

REATOR ELETRÔNICO PARA LÂMPADAS FLUORESCENTES CONTROLADO PELO MICROCONTROLADOR PIC 16C73A

*INEP – Instituto de Eletrônica de Potência (www.inep.ufsc.br)
Departamento de Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico
Universidade Federal de Santa Catarina
Caixa Postal – 5119
88.040-970 – Florianópolis – SC – Brasil*

ANDERSON S. ANDRÉ, RICARDO L. ALVES, ARNALDO J. PERIN

Resumo— Neste trabalho apresenta-se o estudo e desenvolvimento de um reator eletrônico para duas lâmpadas fluorescentes de 40W com controle de luminosidade e acendimento automático, controlado por um microcontrolador PIC 16C73A. A técnica de controle da luminosidade é baseada na variação da frequência de comutação de um inversor ressonante. O controle de acendimento automático, que somente mantém o sistema em funcionamento quando há alguém no ambiente a ser iluminado, é baseado na utilização de um sensor infravermelho passivo.

Abstract— In this paper a two 40W fluorescent lamp electronic ballast with dimming control and self turn-on, using the PIC16C73A microcontroller is presented. The theoretical analysis and the experimental results are also provided. The technique to control the lighting is based on the frequency variation of a resonant inverter. The self turn-on control, which keeps the system running when there is someone in the room, is based in a passive infrared sensor.

Keywords— ballast design; fluorescent lamp; automatic turn-on; microcontrolled dimmer.

1 Introdução

Neste trabalho apresentar-se-á um reator eletrônico baseado em um inversor meia-ponte com filtro ressonante, que tem como principais características o controle de luminosidade e acendimento automáticos, sendo totalmente comandado por um microcontrolador PIC 16C73A, da Microchip Technologies.

A potência na lâmpada é variada em função do nível da luminosidade natural do ambiente. Tal controle é obtido através da variação da frequência de comutação do inversor (Okude e Ueoka, 1992), imposta pelo microcontrolador que mede o nível de luminosidade ambiente através de um sensor do tipo LDR (Light Depending Resistor).

O controle automático de acendimento é baseado na utilização de um sensor do tipo infravermelho passivo, cujo sinal tratado é aplicado ao microcontrolador PIC (Microship Technology, 1997) que, após isto, mantém o inversor funcionando por um período de tempo predeterminado.

2 Os Sensores de Presença

A utilização de detectores de movimento para acionamento do reator quando há alguém no ambiente a ser iluminado, automatizando o sistema, pode ser bastante cômoda e gerar economia substancial de energia, como já foi proposto por André (1997).

Neste item serão apresentados os tipos de sensores disponíveis e o sensor escolhido para a utilização no protótipo desenvolvido, será estudado com maiores detalhes no item 3 (Wiggers, 1998 e Brignell, 1996).

2.1 Sensor de Efeito Doppler

Os sensores de efeito doppler emitem um sinal ondulatório no ambiente a ser supervisionado e o lêem de volta. Quando há movimento nesse ambiente gera-se o efeito doppler, ou seja, a onda que retorna apresenta frequência diferente da enviada. Combinando-se as duas, na presença de movimento obtém-se uma outra onda, de frequência menor, resultante do batimento entre as duas ondas. Desta forma, ativa-se o sensor quando há a captação desta onda de menor frequência. Geralmente são utilizados sinais ultrassônicos ou microonda.

2.2 Sensor Infravermelho Ativo

Os circuitos infravermelho ativos utilizam-se de um emissor de radiação infravermelha e um receptor, ambos acoplados, e é ativado quando o feixe entre ambos é cortado, ou alterado. Normalmente é utilizado um feixe pulsado para eliminar a interferência da luz ambiente sobre o detector, sendo então filtrado o sinal na frequência do sinal emitido.

Ainda é possível dividir esse tipo de sensor em subgrupos, de acordo com o posicionamento relativo entre o receptor e o emissor e o modo de atuação, como por exemplo sensores infravermelhos de acoplamento direto ou indireto.

2.3 Sensor Infravermelho Passivo

Os circuitos infravermelho passivos utilizam apenas um receptor de radiação infravermelha e ativam-se quando há alteração nesta. Como essa radiação está relacionada à temperatura, o que o sensor detecta é a alteração da temperatura. São usualmente denominados de detectores PIR (“passive infra-red”).

3 O Sensor Infravermelho Passivo

Para funcionar, o detector “lê”, através de um sensor de infravermelho, a intensidade dessa radiação emitida por um fundo (ambiente). Ao sobrepor-se um objeto de temperatura diferente entre o fundo e o sensor, variará também a radiação recebida por este e, assim, determina-se a passagem de alguém no seu raio de atuação. É utilizado um sistema de lentes para determinar o campo de atuação deste sensor. Isso é obtido pela distribuição de vários feixes de atuação que são completamente cobertos pelo objeto a ser detectado (pessoa). Geralmente necessitam de uma variação da ordem de 3°C para atuarem.

Sua principal vantagem em relação ao sensor ativo é que sua atuação não está restrita a um feixe, mas a uma ampla área de cobertura no ambiente. Além disso, não há necessidade de ter-se dois lugares distintos de instalação para um único sensor.

Com relação às considerações referentes à óptica do sensor tem-se: sem nenhum sistema óptico auxiliar o campo de visão do sensor é ilimitado, por teoria, uma vez que na prática é limitado pelo encapsulamento. Logo, o alvo cobre apenas uma parte deste, e portanto, do fundo. Assim sendo, a área coberta pelo campo de visão do sensor cresce quadraticamente com a distância ao sensor e a área do alvo permanece igual, implicando assim uma variação no contraste inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o alvo e o sensor. Isso torna os níveis de sinal impraticáveis.

A solução óbvia para tal problema é utilizar uma lente, ou espelho, para reduzir o campo de “visão” do sensor, de forma a deixá-lo menor ou igual ao alvo. Como isso acarretaria na redução da área coberta pelo sensor, é utilizado um sistema de lentes, que distribui por uma área grande diversos feixes, com um campo de visão estreito para cada um.

Quanto aos sensores propriamente ditos, atualmente utiliza-se sensores baseados no efeito piroelétrico, ou seja, na variação de carga que certos materiais dielétricos sofrem com a variação da temperatura. Como a corrente é a variação da carga, tem-se que esse efeito gera uma corrente, dependente da variação da temperatura sentida pelo sensor. Além disso, o sensor é capacitivo, o que ocasiona uma resposta de primeira ordem para o sensor, de acordo com o modelo apresentado na Fig. 1.

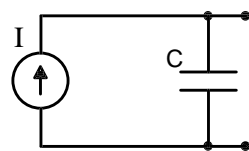


Figura 1. Modelo do Sensor.

É necessário que se utilize uma carga para a leitura do sinal de saída do sensor. No entanto, este tem sua sensibilidade dependente do valor da carga, sendo tanto maior quanto maior for a resistência desta. Porém, como as correntes geradas são de baixa amplitude, é necessário um valor muito alto de resistên-

cia. Assim, utiliza-se um transistor JFET como amplificador, já incluso no encapsulamento do sensor, conforme apresentado na Fig. 2.

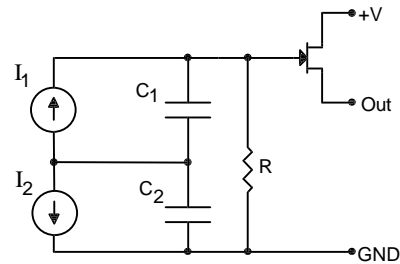


Figura 2. Modelo do Sensor Com J-FET.

Pode-se observar a presença de dois sensores em anti-série, antes do JFET. Essa é a estrutura usual destes sensores, de forma que uma variação que ocorra em ambos, por exemplo causada pela mudança da temperatura ambiente, não seja observada na saída.

3.1 Lentes

A fim de restringir o campo de visão do sensor, deve-se utilizar um sistema de lentes. A importância da redução do campo de visão deste provém do consequente aumento da sensibilidade advindo desta (Fresnel Technologies).

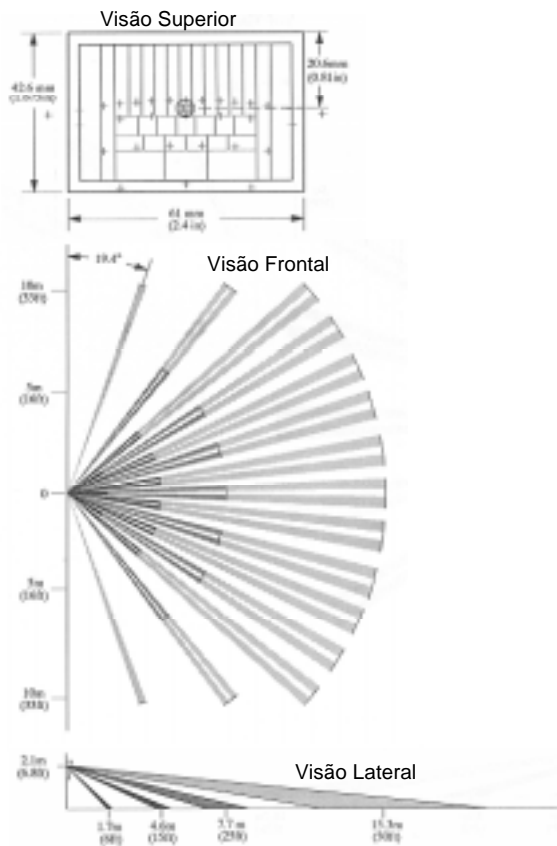


Figura 3. Exemplo de Lente Para Parede.

As lentes devem permitir somente a passagem das faixas desejadas do espectro infravermelho e permitir a máxima cobertura do ambiente. Essa faixa é coberta de maneira excelente por lentes de silício, como as utilizadas no encapsulamento dos sensores,

no entanto, esse material apresenta alto custo. Assim sendo, a solução utilizada para tal fim fica por conta de lentes de Fresnel feitas de plástico. Além de mecanicamente mais resistentes que o silício, apresentam menor custo. A necessidade de utilizar-se lentes de Fresnel advém de que o plástico é transparente ao infravermelho apenas até uma espessura, a qual seria obrigatoriamente ultrapassada em caso de utilizar-se lentes esféricas. Ainda, as lentes de Fresnel são fisicamente mais adequadas por sua espessura reduzida. Na Fig. 3 apresenta-se um exemplo de lente comercial para parede, que foi utilizada no protótipo desenvolvido.

Tradicionalmente é possível executar um projeto específico de uma lente para um determinado sensor, entretanto, com a padronização dos sensores, algumas empresas já mantêm catálogos de lentes específicas para este fim. Assim sendo, a escolha das lentes resumiu-se a uma pesquisa de mercado, avaliando o custo e adequação técnica das lentes disponíveis à aplicação desejada.

3.2 Hardware do Sensor

O projeto eletrônico do sensor consiste apenas em determinar a menor e a maior taxa de variação em termos da movimentação no campo de visão. Com base nestes dois dados, pode-se determinar um filtro passa faixa que permita a passagem do sinal apenas quando este ocorrer dentro da faixa de variação prevista, a fim de minimizar a possibilidade de ocorrência de acionamentos desnecessários.

Deve-se também acrescentar um estágio amplificador, com alto ganho, que possibilite a detecção com a menor variação de temperatura possível. Por fim, deve-se comparar o sinal de saída deste estágio com uma referência. Tal comparação deve ser feita positiva e negativamente, pois o sinal do sensor pode variar com qualquer polaridade.

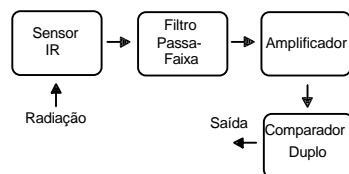


Figura 4. Diagrama de Blocos do Sensor de Presença.

Seguindo o que foi exposto anteriormente, para atender todas estas especificações, o projeto do sensor seguiu o diagrama de blocos apresentado na Fig. 4.

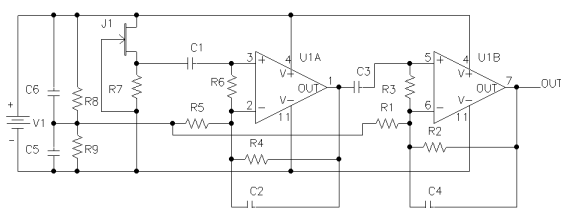


Figura 5. Sensor Implementado.

O circuito utilizado no tratamento do sinal proveniente do sensor PIR é mostrado na Fig. 5. O sinal de saída deste estágio é aplicado a entrada AN0 do microcontrolador. Como a tensão de alimentação do microcontrolador é de 5V e a saída do sensor pode atingir 12V, utilizou-se um divisor resistivo simples para adequar os níveis de tensão. Tal divisor deve ser dimensionado de tal maneira que forneça os valores de tensão adequados sem sobrecarregar o operacional de saída do amplificador, nem ultrapassar uma impedância de entrada de 10kΩ para o microcontrolador, o que pode levar a instabilidade na conversão A/D.

4 O Controle de Luminosidade

Neste item, apresentam-se os passos seguidos para a implementação do controlador automático de luminosidade, empregando para tal o mesmo microcontrolador utilizado na detecção de movimento.

O conversor utilizado para alimentar as lâmpadas é um inversor meia ponte com filtro ressonante (Fig. 6). Desta forma, para que se possa obter a variação da potência entregue a lâmpada, optou-se pela variação da frequência de comutação do inversor. Ao microcontrolador, caberá a interpretação e processamento da informação enviada pelo sensor de luminosidade, de modo que possa atuar diretamente sobre o sinal de acionamento dos transistores.

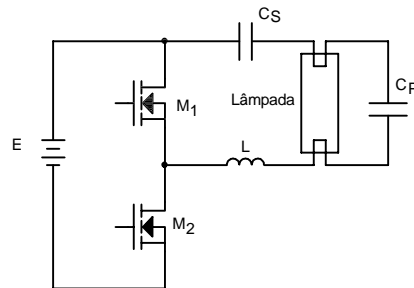


Figura 6. Inversor.

A leitura da luminosidade ambiente é feita por um simples LDR, embora este não seja extremamente preciso devido a variação da resistência com a temperatura (André, 1997). Para que o microcontrolador interprete tal informação, esta é primeiramente convertida para o domínio digital através de um conversor analógico-digital. Feito isto, o sistema fará a comparação dessa informação com uma referência, previamente estabelecida. Isso evita que os limites de operação sejam ultrapassados e, conseqüentemente, permite a geração do sinal de acionamento na frequência desejada.

Na Fig. 7 apresenta-se um diagrama de blocos que representa o funcionamento do circuito que realiza o controle da luminosidade.

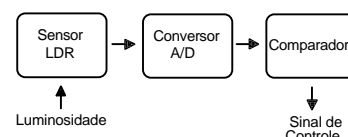


Figura 7. Diagrama de Blocos do Sensor de Luminosidade.

Assim como ocorre com o sensor de presença, também o sensor de luminosidade deve operar de tal forma que o sinal aplicado na entrada A/D do microcontrolador (AN1) não ultrapassasse o limite de 5V.

Por fim, para que se pudesse atacar o gate dos MOSFET's do inversor a partir do microcontrolador, utilizou-se como interface o circuito integrado IR2110 que se adaptou perfeitamente a aplicação (International Rectifier, 1998).

As portas de saída do microcontrolador para o sinal de comando dos transistores são os três últimos pinos da porta B, RB7, RB6 e RB5, os quais deverão estar conectados diretamente aos pinos HIN, SD e LIN do IR2110, respectivamente.

Na Fig. 8 apresenta-se um diagrama onde estão representados os principais componentes do inversor e do controle de luminosidade.

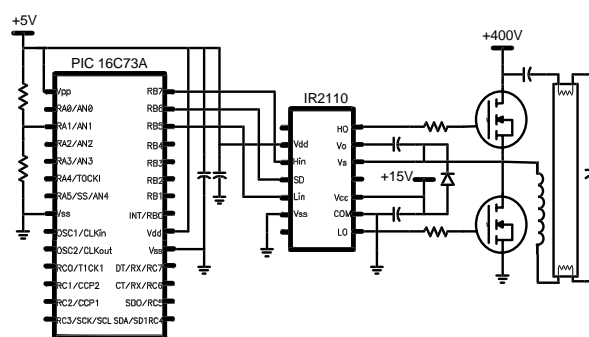


Figura 8. Diagrama Esquemático do Inversor e do Controle de Luminosidade.

5 Software

Neste item são apresentados os passos seguidos na elaboração do software do microcontrolador. Tal estudo é dividido em três estágio distintos, inicialmente apresenta-se o software desenvolvido para o sensor de presença, logo após o software para o sensor de luminosidade e finalmente a integração entre eles.

5.1 Software Para o Sensor de Presença

Inicialmente, ao programa foi imposta a restrição de não utilizar nenhum recurso não presente nos microcontroladores PIC16C710 ou PIC12C671, aos quais o programa pode ser portado a fim de reduzir os seus custos. Assim, todas as temporizações são geradas pelo timer 0.

Alguns itens, como por exemplo a possibilidade de ajuste pelo usuário do tempo que deve ser mantido ativo o sensor, ainda não foram implementados, mas em breve o serão.

5.2 Software Para o Sensor de Luminosidade

Aqui, faz-se a apresentação das técnicas utilizadas para a implementação do software de controle do inversor, bem como a descrição detalhada de suas principais partes.

Primeiramente, para a geração do sinal de acionamento numa determinada frequência, é preciso que o programa faça a “setagem” e a “resetagem” dos pinos de saída em intervalos específicos de tempo. No entanto, para a marcação desse tempo, é necessária a utilização de um elemento contador, ou mais especificamente, um timer.

Esse dispositivo, interno ao microcontrolador, incrementa seu valor após a execução de cada instrução, gerando um sinal de interrupção ao ultrapassar seu limite superior. Como o tempo de execução de cada instrução é conhecido e o valor inicial do timer é configurável, pode-se programar o sistema para realizar a inversão do sinal a cada finalização do timer, e simplesmente alterar o valor inicial deste quando se desejar alterar a frequência do sinal de saída.

Por fim, deve-se lembrar que, como o timer é de 8 bits, este só pode contar até 256 (de 0 a 255).

Para este programa foi estipulada uma faixa de variação para a frequência de comutação do inversor que vai de 19,5kHz a 49,5kHz. O limite mínimo foi especificado no limite superior da faixa audível a fim de evitar problemas com ruído e o limite superior é suficientemente grande para garantir uma boa faixa de variação da luminosidade.

Outra particularidade importante a ser considerada é quanto à forma de ignição das lâmpadas fluorescentes. O processo de inicialização do inversor é feito através de três etapas:

- 1 – Inicialmente, para a partida da lâmpada, o inversor opera como frequência máxima (49,5 kHz), durante 245 ms. Durante este intervalo de tempo processa-se o aquecimento dos filamentos da lâmpada
- 2 – Na etapa seguinte, a frequência de comutação é diminuída gradualmente até o valor mínimo de 19,5kHz. Este processo de mudança de frequência dura 155 ms.
- 3 – A terceira etapa do processo de ignição corresponde ao intervalo de tempo de 2 segundos em que o inversor é mantido operando em frequência mínima, garantindo dessa forma potência máxima na lâmpada, o que deve levar ao acendimento da mesma.

Ao término deste intervalo, o valor da frequência de comutação passa a ser dependente do sinal enviado pelo sensor de luminosidade.

5.3 Software Combinando os Sensores de Presença e o de Luminosidade

Uma vez concluídos em separado os controles para os dois sensores, torna-se possível então realizar sobre os mesmos um processo de integração, a fim de tornar possível a operação simultânea de ambos (Bova, 1999).

Inicialmente deve-se verificar o grau de relacionamento entre os controles, para então determinar a sequência correta de operações a ser percorrida pelo programa, sem executar funções desnecessárias. Como exemplo, pode-se citar a aquisição de dados

para o controle de luminosidade que torna-se desnecessária quando não há detecção da presença de pessoas no ambiente a ser iluminado.

É preciso também analisar as características isoladas de cada processo, ou seja, suas temporizações, forma de aquisição de dados, tipo de sinal de saída, etc., a fim de procurar suas propriedades comuns.

Feitas estas considerações, deve-se então inferir a respeito do funcionamento global do sistema e determinar, dessa forma, sua estrutura. Assim, para os processos em questão, pode-se ter seu comportamento lógico representado através do fluxograma mostrado na Fig. 9.

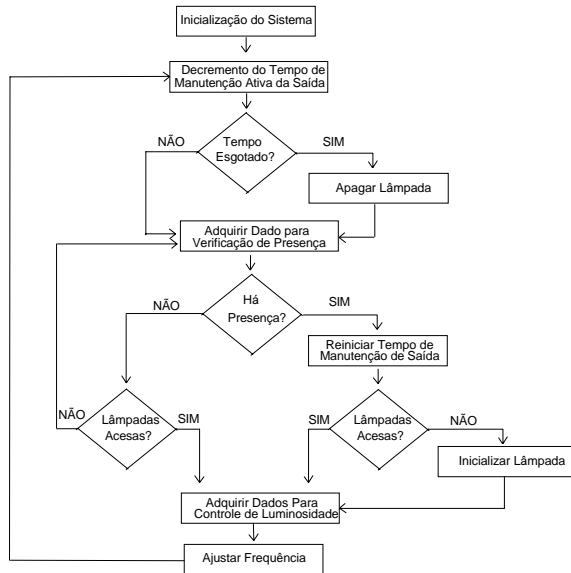


Figura 9. Diagrama Esquemático do Inversor e do Controle de Luminosidade.

6 Resultados Experimentais

Baseado no que foi anteriormente exposto, um protótipo foi implementado em laboratório e suas principais formas de onda são apresentadas a seguir.

Na Fig. 10 são apresentadas a tensão e a corrente em uma das lâmpadas em regime. Como pode-se observar, devido a atuação do controle de luminosidade, a frequência de comutação é levemente superior a frequência mínima, o que sugere uma potência abaixo da nominal aplicada à lâmpada. Neste caso, a potência é de aproximadamente 35W.

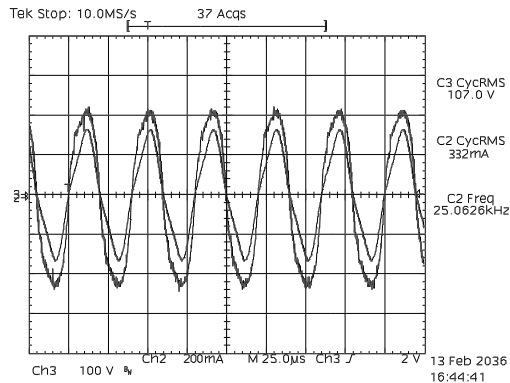


Figura 10. Tensão e Corrente em Uma das Lâmpadas.

Na Fig. 11 apresenta-se o sinal de comando de um dos transistores do inversor durante todo o transitório de partida, onde estão indicadas as etapas de ignição e a entrada em regime permanente.

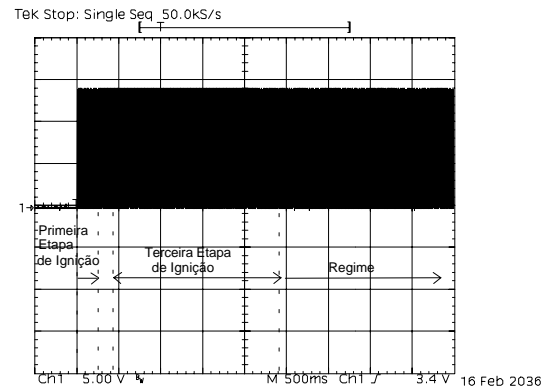


Figura 11. Transitório de Partida do Inversor.

Nas Figs. 12, 13 e 14 o mesmo sinal de comando da Fig. 11 é apresentado em detalhe, permitindo a visualização dos diferentes valores de frequência impostos pelo microcontrolador. Os sinais são apresentados na seguinte ordem:

- 1 – primeira etapa de ignição, com frequência máxima, quando processa-se o pré aquecimento dos filamentos;
- 2 – terceira etapa de ignição, com frequência mínima, quando deve ocorrer o acendimento da lâmpada;
- 3 – sistema em regime, quando após a finalização do processo de ignição, a frequência de comutação passa a ser dependente do sinal enviado ao microcontrolador pelo LDR.

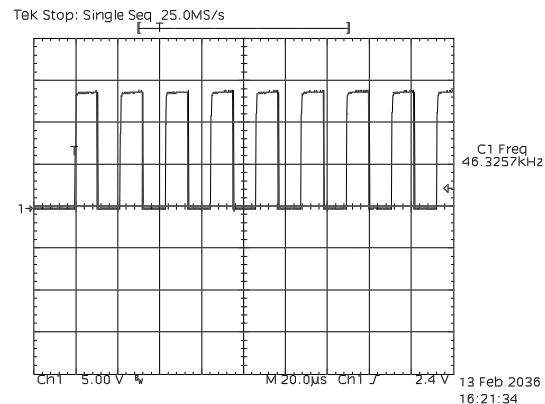


Figura 12. Primeira Etapa de Ignição em Detalhe.

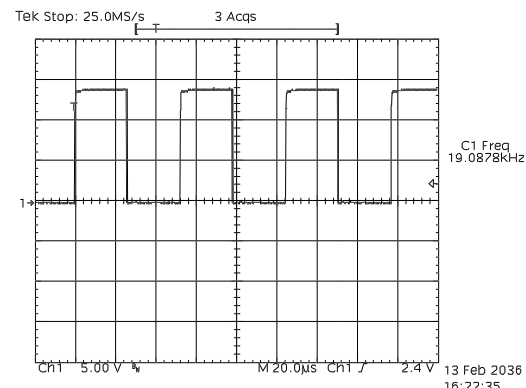


Figura 13. Terceira Etapa de Ignição em Detalhe.

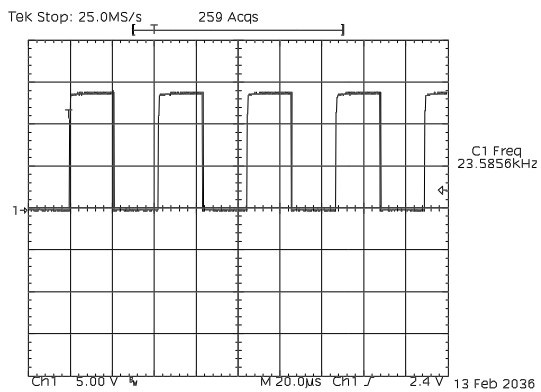


Figura 14. Sinal de Comando com o Sistema em Regime Permanente..

Finalmente, na Fig. 15, apresenta-se uma foto do protótipo implementado em laboratório, onde estão identificados alguns dos principais componentes.

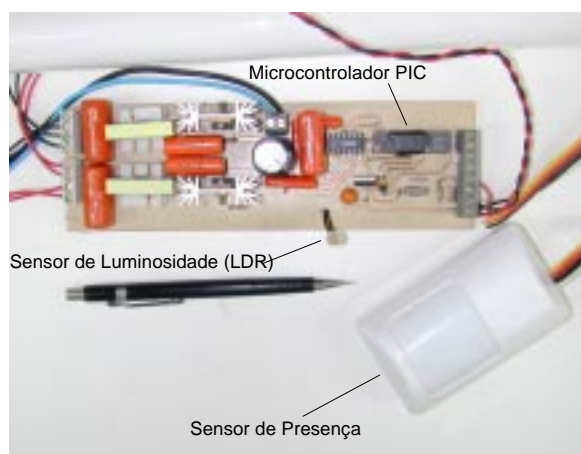


Figura 15. Foto do Protótipo.

7 Conclusão

Neste artigo apresentou-se um reator eletrônico para duas lâmpadas baseado em um inversor meia-ponte ressonante controlado por um microcontrolador PIC 16C73A.

As principais características propostas como objetivo deste trabalho foram alcançadas, pois o microcontrolador mostrou-se eficiente no comando do inversor. Sua utilização representa grande simplificação do comando, já que consegue substituir uma grande quantidade de componentes que seriam necessários para todas as tarefas do comando. Além disso, permite grande flexibilidade, pois alterações podem ser feitas através da programação, sem que sejam necessárias mudanças topológicas.

Como última consideração com relação ao microcontrolador, deve-se lembrar que, com a tendência de fabricação em larga escala deste componente, o preço final do reator será menor do que se fosse montado utilizando-se circuitos integrados discretos.

O controle automático de presença, que permite o desligamento do reator quando não é detectada a presença de pessoas no ambiente a ser iluminado via sensor PIR, e o controle da luminosidade, monitorada por um LDR via variação da frequência de comuta-

ção, mostraram-se eficazes, proporcionando a possibilidade de grande economia de energia elétrica.

Está sendo estudada uma rotina para permitir que o usuário possa intervir no funcionamento do controle do conversor, permitindo que este iniba ou não o funcionamento de cada um dos sensores, faça o ajuste manual do nível de luminosidade e do tempo de funcionamento do reator após a última detecção de presença.

Por fim, mesmo não sendo alvo deste estudo, um estágio de entrada com correção do fator de potência, com tensão de entrada de 90V a 240V já foi implementado utilizando um conversor Boost controlado por um circuito integrado de baixo custo.

Referências Bibliográficas

- Alonso, J. M.; Ribas, J.; Calleja, A. J.; López, E. e Rico, M (1997). An intelligent neuron-chip-based fluorescent lamp ballast for indoor applications, IEEE Industry Applications Society, Annual meeting, pp. 2388-2394. – New Orleans, Louisiana.
- André, A. S. (1997). Reator eletrônico para duas lâmpadas fluorescente de 110W com controle de luminosidade e alto fator de potência, Dissertação (mestrado em eng. elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- Boava, C. (1999). Controle de Luminosidade, Relatório interno – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Brignell, J e White, N.; University of Southampton (1996). Intelligent Sensor Systems, Institute of Physics Publishing.
- Fresnel Technologies inc., Catalog of Motion detector lenses.
- International Rectifier inc (1998), document number PD-60065A. IR2110E6 datasheet.
- Microship Technology inc, document n. DS39016a. PIC16C7X datasheet.
- Okude, A.; Ueoka, A.; Kambara, Y. e Mitani M. (1992). Development of an electronic dimming ballast for fluorescent lamps. Journal of the Illuminating Engineering Society, Winter, PP: 15-21.
- Wiggers, R. H. (1998). Detecção de movimento, Relatório interno – Universidade Federal de Santa Catarina.