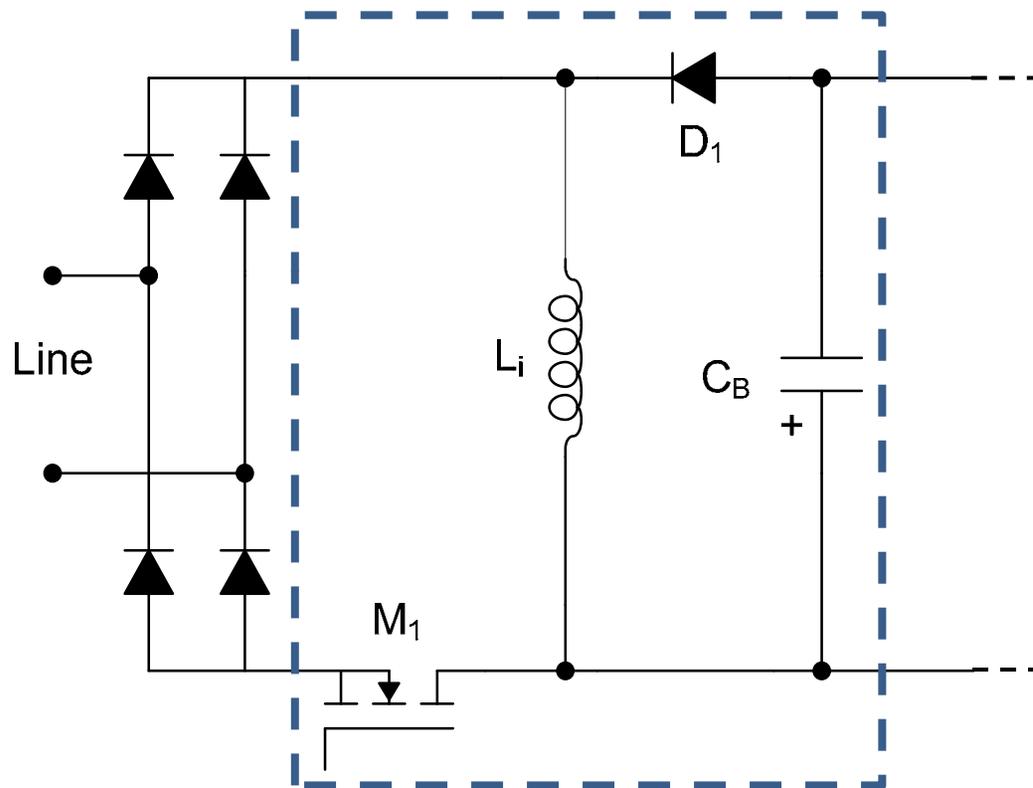
Iluminação Pública



Drivers Integrados para LEDs

Conversor Buck-Boost Quadrático

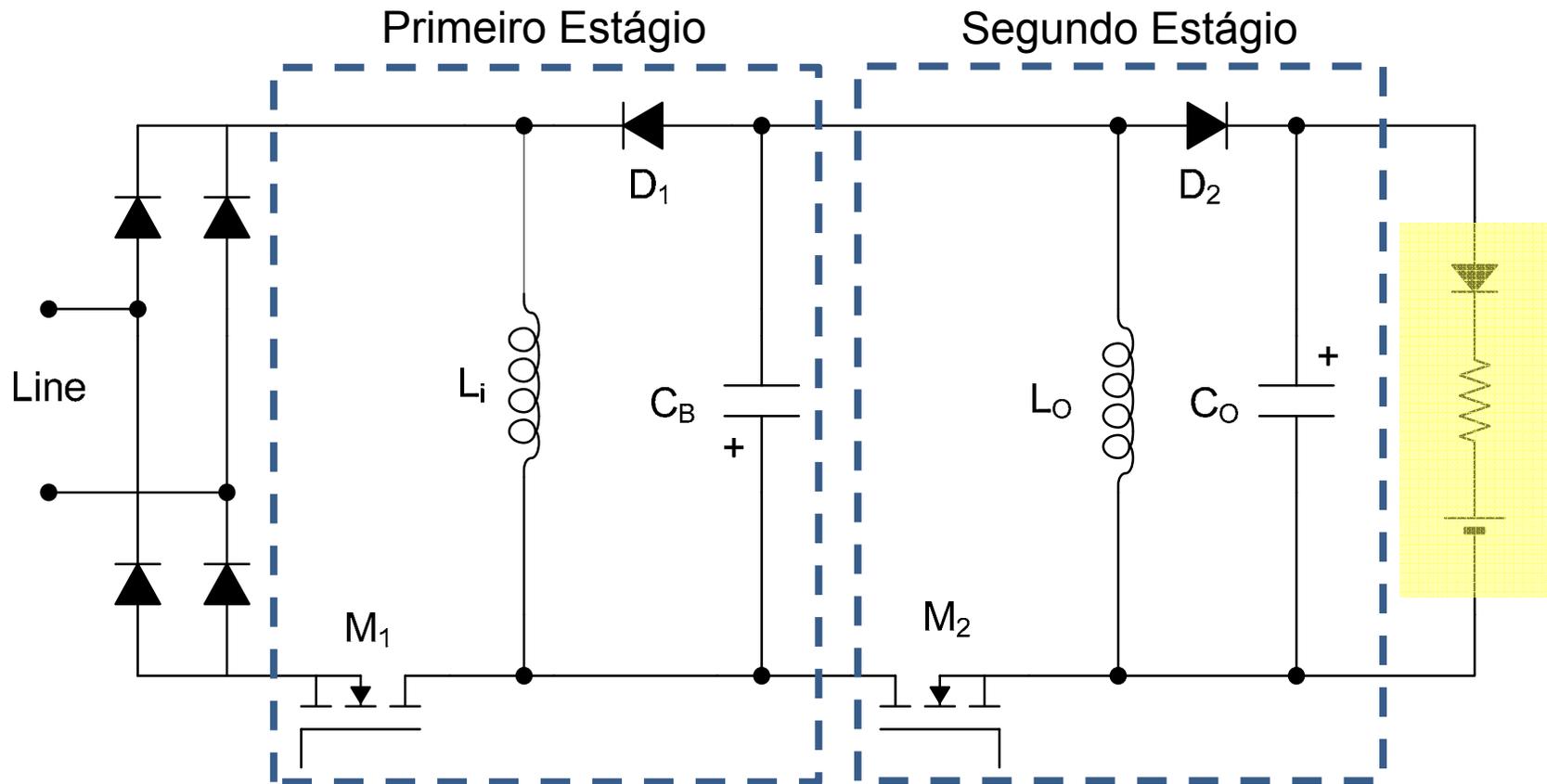
Primeiro Estágio



- Correção do FP natural em DCM
- Tensão de saída maior ou menor que a de entrada

Drivers Integrados para LEDs

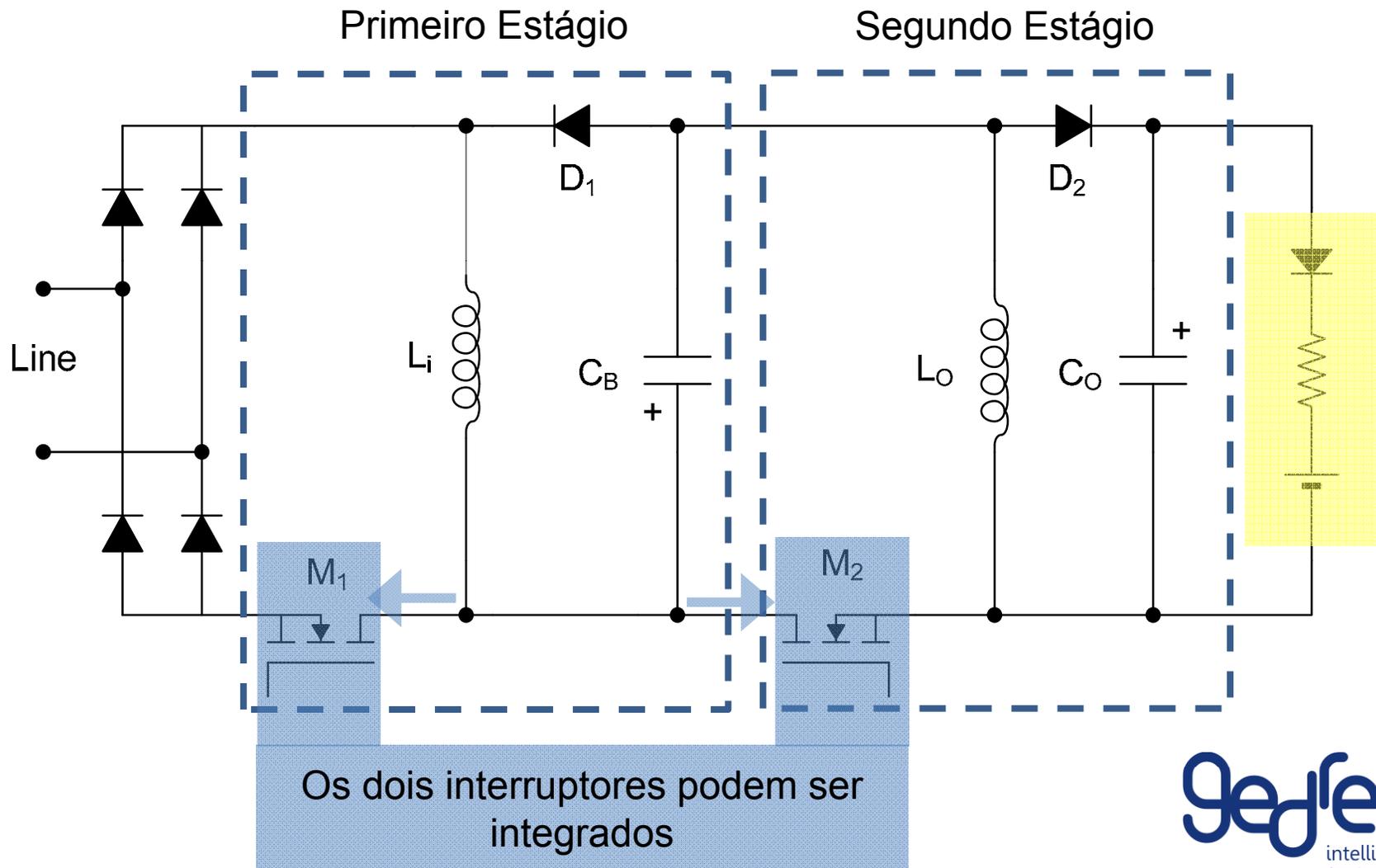
Conversor Buck-Boost Quadrático



- Correção do FP natural em DCM
- Tensão de saída maior ou menor que a de entrada
- Correção do sinal negativo do 1º estágio
- Operação em DCM ou CCM
- CCM foi escolhido neste trabalho

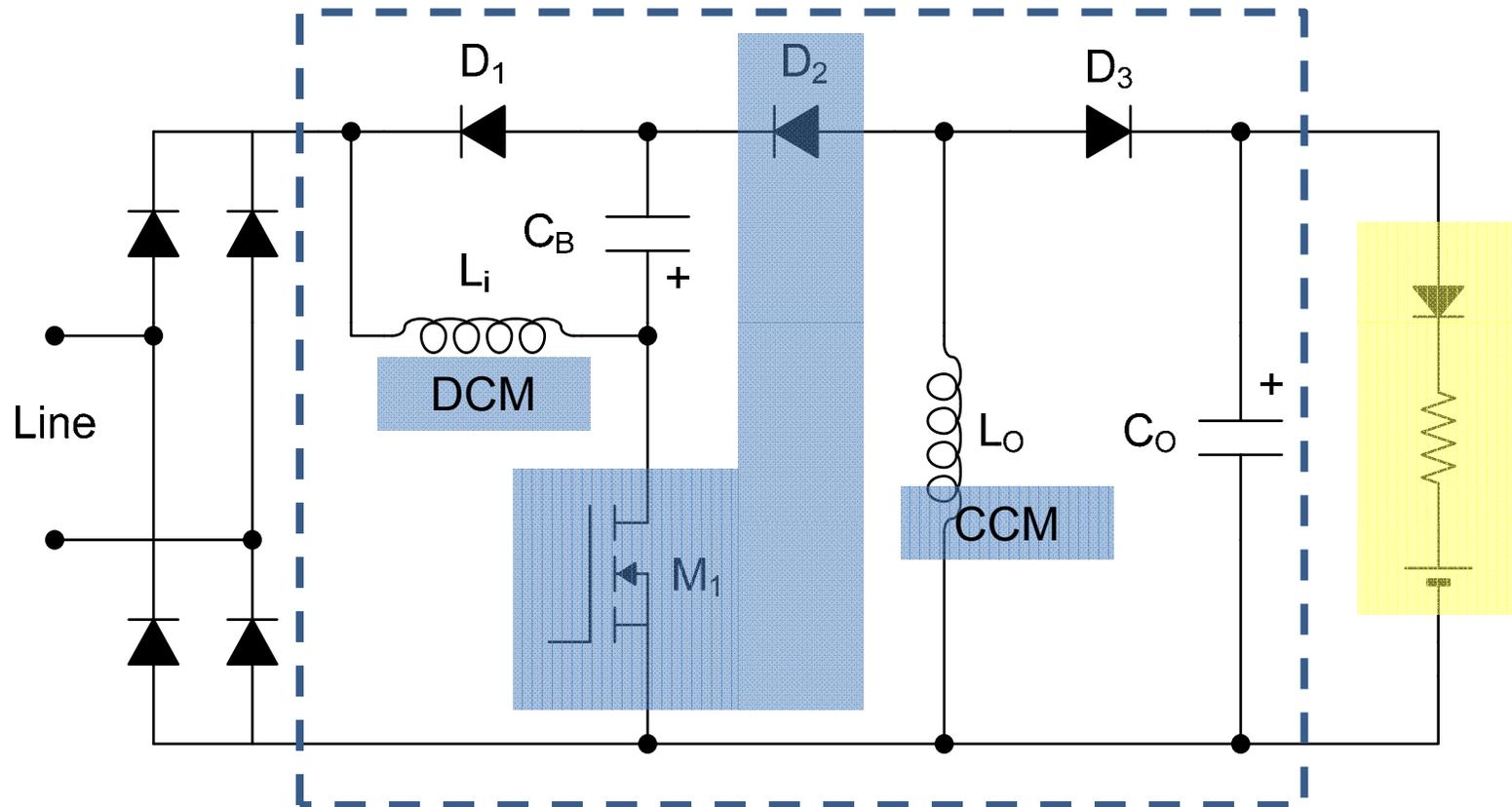
Drivers Integrados para LEDs

Conversor Buck-Boost Quadrático



Drivers Integrados para LEDs

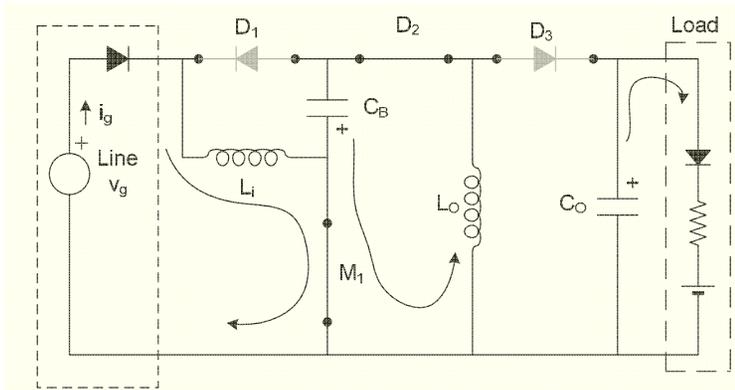
Conversor Buck-Boost Quadrático



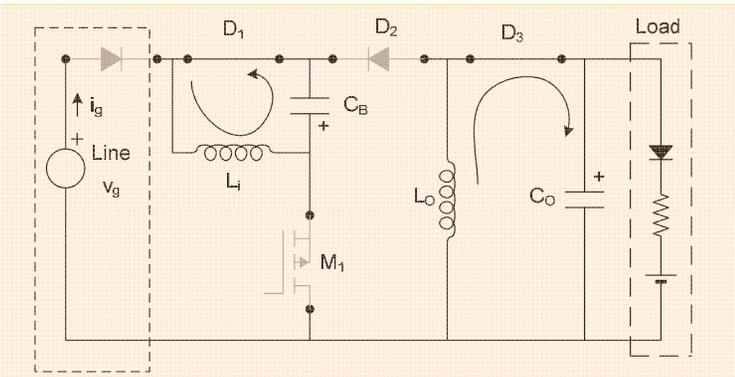
- Conversor de 1 etapa com alto FP
- L_i opera em DCM (CFP)
- L_o opera em CCM (menores componentes de filtro)

Etapas de Operação

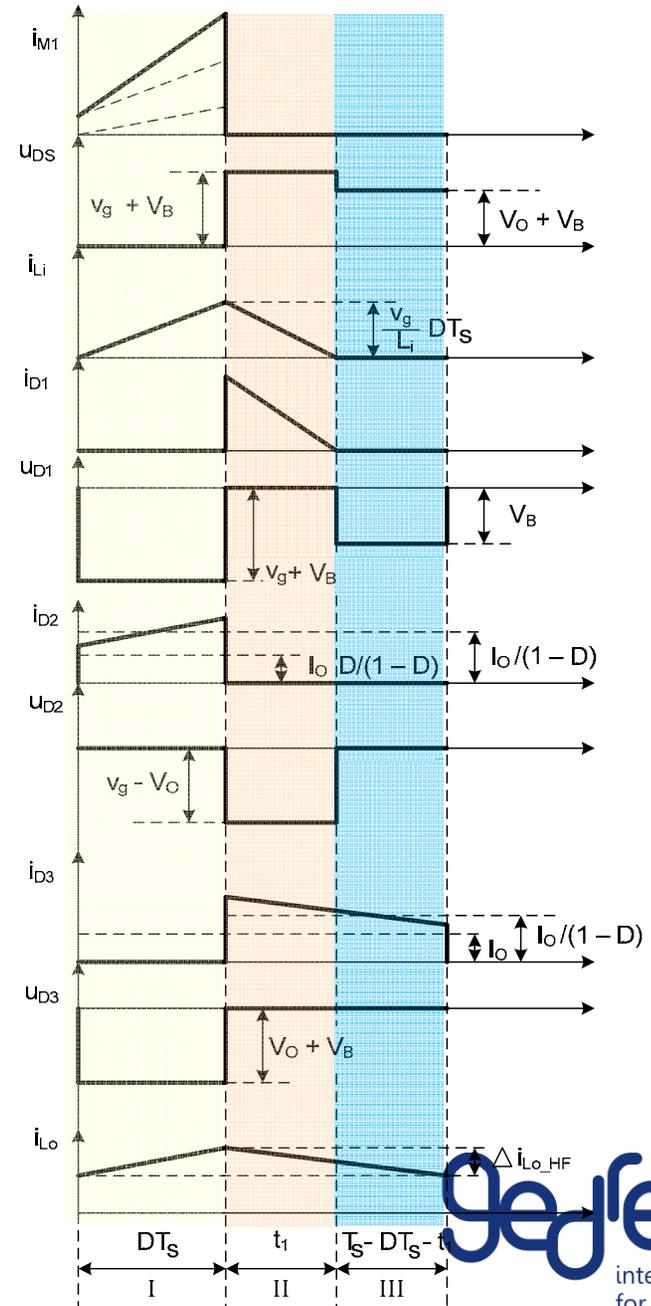
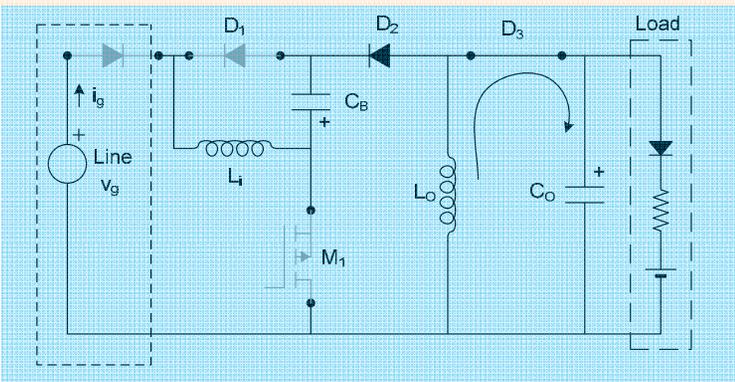
I.-



II.-

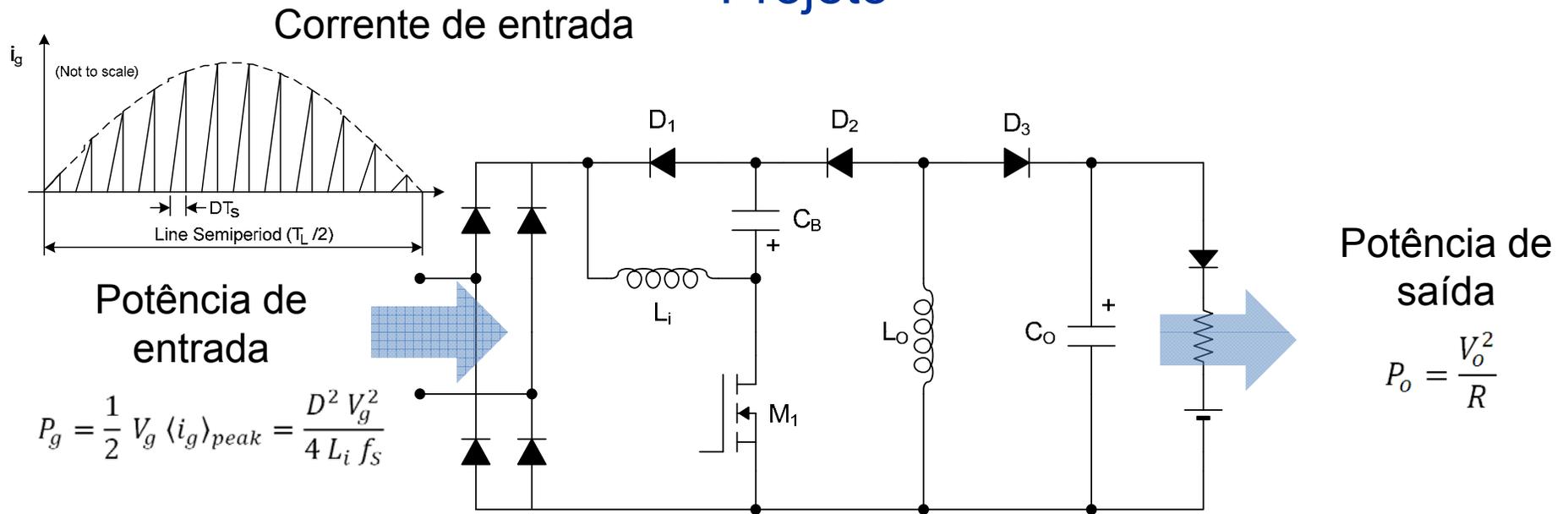


III.-



Drivers Integrados para LEDs

Projeto



Tensão de saída

$$V_o = \frac{D V_g}{2\sqrt{K}} \quad V_B = \frac{1-D}{D} V_o = \frac{(1-D)V_g}{2\sqrt{K}} \quad K = \frac{f_s L_i}{R}$$

Razão cíclica máxima para operação em DCM

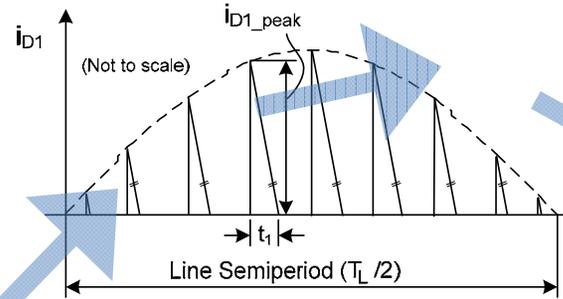
$$D_{limit} = \frac{1}{1 + V_g/V_B}$$

Drivers Integrados para LEDs

Projeto

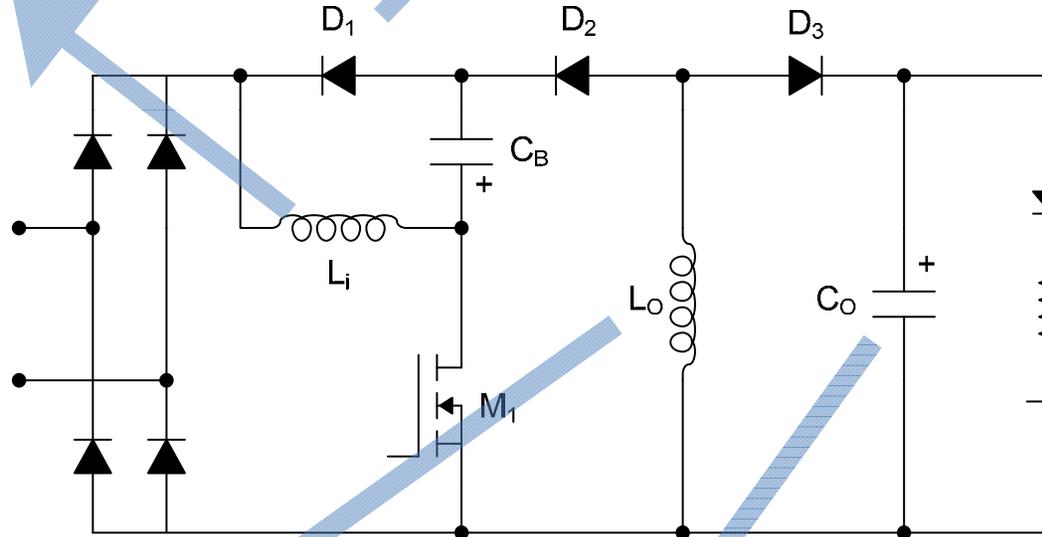
Indutor de Entrada

$$L_i = \frac{D^2 V_g^2}{4 P_o f_s}$$



Capacitor de Barramento

$$C_B = \frac{D^2 V_g^2}{8\pi V_B L_i \Delta V_{B_LF} f_s f_L}$$



Indutor de Saída

$$L_o = \frac{D V_B}{\Delta I_{L_o_HF} f_s}$$

Capacitor de Saída

$$C_o = \frac{D I_o}{\Delta V_{O_HF} f_s}$$

$$\Delta I_{LED_LF} = \frac{\Delta V_{O_LF}}{R_y} = \frac{D}{1-D} \frac{\Delta V_{B_LF}}{R_y}$$

Drivers Integrados para LEDs

Projeto

Dados da Luminária LED

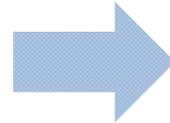


- ❑ 60 LED Osram Golden Dragon LW W5SG
- ❑ Potência: 70 W
- ❑ Tensão e Corrente: 200 V / 350 mA
- ❑ Fluxo Luminoso: 1500 lm
- ❑ Circuito Equivalente: $V_{\gamma} = 170 \text{ V}$, $R_{\gamma} = 87 \ \Omega$

Drivers Integrados para LEDs

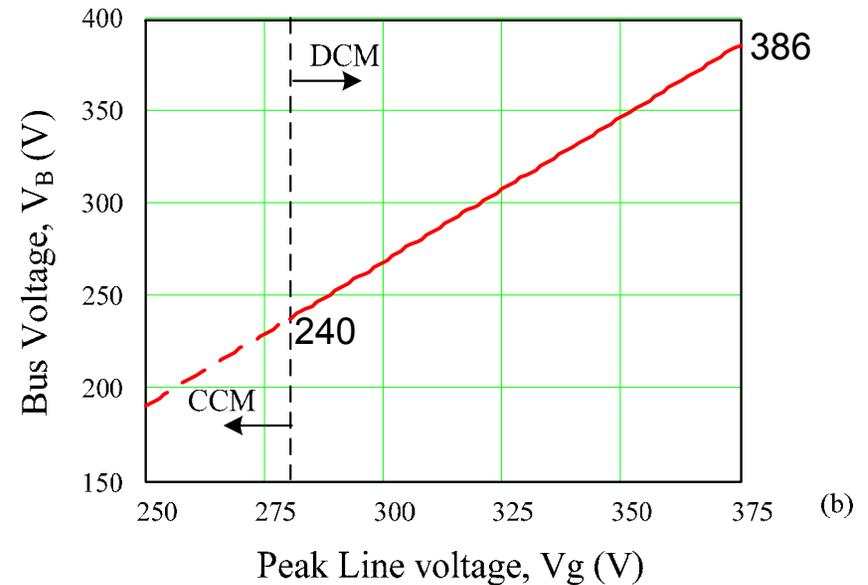
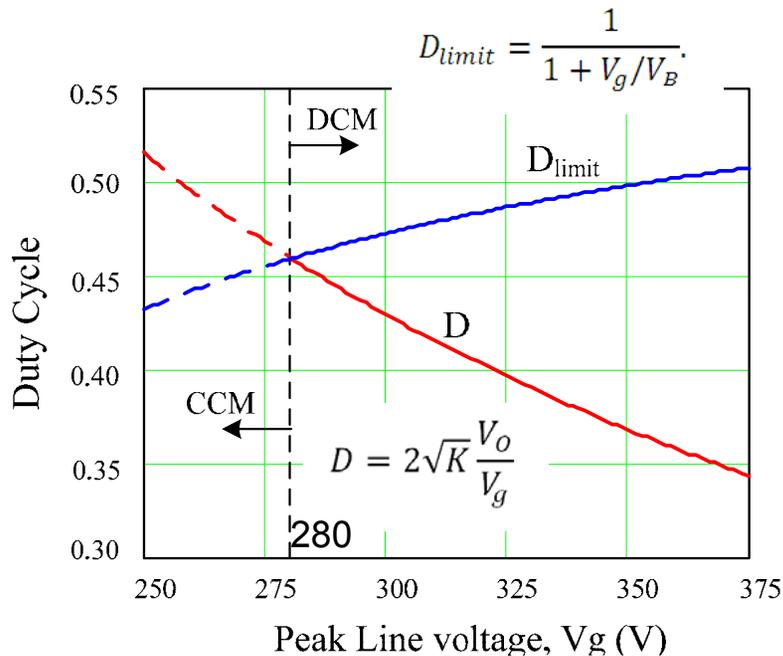
Projeto

- $V_g = 230 \text{ V} \pm 10\%$, 50 Hz
- Razão cíclica: $D = 0.4$
- Frequência: 50 kHz



$$L_i = \frac{D^2 V_g^2}{4 P_o f_s} \quad L_i = 1.2 \text{ mH}$$

$$V_B = \frac{1-D}{D} V_o = \frac{(1-D)V_g}{2\sqrt{K}}$$



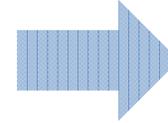
$$K = \frac{f_s L_i}{R}$$

Drivers Integrados para LEDs

Projeto

$$C_B = \frac{D^2 V_g^2}{8\pi V_B L_i \Delta V_{B_LF} f_S f_L}$$

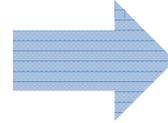
$$\Delta V_{B_LF} = 12 V_{pp} (5\%)$$



$$C_B = 80 \mu F$$

$$L_O = \frac{D V_B}{\Delta I_{L_O_HF} f_S}$$

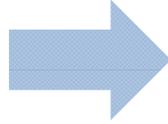
$$\Delta I_{L_O_HF} = 0.3 A (50\%)$$



$$L_O = 7 mH$$

$$C_O = \frac{D I_O}{\Delta V_{O_HF} f_S}$$

$$\Delta V_{O_HF} = 2 V (2\%)$$

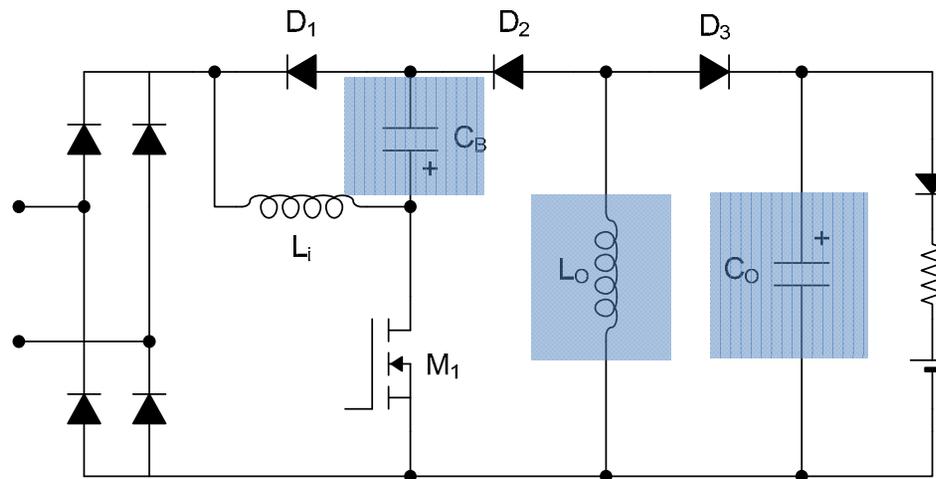


$$C_O = 40 \mu F$$

$$\Delta I_{LED_LF} = \frac{\Delta V_{O_LF}}{R_\gamma} = \frac{D}{1-D} \frac{\Delta V_{B_LF}}{R_\gamma}$$



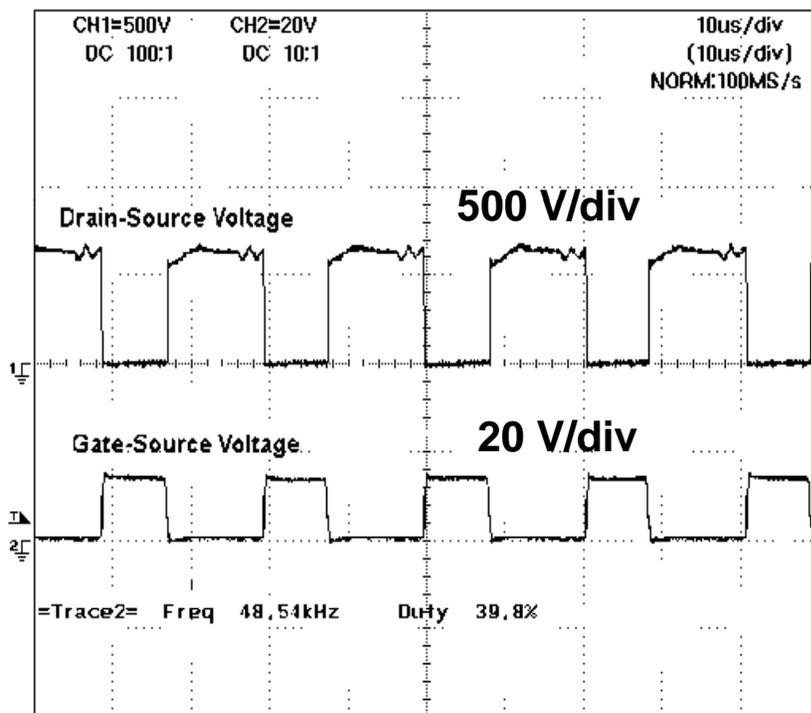
$$\Delta I_{LED_LF} = 110 mA_{pp} (30\%)$$



Drivers Integrados para LEDs

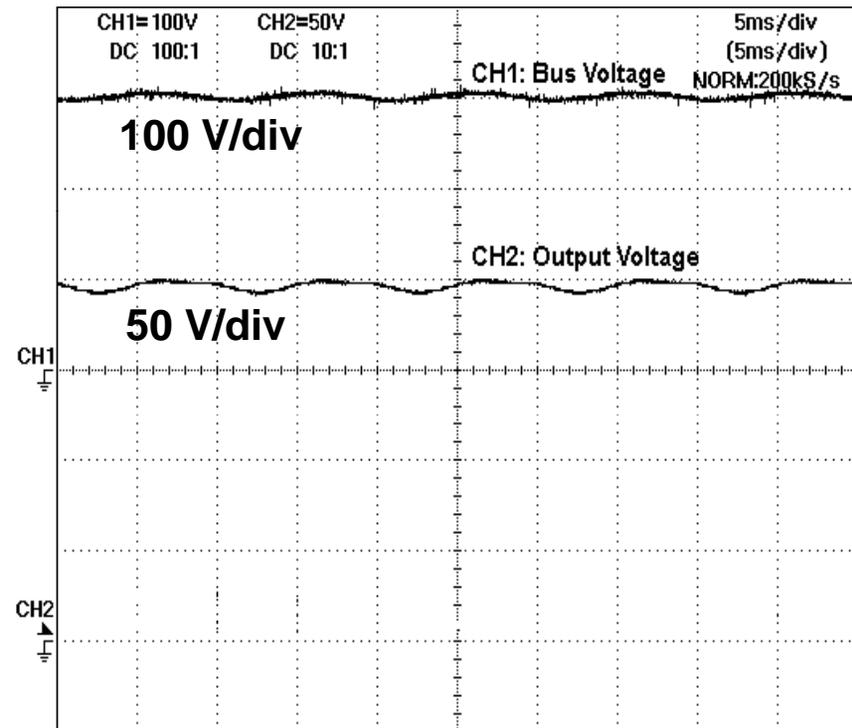
Resultados Experimentais

Formas de onda no MOSFET



10 μs/div

Tensão de Barramento e Vo

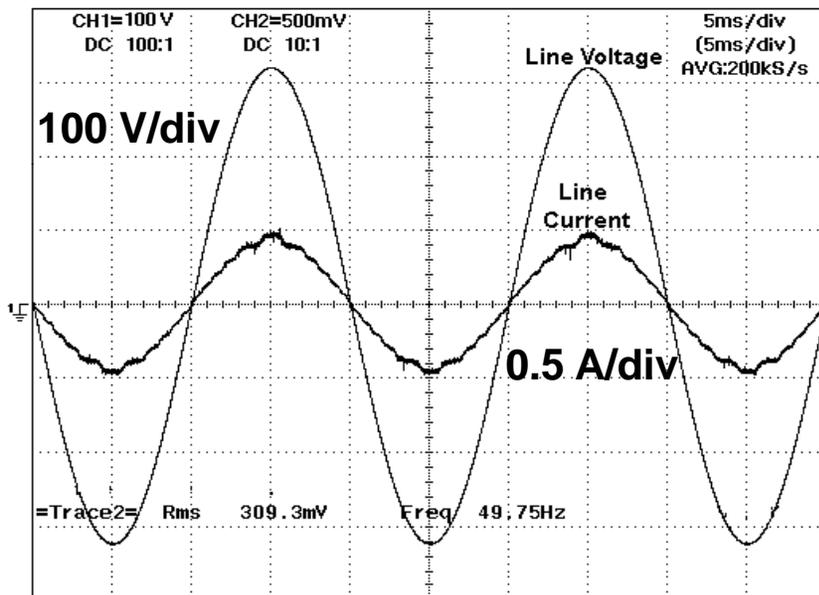


5 ms/div

Drivers Integrados para LEDs

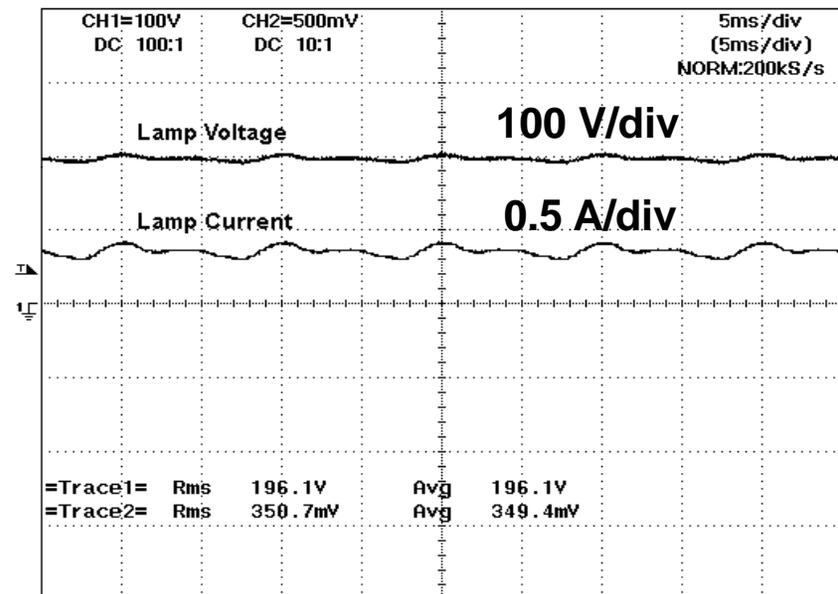
Resultados Experimentais

Tensão e corrente de entrada



5 ms/div

Tensão e corrente nos LEDs

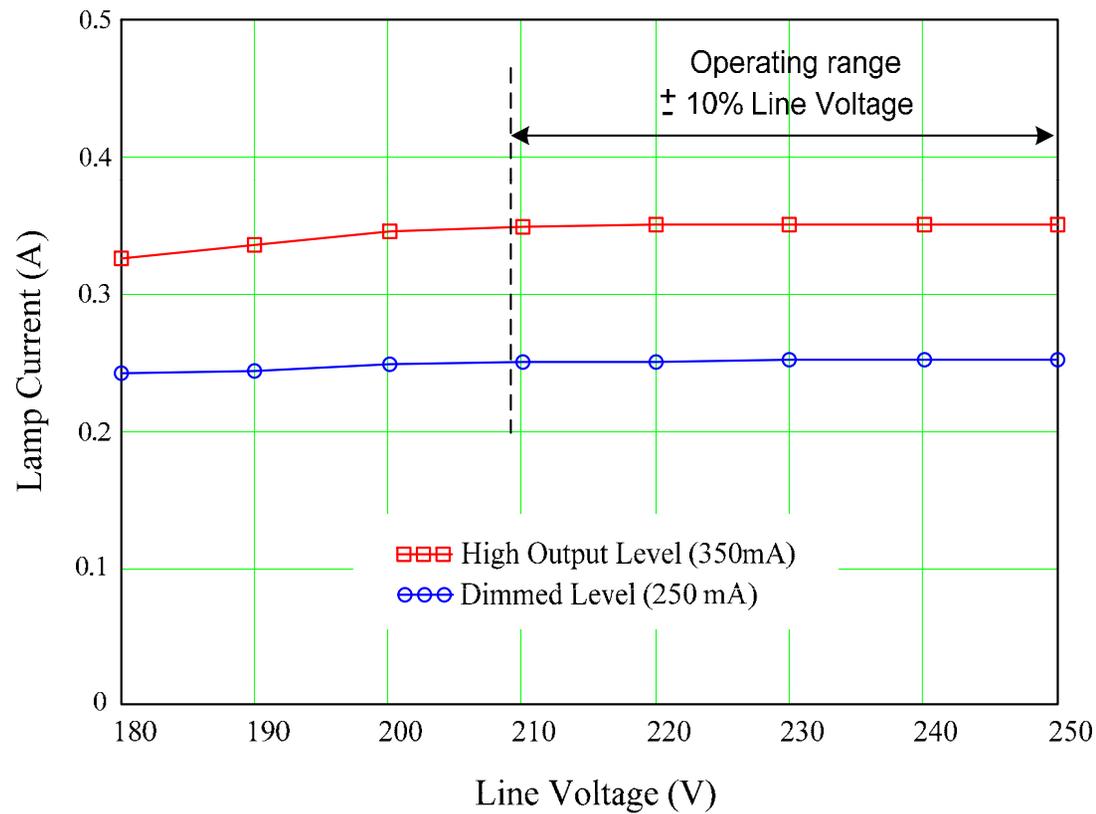


5 ms/div

Drivers Integrados para LEDs

Resultados Experimentais

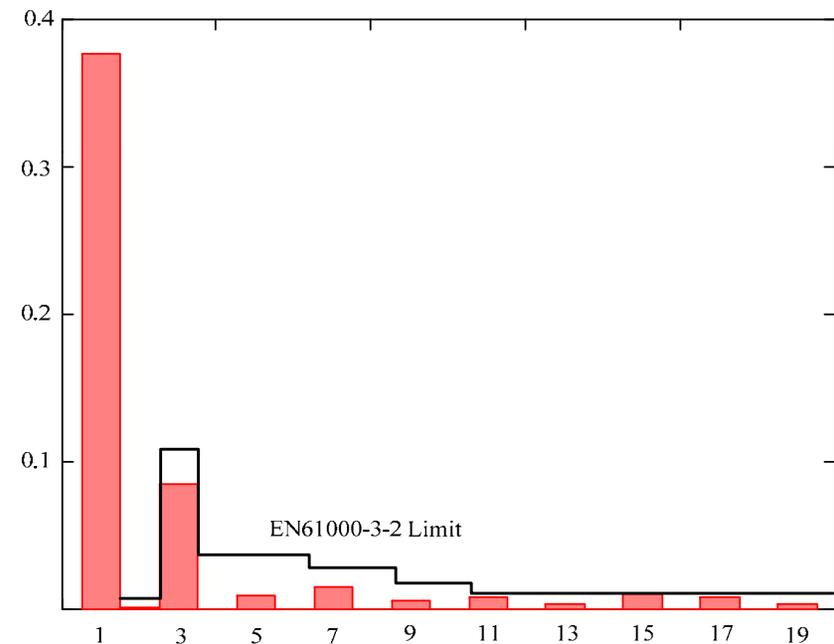
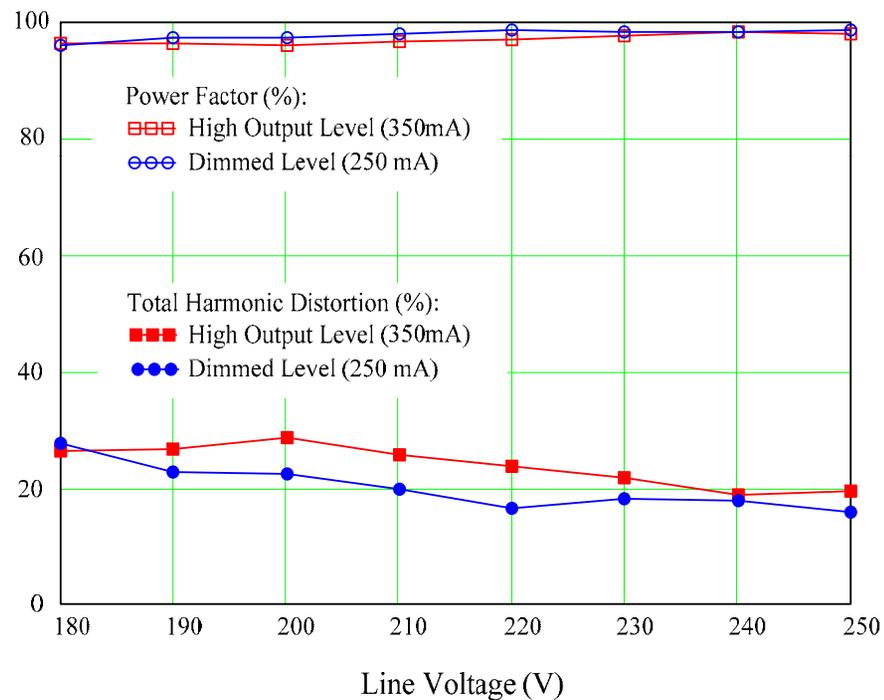
Regulação de corrente em malha fechada



Drivers Integrados para LEDs

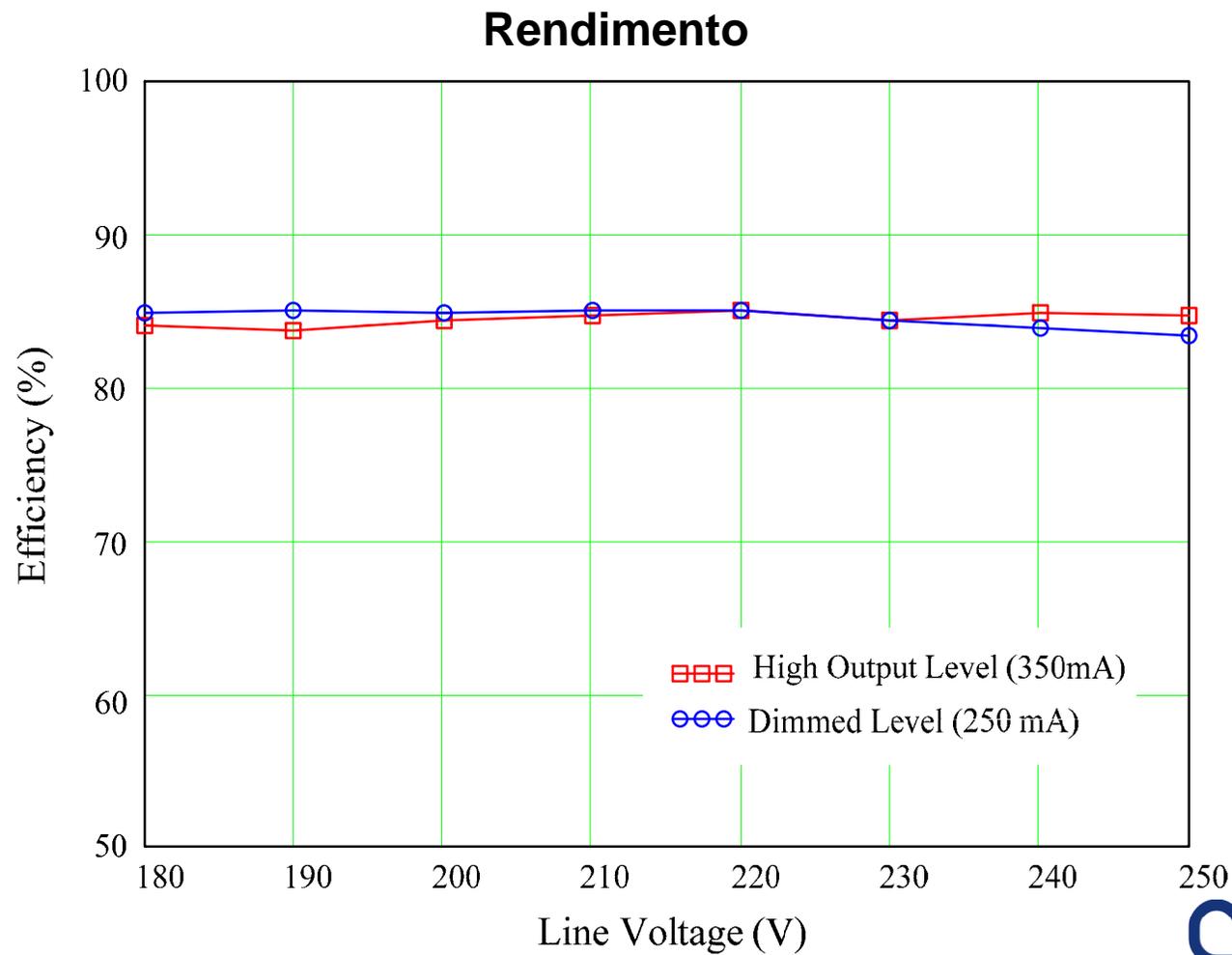
Resultados Experimentais

FP e THD



Drivers Integrados para LEDs

Resultados Experimentais



Drivers Integrados para LEDs

Conclusões

- O conversor proposto é baseado na integração de 2 conversores buck-boost.
- Somente 1 interruptor é utilizado.
- Corrente de saída é facilmente medida para operação em malha fechada.
- O protótipo apresentou bom desempenho em termos de regulação de corrente, correção do FP e rendimento.

Drivers Integrados para LEDs

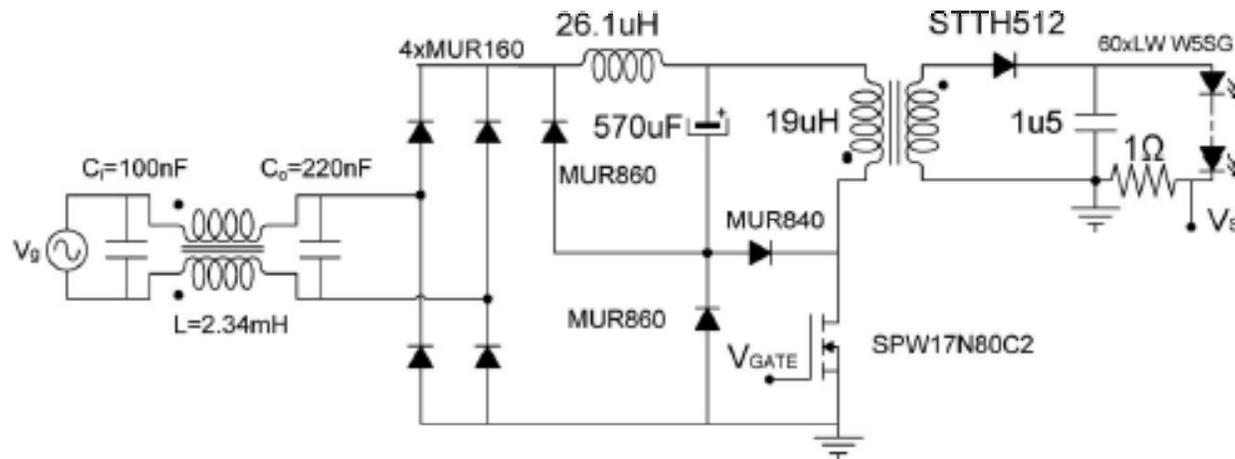
Outros Exemplos de Integração

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 58, NO. 2, FEBRUARY 2011

589

A Universal-Input Single-Stage High-Power-Factor Power Supply for HB-LEDs Based on Integrated Buck–Flyback Converter

David Gacio, *Student Member, IEEE*, J. Marcos Alonso, *Senior Member, IEEE*, Antonio J. Calleja, *Member, IEEE*, Jorge García, *Member, IEEE*, and Manuel Rico-Secades, *Member, IEEE*



gedre

inteligência
em iluminação

www.ufsm.br/gedre
marcodc@gedre.ufsm.br

gedre
intelligence
for lighting
