

COMPARATIVO ENTRE REATORES COM ALTO FATOR DE POTÊNCIA PARA ILUMINAÇÃO FLUORESCENTE

Tiago B. Marchesan, Álysson R. Seidel, Fábio E. Bisogno, Ricardo N. do Prado

Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos – UFSM

97105-900 – Santa Maria – RS

Brasil

e-mail: tiagobm@ieee.org, arseidel@ieee.org, fabio.bisogno@ais.fraunhofer.de, rnprado@ieee.org

Resumo – Este artigo apresenta um estudo comparativo entre quatro topologias com alto fator de potência, que possuem como principal característica o compartilhamento do mesmo interruptor para o estágio de correção do fator de potência e para o estágio inversor. O ensaio de um reator eletromagnético é adicionado ao trabalho a fim de enriquecer o estudo proposto. As características de cada topologia são descritas através da discussão de suas vantagens e desvantagens. Os reatores eletrônicos estudados foram projetados para alimentação de duas lâmpadas fluorescentes de 40W, frequência de operação de 50 kHz e uma tensão de entrada de 110 V_{RMS}, 60 Hz.

Palavras Chave – comparativo, fator de potência, iluminação fluorescente, reator eletrônico.

COMPARATIVE ANALYSIS AMONG HIGH-POWER FACTOR FLUORESCENT LIGHTING SYSTEMS

Abstract - This paper provides a comparative analysis among four electronic ballasts topologies with high power factor, employing the same switch for inverter and power factor correction stage based on experimental results. An electromagnetic Ballast analysis is included to provide a comparison with implemented electronic ballasts. Then features of each topology are shown through the discussion of their advantages and disadvantages. The electronic ballasts are made for two 40W fluorescent lamps at 50 kHz switching frequency and 110V_{RMS}, 60 Hz utility line.

Keywords – comparative, electronic ballast, fluorescent lighting, power factor.

NOMENCLATURA

REBH	Reator Eletrônico Boost Half-Bridge
REFH	Reator Eletrônico Flyback Half-Bridge
REBP	Reator Eletrônico Boost Push-Pull
REFP	Reator Eletrônico Flyback Push-Pull
REM	Reator Eletromagnético
FP	Fator de potência.
FC	Fator de crista da corrente na lâmpada.
DHT	Distorção harmônica total

Artigo Submetido em 17/07/2003. Primeira Revisão em 30/09/2003. Segunda Revisão em 11/11/2003. Aceito sob recomendação do Editor Especial Prof. Walter Kaiser.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de reatores eletrônicos alimentando lâmpadas fluorescentes é uma realidade no mercado devido aos seus conhecidos méritos, tais como: maior eficiência luminosa (lm/W), ausência de cintilamento (flicker) e ruído audível, maior vida útil da lâmpada e menor peso e volume [3].

Nos últimos anos várias topologias foram desenvolvidas com o intuito de melhorar a performance dos sistemas eletrônicos para alimentação de lâmpadas fluorescentes, em substituição a sistemas eletromagnéticos convencionais. Algumas destas topologias são: Reator Eletrônico Boost Half-Bridge [1], Reator Eletrônico Flyback Half-Bridge [2], Reator Eletrônico Boost Push-Pull [3], Reator eletrônico Flyback Push-Pull [4]. Estas topologias com um único estágio de correção do fator de potência tem se tornado mais atrativas na indústria devido a sua maior eficiência luminosa, alto fator de potência e alta eficiência comparando-se a reatores eletromagnéticos convencionais.

Um estudo comparativo entre as principais topologias existentes faz-se necessário, e é realizado neste trabalho da seguinte forma: Na seção II as topologias analisadas são demonstradas. A seção III mostra os procedimentos de projeto para cada um dos conversores utilizados. Na seção IV e VI as especificações de projeto para os reatores e seus resultados experimentais são demonstrados. A seção V mostra as especificações dos componentes utilizados. As seções VII e VIII apresentam uma análise comparativa entre os reatores estudados.

II. REATORES ELETRÔNICOS ESTUDADOS

As configurações de cada topologia estão mostradas na Figura 1. Figuras 1.a, 1.b, 1.c e 1.d mostram os circuitos dos reatores eletrônicos Boost Half-Bridge, Flyback Half-Bridge, Boost Push-Pull e Flyback Push-Pull implementados, respectivamente.

Todas as topologias estudadas são formadas por: uma ponte retificadora de entrada; um filtro de interferência eletromagnética (EMI) que possibilita uma reduzida taxa de distorção harmônica da corrente e conseqüentemente um alto fator de potência das topologias; um estágio de correção do fator de potência formado pelos conversores Boost ou Flyback; interruptores de potência (1 ou 2); um estágio inversor formado pelos inversores Half-Bridge ou Push-Pull; um filtro série paralelo ressonante (LCC) que possibilita a ignição da lâmpada e as formas de onda senoidais de tensão e de corrente em regime permanente; e duas lâmpadas fluorescentes de 40W.

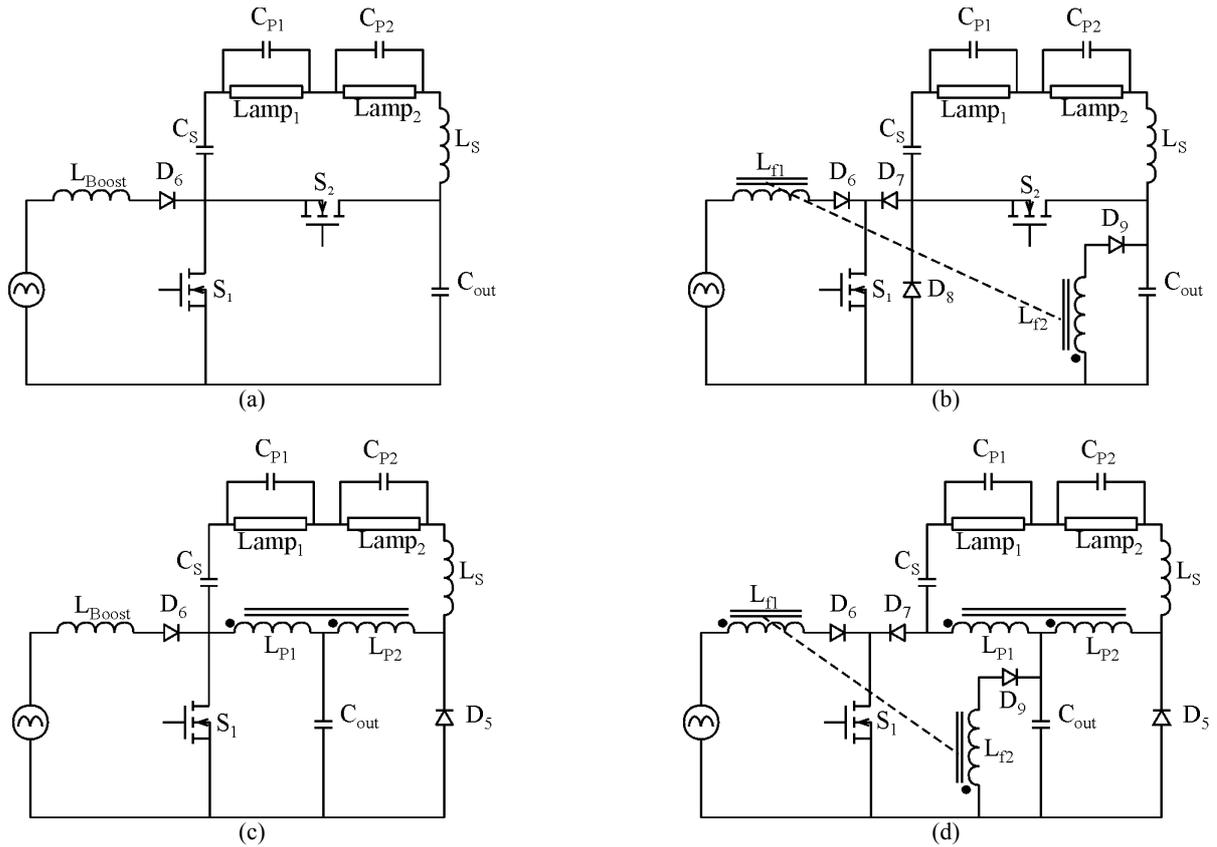


Fig. 1. Reatores Eletrônicos: (a) REBH, (b) REFH, (c) REBP, (d) REFP

III. PROCEDIMENTOS DE PROJETO

As topologias estudadas são projetadas para duas lâmpadas fluorescentes de 40W, tensão de entrada de 110 V_{RMS} e uma frequência de operação de 50 kHz.

As equações de projeto relevantes de cada topologia são mostradas a seguir:

A. Filtro Série-Paralelo Ressonante

O filtro série paralelo ressonante é um dos mais simples e comumente usados para alimentar lâmpadas fluorescentes em alta frequência [5]. Os componentes do filtro ressonante são calculados através das equações (1) e (2), como função do ângulo de fase ϕ ou $\arg(z)$, mostrado na Figura 2.

$$C_P(\phi) = \sqrt{\frac{[1 + \tan^2(\phi)] \cdot P}{\omega^2 \cdot R \cdot V_{ac}^2} - \frac{1}{\omega^2 \cdot R^2}} \quad (1)$$

$$L(\phi, C_S) = \frac{R \cdot \tan(\phi) + C_P(\phi) \cdot R^2 \cdot \omega}{\omega \cdot [1 + \omega^2 \cdot C_P^2(\phi) \cdot R^2]} + \frac{1}{C_S \cdot \omega^2} \quad (2)$$

Onde:

$C_P(\phi)$	capacitor paralelo ressonante;
ϕ	ângulo da impedância;
P	potência da lâmpada;
ω	frequência angular de operação;
R	resistência equivalente da lâmpada;
V_{ac}	tensão RMS da componente fundamental;
C_S	capacitor série ressonante.

B. Conversor Boost

1) Razão cíclica máxima

A máxima razão cíclica é dada por:

$$\alpha = \frac{V_{max}}{V_{Cout}} \quad (3)$$

$$D_{max} = 1 - \alpha \quad (4)$$

Onde:

V_{max}	tensão de pico máxima na entrada;
V_{Cout}	tensão no capacitor de barramento.

2) Indutância Boost

A indutância boost é definida por:

$$Y(\alpha) = -2 - \frac{\pi}{\alpha} + \frac{2}{\alpha \cdot \sqrt{1 - \alpha^2}} \cdot \left[\frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left(\frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \right) \right] \quad (5)$$

$$L_{Boost} = \frac{V_{max}^2}{2\pi \cdot f_s \cdot P_{0,max}} \cdot \frac{(1 - \alpha)^2}{\alpha} \cdot Y(\alpha) \quad (6)$$

Onde:

f_s	frequência de operação;
$P_{0,max}$	máxima potência de saída.

3) Corrente de Entrada

A corrente de entrada é obtida através da seguinte equação:

$$I_{Lb,peak} = \frac{V_{max} \cdot D_{max}}{L_{Boost} \cdot fs} \quad (7)$$

C. Conversor Flyback

1) Núcleo do Indutor Flyback

O núcleo do indutor flyback é obtido através da seguinte equação:

$$Ae \cdot A\omega = \frac{1,1 \cdot P_{0,max} \cdot 10^4}{K_p \cdot K_w \cdot J \cdot fs \cdot \Delta B} \quad (8)$$

Onde:

K_p	fator de utilização do primário
K_w	fator de utilização da janela
J	densidade de corrente
ΔB	densidade de fluxo

2) Cálculo do Entreferro

O entreferro pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\delta = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot P_{0,max} \cdot 10^6}{B^2 \cdot Ae \cdot \eta \cdot fs} \quad (9)$$

Onde:

μ_0	permeabilidade do vácuo
B	densidade de fluxo
Ae	área da seção transversal do núcleo
η	eficiência

3) Indutância Primária do Flyback

A máxima indutância do flyback é dada por:

$$L_{f1} = \frac{V_{max}^2 \cdot D^2 \cdot \eta}{4 \cdot P_{0,max} \cdot fs} \quad (10)$$

Onde:

D	razão cíclica
-----	---------------

4) Corrente de Pico no Primário do Flyback

$$I_{Lf1,peak} = \frac{V_{max} \cdot D}{L_{f1} \cdot fs} \quad (11)$$

5) Número de Espiras do Primário

$$n_1 = \frac{B \cdot \delta \cdot 10^4}{0,4 \pi \cdot I_{Lf1,peak}} \quad (12)$$

6) Número de Espiras do Secundário

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot V_{cout}}{V_{max}} \cdot \frac{1-D}{D} \quad (13)$$

7) Indutância Secundária do Flyback

$$L_{f2} = L_{f1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (14)$$

8) Corrente no Secundário do Flyback

$$I_{Lf2,peak} = I_{Lf1,peak} \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (15)$$

D. Conversor Half-Bridge

1) Tensão nos interruptores (S_1, S_2)

$$V_{S1} = V_{S2} = V_{Cout} \quad (16)$$

2) Corrente no interruptor compartilhado (S_1).

$$I_{S1} = I_{Lb,peak} + I_F \quad (17)$$

ou

$$I_{S1} = I_{Lf1,pico} + I_F \quad (18)$$

Onde:

I_F	corrente de pico do filtro ressonante
-------	---------------------------------------

3) Corrente no interruptor S_2 é dada por:

$$I_{S1} = I_F \quad (19)$$

E. Conversor Push-Pull

1) Tensão no Interruptor S_1

$$V_S = 2 \cdot V_{Cout} \quad (20)$$

2) Corrente no Interruptor S_1

$$I_{S,pico} = I_F + I_{in,pico} + I_{p,pico} \quad (21)$$

Onde:

$I_{in,pico}$	corrente de pico na entrada
$I_{p,pico}$	corrente no Push-Pull

3) Transformador Push-Pull

O núcleo magnético é definido pela expressão:

$$Ae \cdot A\omega = \frac{1,5 \cdot P_{0,max} \cdot 10^4}{K_p \cdot K_w \cdot J \cdot fs \cdot \Delta B} \quad (22)$$

O número de espiras para ambos enrolamentos é dado por:

$$n = \frac{V_{Cout}}{2 \cdot Ae \cdot \Delta B \cdot fs} \quad (23)$$

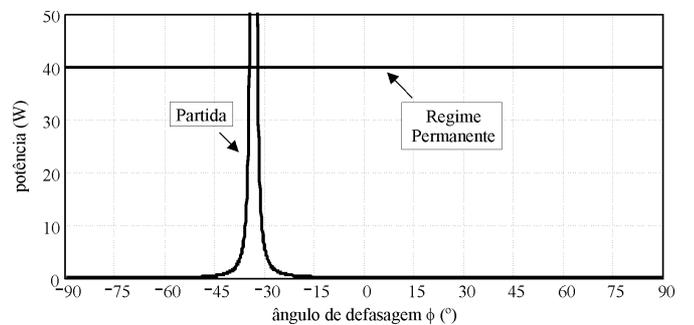


Fig. 2. Potência em regime permanente e na partida em função do ângulo de defasagem.

IV. ESPECIFICAÇÕES DOS REATORES

No intuito de realizar o comparativo proposto, quatro topologias mostradas na Figura 1 foram implementadas, de acordo com as especificações mostradas abaixo:

- Tensão de Entrada $V_{in} = 110V_{RMS}$, 60Hz
- Potência de Saída $P_{0,max} = 80W$
- Freqüência de operação $f_s = 50kHz$

O ensaio de um reator eletromagnético é realizado neste trabalho para se obter um comparativo com os quatro reatores eletrônicos implementados. O reator eletromagnético ensaiado possui os seguintes parâmetros designados pelo fabricante.

- Reator Eletromagnético PRELETRI
- Tensão de Entrada $V_{in} = 220 V_{RMS}$, 60 Hz
- Potência de Saída $P_{0,Max} = 2 \times 40W$
- Fator de Potência $FP > 0,93$

V. COMPONENTES UTILIZADOS

Os parâmetros e componentes utilizados em cada uma das topologias implementadas são citados abaixo:

A. Reator Eletrônico Boost Half-Bridge (REBH)

Os parâmetros do circuito são:

- Lamp₁, Lamp₂: F40D (Osram)
- Ponte retificadora D₁ – D₄: 1N4004
- L_{Boost}: 490 µH, 160 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- D_B: UF4007
- S₁, S₂: IRF740
- Cout: 220 µF / 350 V (eletrolítico)

Um filtro de alta freqüência é utilizado. Formado pelo indutor L_{out} e pelos capacitores C_{P1}, C_{P2}, e C_S, conforme mostrado na Figura 1.a. Seus valores são:

- L_{out}: 1,22 mH, 160 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- C_S: 150 nF / 250 V (polipropileno)
- C_{P1}, C_{P2}: 8,2 nF / 630 V (polipropileno)

B. Reator Eletrônico Flyback Half-Bridge (REFH)

Os parâmetros do circuito são:

- Lamp₁, Lamp₂: F40D (Osram)
- Ponte retificadora D₁ – D₄: 1N4004
- L_{f1}: 295 µH, 48 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- L_{f2}: 497 µH, 60 espiras
- D_a, D_S, D_{out}: UF4007
- S₁, S₂: IRF740
- Cout: 220 µF / 350 V (eletrolítico)

O filtro LCC ressonante implementado possui os seguintes valores:

- L_{out}: 1 mH, 150 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- C_S: 150 nF / 250 V (polipropileno)
- C_{P1}, C_{P2}: 10 nF / 630 V (polipropileno)

C. Reator Eletrônico Boost Push-Pull (REBP)

Os parâmetros do circuito são:

- Lamp₁, Lamp₂: F40D (Osram)
- Ponte retificadora D₁ – D₄: 1N4004
- L_{BOOST}: 253 µH, 47 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- L_{P1}, L_{P2}: 1,6 mH, 120 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- D_a, D_S, D_{out}: UF4007
- S₁: IRF740
- Cout: 220 µF / 350 V (eletrolítico)

O filtro LCC ressonante implementado possui os seguintes valores:

- L_{out}: 1,8 mH, 150 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- C_S: 150 nF / 250 V (polipropileno)
- C_{P1}, C_{P2}: 8,2 nF / 630 V (polipropileno)

D. Reator Eletrônico Flyback Push-Pull (REFP)

Os parâmetros do circuito são:

- Lamp₁, Lamp₂: F40D (Osram)
- Ponte retificadora D₁ – D₄: 1N4004
- L_{f1}: 1.2 mH, 68 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- L_{f1}: 1.45 mH, 80 espiras
- L_{P1}, L_{P2}: 1,6 mH, 120 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- D_a, D_S, D_{out}: UF4007
- S₁: IRF740
- Cout: 220 µF / 350 V (eletrolítico)

O filtro LCC ressonante implementado possui os seguintes valores:

- L_{out}: 1,7 mH, 150 espiras, EE 20/10 IP6-Thornton
- C_S: 150 nF / 250 V (polipropileno)
- C_{P1}, C_{P2}: 8,2 nF / 630 V (polipropileno)

VI. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram os principais resultados experimentais para os quatro reatores eletrônicos implementados. Todos os reatores eletrônicos possuem um alto fator de potência como pode ser visto através das formas de onda de tensão e corrente de entrada das Figuras 3.a., 4.a., 5.a. e 6.a.

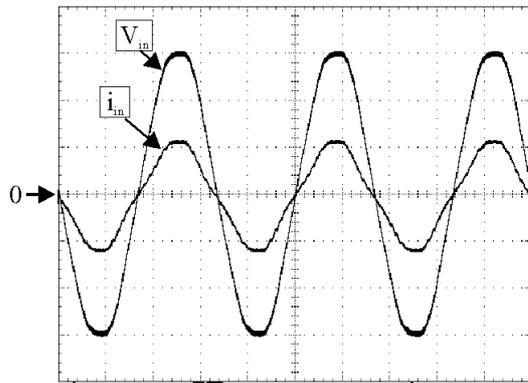
Os conversores Boost e Flyback são projetados para operação em modo de condução descontínua como é mostrado nas Figuras 3.b., 4.b., 5.b. e 6.b.

As Figuras 3.c., 4.c., 5.c. e 6.c. mostram as formas de onda de tensão e corrente nos interruptores compartilhados das topologias.

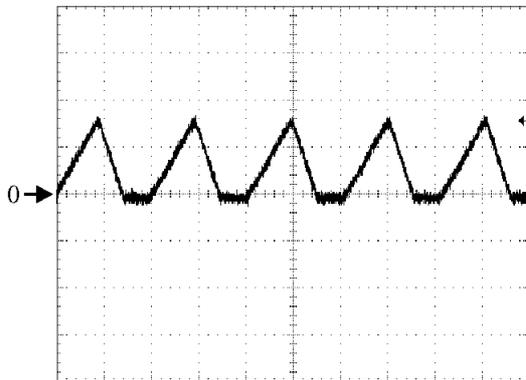
Nas Figuras 3.d., 4.d., 5.d. e 6.d. são mostradas as formas de onda senoidais da tensão e corrente na lâmpada.

A Figura 7 mostra os resultados experimentais para o reator eletromagnético ensaiado.

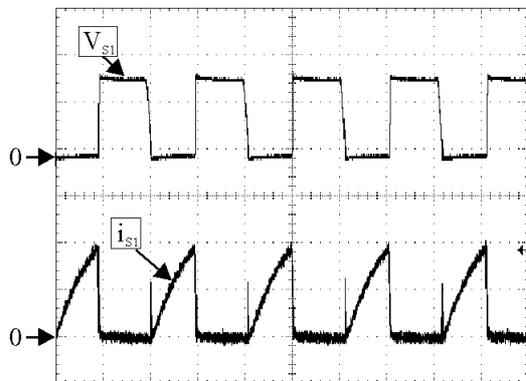
Todos os resultados experimentais deste trabalho foram obtidos utilizando-se o osciloscópio tektronix TDS430A e analisados através do programa Mathcad.



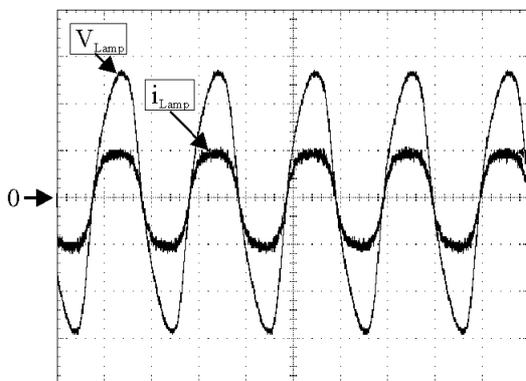
(a) Tensão e Corrente na Entrada
50V/div; 1A/div; 5ms/div



(b) Corrente no indutor L_{Boost}
2A/div; 10µs/div

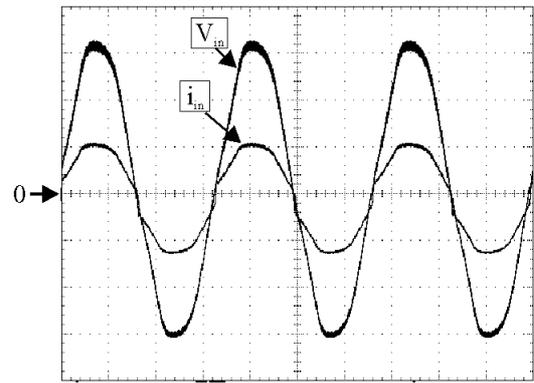


(c) Tensão e Corrente no interruptor S_1
250V/div; 2A/div; 10µs/div

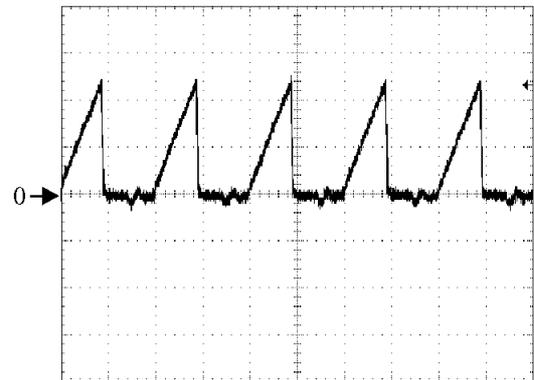


(d) Tensão e Corrente na lâmpada
50V/div; 500mA/div; 10µs/div

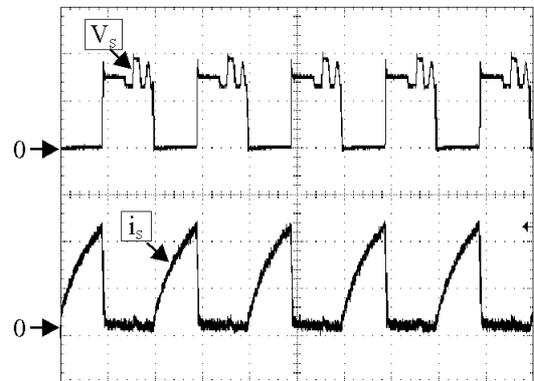
Fig. 3. Resultados experimentais para o REBH



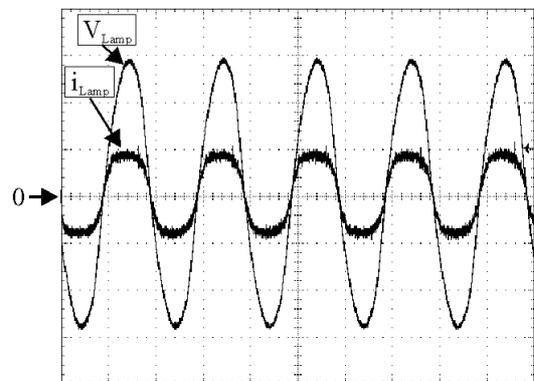
(a) Tensão e Corrente na entrada
50V/div; 1A/div; 5ms/div



(b) Corrente no interruptor L_r
2A/div; 10µs/div

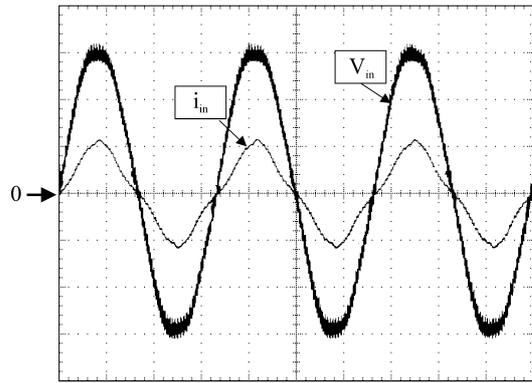


(c) Tensão e Corrente no interruptor S_1
100V/div; 2A/div; 10µs/div

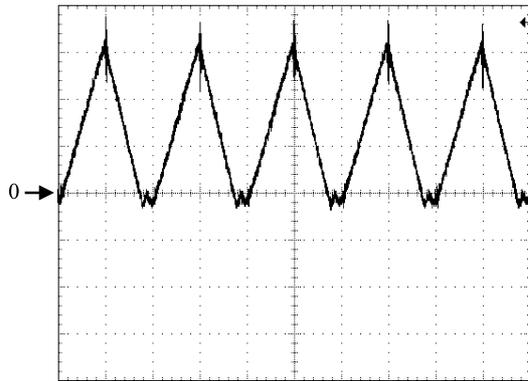


(d) Tensão e Corrente na lâmpada
50V/div; 500mA/div; 10µs/div

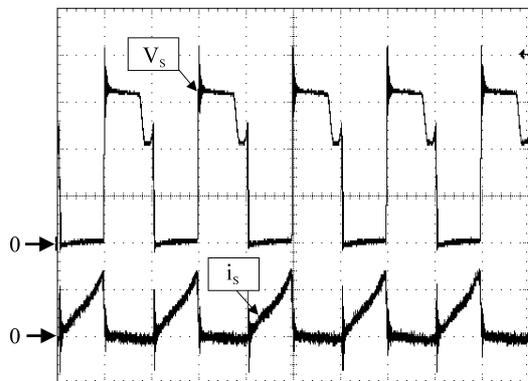
Fig. 4. Resultados experimentais para o REFH



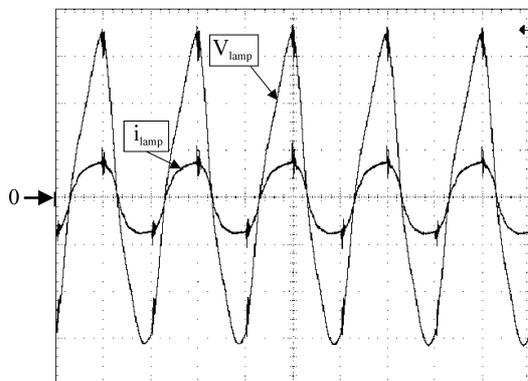
(a) Tensão e Corrente na entrada
50V/div; 1A/div; 5ms/div



(b) Corrente no indutor L_{Boost}
1A/div; 10 μ s/div

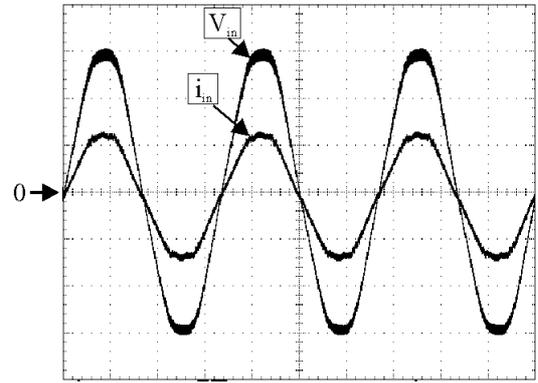


(c) Tensão e Corrente no interruptor S_1
100V/div; 5A/div; 10 μ s/div

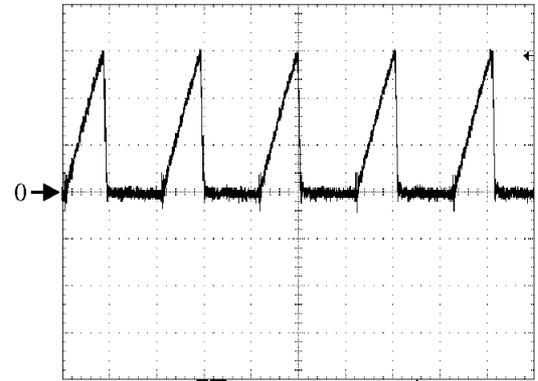


(d) Tensão e Corrente na lâmpada
50V/div; 500mA/div; 10 μ s/div

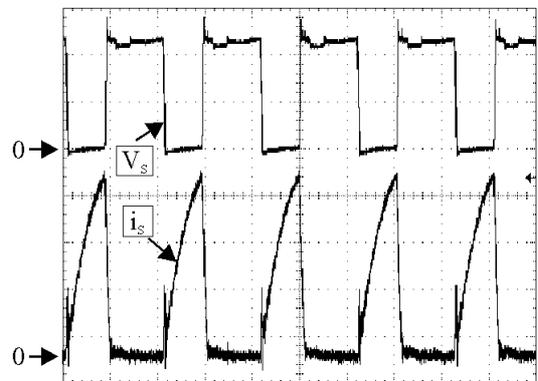
Fig. 5. Resultados experimentais para o REBP



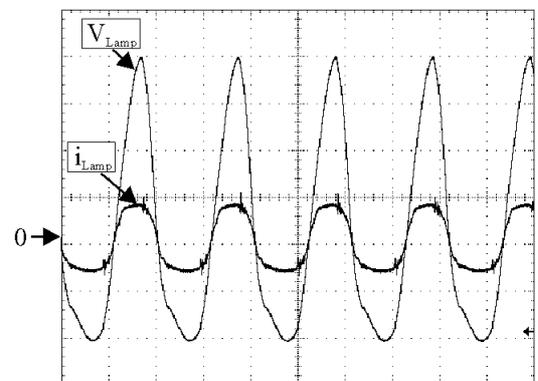
(a) Tensão e Corrente na entrada
50V/div; 1A/div; 5ms/div



(b) Corrente no indutor L_f
2A/div; 10 μ s/div

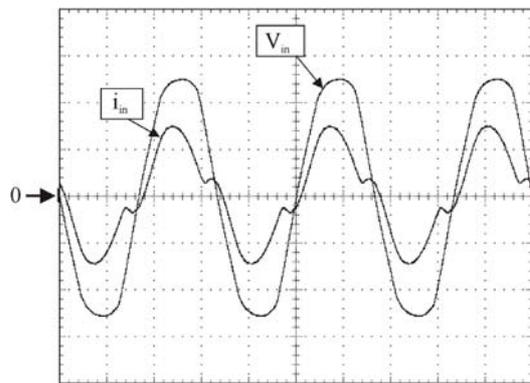


(c) Tensão e Corrente no interruptor S_1
100V/div; 2A/div; 10 μ s/div

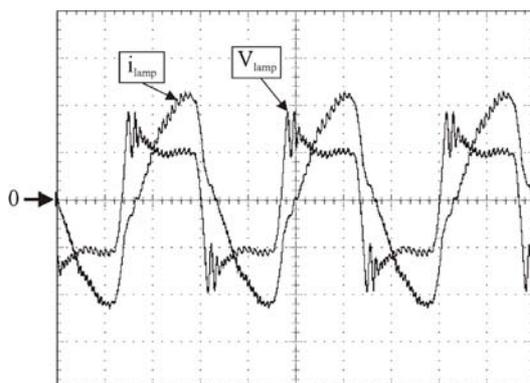


(d) Tensão e Corrente na lâmpada
50V/div; 500 mA/div; 10 μ s/div

Fig. 6. Resultados experimentais para o REFP



(a) Tensão e Corrente na entrada
50V/div; 500mA/div; 5ms/div



(b) Tensão e Corrente na lâmpada
50V/div; 500mA/div; 10µs/div

Fig. 7. Resultados experimentais para o REM

VII. ESTUDO COMPARATIVO

A Figura 1 mostra os reatores eletrônicos implementados. Os reatores que empregam o inversor Half-Bridge (Figuras 1.a e 1.b) utilizam dois interruptores. Por outro lado, o emprego do inversor Push-Pull (Figuras 1.c e 1.d) permite utilizar um único interruptor. Nas aplicações com o inversor Push-Pull substitui-se um dos interruptores por dois indutores acoplados.

Os conversores Boost e Flyback operando no modo de condução descontínua são empregados a fim de garantir um alto fator de potência, sendo desnecessário um circuito em malha fechada para o controle da corrente nos conversores.

O conversor Boost opera com tensão de saída (V_{Cout}) igual ou superior a de alimentação, sendo assim, limitado a aplicações em que a tensão de entrada é $110V_{RMS}$. Por outro lado, o conversor Flyback permite controlar a tensão de saída desde níveis inferiores à superiores em relação a tensão de entrada, controlando-se a tensão nos interruptores através de um projeto adequado. Assim, este pode ser empregado em tensões de alimentação de $110V_{RMS}$ e $220V_{RMS}$.

A Tabela I mostra um resumo das principais características dos reatores estudados, onde os parâmetros mais importantes são descritos.

As aplicações em que se emprega compartilhamento de interruptores inevitavelmente sofrem algum esforço de corrente e/ou tensão, pois o interruptor utilizado no estágio de inversão também é utilizado no estágio de correção de fator de potência.

TABELA I
Quadro Comparativo

	REBH	REFH	REBP	REFP	REM
Número de interruptores	2	2	1	1	-
Número de indutores	3	3	4	4	-
Esforoço de tensão no interruptor (S_i)	$1.V_{ns}$	$0,50.V_{ns}$	$1.V_{ns}$	$0,68.V_{ns}$	-
Esforoço de corrente no interruptor (S_i)	$0,50.I_{ns}$	$0,50.I_{ns}$	$0,88.I_{ns}$	$1.I_{ns}$	-
FC	1,24	1,35	1,43	1,47	1,54
DHT	8,85%	8,67%	13,7%	4,4%	22,2%
FP	0,996	0,987	0,991	0,997	0,96
Rendimento	92,7%	91,0%	84,0%	89,4%	80,2%

No intuito de se fazer uma análise comparativa entre os esforços a que são submetidos os interruptores, utilizam-se como valores de base a corrente no interruptor do REFP (I_{ns}) e a tensão no interruptor do REBP (V_{ns}).

O REFP apresenta menor tensão sobre o interruptor em relação ao REBP, pois o conversor Flyback apresenta a possibilidade de controle da tensão V_{Cout} . O REBP apresenta maior tensão sobre o interruptor, devido ao emprego do inversor Push-Pull sem a possibilidade de controle de tensão.

As topologias que empregam o inversor Push-Pull possuem maiores esforços de corrente nos interruptores. Isto é verificado através da descrição do princípio de funcionamento dos reatores que empregam esse inversor utilizando um único interruptor [3], [4], onde a corrente no interruptor é a soma da corrente no indutor Boost (ou Flyback) e a corrente nos enrolamentos do inversor Push-Pull.

A Tabela I mostra que todos os reatores analisados apresentam fator de crista inferior a 1,7 conforme limite estabelecido pela norma ANSI C82.11.

Além disso, os reatores eletrônicos analisados apresentam baixo THD de corrente e conseqüentemente alto fator de potência, atendendo a norma IEC 61003-2 Classe C. O REM apresenta correção do FP, que é realizada pela correção da defasagem angular entre tensão e corrente de entrada.

O rendimento elétrico dos reatores eletrônicos é maior que o do REM, além disso a operação em alta frequência do reator eletrônico fornece um ganho de luminosidade de 10 a 15 % para uma mesma potência na lâmpada. Desta forma, limita-se a comparar o desempenho entre os reatores eletrônicos apresentados.

O REBH apresenta alto rendimento, porém não possibilita aplicação viável para tensão de entrada de $220V_{RMS}$. O REFH possibilita aplicação bivolt, embora não possui o rendimento do primeiro.

As topologias que empregam o inversor Push-Pull permitem o emprego de apenas um interruptor, mas o seu rendimento é menor que o do inversor Half-Bridge.

O REBP apresenta menor número de componentes, porém seu rendimento é menor que o REFP. Isto se deve a carga do

capacitor de saída C_{OUT} ser realizada através de um dos enrolamentos do inversor Push-Pull.

VIII. CONCLUSÃO

A discussão teórica e a análise dos resultados experimentais mostram que cada reator eletrônico deve ser empregado considerando suas vantagens e desvantagens, isto é, cada reator possui uma aplicação específica.

As principais vantagens das topologias apresentadas são: uso de conversores integrados com um único estágio de conversão de potência, utilização do compartilhamento de interruptor, alto fator de potência, redução da distorção da corrente de entrada e consequentemente melhor uso da energia da rede. Os reatores eletrônicos possuem ainda menor peso e volume, além de ausência de ruído audível e cintilamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. N. Prado, M. F. Sliva, M. Jungbeck, A. R. Seidel, "Low Cost High Power Factor Electronic System for Compact Fluorescent Lamps" *IEEE IAS'99, Annual Meeting Records*, pp. 256-261, 1999.
- [2] S. A. Bonaldo, "Desenvolvimento de Novas Topologias de Circuitos Eletrônicos com Controle de Intensidade Luminosa para Iluminação Fluorescente", Dissertação, UFSM, 1998.
- [3] R. N. Prado, A. R. Seidel, F. B. Bisogno, T. B. Marchesan, "Boost Push-Pull Electronic Ballast Converter with High Power Factor for Fluorescent Lamps", *VII IEEE Power Electronic Congress CIEP2000*, pp. 182-187, 2000.
- [4] R. N. Prado, S. A. Bonaldo, D. S. Greff, F. E. Bisogno, "A Unit Power Factor Electronic Ballast for Fluorescent Lighting", *IEEE IAS'97, Annual Meeting Records*, pp. 2366-2371, 1997.
- [5] R. N. Prado, A. R. Seidel, F. E. Bisogno, R. Holsbach, "Resonant Filter Applications in Electronic Ballast" *IEEE IAS'02, Annual Meeting Records*, 2002.

DADOS BIOGRÁFICOS

Tiago Bandeira Marchesan, nascido em 09/12/1980 em

Santa Maria (RS) é engenheiro eletricista (2003) pela Universidade Federal de Santa Maria, onde é mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Atualmente é pesquisador no Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos (GEDRE) nesta mesma universidade. É membro do IEEE e da SOBRAEP. Suas áreas de interesse são reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes e de vapor de sódio, fontes de alimentação e sistemas dimerizáveis.

Álysson Raniere Seidel, nascido em 01/08/1975 em São Pedro do Sul (RS) é engenheiro eletricista (1999) pela Universidade Federal de Santa Maria, onde é doutorando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Atualmente é pesquisador no Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos (GEDRE) nesta mesma universidade. Suas áreas de interesse são lâmpadas fluorescentes, reatores eletrônicos, sistemas dimerizáveis e eficiência luminosa.

Fábio Ecke Bisogno, nascido em 07/04/1973 em Santa Maria (RS) é engenheiro eletricista (1999) e mestre (2001) pela Universidade Federal de Santa Maria. Atualmente é doutorando no Instituto Fraunhofer, Alemanha. Suas áreas de interesse são lâmpadas fluorescentes, reatores eletrônicos, sistemas dimerizáveis e fontes de alimentação.

Ricardo Nederson do Prado, nascido em 22/04/1960 em Itapiranga (SC) obteve o título de engenheiro eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria, em 1984, e os títulos de mestre e doutor em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1987 e 1993, respectivamente. Entre 1987 e 1992 foi professor assistente junto ao departamento de eletrônica da Universidade Federal de Minas Gerais. A partir de 1993 é professor adjunto no departamento de eletrônica e computação da Universidade Federal de Santa Maria. É membro do IEEE, da SBA e membro fundador da SOBRAEP. Atualmente é responsável pelo grupo de estudo e desenvolvimento de reatores eletrônicos (GEDRE) e coordenador do programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Santa Maria. Suas áreas de interesse são sistemas dimerizáveis e reatores eletrônicos para lâmpadas de descarga.