

# PROPOSTA DE UMA TOPOLOGIA DE REATOR ELETRÔNICO UTILIZADO PARA ACIONAR UMA OU MAIS LÂMPADAS HPS COM FORMA DE ONDA DE TENSÃO SINTETIZADA

Diógenes Rodovalho, Fábio Vincenzi Romualdo da Silva, Ernane Antônio Alves Coelho, Luis Carlos de Freitas e João Batista Vieira Júnior

Universidade Federal de Uberlândia – UFU/Faculdade de Engenharia Elétrica – FEELT  
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica  
CEP 38400-902, Uberlândia, MG - Brasil

e-mails: [dirodovalho@gmail.com](mailto:dirodovalho@gmail.com), [fabiovince@yahoo.com.br](mailto:fabiovince@yahoo.com.br), [ernane@ufu.br](mailto:ernane@ufu.br), [freitas@ufu.br](mailto:freitas@ufu.br), [batista@ufu.br](mailto:batista@ufu.br)

**Resumo** - Este artigo apresenta uma nova topologia de reator eletrônico utilizado no acionamento de uma ou mais lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, ideal para luminárias com uma ou mais lâmpadas, geralmente, utilizadas em iluminação pública e privada. Neste trabalho, as lâmpadas HID (High Intensity Discharge) são alimentadas com formas de onda de tensão sintetizadas com frequência da fundamental inferior a 1 kHz de modo a evitar a ressonância acústica e ao mesmo tempo proporcionar reduzida variação do fluxo luminoso. Estratégia de controle e resultados experimentais também são apresentados.

**Palavras-Chave** – Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão, Oscilação do Fluxo Luminoso, Reator Eletrônico, Ressonância Acústica.

## PROPOSAL OF AN ELECTRONIC BALLAST USED TO DRIVE ONE OR MORE HIGH-PRESSURE SODIUM LAMPS SYNTHESIZED WAVEFORM

**Abstract** – This paper presents a new electronic ballast topology used to supply one or more high pressure sodium lamps and it is ideal for poles luminaries with one or more HPS lamps used in private and public lighting. The proposed ballast supplies the lamps using synthesized waveform with fundamental frequency below 1 kHz in order to avoid acoustic resonance and minimize luminous flux oscillation. Control strategy and experimental results are also included in this paper proposal.

**Keywords** - Acoustic Resonance, Electronic Ballast, High Pressure Sodium, Luminous Flux Oscillation.

---

Artigo submetido em 22/07/2008. Revisões em 26/10/2008 e 10/02/2009.  
Aceito por recomendação do editor Fernando L. M. Antunes.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o consumo e a qualidade da energia elétrica são fatores de preocupação mundial. Especificamente, a iluminação artificial representa 17% de toda energia consumida no Brasil e cerca de 30% no mundo. Parcela significativa do consumo de energia referida à iluminação artificial é devido à iluminação pública. A iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 7% da demanda nacional em iluminação, o que equivale a 3,3% do consumo total de energia elétrica do país. Isto representa uma demanda de 2,3GW e a um consumo de 10,2 bilhões de kWh/ano.

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão emite uma luz branca dourada e possui uma alta eficiência (75 a 105 lúmens/Watt). Sua vida útil varia, em função da potência, de 16.000 a 24.000 horas, o que a torna bastante adequada na iluminação de ambientes externos públicos e privados. É especialmente adequada para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um fator importante como monumentos, túneis, aeroportos, fachadas, estacionamentos, viadutos e auto-estradas. Ainda, do ponto de vista social a lâmpada de sódio emite bem menos radiação ultravioleta que a de mercúrio diminuindo a atração de insetos. A utilização das lâmpadas de vapor de sódio na iluminação pública pode agregar vantagens como maior economia de energia elétrica e menor custo com manutenção.

As lâmpadas de descarga de alta intensidade (High-Intensity Discharge (HID)) necessitam de dispositivos que limitem a passagem de corrente para evitar danos, devido à característica corrente-tensão negativa da lâmpada, e que forneçam altas tensões para a ignição. É, nesse contexto, que se enquadra o reator para lâmpadas. Os reatores podem ser classificados em dois tipos: eletromagnéticos, ditos convencionais ou passivos, e eletrônicos.

Reatores eletromagnéticos são projetados para operar com frequência de 60 Hz o que implica em equipamentos volumosos e pesados. Por outro lado, os reatores eletrônicos podem operar em frequências mais elevadas, fazendo com que o volume e o peso dos seus componentes magnéticos e capacitivos possam ser reduzidos significativamente. Entretanto, pode ocorrer o aparecimento da ressonância

acústica que causa a vibração do arco, bem como a sua deformação que de forma prática, provocam vários efeitos indesejáveis como movimento e flutuação da luz, também conhecido por flicker, observado principalmente quando a luz é utilizada para projeções e focalizações. A ressonância acústica também pode causar extinção do arco, devido ao seu alongamento, o que torna a tensão da fonte insuficiente para mantê-lo, podendo ocorrer quebra do tubo de descarga e variação da temperatura e do índice de reprodução e de cor da luz.

A ressonância é dependente da geometria e das dimensões do tubo, da composição e das condições termodinâmicas do gás. Considerando os vários fabricantes, as tolerâncias nos processos de fabricação e as mudanças nas condições termodinâmicas da lâmpada ao longo de sua operação, a determinação de faixas de frequência em que o fenômeno ocorre torna-se muito complexo. Várias soluções foram propostas na literatura para o efeito de ressonância acústica, na quais podemos citar:

1. Operar em altas frequências (20 a 200 kHz), nas faixas estreitas em que não ocorre a ressonância [1]-[2]. Esta não é uma solução eficiente, porque as faixas de frequência livres de ressonância podem variar muito de lâmpada para lâmpada dependendo do modelo, fabricante, potência e forma;
2. Operar acima da faixa em que ocorre a ressonância acústica, normalmente em frequências superiores a 500 kHz [3]-[4]. A primeira desvantagem desta solução é o aumento das perdas por chaveamento e a segunda é a presença de indutâncias, capacitâncias e impedâncias parasitas de trilhas de circuito impresso e cabos que passam a ser relevantes;
3. Operar em baixas frequências (50 a 1 kHz), acionando a lâmpada com corrente retangular [5]-[6]. Para os reatores eletrônicos que utilizam filtros LC e LCC, a baixa frequência implica em elementos passivos de valor, peso e volume elevado;
4. Utilizar uma estratégia de modulação que altere a frequência do inversor através de um circuito de controle inteligente antes que a ressonância evolua [7]. Estudos recentes demonstram que este método possui limitações quando aplicado a lâmpadas multivapores metálicos de baixa potência;
5. Injeção de harmônica à fundamental de alta frequência com o objetivo de se aproximar da onda retangular e espalhar o espectro de frequências da potência aplicada à lâmpada [8]-[9]. Este método ainda não foi muito estudado.

De acordo com a técnica apresentada no item 3, operar a lâmpada em baixa frequência evita a ressonância acústica. Por outro lado, quando a lâmpada é acionada na frequência da rede como ocorre nos reatores eletromagnéticos, pode ocorrer o resfriamento da mistura gasosa presente na lâmpada (tempo de relaxação), pois se o período de uma corrente quase senoidal na lâmpada for um pouco maior que o tempo de relaxação, haverá o resfriamento do plasma a cada ciclo e a temperatura ficará modulada. Se o período da corrente for menor do que este tempo, o plasma permanece

com a temperatura praticamente constante e a lâmpada opera como se estivesse sendo acionada com corrente contínua [10]. Uma forma de se operar em baixas frequências, evitando os problemas das variações no fluxo luminoso e das distorções na forma de onda de tensão na lâmpada, é utilizar a forma de onda retangular de corrente que alimenta a lâmpada [10]-[12]. Neste caso, as transições de corrente são muito mais rápidas, não havendo resfriamento do plasma. O problema desta técnica é a geração de EMI devido ao elevado  $dv/dt$ , típico da forma de onda retangular.

A técnica de injeção de harmônicas na fundamental do sinal aplicado a lâmpada é baseada no espalhamento do espectro de frequências da potência aplicada à lâmpada. Desta forma, reduz-se a potência associada a cada uma das componentes harmônicas. Se qualquer uma das frequências corresponder à ressonância acústica, a intensidade (potência) associada a ela não será suficiente para excitar este fenômeno.

Este trabalho apresenta uma proposta de reator eletrônico, Figura 1, que pode ser utilizado para acionar uma ou mais lâmpadas HPS. O reator proposto alimenta as lâmpadas com forma de onda com inserção de terceira harmônica, com frequência da fundamental próxima a 1 kHz, de modo a evitar a ressonância acústica, manter o fluxo luminoso constante e evitar o elevado EMI típico de ondas retangulares, de acordo as soluções apresentadas nos itens 3 e 5.

O reator proposto é ideal para luminárias tipo trevo, Figura 2, com duas, três, quatro, cinco ou seis pétalas utilizadas em iluminação pública, quadras esportivas, parques industriais, estacionamentos, etc.

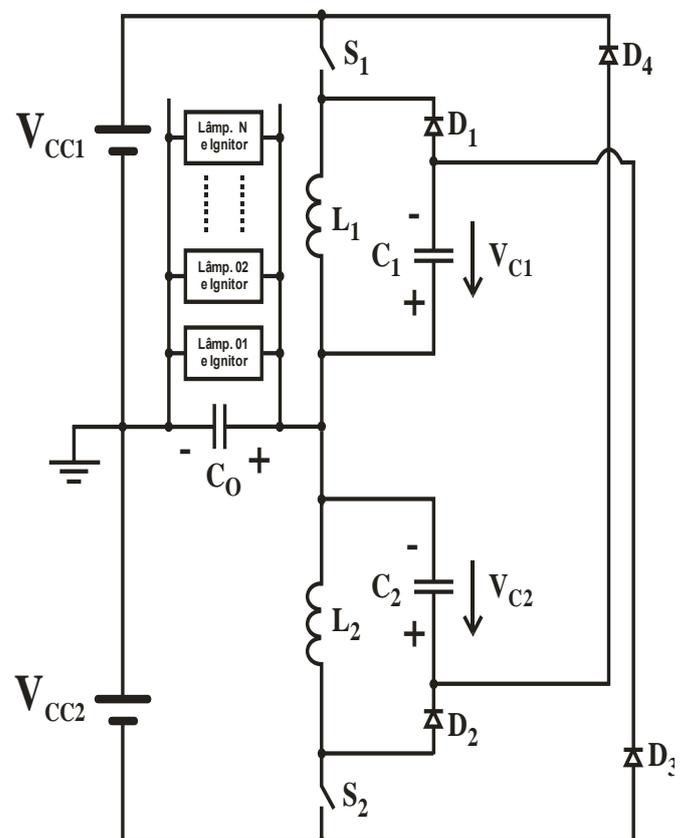


Fig. 1. Nova topologia de reator eletrônico proposta.

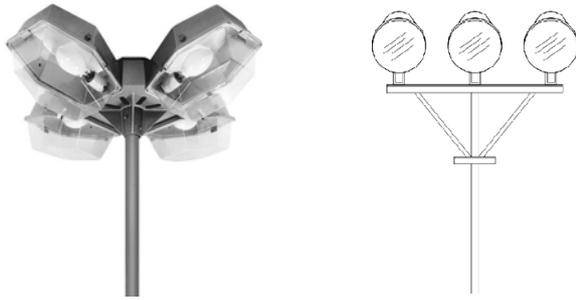


Fig. 2. Luminárias tipo trevo e tipo poste e cruzeta para quadras esportivas, campo de futebol, avenidas, etc.

## II. PRINCIPIO DE OPERAÇÃO

As chaves  $S_1$  e  $S_2$  operam de modo complementar, isto é quanto a chave  $S_1$  está conduzindo a chave  $S_2$  está aberta e vice-versa.

Os sinais de gatilho das chaves  $S_1$  e  $S_2$  são obtidos por meio de laço de histerese entre a comparação da amostra de tensão do sinal de saída (tensão sobre o capacitor  $C_0$ ) e a tensão de referência. Desta maneira, a forma de onda de tensão de saída segue o sinal de referência por meio de uma estratégia de controle de baixo custo.

De modo a introduzir o princípio de operação do amplificador de potência proposto, os estágios de operação serão descritos a seguir. Primeiro, três regras devem ser consideradas:

- i. O capacitor  $C_1$  representa uma fonte de tensão na direção ilustrada na Figura 1 ( $V_{C1} = V_{C0} + V_{CC2}$ );
- ii. O capacitor  $C_2$  representa uma fonte de tensão, na direção indicada na Figura 1 ( $V_{C2} = V_{C0} + V_{CC1}$ );
- iii. Em qualquer instante de tempo a soma das tensões sobre os capacitores  $C_1$  e  $C_2$  é igual a soma das tensões  $V_{CC1}$  e  $V_{CC2}$  ( $V_{C1} + V_{C2} = V_{CC1} + V_{CC2}$ )

Assim, durante o semi-ciclo positivo da tensão  $V_{C0}$ , cuja polaridade está indicada na Figura 3, a carga recebe energia da fonte de tensão cc ( $V_{CC1}$ ) através do indutor  $L_1$ . Ao mesmo tempo, o capacitor  $C_2$  recebe a energia armazenada em  $L_2$  e parte desta energia é desviada através de  $L_1$ . O circuito formado pelos capacitores  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $D_1$  e  $D_2$  recebem a energia armazenada nos indutores  $L_1$  e  $L_2$  quando as chaves  $S_1$  e  $S_2$  abrem e devolvem parte dela para as fontes de alimentação por meio dos diodos  $D_3$  e  $D_4$  evitando sobre tensão nas chaves e dispensando o uso de snubbers dissipativos melhorando o rendimento do reator [13].

No segundo estágio, a fonte de tensão  $V_{CC2}$  junto com a carga ajudam a modular a forma de onda de tensão no capacitor  $C_0$  como apresentado na Figura 4. Deste modo, a tensão de referência é modulada sobre o capacitor  $C_0$  e de acordo com as regras i e ii a tensão sobre os capacitores  $C_1$  e  $C_2$  é igual à tensão sobre o capacitor  $C_0$  mais um nível cc fornecido pelas respectivas fontes de tensão  $V_{CC1}$  e  $V_{CC2}$ .

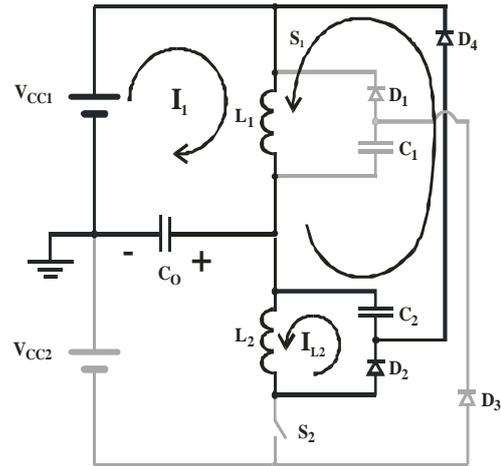


Fig. 3. Primeiro estágio de operação.

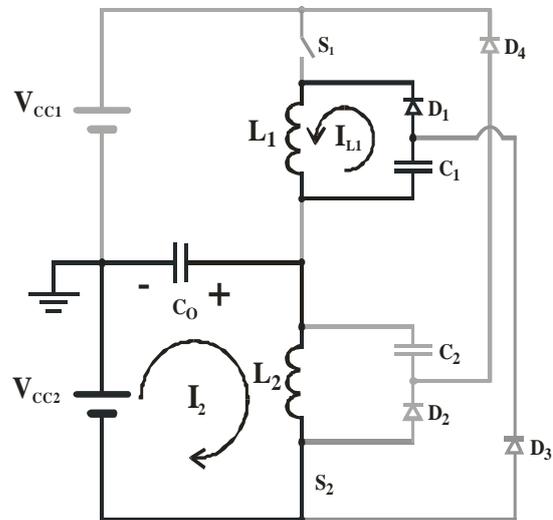


Fig. 4. Segundo estágio de operação.

## III. EQUAÇÕES PRINCIPAIS DE PROJETO

O equacionamento detalhado da topologia proposta foi apresentado em [14]-[15], de onde foram extraídas as equações de (1) à (7).

1° PASSO – Especificar o valor da potência de saída  $P_o$ , da tensão de pico de saída  $V_{o(pk)}$  e da frequência máxima  $f_{max}$  a ser modulada no capacitor  $C_0$ .

2° PASSO – Calcular o valor da tensão RMS nominal na carga ( $V_o$ ) usando (1).

$$V_o = \frac{V_{o(pk)}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

onde:

- $P_o$  = Potência nominal RMS de saída;
- $V_o$  = Tensão nominal RMS de saída;
- $I_o$  = Corrente nominal RMS de saída.

3° PASSO – Calcular a corrente nominal RMS na carga utilizando (2).

$$I_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (2)$$

4° PASSO – Calcular a corrente de pico na carga através de (3).

$$I_{o(pk)} = I_o \cdot \sqrt{2} \quad (3)$$

5° PASSO – Calcular o valor da capacitância total  $C_T = C_1 + C_2 + C_o$ .

$$C_T = \frac{I_{pk}}{2 \cdot \pi \cdot f_{max} \cdot V_{pk}} \quad (4)$$

6° PASSO – Calcular o valor de  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_o$  por meio das equações (5) e (6).

$$C_1 = C_2 = \frac{2}{5} \cdot C_T \quad (5)$$

$$C_o = \frac{C_T}{5} \quad (6)$$

6° PASSO – Finalmente, calcular o valor da indutância dos indutores  $L_1$  e  $L_2$ .

$$L_1 = L_2 = \frac{V_{CC}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{max}^2 \cdot V_{pk}^2 \cdot C_T} \quad (7)$$

#### IV. ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Inversores meia ponte e em ponte completa com um filtro passa baixas na saída são muito utilizados, na prática, para amplificar sinais periódicos genéricos quando se deseja baixa taxa de distorção harmônica no sinal amplificado. Nestas aplicações, um DSP com técnicas de controle avançadas é utilizado para gerar, a partir do sinal de referência e sinal de realimentação, os sinais de controle aplicados nas chaves do inversor de modo a se atingir a resposta dinâmica desejada e manter a carga livre de distúrbios ou variações dos parâmetros do circuito.

O novo reator não necessita de DSP e de técnicas de controle avançadas para gerar um sinal periódico genérico amplificado a partir de um sinal de referência. Ao invés do DSP, o circuito proposto utiliza um comparador com histerese como pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

Conseqüentemente, o sinal de referência pode ser gerado por meio de um microcontrolador de baixo custo.

A frequência de chaveamento, nesta aplicação, depende da dinâmica da realimentação. No reator proposto, a frequência de chaveamento está em torno de 50 kHz.

Um divisor resistivo é usado para coletar uma amostra do sinal de saída do capacitor  $C_o$ . Este sinal é então enviado para uma entrada inversora de um comparador, implementado com um LM318. Na entrada não inversora é aplicado o sinal de referência desejado, Figura 6. O sinal obtido na saída do comparador é usado para comandar as chaves  $S_1$  e  $S_2$  de modo complementar. Isto é, quando  $S_1$  está fechada  $S_2$  está aberta e vice-versa.

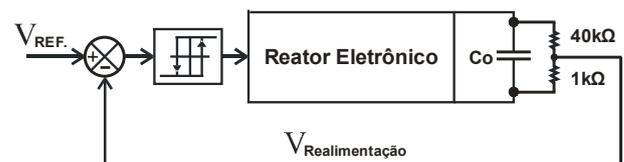


Fig. 5. Diagrama de blocos da estratégia de controle.

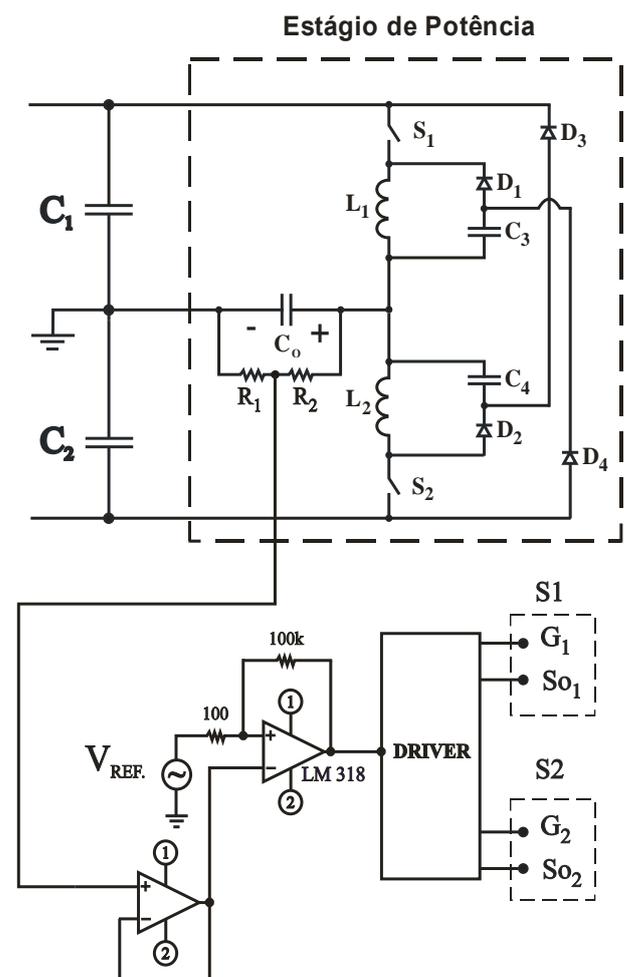


Fig. 6. Diagrama esquemático do circuito de controle.

## V. CIRCUITO DA LÂMPADA E IGNITOR

A tensão de ignição para lâmpadas HID é obtida, em geral, de duas formas: por um circuito ignitor externo que gera pulsos de alta tensão através de um transformador ou por um circuito ressonante operado em alta frequência. O método de ignição dependerá das características do reator que está sendo utilizado [16]. Para o acionamento das lâmpadas por inversores em alta frequência, o circuito ressonante é a solução normalmente mais empregada.

Para acionamento das lâmpadas em baixa frequência, por reatores convencionais ou eletrônicos, um circuito ignitor externo, que provê pulsos de alta tensão é mais interessante, pois caso a opção fosse o circuito ressonante (LCC) haveria sobre corrente associada a cada lâmpada, assim como a necessidade de um circuito LCC para cada lâmpada e a exigência de se fazer uma varredura para atingir a quase ressonância de cada filtro.

Deste modo, um circuito ignitor externo é mais adequado para ser implementado no arranjo proposto, como pode ser observado na Figura 7. Neste caso, nenhum filtro adicional sintonizado é necessário, visto que, a forma de onda de referência é amplificada e disponibilizada no capacitor  $C_0$  com baixa taxa de distorção harmônica e, portanto, não necessita de nenhum filtro sintonizado adicional na saída.

O reator eletrônico proposto pode ser utilizado para acionar uma ou mais lâmpadas desde que a soma das potências das lâmpadas acionadas não ultrapasse a potência nominal para o qual foi projetado.

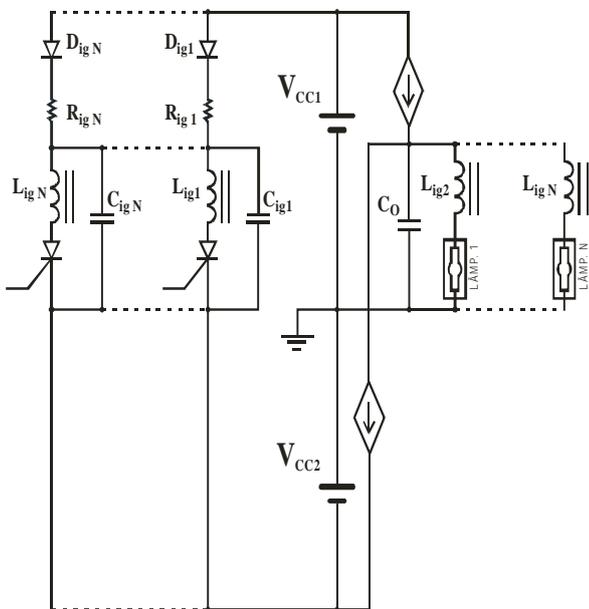


Fig. 7. Ligação de lâmpadas e ignitores no reator proposto.

## VI. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais, para o protótipo de 1000 W, foram obtidos de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela I.

TABELA I

Valor dos Componentes Utilizados no Protótipo.

COMPONENTES	ESPECIFICAÇÃO
$L_1$ e $L_2$	1 mH
$C_0$	1 $\mu$ F
$C1$ e $C2$	2 $\mu$ F
$S_1$	SK45GAL063
$S_2$	SK45GAR063
$D_1, D_2, D_3$ e $D_4$	APT30D100B

A Figura 8, mostra o sinal de referência, forma de onda superior, composto por uma fundamental com 3,3 V de pico e frequência de 960 Hz, mais terceira harmônica com 1,089 V de pico (33 % da fundamental). A forma de onda inferior mostra o sinal de referência amplificado com um ganho de 1:41 obtido sobre o capacitor  $C_0$ . As Figuras 9 e 10 mostram a taxa de distorção harmônica total dos sinais de referência e sinal amplificado apresentados na Figura 8.

A realimentação garante que o sinal de saída se mantenha com baixa distorção harmônica para qualquer condição de carga. Isto é, menor que 1%, desde a operação a vazio até a potência nominal para a qual foi projetado, como mostrado na Figura 11. Os ensaios de THD, Figura 11 e rendimento, Figura 12, foram realizados com carga resistiva (traço contínuo) e lâmpadas (asteriscos).

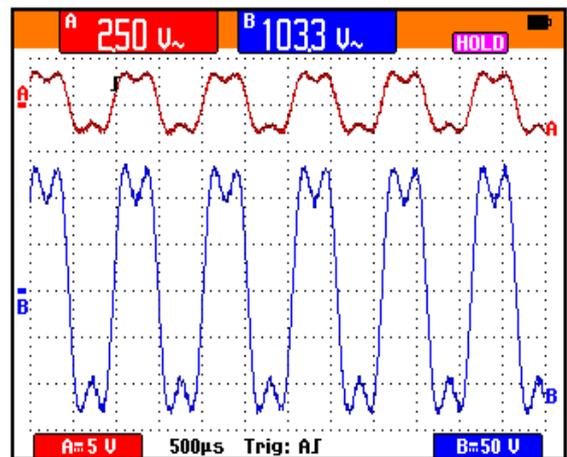


Fig. 8. Sinal de referência, sinal superior e sinal de referência amplificado no capacitor  $C_0$ .

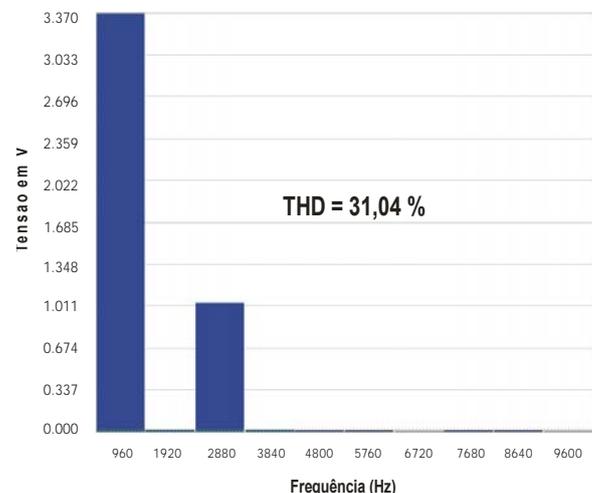


Fig. 9. Espectro harmônico do sinal de referência.

A Figura 12 apresenta o rendimento do reator em função da potência de saída.

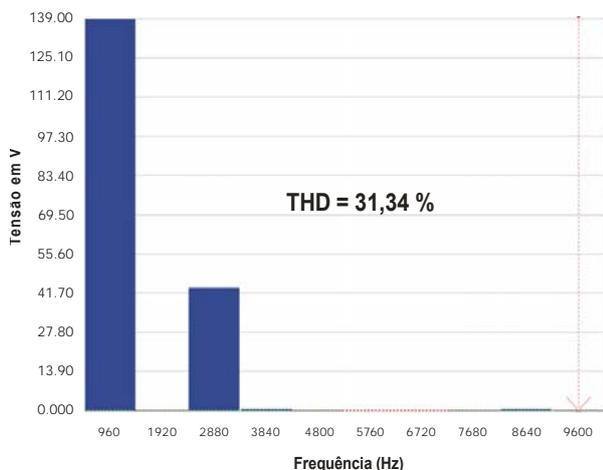


Fig. 10. Espectro harmônico do sinal de referência amplificado no capacitor  $C_0$ .

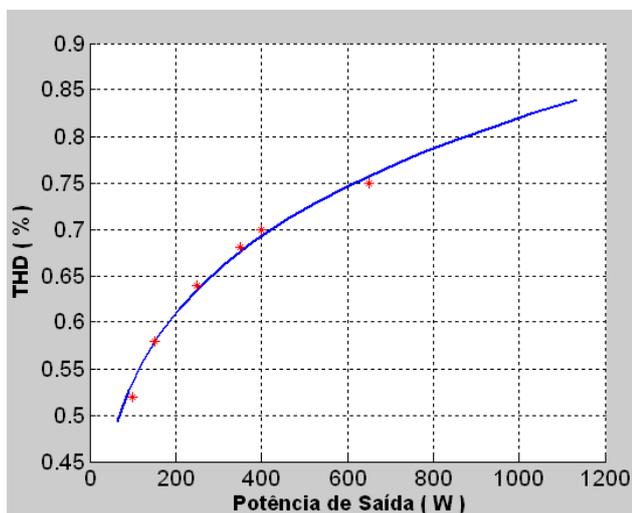


Fig. 11. THD do sinal de referência amplificado ( $V_{CO}$ ) para diferentes condições de carga (Curva contínua – Carga Resistiva, Asterisco – Lâmpadas).

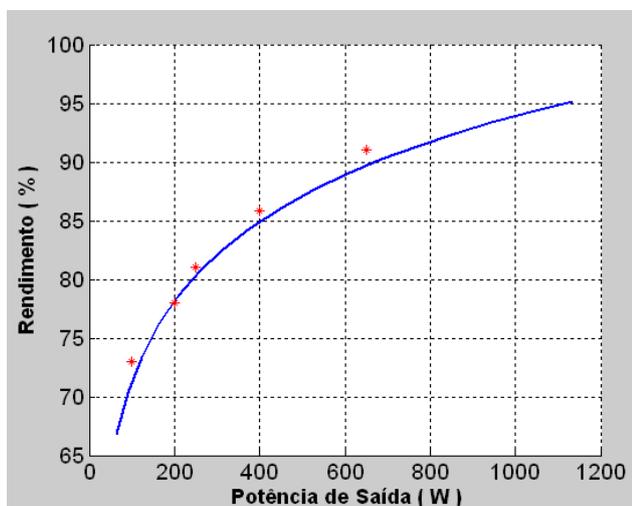


Fig. 12. Rendimento do reator proposto com relação a potência de saída (Curva contínua – Carga Resistiva, Asterisco – Lâmpadas).

Para um melhor entendimento do comportamento do conversor, foi montado o diagrama de Bode através de dados experimentais. No experimento uma onda senoidal com amplitude de 1V foi inserida ao amplificador, que opera com ganhos de 10, 20, 30, 40 e 50 e tensão na fonte simétrica de 70V. No diagrama de Bode da Figura 13 observa-se que a curva cai a uma taxa de aproximadamente 12 dB/oct, caracterizando a resposta de um sistema de segunda ordem.

A Figura 14 mostra a tensão e corrente na chave  $S_1$  onde se observa a comutação ZVS.

A Figura 15 exibe os resultados experimentais da tensão de ignição medida na lâmpada HPS de 150 W. De acordo com as normas NBR 13593 e NBR 14305, o valor mínimo do pulso de tensão aplicado em uma lâmpada de HPS de 150 W é de 2,8 kV e o valor máximo é de 4,5 kV [17]-[18], o que foi obtido pelo circuito de ignição utilizado.

A Figura 16 mostra a etapa de aquecimento e regime da lâmpada HPS de 100 W e a Figura 18 exibe a etapa de aquecimento e regime da lâmpada HPS de 150 W, ambas modelo SON PRO da PHILIPS®, onde observa-se o limite da corrente na partida e a transição entre as várias fases necessárias para o bom funcionamento das mesmas.

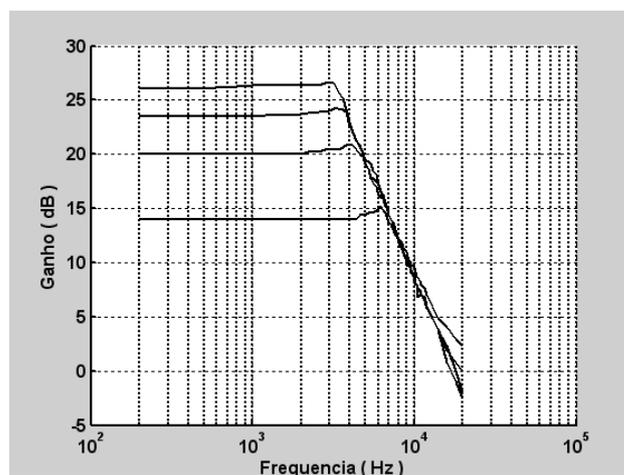


Fig. 13. Curva do ganho em dB em função da frequência.

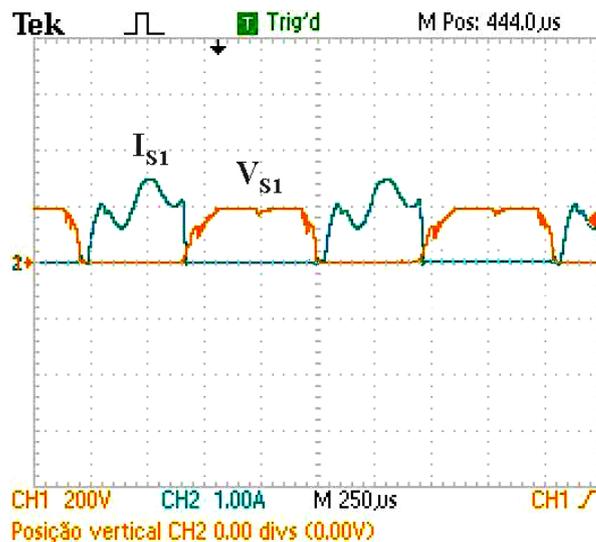


Fig. 14. Tensão  $V_{S1}$  (200 V/div) e corrente  $I_{S1}$  (1 A/div) na chave  $S_1$ .

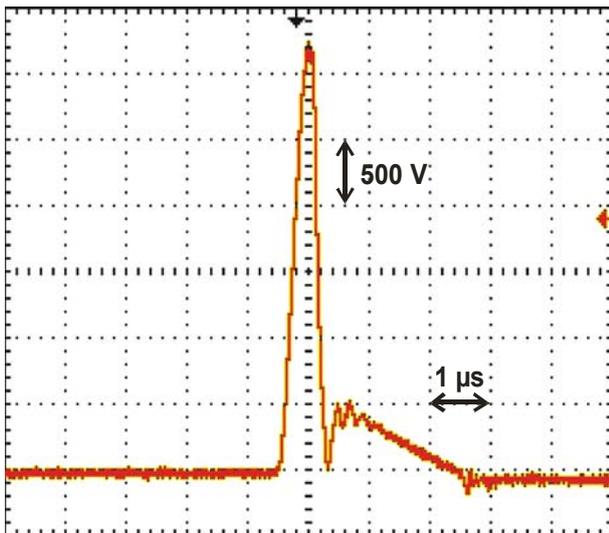


Fig. 15. Formas de onda de tensão do ignitor aplicado em uma lâmpada HPS de 150 W da PHILIPS®.

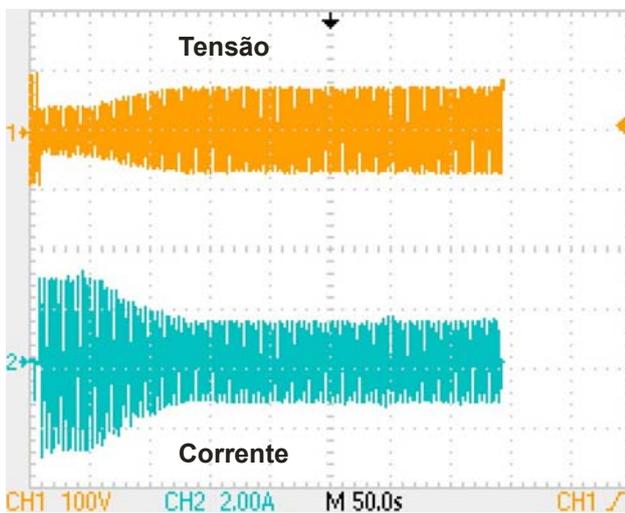


Fig. 16. Formas de onda de tensão (100 V/div) e forma de onda de corrente (2 A/div) na lâmpada HPS de 100W da PHILIPS®.

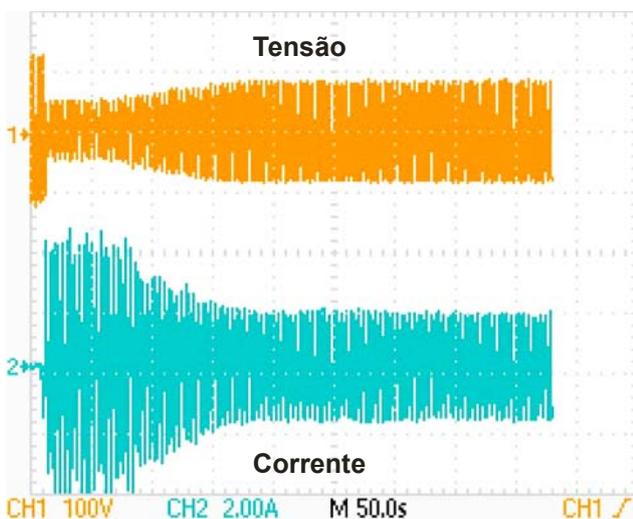


Fig. 17. Formas de onda de tensão (100 V/div) e forma de onda de corrente (2 A/div) na lâmpada HPS de 150W da PHILIPS®.

## VII. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma proposta de reator eletrônico capaz de acionar uma ou mais lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão ideal para luminárias com uma ou mais lâmpadas, geralmente, utilizadas em iluminação pública e privada. O arranjo proposto não necessita de filtros LC ou LCC na saída e pode operar desde a vazio até plena carga, sem ajustes adicionais, com diferença de THD entre o sinal de referência e o sinal de referência amplificado inferior a 3%.

A presença de indutores em série com as chaves proporciona proteção contra eventual acionamento simultâneo das chaves  $S_1$  e  $S_2$  que pode ser provocado por distúrbios na rede de distribuição devido à baixa qualidade da energia elétrica ou a EMI.

O acionamento da lâmpada com frequência da fundamental inferior a 1 kHz, com inserção da terceira harmônica evitam a ressonância acústica e a oscilação do fluxo luminoso.

Além disso, o novo arranjo usa um circuito de controle de custo reduzido, portanto, DSP e técnicas avançadas de controle não são necessárias.

Resultados experimentais, foram apresentados de modo a validar as expectativas da solução proposta de evitar a ressonância acústica e manter o fluxo luminoso constante.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes, Fapemig e CNPq pelo suporte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Branas et al., "Design of LCsCp resonant inverters as a power source for HID lamp ballast applications", *IEEE Transaction Industry Applications*, vol. 41, no. 6, pp. 1584–1593, 2005.
- [2] J. Cardesin, J. M. Alonso, E. Lopez-Corominas, A. J. Calleja, J. Ribas, M. Rico-Secades e J. G. Garcia, "Design optimization of the LCC parallel-series inverter with resonant current mode control for 250W HPS lamp ballast", *IEEE Transaction On Power Electronics*, vol. 20, no. 5, pp. 1197–1204, September, 2005.
- [3] M. H. Ohsato, Q. Mao, H. Ohguchi, T. Shimizu, G. Kimura e H. Takagi, "MHz operation of voltage-fed inverter for HID lamps using distributed constant line", *IEEE Transaction on Industrial Applications*, vol. 34, no. 4, pp. 747–751, July/August, 1998.
- [4] L. Ray-Lee, W. Zhi-Qiang e L. Yan-Der, "2.65 MHz self-oscillating complementary electronic ballast with constant-lamp-current control for metal halide lamp", *IEEE Industry Applications Society -IAS*, vol. 3, no. 41, pp. 1377–1383, October, 2006.
- [5] M. A. Dalla-Costa, J. M. Alonso, J. Ribas, J. Cardesin, e J. Garcia, "Small-Signal Characterization of Acoustic Resonances in Low-Wattage Metal Halide Lamps",

- IEEE Power Electronics Specialists Conference – PESC’05*, pp. 1469-1475, September, 2005.
- [6] M. Shen, Z. Qian e F. Z. Peng, “Design of a Two-Stage Low-Frequency Square- Electronic Ballast for HID Lamps”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 2, no. 39, pp. 424–430, March/Aril, 2003.
- [7] A. S. Andre e A. J. Perin, “Reator eletrônico para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 400W sem ressonância acústica”, *IEEE International Conference On Industrial Applications-INDUSCON*, no. 6, CDROM, 2004.
- [8] J. M. Alonso, J. Ribas, M. Rico-Secades, J. G. Garcia, J. Cardesin e M. A. Dalla Costa, “Evaluation of high-frequency sinusoidal waveform superposed with 3rd harmonic for stable operation of metal halide lamps”, *IEEE Transaction On Industry Applications*, vol. 41, no. 3, pp. 721–727, 2005.
- [9] L. M. Morais, P. F. Donoso-Garcia, S. I. Seleme-Júnior, P. C. Cortizo e M. A. Severo Mendes, “Reator eletrônico para lâmpada de vapor de sódio de alta pressão com alto fator de potência utilizando formas de onda de tensão sintetizadas via pwm”, *Eletrônica de potência - SOBRAEP*, vol. 13, no. 1, pp. 15-23, Fevereiro, 2008.
- [10] T. Yamauchi e Shiomi, “A novel charge pump power factor correction electronic ballast for high intensity discharge lamps”, *IEEE Power Electronic Specialist Conference – PESC*, pp. 1761-1767, 1998.
- [11] J. R. Coaton e A. M. Marsden, *Lamp and Lighting*, Arnold, fourth edition, 1997.
- [12] J. Groot e J. Van-Viliet, *The High-Pressure Sodium Lamp*, Philips Technical Library, 1986.
- [13] X. He, A. Chen, H. Wu, Y. Deng, and R. Zhao, “Simple Passive Lossless Snubber for High-Power Multilevel Inverters”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 3, June, 2006.
- [14] F. V. R Silva et al. “Class-D Amplifier for Automotive and Public Audition Applications”, *12th European Conference on Power Electronics and Applications. - EPE*, Aalborg, Denmark, 2007.
- [15] F. V. R Silva et al. “Novel Class-D Audio Amplifier for Wooder Applications”, *9<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência – COBEP*, pp. 972-977, CDROM, 2007.
- [16] A. Andre e A. Perin, “Electronic ballast for high-pressure sodium lamps”, *IEEE Brazilian Power Electronics Conference - COBEP*, pp. 650–655, CDROM, 2001.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Reator e ignitor para lâmpada de vapor de sódio a alta pressão: NBR13593. Rio de Janeiro, 1996.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Reator e ignitor para lâmpada vapor metálico – requisitos e ensaios: NBR 14305. Rio de Janeiro, 1996.

**Diogenes Simão Rodovalho**, nascido em 19/06/1981 em Íbia, MG, é engenheiro eletricista (2006) pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente aluno do curso de pós-graduação em Engenharia Elétrica na Área de Eletrônica de Potência. Suas Áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, Conversores DC-AC, Lâmpadas AID, modelamento e controle de conversores.

**Fábio Vincenzi Romualdo da Silva**, nascido em 30/08/1974 em Itapuí-SP, é engenheiro eletricista (2000) pela Universidade Federal de Uberlândia, mestre (2003) e doutor em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente é professor Adjunto do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, circuitos para correção de fator de potência e novas topologias de conversores. Dr. Fábio é membro da SOBRAEP.

**Ernane Antônio Alves Coelho**, nasceu em Teófilo Otoni, Minas Gerais, em 1962. Recebeu a graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em 1987, o título de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1989 e o título de doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2000. Atualmente é professor Adjunto do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia. Ele tem mais de 100 artigos científicos publicados. Suas áreas de interesse são: Inversores PWM, correção de fator de potência e controle digital baseado em microcontroladores e DSPs.

**Luiz Carlos de Freitas**, nascido em 01/04/1952 em Monte Alegre-MG, é engenheiro eletricista (1975) pela Universidade Federal de Uberlândia, mestre (1985) e doutor em Engenharia Elétrica (1992) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, circuitos para correção de fator de potência e novas topologias de conversores. Dr. de Freitas é membro fundador da SOBRAEP.

**João Batista Vieira Júnior**, nascido em 23/04/1955 em Panamá-GO, é engenheiro eletricista (1980) pela Universidade Federal de Uberlândia, mestre (1984) e doutor em Engenharia Elétrica (1991) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. Suas áreas de interesse são: conversão de potência em alta frequência, modelamento e controle de conversores, circuitos para correção de fator de potência e novas topologias de conversores. Dr. Vieira Jr. é membro fundador da SOBRAEP.