

# REATOR ELETRÔNICO AUTO-OSCILANTE COM VARIAÇÃO AUTOMÁTICA DE LUMINOSIDADE E DETECÇÃO DE PRESENÇA EMPREGANDO MICROCONTROLADOR

Alexandre Campos, Alexandre L. Michel, Douglas Pappis e Ricardo N. Prado  
GEDRE – PPGEE - Universidade Federal de Santa Maria  
CEP 97105-900 Santa Maria - RS  
Brasil  
e-mail: douglasp@mail.ufsm.br

**Resumo** - Este artigo descreve um reator eletrônico com capacidade de variação automática de luminosidade e controle de presença aplicado a lâmpadas fluorescentes. Emprega-se comando auto-oscilante e microcontrolador de baixo custo. A proposta é de um reator que una a eficiência e simplicidade do comando auto-oscilante com a flexibilidade proporcionada por um microcontrolador, obtendo o máximo aproveitamento da luminosidade natural. O controle automático da potência na lâmpada é realizado através da variação da frequência de comutação de um conversor half-bridge com comando auto-oscilante, utilizando o microcontrolador para o monitoramento e controle. O conversor alimenta uma lâmpada fluorescente de 40 W a partir de uma tensão de alimentação de 110 V, 60 Hz. O artigo inclui análise e descrição do sistema proposto, bem como resultados experimentais para a demonstração de seu desempenho.

**Palavras-Chave** – auto-oscilante, microcontrolador.

## ELECTRONIC BALLAST WITH AUTOMATIC LUMINOUS VARIATION AND PRESENCE DETECTION USING MICROCONTROLLER AND SELF-OSCILLATING COMMAND

**Abstract** – This paper proposes a self-oscillating electronic ballast illumination system controlled by a low cost microcontroller. The microcontroller is used to detect presence and to measure the level of illumination in the environment. The dimming feature is achieved by displacing the operating frequency away from the system resonant frequency, which is done by varying the resistance in the gate driver circuit. The ballast feeds a 40W fluorescent lamp, being supplied by 110V, 60Hz. The paper includes an analysis of the proposed illumination system and its design. Experimental results are included to demonstrate the feasibility of the proposed system.

**Keywords** – microcontroller, self-oscillating.

Artigo Submetido em 17/07/2003. Primeira Revisão em 24/09/2003.  
Aceito sob recomendação do Editor Especial Prof. Walter Kaiser.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente, sistemas de lâmpadas fluorescentes empregando reatores eletrônicos são usados em iluminação artificial por proporcionarem melhor eficiência luminosa (Lm/W) [1]. Esses reatores operam em alta frequência, o que os torna mais leves, menores, sem ruído audível e proporcionam maior vida útil à lâmpada se comparados com reatores eletromagnéticos convencionais, os quais operam em 60 Hz e requerem um dispositivo de grande volume para limitar a corrente. As lâmpadas fluorescentes que operam com reatores eletromagnéticos em 60 Hz apresentam cintilamento com frequência de 120 Hz e cerca de 33% de decréscimo da luminosidade [2] e [3].

Este trabalho apresenta um reator eletrônico robusto, de baixo custo, com controle automático da potência na lâmpada através da variação da frequência de comutação de um conversor half-bridge com comando auto-oscilante, de acordo com o nível de intensidade luminosa ambiente e controle de presença.

O protótipo implementado utiliza um microcontrolador de baixo custo para o monitoramento e controle do sistema de iluminação. O uso de microcontroladores em sistemas de iluminação pode ser visto em [4], [5], [6] e [7], porém, em nenhum dos casos é utilizado comando auto-oscilante. O sistema proposto une a simplicidade e eficiência do comando auto-oscilante com a flexibilidade proporcionada por um microcontrolador.

Para descrever o sistema, o artigo é organizado da seguinte maneira: a seção II apresenta uma breve descrição do sistema de iluminação; a seção III mostra o reator eletrônico auto-oscilante e sua possibilidade de dimerização; já a seção IV descreve o comando microprocessado, com os componentes e sensores utilizados; a seção V descreve as diversas partes do algoritmo de controle; a seção VI mostra as principais equações de projeto; a VII os resultados experimentais e, finalmente na seção VIII, uma conclusão sobre o trabalho é apresentada.

## II. BREVE DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação proposto tem como principais funções o controle da intensidade luminosa e detecção de presença automáticos através de um microcontrolador influenciando no comando auto-oscilante. O diagrama de blocos deste reator pode ser visto na Figura 1. Um sistema com detecção de presença é indicado para ambientes em que seja

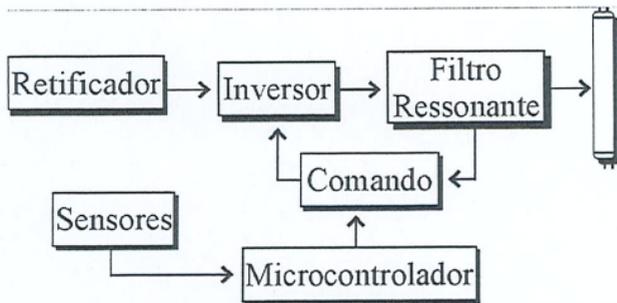


Fig. 1. Diagrama de blocos do sistema de iluminação.

interessante um comando automático da iluminação, sem interruptores, de modo a proporcionar conforto e economia de energia, ou mesmo locais com passagens esporádicas de pessoas.

O microcontrolador é utilizado para a interpretação do sinal dos sensores (presença e luminosidade) e controle do reator. Além disso, é utilizado um circuito auxiliar que proporciona o controle da intensidade luminosa e o desligamento do circuito, fazendo a interface entre o microprocessador e o inversor, onde um conversor half-bridge e um filtro LCC ressonante alimentam a lâmpada.

Portanto, o sistema aciona a lâmpada, temporizando seu funcionamento, e decide a potência conforme intensidade luminosa ambiente. Dessa forma, o reator proporciona excelente economia de energia.

### III. REATOR ELETRÔNICO AUTO-OSCILANTE

A Figura 2 mostra o conversor half-bridge auto-oscilante apresentado em [8] e [9], onde é definida uma metodologia de projeto e demonstrado as condições necessárias para operar com *dimming*. Isso possibilita determinar os parâmetros do circuito auto-oscilante de forma correta, para a frequência de auto-oscilação desejada em projeto.

#### A. Reator eletrônico auto-oscilante tradicional

O funcionamento do reator eletrônico auto-oscilante baseia-se na realimentação da corrente ressonante proveniente do filtro LCC por meio de um transformador de corrente (CT). Os enrolamentos secundários do CT são conectados de forma complementar nos *gates* dos *Mosfets*, como é mostrado na Figura 2, desconsiderando o braço  $B_D$ .

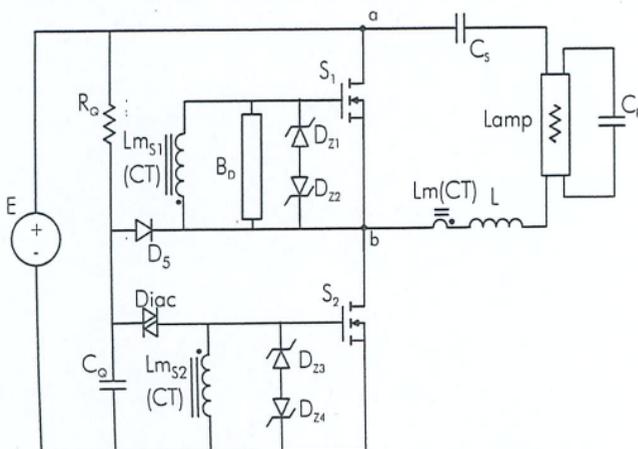


Fig. 2. Reator eletrônico auto-oscilante.

A representação do circuito de gate pode ser feita substituindo o transformador de corrente CT por uma fonte de corrente senoidal  $i_S$  em paralelo com a sua indutância magnetizante  $L_m$  e aproximando o diodo zener por uma fonte de tensão ideal constante com tensão  $V_Z$ .

A partir dessas aproximações, pode-se considerar a corrente magnetizante  $i_M$  no indutor  $L_m$  crescendo linearmente e a corrente do filtro LCC refletida  $i_S$  senoidal. Assim, a corrente zener  $i_Z$  é constituída pela corrente  $i_M$  e corrente ressonante  $i_S$ , o que determina a polaridade da fonte de tensão  $V_Z$ , como é mostrado na Figura 3.

Quando  $i_Z$  torna-se zero nos instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ , haverá troca de polaridade da tensão sobre o diodo zener, como pode ser observado na Figura 3. Essa mudança de polaridade no diodo zener resulta na troca de estado dos interruptores. Deste modo, verifica-se que a indutância magnetizante  $L_m$  e as tensões dos diodos zener são os elementos de maior influência na frequência de operação do reator.

#### B. Reator eletrônico auto-oscilante com dimming

Como  $i_Z$  determina a frequência de operação do reator e é dependente de  $V_Z$  e  $L_m$ , para variar a frequência, basta alterar  $V_Z$  ou  $L_m$ . No entanto,  $V_Z$  e  $L_m$  são elementos que não permitem alteração durante o funcionamento do reator. Assim, resta a alternativa de variar  $i_Z$  por meio de um circuito adicional (braço  $B_D$ ), mostrado na Figura 2. A variação da frequência de operação, dessa forma, fica restrita a mudança da fase de  $i_Z$ , possibilitada pelo braço  $B_D$ .

A utilização de um circuito LR série pode ser adequada para a formação do braço  $B_D$ , pois permite o aumento da inclinação da corrente resultante  $I_D$  através da diminuição do valor de resistência do resistor série. Como essa mudança altera o período em que ocorre a troca de estado, ocorre um aumento da frequência de comutação. Portanto, quanto menor o resistor  $R_d$ , maior será a influência de  $I_{BD}$  e, conseqüentemente, maior a frequência de operação do conversor, alterando o ganho do filtro e reduzindo a potência na lâmpada.

### IV. COMANDO MICROPROCESSADO

O reator auto-oscilante com *dimming* mostrado na seção anterior pode ser automatizado através da introdução de um microcontrolador de baixo custo Motorola<sup>®</sup> MC68HC908JK1 no circuito, influenciando no comando. O microcontrolador detecta a presença e sensora a intensidade luminosa do

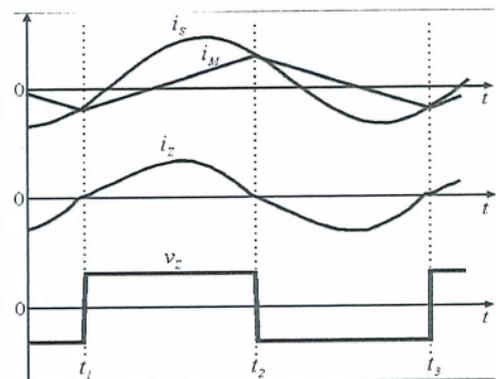


Fig. 3. Formas de onda no comando auto-oscilante.

ambiente, controlando o estado (ligado ou não) do conversor e a potência na lâmpada.

#### A. Circuito auxiliar

Com a introdução do microcontrolador no circuito do reator eletrônico auto-oscilante, tornou-se necessária a inclusão de um circuito auxiliar que faça a interface entre os mesmos.

A Figura 4 mostra o circuito completo do sistema de iluminação proposto. O microcontrolador gera uma forma de onda quadrada com frequência variável entre 4 kHz e 8 kHz.

O sinal é amplificado em  $T_1$  e isolado em  $Tr_1$ . O capacitor  $C_2$  é um filtro que torna a forma de onda contínua para ser aplicada à base de  $T_2$  de modo que esse opere na região linear. Assim, o transistor  $T_2$  atua como um resistor variável dependente da corrente na base para o controle bidirecional de  $I_{BD}$  e, conseqüentemente, o controle da potência na lâmpada.

Para o desligamento do reator eletrônico auto-oscilante, é utilizado o foto-transistor  $T_3$  que zera a tensão no secundário do transformador de corrente (CT), parando a oscilação do comando.

O conjunto microcontrolador e circuito auxiliar foram projetados para ter a menor influencia possível sobre o conversor, visto que se o microcontrolador fosse retirado do circuito o conjunto reator-lâmpada continuaria funcionando na potência nominal, mantendo a confiabilidade característica do reator eletrônico auto-oscilante.

#### B. Microcontrolador

O microcontrolador usado no sistema de iluminação é Motorola® MC68HC908JK1 de 8 bits, escolhido principalmente por possuir baixo custo e ser robusto. Suas principais características são: memória flash de 1,5 kbyte, encapsulamento de 20 pinos, conversores A/D internos e frequência de operação até 8 MHz. As principais tarefas desempenhadas pelo microcontrolador são: monitoramento de presença, leitura de intensidade luminosa, geração de forma de onda quadrada para o circuito auxiliar, sinal de habilitação para o transistor que controla o funcionamento do comando auto-oscilante.

#### C. Fonte auxiliar

A fonte auxiliar implementada para alimentar o microcontrolador, os sensores e o circuito auxiliar é mostrada na figura 5.

#### D. Sensoriamento

Utilizou-se sensoriamento de presença e de luminosidade.

##### 1) Sensor de luminosidade

É utilizado um LDR (resistor dependente da luz), que tem a capacidade de variar a sua resistência elétrica de acordo com a luminosidade incidente, auxiliado por um divisor de tensão, mostrado no circuito da Figura 6. Os valores de tensão obtidos conforme intensidade luminosa ambiente são lidos através de conversor A/D, interno no microcontrolador.

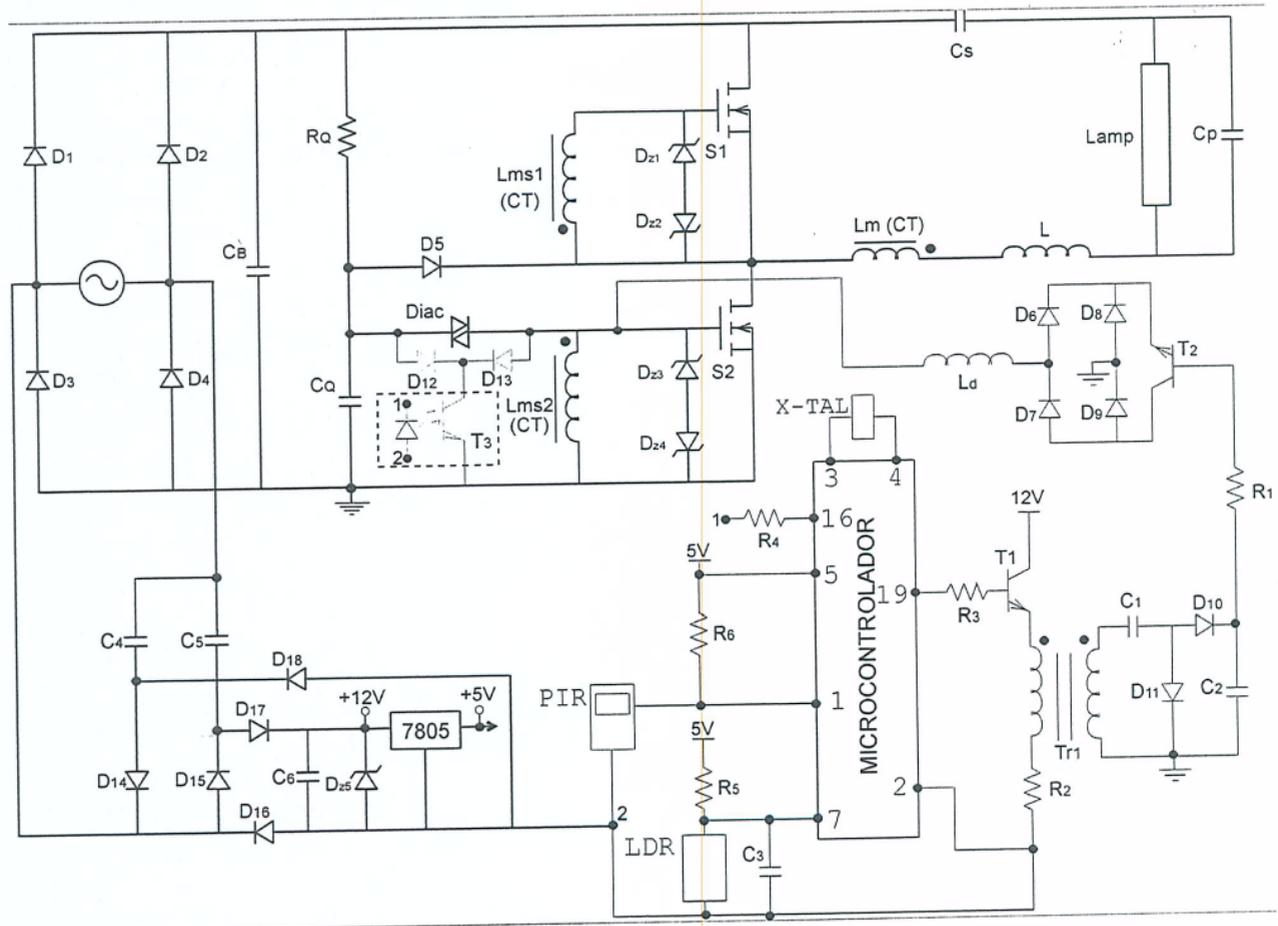


Fig. 4. Circuito completo do sistema de iluminação.

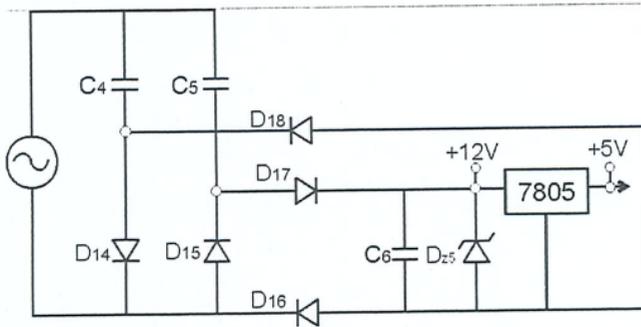


Fig. 5. Fonte auxiliar.

## 2) Sensor de presença

É utilizado um sensor do tipo passivo por infravermelho, *PIR*, o qual lê a intensidade da radiação infravermelha emitida pelo ambiente. A radiação lida varia quando um objeto de temperatura diferente da temperatura ambiente é inserido no campo de "visão" do sensor, detectando, então, presença. O sensor é do tipo comercial, com compensação de temperatura, podendo ser adaptado a diferentes ambientes através da regulação de sua sensibilidade de detecção. Para uma adaptação do sistema de detecção de presença a um ambiente onde pequenas variações na emissão de raios infravermelhos devem ser interpretados como presença de pessoas, aumenta-se a sensibilidade de leitura do sensor. O microcontrolador reconhece o sinal do sensor através da geração de uma interrupção por pino externo. A alimentação para o sensor é obtida da fonte auxiliar do sistema. O circuito é mostrado na figura 7.

## E. Algoritmo de controle

Na lógica do programa, primeiramente é esperado sinal do sensor de presença, sem o qual não é habilitado o comando auto-oscilante. Se verificada presença, será adquirida informação sobre luminosidade. O valor é comparado com uma referência e o comando auto-oscilante é habilitado. Para a interpretação dos níveis de luminosidade, é inserida no microcontrolador uma tabela com valores, relacionando frequência do sinal de onda quadrada gerado para o circuito auxiliar, frequência de comutação do conversor e potência na lâmpada. A potência na lâmpada após a sua ignição é estabelecida de acordo com a intensidade luminosa ambiente. O sistema de iluminação é desligado por temporização,

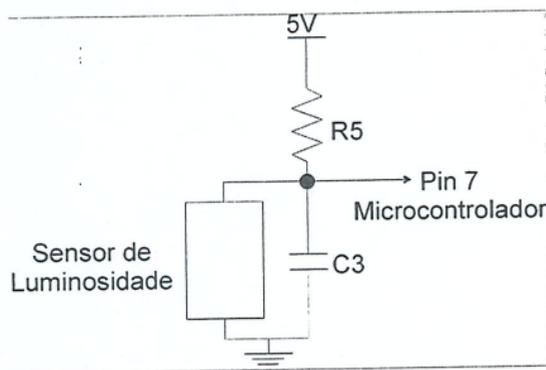


Fig. 6. Circuito do sensor de luminosidade.

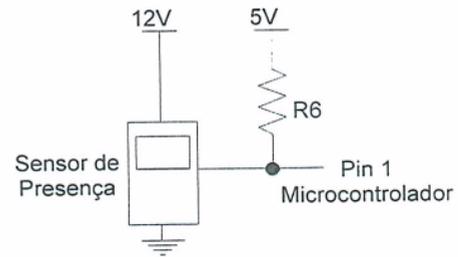


Fig. 7. Circuito do sensor de presença.

quando é esperado novamente o sinal de presença.

Para que o microcontrolador possa desempenhar satisfatoriamente as tarefas acima listadas, foi realizado em *assembly* um programa conforme fluxograma mostrado na Figura 8, cujos blocos estão detalhados:

### 1) Inicialização do sistema:

É um bloco onde são previamente configurados os registradores, as portas I/O e o conversor A/D.

### 2) Leitura de presença:

Tem a finalidade de detecção de presença, que é realizada

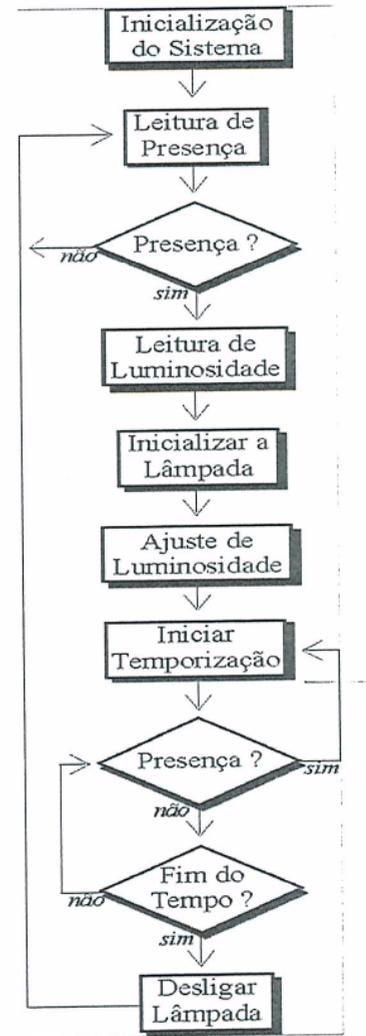


Fig. 8. Fluxograma de programação.

através da geração de uma interrupção por pino externo caso seja detectada presença, proveniente do sinal do PIR.

3) Leitura de luminosidade:

Tem a função de leitura e conversão em digital do sinal proveniente do LDR, o que possibilita a interpretação da luminosidade.

4) Inicializar a lâmpada:

Faz com que a lâmpada seja ligada, habilitando o comando auto-oscilante.

5) Ajuste de luminosidade:

Tem a função de interpretar a informação de luminosidade adquirida anteriormente através de uma tabela comparativa e, a partir disso, gerar um sinal de onda quadrada com frequências entre 4 kHz e 8 kHz para atuar no circuito auxiliar e influenciar no comando para, então, adequar a intensidade luminosa da lâmpada.

6) Iniciar temporização:

Faz a temporização estipulada para lâmpada permanecer ligada. Além disso, se novamente detectada presença, a temporização será reiniciada sem a alteração da intensidade luminosa da lâmpada.

7) Desligar lâmpada:

Finaliza a operação do conversor, desligando o comando caso o tempo tenha chegado ao fim. Então, se inicia um novo ciclo do programa, retornando ao bloco leitura de presença.

V. PRINCIPAIS EQUAÇÕES DE PROJETO

O projeto pode ser dividido em: projeto do filtro LCC série-paralelo ressonante e projeto dos componentes do comando.

A. Projeto do filtro LCC série-paralelo ressonante

O filtro LCC série-paralelo ressonante é composto pelo capacitor série ressonante  $C_s$ , capacitor paralelo ressonante  $C_p$ , indutor ressonante  $L$  e lâmpada, alimentado por uma forma de onda quadrada, gerada pelo comutação do inversor half-bridge. Dessa forma, a alimentação do filtro ressonante é representada por uma fonte de tensão quadrada  $V_S(t)$ , conforme mostrado na Figura 9.

Na execução do projeto do filtro, é feita a aproximação fundamental que consiste em utilizar somente a componente fundamental da forma de onda  $V_S(t)$ , sendo seu valor médio quadrático,  $V_r$ , definido pela expansão em série de Fourier:

$$V_{rms} = \frac{V_{pp}}{\pi} \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

Onde:

$V_{pp}$  - valor de pico a pico de  $V_S(t)$ .

A impedância do filtro ressonante  $Z$  é determinada pela análise fasorial de circuitos alternados:

$$Z = \frac{R}{(1+C_p^2 R^2 \omega^2)} + j \left[ \left( L\omega - \frac{1}{C_s \omega} \right) - \frac{R^2 C_p \omega}{(1+C_p^2 R^2 \omega^2)} \right] \quad (2)$$

Onde:

$\omega$  - frequência angular de comutação.

Pode-se, então, determinar a potência real  $P$  entregue à lâmpada através de (1) e (2), considerando o modelo resistivo equivalente da lâmpada fluorescente:

$$P = \text{Re} \left( \frac{V_{rms}^2}{Z} \right) \quad (3)$$

Para o projeto, é determinado o ângulo de fase da impedância do filtro  $\phi$ , o qual é dado por:

$$\phi = \tan^{-1} \left[ \frac{\omega R^{-1} \left( (L - C_s^{-1} \omega^{-2}) (1 + C_p^2 R^2 \omega^2) - R^2 C_p \right)}{1 + \omega^2 C_p^2 R^2} \right] \quad (4)$$

De (4), é definido o termo  $X$ , dado por:

$$X = \tan(\phi) \quad (5)$$

Substituindo (5) por (3) e (4) e efetuando simplificações, o projeto de  $C_p$  fica determinado por:

$$L(\phi) = \frac{R \tan(\phi) \omega^{-1} + C_p(\phi) R^2}{1 + \omega^2 C_p^2(\phi) R^2} + \frac{1}{C_s \omega^2} \quad (6)$$

Substituindo (3), (4), (6) e  $C_s$  por um valor de projeto em (5) o indutor ressonante  $L$  é determinado em função do ângulo de fase  $\phi$ , definido em (7).

$$P(\phi) = \frac{V_{rms}^2 R (1 + \omega^2 C_p^2(\phi) R^2)}{R^2 + \omega^2 \left[ \left( L(\phi) - \frac{1}{C_s \omega^2} \right) (1 + \omega^2 C_p^2(\phi) R^2) - R^2 C_p(\phi) \right]} \quad (7)$$

Com a finalidade de adequar a tensão de ignição da lâmpada e garantir a potência nominal em regime permanente, o ângulo  $\phi$  é obtido graficamente a partir do gráfico da potência em função de  $\phi$  mostrado na figura 10, considerando a potência na ignição em regime permanente. Dessa forma, os procedimentos de projeto garantem a operação eficiente da lâmpada com formas de onda senoidais, reduzida taxa de distorção harmônica e baixo fator de crista.

B. Projeto dos componentes do comando

Para o projeto dos elementos do comando ( $L_m$ ,  $L_d$ ) foi usado o procedimento mostrado em [8] e [9].

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção, são apresentados resultados experimentais para uma lâmpada fluorescente tubular de 40 W, nas figuras 11 e 12, e os parâmetros do circuito, na Tabela I.

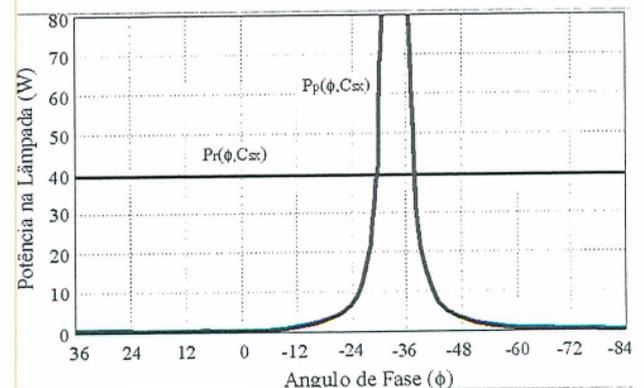
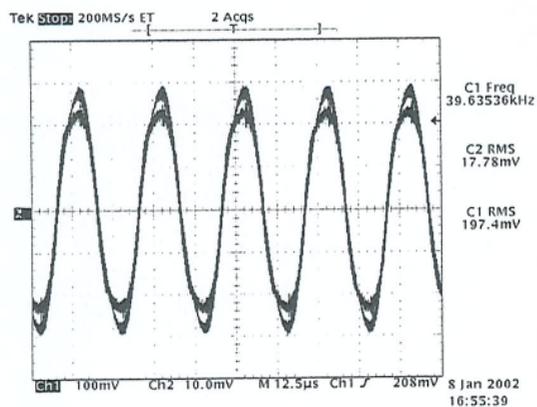
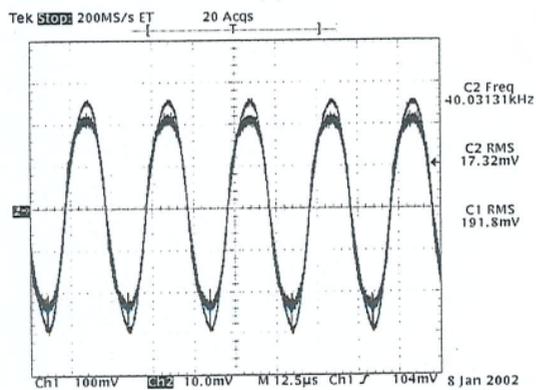


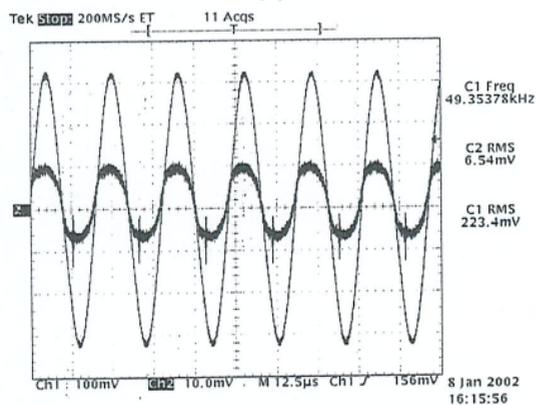
Fig. 10. Gráfico da potência na lâmpada em função do ângulo de fase da impedância do filtro  $\phi$ .



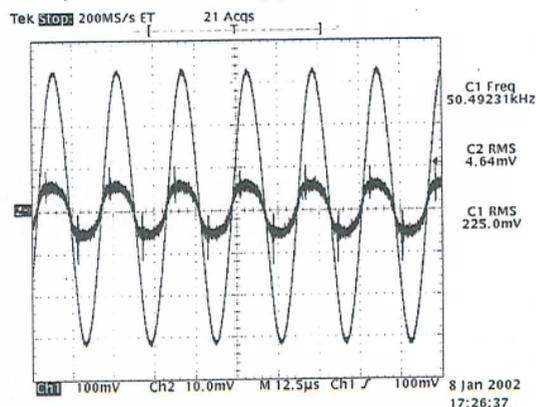
(a)



(b)

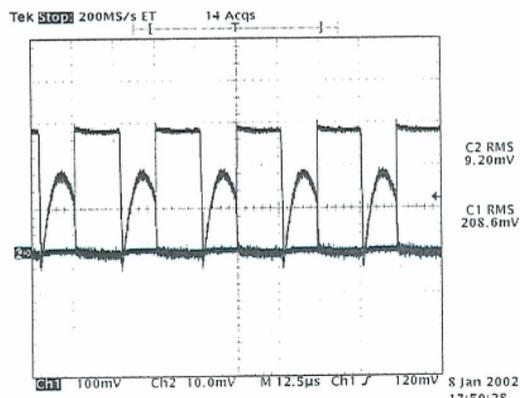


(c)

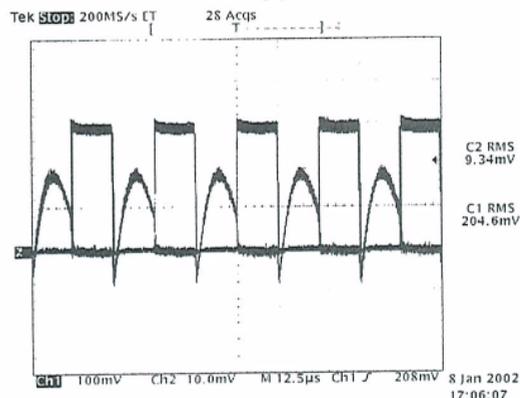


(d)

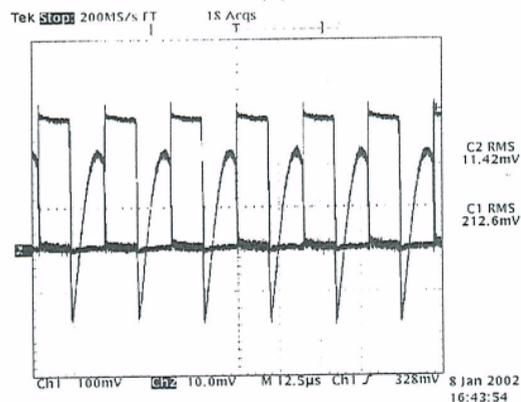
Fig. 11. Tensão e corrente na lâmpada (50 V/div; 200 mA/div; 12.5µs/div)- (a) 34 W (b) 30 W (c) 20 W (d) 10 W.



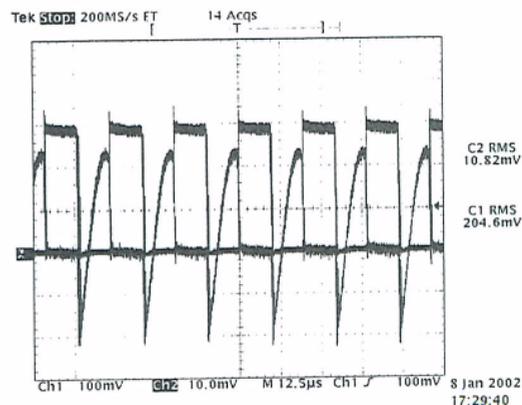
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 12. Tensão e corrente no interruptor *SI* (ZVS) (50 V/div; 200 mA/div; 12.5µs/div)- (a) 34 W (b) 30 W (c) 20 W (d) 10 W.

**TABELA I**  
**Parâmetros Resumidos**

Especificação	
Tensão de entrada	$V_{in}=110\text{ V}, 60\text{ Hz}$
Potência de saída	$P=40\text{ W}$
Frequência	$F=40\text{ kHz}$
Filtro Ressonante	
$C_S$	147nF/250 Vac
$C_P$	10 nF/600 Vac
L	800 $\mu\text{H}$ , 150 voltas, EE20 IP6 Thornton
Comando	
$L_m$ to LR	688 $\mu\text{H}$ , 2/12/12 voltas, T15 IP6 Thornton
$D_{Z1}, D_{Z2}, D_{Z3}, D_{Z4}$	Diodo Zener 12 V
Diac	DB3
$R_Q$	220 $\text{k}\Omega/1/8\text{ W}$
$C_Q$	100nF / 63 V
$R_M$	470 $\text{k}\Omega/1/8\text{ W}$
$D_5$	UF4007
$S_1, S_2$	IRF740
$D_1, D_2, D_3, D_4$	1N4004
$L_{amp}$	Lâmpada 40W, Osram-F40
$C_B$	100 $\mu\text{F}$ / 200Vdc
$L_d$	460 $\mu\text{H}$
Circuito Auxiliar	
Microcontrolador	Motorola <sup>®</sup> MC68HC908JK1
$T_1$	2N2222, transistor bipolar
$T_2$	TIP 122, transistor bipolar
$T_3$	4N33
$D_6 - D_{16}$	1N4148
$D_{Z5}$	Zener Diode 12 V
$R_1$	100 $\text{k}\Omega/1/8\text{ W}$
$R_2$	100 $\Omega/1/8\text{ W}$
$R_3, R_4$	330 $\Omega/1/8\text{ W}$
$R_5$	8,2 $\text{k}\Omega/1/8\text{ W}$
$R_6$	40 $\text{k}\Omega/1/8\text{ W}$
$C_1$	1 nF / 63 V
$C_2, C_3$	33 $\mu\text{F}$ / 100 V
$C_4, C_5$	2,2 $\mu\text{F}$ / 200 V
$Tr_1$	T10 IP6 Thornton

A Figura 11 mostra formas de onda de tensão e corrente senoidais na lâmpada para diversos valores de potência. Observa-se a capacidade do sistema de variar a potência na lâmpada. Além disso, observa-se que, para os diferentes níveis de potência, o sistema mantém tensão e corrente em fase. Já as formas de onda da Figura 12 mostram a tensão entre os terminais *dreno* e *source* e a corrente de *dreno* do interruptor  $S1$  para os níveis da potência, demonstrando comutação suave para toda a faixa. Essa característica é demonstrada nas formas de onda, uma vez que pode ser observado que a frequência de operação do inversor é superior à frequência natural do filtro ressonante. Assim, a corrente do filtro ressonante é atrasada em relação à tensão, fazendo com que o diodo intrínseco do *mosfet* entre em condução. Essa corrente é representada na forma de onda pela porção negativa de corrente. O rendimento medido do conversor é de 95% e o fator de crista na lâmpada é 1,52. A figura 13 mostra uma fotografia digital do protótipo do sistema.

## VI. CONCLUSÕES

Este artigo descreveu um sistema de iluminação eletrônico de baixo custo, simplicidade, eficiência e possibilidade de aplicação em diversos ambientes.

A aplicação de microcontroladores para a automação de

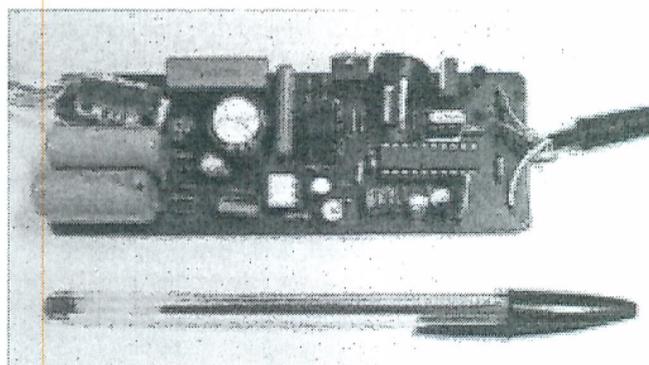


Fig. 13. Fotografia digital do protótipo do sistema.

reatores eletrônicos através de sensoriamento e controle é vantajosa se for comparada a circuitos analógicos para o mesmo fim. Além disso, o emprego do comando auto-oscilante com auxílio de microcontrolador torna o circuito robusto por não necessitar de comando diretamente do microcontrolador nos interruptores, proporcionando independência entre o processador e o conversor. Assim, podem ser feitas alterações somente em software, adaptando o reator para diversos tipos de aplicações e proporcionando grande flexibilidade ao sistema sem necessidade de alterações no circuito.

Portanto, o sistema proposto une a simplicidade do comando auto-oscilante e a flexibilidade do microprocessador com o objetivo de economizar energia.

## AGRADECIMENTOS

Este projeto está sendo financiado pelo CNPq (processo 551439/01-7).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. N. do Prado, S. A. Bonaldo, and D. S. Greff. "A high power factor flyback-half-bridge electronic ballast with dimming feature", in *Proc. of IEEE IAS*, vol. 03, pp. 2082-2088, 1998.
- [2] E. E. Hammer. "High frequency characteristics of fluorescent lamps up to 500 kHz", *Journal of the Illuminating Engineering Society*, pp. 52-61, winter 1987.
- [3] E. E. Hammer, T. K. McGowan. "Characteristics of various F40 fluorescent systems at 60 Hz and high frequency", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 21, no. 1, pp.11-16, January/February 1985.
- [4] T-F. Wu, T-H. Yu, and Y-J. Wu. "A microprocessor-based toggle-control lighting system", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 45, no. 3, pp.525-528, June 1998.
- [5] T-F. Wu, T-H. Yu, J-C. Hung, and H-P. Yang. "Analysis and design of dimmable electronic ballast for fluorescent lamps using fuzzy controller", in *Proc. of IEEE APEC*, vol. 02, pp.648-654, 1996.
- [6] J. M. Alonso, P. J. Villegas, J. Díaz, C. Blanco, and M. Rico. "A microcontroller-based emergency ballast for

fluorescent lamps”, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 02, pp.207-215, April 1997.

- [7] R. Hausmann, A. J. Perin, and R. L. Alves, “Microcontrolled electronic ballast for fluorescent lamps with high power factor, controlled Luminescence and Presence Detection”, in *Proc. of COBEP*, pp. 847-852, 2001.
- [8] R. N. do Prado, A. R. Seidel, F. E. Bisogno, and R. K. Pavão. “A design method for electronic ballast for fluorescent lamps”, in *Proc. of IECON*, vol. 04, pp.2279-2284, 2000.
- [9] R. N. do Prado, A. R. Seidel, F. E. Bisogno, R. K. Pavão, and H. Pinheiro. “Self-Oscillating dimmable electronic ballast”, in *Proc. of IECON*, vol. 02, pp.1038-1043, 2001.

#### DADOS BIOGRÁFICOS

**Alexandre Campos**, Alexandre Campos, nascido em 11/06/1959 em Criciúma (SC) obteve o título de Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, em 1981, e os títulos de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1986 e Ph.D. em Engenharia Elétrica pela Concordia University em 1994. Entre 1983 e 1991 foi professor junto ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Joinville. Desde 1991 é professor adjunto no Departamento de Eletrônica e Computação da UFSM. É membro do IEEE, da SBA e da SOBRAEP. Atualmente, atua como pesquisador no Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos, e como coordenador do Grupo de Desenvolvimento em Engenharia Elétrica, na mesma universidade. Suas áreas de interesse são processamento de sinais, sistemas lógicos, compensadores estáticos, reatores eletrônicos, qualidade de energia e

eficiência luminosa, e empreendedorismo em engenharia.

**Alexandre Luís Michel**, nascido em 17/07/1976 em Ijuí (RS) obteve o título de Engenheiro Eletricista em 2000 pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria em 2002. Suas áreas de interesse são microcontroladores, lâmpadas fluorescentes, reatores eletrônicos dimerizáveis.

**Douglas Pappis**, nascido em 14/07/1982 em Sobradinho (RS), estudante do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria. Atualmente é pesquisador no Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Reatores Eletrônicos nesta mesma universidade. Suas áreas de interesse são sistemas inteligentes de iluminação, qualidade de energia, eletrônica de potência, e sistemas de controle eletrônicos.

**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. Suas áreas de interesse são sistemas dimerizáveis e reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes e de alta pressão, qualidade de energia e eficiência luminosa.