

**SISTEMA DE REATORES ELETRÔNICOS INTEGRANTES DE UMA
BANCADA DE TESTES DE COMPONENTES EMPREGADOS
EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

***A SYSTEM OF ELECTRONIC BALLASTS TO SERVE A TEST
EQUIPMENT OF PUBLIC LIGHTING COMPONENTS***

Luiz Fernando Alves Guedes¹, Cláudio R. B. S. Rodrigues², Henrique A. C. Braga³

¹ Graduando em engenharia elétrica na UFJF; e-mail: luizferg@yahoo.com.br; Endereço: Praça do Cruzeiro, nº42 – E401; CEP 36016-260, Juiz de Fora, MG.

² Mestre em Engenharia Elétrica; e-mail: claudiorobb@yahoo.com.br; doutorando na UFJF.

³ Doutor em Engenharia Elétrica; Orientador; e-mail: henrique.braga@ufjf.edu.br; Departamento: Circuitos Elétricos, Faculdade de Engenharia; Endereço: Rua Herman Toledo, 117, São Pedro, Juiz de Fora, MG, CEP: 36037-210.

Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar considerações sobre a análise e projeto de reatores eletrônicos ressonantes operando em alta frequência, destinados ao acionamento de lâmpadas de descarga em alta pressão ou HID – (High Intensity Discharge). O trabalho tem como motivação principal a substituição de reatores convencionais (eletromagnéticos), que constituem uma bancada de testes de componentes usados na iluminação pública. Por necessitar de oito reatores comuns para a avaliação funcional básica de lâmpadas, o peso e o volume da bancada dificultam sua mobilidade. Outras desvantagens se referem ao custo de produção e transporte do equipamento.

Num aspecto geral, empregando informações divulgadas na literatura técnica, apresenta-se a concepção de projeto de unidades de reatores eletrônicos “universais”, operando em alta frequência e numa fração da potência nominal das lâmpadas, o que resulta na redução do volume e peso do equipamento de teste. Além disso, a bancada passa a consumir menos energia e minimiza-se o efeito do ofuscamento sobre o operador.

Estas unidades deverão ser capazes de acionar lâmpadas de vapor de mercúrio e/ou vapor de sódio de diversas potências. Entretanto, o artigo inclui apenas o comportamento experimental de um reator eletrônico projetado para acionar uma lâmpada de mercúrio de 125W ou 250W.

Palavras-chave: Iluminação pública, reatores eletrônicos, lâmpada de mercúrio, lâmpada de sódio, eficiência energética.

Abstract

The aim of this paper is to present considerations about the analysis and design of resonant electronic ballasts operating at high frequency intended to drive high pressure discharge (or HID - High Intensity Discharge) lamps. The work has as a main motivation the replacement of conventional electromagnetic ballasts used in a bench equipment for public lighting components basic test. Since this equipment needs eight (heavy and bulky) conventional ballasts for the basic evaluation of HID lamps, its mobility becomes very limited. Other drawbacks are the cost of production and transportation.

By employing the knowledge as published in the technical literature the paper describes the design requirements of "universal" electronic ballasts, operating at high frequency and underrated lamp power, which results in volume and weight reduction of the test equipment. Furthermore, the new bench equipment would consume less energy while the glare effect on the operator is minimized.

These units should be able to drive mercury vapor or sodium vapor lamps of several powers. However, at a first approach, the paper includes only the experimental operation of an electronic ballast when driving a 125W or 250W mercury vapor lamp.

Keywords: Public lighting, electronic ballast, mercury lamp, sodium lamp, energy efficiency systems.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho propõe a substituição de reatores eletromagnéticos integrantes de uma bancada de testes de componentes de iluminação pública (IP) por reatores eletrônicos operando no modo dimerizado (fração da potência nominal e conseqüente redução do brilho). Estes reatores devem acionar mais de uma unidade de lâmpada de forma não simultânea. A substituição proposta implica na redução do volume e do peso da bancada e na redução do consumo de energia durante os testes, melhorando a eficiência do equipamento.

O trabalho de Pinto et al. (2004), resultado de um projeto P&D Aneel entre a Universidade Federal de Juiz de Fora e a Companhia Força e Luz Cataguazes Leopoldina (atual Energisa), mostrou que a padronização de rotinas de manutenção, o cuidado na aquisição, recepção e transporte dos materiais, bem como as avaliações cuidadosas de componentes novos ou destinados ao descarte são procedimentos que podem reduzir significativamente os custos e desperdícios historicamente verificados no setor. Para dar suporte à avaliação dos componentes usados em IP foi desenvolvida uma bancada de testes de componentes de iluminação pública, que é ilustrada na Figura 1.



Figura 1 - Fotografia da bancada de testes de equipamentos de iluminação pública.

A Bancada de IP, que está sendo empregada por equipes de técnicos em 12 cidades de 4 estados brasileiros, permite realizar um teste básico de funcionalidade de quatro componentes típicos usados na iluminação pública. Reatores eletromagnéticos (incluindo o ignitor, capacitor de fator de potência (FP) e indutor/autotransformador), oito modelos de potências de lâmpadas de mercúrio (VM) e sódio (VS), fotocélulas (relés fotoelétricos) e suas bases de conexão podem ser avaliados com o equipamento. Apesar de ter se mostrado eficiente para os propósitos para os quais foi projetada, a bancada de IP é um equipamento pesado e volumoso, característica atribuída principalmente à presença de oito reatores eletromagnéticos internos, usados para o teste de lâmpadas HID, que podem pesar individualmente até 6 kg.

Tendo em vista a redução do volume e peso da bancada de IP, o que facilitaria sua produção e comercialização em larga escala além de permitir uma mobilidade do equipamento, propõe-se uma substituição de seus reatores eletromagnéticos convencionais por reatores eletrônicos. Estas unidades devem ser especialmente projetadas para atender ao teste de grupos de lâmpadas. Em outras

palavras, os reatores projetados deverão ser capazes de acionar mais de modelo de lâmpada (não simultaneamente), o que também reduziria a quantidade de circuitos e unidades eletro-eletrônicas no interior do equipamento, facilitando o diagnóstico de defeitos, aumentando a confiabilidade dos testes e reduzindo o custo total da bancada.

2. REATORES ELETRÔNICOS PARA LÂMPADAS HID

A bancada realiza testes de lâmpadas de vapor de mercúrio em alta pressão de 125W, 250W e de 400W e de lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão de 70W, 100W, 150W, 250W e 400W. É proposto que seja utilizado um único circuito de retificador para alimentar todos os reatores da bancada, diminuindo o volume ocupado pelo reator substituto e também seu custo final, conforme ilustra a Figura 2.

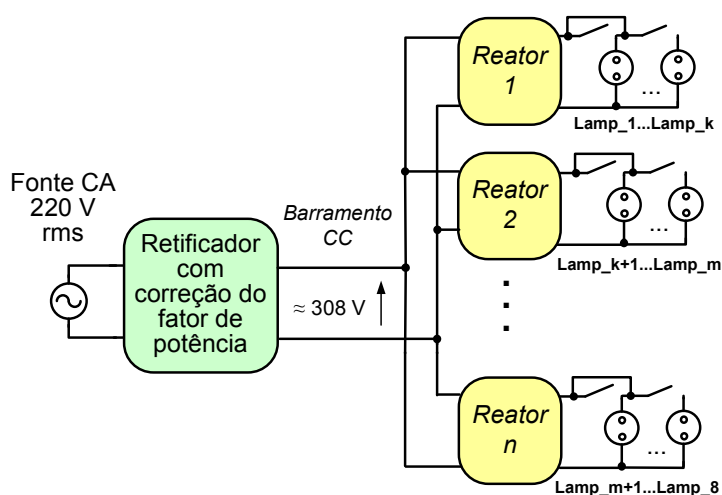


Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema genérico de reatores eletrônicos alimentados por um único retificador.

A substituição dos reatores que realizam estes testes por reatores eletrônicos que podem acionar mais de uma unidade de lâmpada deve atender aos requisitos da diminuição do peso e do volume da bancada, sem prejudicar a possibilidade da realização de múltiplos testes de forma simultânea. Propõe-se então que três unidades de reator acionem as lâmpadas de acordo com a divisão indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Sistema de reatores proposto para a Bancada de IP.

Reator	Lâmpadas	
	Mercúrio	Sódio
1.	125W	70W
2.	250W	100W, 150W, 250W
3.	400W	400W

Nota-se na Tabela 1, que o segundo reator deverá alimentar uma quantidade maior de modelos de lâmpadas. Isto se deve ao fato de que todos os modelos a ele associados empregam o mesmo sistema de conexão à base (bocal), que é distinto do padrão adotado nas lâmpadas de menor potência (reator 1). Enfim, adotando-se a proposta da Tabela 1, pode-se concluir que até três lâmpadas poderão ser testadas simultaneamente, o que evita a sobrecarga que poderia ocorrer com a primeira versão da bancada.

A operação de lâmpadas HID dentro da faixa de frequência que vai desde alguns kHz até centenas de kHz pode provocar uma instabilidade no arco de descarga (CAVALCANTE, 2001). A ocorrência deste fenômeno pode ser apontada como um dos principais responsáveis pelo retardo da utilização de reatores

eletrônicos em lâmpadas de alta pressão. A ressonância acústica afeta todos os tipos de lâmpadas HID, ocasionando flutuações de baixa frequência (0 a 20 Hz) no arco de descarga, podendo produzir cintilação da luz, mudança de cor, desgaste dos eletrodos, extinção do arco de descarga, ou em casos extremos, a explosão do tubo de descarga (DALLA COSTA, 2008).

Muitos trabalhos já foram publicados no meio científico visando detectar, minimizar e até evitar o aparecimento da ressonância acústica. Neste trabalho será utilizado o método de operação em faixa de frequências livre de ressonância acústica, onde simplesmente não se observa a ocorrência de instabilidades (DALLA COSTA, 2008; ANDRÉ, 2004) e (YAN e HUI, 2006), dada a sua simplicidade e aplicabilidade às lâmpadas HID de mercúrio e sódio. Como mais de uma lâmpada deverá ser atendida por um mesmo reator, o projeto final pode vir a necessitar de algum comando do operador durante a seleção da lâmpada a ser testada. A principal opção consiste na modificação da frequência de operação do inversor para que a lâmpada possa ser testada com baixa potência (dimerizada) e em frequência livre de ressonância acústica.

Em ensaios preliminares, empregando um reator descrito na próxima seção, avaliou-se preliminarmente o comportamento elétrico de lâmpadas de vapor de mercúrio de 125W e de 250W de vários fabricantes (Philips, OSRAM, GE e Sylvania) e tempos de uso. Foi possível observar que na frequência de 37kHz as lâmpadas de 125W não apresentaram ressonância acústica e as de 250W apresentavam distorção desprezível no arco, o que não afetava o processo de ignição, aquecimento e regime das lâmpadas. Por este motivo esta foi a frequência utilizada para o acionamento de ambas as lâmpadas neste trabalho. Observou-se

também que a variação da resistência da lâmpada com a potência desenvolvida se mostrou bastante consistente conforme mostra a Figura 3.

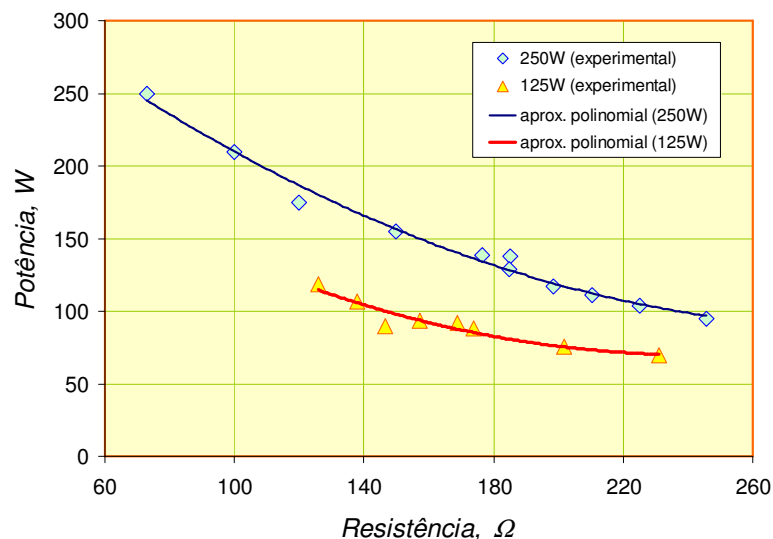


Figura 3 – Curvas de Potência x Resistência das Lâmpadas VM.

3. CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL PARA LÂMPADAS DE MERCÚRIO

Para viabilizar os ensaios experimentais, projetou-se um reator para acionar duas lâmpadas de mercúrio (125W e 250W) de forma não simultânea. Apesar de não ser esta uma das propostas de reator definidas na Tabela 1, o experimento permite provar a possibilidade de se acionar, por meio do mesmo reator, lâmpadas em uma faixa de potência bem ampla (neste caso uma delas consome o dobro da outra).

Para efeito de projeto, os valores de resistência equivalente das lâmpadas utilizados no projeto foram obtidos através dos resultados preliminares ilustrados na Figura 3, respeitando a potência desejada para cada lâmpada (inferior à nominal). A título de exemplo, a lâmpada VM de 125W será acionada a 80% de

sua potência de catálogo, o que resulta numa resistência de 144Ω com. Já para a lâmpada VM de 250W, considerou-se 60% da potência e 160Ω de resistência equivalente (veja Figura 3). O circuito adotado seguiu o princípio sugerido em Yan e Hui (2005) e a abordagem de Cosby e Nelms (1993) ou Nelms et al (1994), que empregam a topologia inversora paralelo-ressonante, conforme ilustra a Figura 4. Nesta figura, o retificador com filtro capacitivo, que gera a tensão CC de barramento para alimentação do inversor, também é incluído.

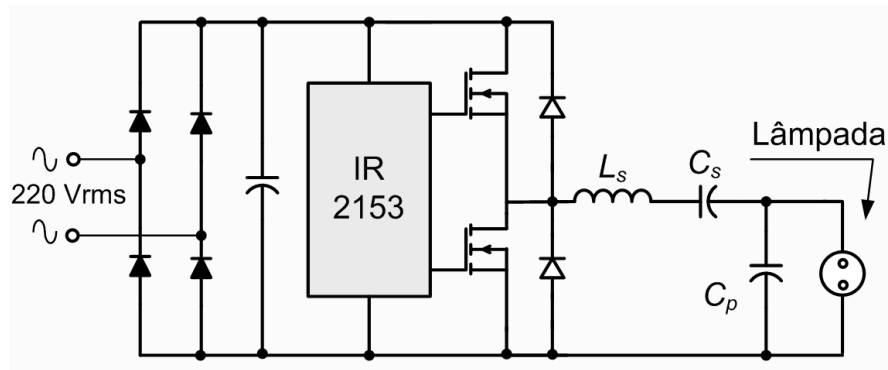


Figura 4 – Topologia utilizada para o circuito do reator.

Este conversor pode ser modelado pelo método da componente fundamental, conforme a seguinte função de transferência:

$$\frac{V_{orms}}{V_B} = \frac{\sqrt{2} / \pi}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_p Q_p}\right)^2}} \quad (1)$$

em que ω é a frequência angular de comutação dos interruptores estáticos do inversor, $\omega_p = (1/LC)^{1/2}$, $Q_p = R/(\omega_p L)$, V_{orms} é a tensão eficaz aplicada nos terminais da lâmpada e V_B é a tensão no barramento CC.

Conforme indicado na Figura 4, o inversor meia-ponte é controlado por um circuito integrado dedicado (IR2153).

O circuito paralelo ressonante não é o mais utilizado para o acionamento de lâmpadas de vapor de mercúrio em alta pressão. No entanto, esta configuração será utilizada já que se pretende, em continuidade a este trabalho, adotar o mesmo reator para o acionamento de lâmpadas de vapor de sódio. Ora, estes modelos se beneficiam especialmente desta topologia, pela facilidade em se gerar a tensão elevada de ignição destas lâmpadas, sem a necessidade da utilização de ignitor externo.

Adotando a metodologia das referências citadas, os valores escolhidos dos componentes do circuito ressonante foram: $L_S = 780\mu\text{H}$, $C_S = 220\text{nF}$ e $C_p = 33\text{nF}$.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O reator eletrônico foi implementado em laboratório e foi usado para acionar as lâmpadas de 125W e 250W. A Figura 6 mostra uma fotografia do protótipo e a Figura 7 apresenta as formas de onda típicas obtidas.

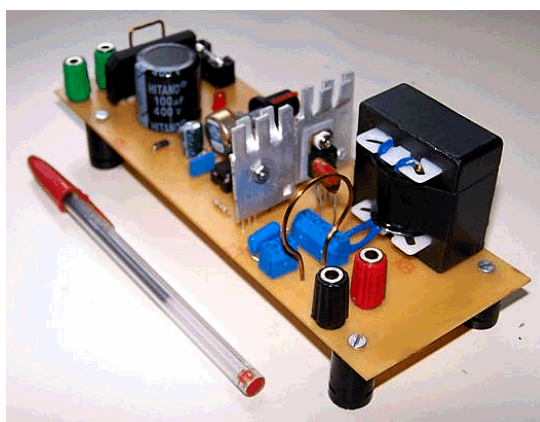


Figura 6 – Protótipo implementado em laboratório.

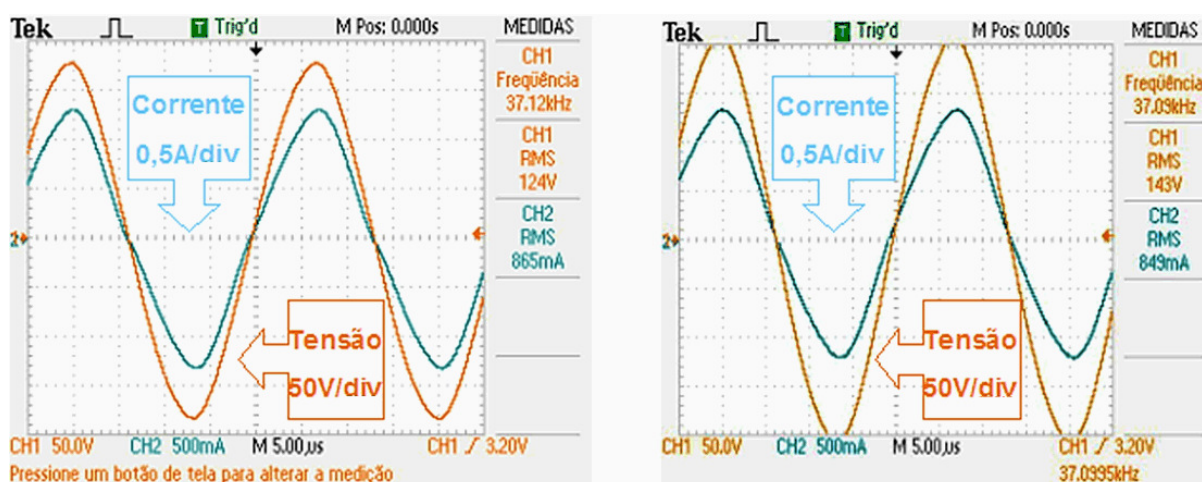


Figura 7 – Lâmpada de 125W (à esquerda) à 37kHz: Potência 107,3W e Lâmpada de 250W (a direita) à 37kHz: Potência de 126,8W.

Assim, as lâmpadas foram acionadas em média frequência (aproximadamente 37kHz) e desenvolveram uma potência inferior à potência nominal (operação dimerizada). Ainda que os valores de potência observados na prática sejam algo diferente do previsto (7% e 17% de erro, aproximadamente), pode-se considerar que o objetivo foi alcançado. As divergências se devem, provavelmente, às simplificações adotadas na análise e projeto do circuito. A

lâmpada de 125W operou sem ressonância acústica, enquanto a de 250W apresentou uma discreta curvatura no arco apenas observada com proteção visual. Estes resultados reforçam a idéia de que os novos reatores poderão conferir uma maior economia de energia à bancada e reduzir o ofuscamento do operador.

5. CONCLUSÃO

Até o atual estágio, este projeto descreveu uma proposta de implementação de um reator eletrônico aplicado ao acionamento de lâmpadas de vapor de mercúrio, com potências de 125W e 250W, com a possibilidade de operação da potência abaixo do valor nominal. Verificou-se que o reator implementado é capaz de acionar tanto a lâmpada VM de 150W, quanto a de 250W, sem qualquer alteração nos elementos ou parâmetros. Este é um importante fato de constatação: de que é possível atingir o objetivo de se construir um reator universal orientado a lâmpadas de descarga em alta pressão HID, o que incentiva à continuidade deste trabalho. De fato, um protótipo de reator eletrônico com capacidade para acionar uma lâmpada de sódio de 70W ou de mercúrio de 125W foi construído recentemente no laboratório do Núcleo de Iluminação Moderna (NIMO) da UFJF. Este assunto será objeto de futuras publicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, A. S. **Sistema Eletrônico para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão**. Tese de Doutorado, UFSC, 2004.
- CAVALCANTE, F. S. **Reatores Eletrônicos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão de 70 W**. Dissertação de Mestrado UFSC, 2001.
- COSBY, M. C., Jr. e NELMS, R.M. A resonant inverter for electronic ballast applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Volume 41, Issue 4, pp. 418 – 425, 1994.
- DALLA COSTA, M. A. **Compensación de Resonancias Acústicas en Lámparas de Descarga en Halogenuros Metálicos por Médio de Onda Cuadrada de Baja Frecuencia: Caracterización de Lámparas y Propuesta de Nuevas Topologías de Alimentación**. Tese de Doutorado. Universidad de Oviedo, 2008.
- NELMS, R.M.; JONES, T.D.; COSBY, M.C., Jr. A comparison of resonant inverter topologies for HPS lamp ballasts. **IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS 93**, 2-8 Oct., vol.3, pp. 2317 – 2322, 1993.
- PINTO, D.; BRAGA, H. e RAGONE, J. **Desenvolvimento de uma metodologia integrada de gestão para avaliação do desempenho operacional das redes de iluminação pública baseado na qualidade e na vida útil dos materiais**. Projeto P&D Aneel, ciclo 2004/2005, 2004.
- YAN, W. e HUI, S.Y. R. An analysis into the dimming control and characteristic of discharge lamps, **IEEE Transactions on Power Electronics**, Volume: 20, Issue: 6, pp. 1432-1440, 2005.