



# Sistema eletrônico para iluminação com LEDs controlado por microcontrolador

## *ELECTRONIC SYSTEM FOR LIGHTING WITH MICROCONTROLLER-CONTROLLED LEDS*

Bruno Miguel Holler,

Claudinor Bitencourt Nascimento

### RESUMO

Este trabalho apresenta os procedimentos realizados para tornar o protótipo de um conversor de estágio único baseado no retificador *boostPFC* (*Power Factor Correction*) empregando *charge-pump*, em um produto comercializável. Para alcançar este objetivo foi realizada a seleção de um microcontrolador de baixo custo capaz de realizar o controle em malha fechada do conversor. A escrita do código em linguagem C para o microcontrolador foi realizada no *software* MPLABX, disponibilizado pela Microchip Technology. Será ainda realizada a implementação de um circuito *bootstrap* para o chaveamento dos interruptores do inversor meia ponte e a substituição do resistor *shunt* por um sensor de efeito Hall. O conversor deve apresentar entrada universal de tensão de alimentação (90-270 V), e para isso é utilizado a variação de frequência de comutação dos interruptores, sendo assim a frequência de comutação varia de 30 KHz a 250KHz. Serão apresentadas as metodologias utilizadas para a realização do projeto bem como os resultados obtidos em cada etapa.

**Palavras-chave:** Conversor de estágio único, LED, microcontrolador.

### ABSTRACT

This work presents the procedures performed to turn the prototype of a single-stage converter based on the *boostPFC* (*Power Factor Correction*) rectifier using *charge-pump*, into a marketable product. To achieve this goal, a low-cost microcontroller capable of performing the closed-loop control of the converter was selected. The code writing in C language for the microcontroller was performed using MPLABX software, provided by Microchip Technology. A bootstrap circuit will be implemented for switching the half bridge inverter switches and the replacement of the shunt resistor by Hall effect sensor. The converter must have a universal supply voltage input (90-270 V), and for that it uses the switching frequency variation of the switches, so the switching frequency varies from 30 KHz to 250KHz. The methodologies used to carry out the project will be presented, as well as the results obtained at each stage.

**Keywords:** Single stage converter, LED, microcontroller.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a iluminação é responsável pelo consumo de 19% da energia produzida mundialmente e a modernização de sistemas de iluminação trazem em média 30% de redução nos custos operacionais (OSRAM, 2020). Assim é possível perceber o impacto que o desenvolvimento de novas tecnologias, mais especificadamente relacionadas à iluminação causam na sociedade. Com a descoberta do LED (*lighting*



*emitting diode*) emissor de luz azul e o aumento expressivo de sua vida útil, além da redução de custo desse componente, a tecnologia passa a ser uma das principais fontes utilizadas na iluminação em geral (BNDES, 2017).

Para o correto funcionamento do LED é importante que se tenha o controle da tensão aplicada sobre o mesmo, para que a corrente que circula pela lâmpada não interfira nas características de iluminação, pois a intensidade da iluminação é proporcional a corrente que circula pela lâmpada (BOLLOUGH, 2003).

A necessidade do controle de tensão nos LEDs, faz com que os mesmos necessitem de conversores estáticos de energia elétrica responsáveis pelo acionamento dessas lâmpadas. As topologias mais comuns para acionar as lâmpadas LED são *buck*, *boost*, *buck-boost*, *zeta*, *cúk* e SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*), onde cada um possui características específicas (DEMIAN, 2007).

Quando aplicado à iluminação LED o conversor deve atender algumas normas como a IEC 61000-3-2 classe C, principalmente em relação a correção do fator de potência e distorção harmônica da corrente de entrada (ARAUJO, 2020).

Visando atender as características necessárias em um conversor CA-CC para alimentação de lâmpadas LED, pode-se citar como exemplo as topologias propostas por (FONSECA, *et al.* 2017) e (MOTTA, 2018), cujo objetivo é alimentar uma carga LED, apresentando alto rendimento, baixa ondulação na corrente dos LEDs e baixa distorção harmônica. Tendo em vista a importância do desenvolvimento de conversores de alto rendimento, como podemos diminuir o custo de produção dos mesmos para torna-los atrativos comercialmente?

As atividades desenvolvidas nesta iniciação científica estão relacionadas a implementação de um conversor estático de energia elétrica de alto rendimento e baixa distorção harmônica, com foco em aplicação nos sistemas eletrônicos de iluminação. O principal objetivo é transformar o protótipo do conversor em um produto comercializável, para isso será realizada as adaptações necessárias para que o sistema seja completamente alimentado pela rede elétrica, sem a necessidade de fontes de bancada, além da substituição do DSP (*Digital Signal Processor*), utilizado no controle em malha fechada e geração do sinal PWM (*Pulse Width Modulation*), por um microcontrolador de baixo custo.

## 2 MÉTODO

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste projeto foram:

PIC18F25K20: Microcontrolador da família 18F, apresenta 28 terminais e possui modulo A/D integrado com 10 bits de resolução, módulo PWM e oscilador interno de 16MHz. Sua alimentação pode variar de 1,8V a 3,6V.

MPLAB X IDE: Software editor e ambiente de programação para desenvolvimento de aplicações em sistemas embarcados, utilizando PIC Microchip, MCUs e dsPIC. Disponibilizado pela Microchip Technology, apresenta ambiente de programação, simulação e gravação de microcontroladores.

PICKIT3: Depurador/Programador in-circuit da Microchip.

LM5109: Driver para acionamento de mosfet. Apresenta tensão de bootstrap de até 118Vdc.

ACS712: Transdutor de corrente baseado no efeito Hall. Possibilita a leitura de corrente contínua e corrente alternada. Sua saída analógica fica grampeada em 2,5V e apresenta resposta linear. Tensão de alimentação 5V.

Utilizando a plataforma MPLAB X IDE foi desenvolvido o programa a ser embarcado no PIC18F25K20. O código deve realizar o controle do conversor estático de energia elétrica, e para isso é necessário utilizar o conversor A/D do microcontrolador que será responsável por converter a corrente de saída do conversor, adequando-a para ser utilizada nas operações matemáticas do código, também será necessária a utilização de um módulo PWM, que irá gerar os pulsos na frequência e com o ciclo de trabalho ideal para o correto funcionamento do conversor. Através das equações de controle e do valor da corrente de saída a frequência de chaveamento dos interruptores pode variar de 30KHz até 250KHz. O código será embarcado utilizando o PICKIT3.

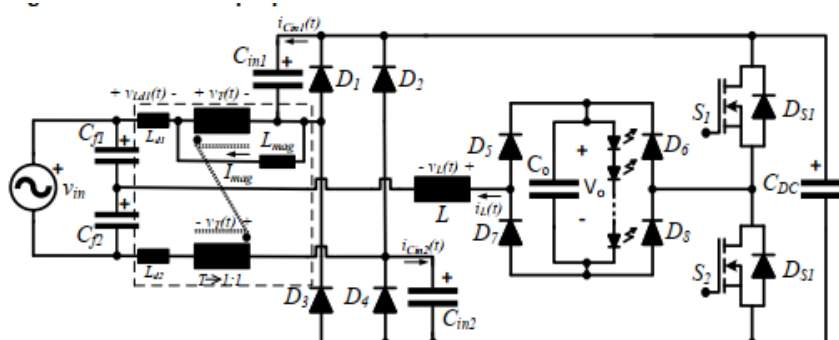
O protótipo do conversor possuía um resistor *shunt* para medição da corrente de saída, então buscou-se a substituição do mesmo por um sensor de efeito Hall, o ACS712.

Para realizar a ação de chaveamento dos interruptores do inversor meia ponte do conversor estático de energia elétrica, utilizou-se o conceito de *bootstrap* a partir do CI LM5109.

### 3 RESULTADOS

A topologia utilizada nesta iniciação científica é representada na Fig. 1. O estágio de entrada é composto por um transformador Lin e dois capacitores Cf1 e Cf2 que tem a função de filtro para os harmônicos de corrente em alta frequência, neste estágio ainda existe uma ponte retificadora de onda completa. A topologia conta com dois capacitores Cin1 e Cin2, que atuam em ressonância com o indutor L, caracterizando o conceito de charge-pump. Os capacitores charge-pump tem a finalidade de limitar a tensão de barramento CC e de fornecer energia ao LED quando os níveis da tensão de entrada se aproximam de zero, dessa forma é obtida uma menor ondulação na corrente do LED. O capacitor de barramento Cdc tem a função de filtrar as ondulações da tensão de barramento, e atua quando a tensão de entrada é próxima ao seu valor de pico. O inversor meia ponte composto pelos interruptores S1 e S2 geram uma forma de onda alternada, cuja frequência dependem da frequência de chaveamento dos mesmos, para garantir corrente contínua na alimentação do LED é necessário a implementação de uma ponte retificadora de onda completa composta pelos diodos D5 a D8, juntamente com o capacitor Co que atua como filtro. Assim é possível obter baixa ondulação na corrente do LED (ARAUJO, 2020).

Figura 1 – Topologia conversor de estágio único.



Fonte: ARAUJO, 2020



Para iniciar a programação do microcontrolador é necessário definir o modelo de microcontrolador que será utilizado, neste trabalho devido as necessidades de baixo custo, módulo PWM e módulo de conversão A/D, optou-se pelo PIC18F25K20.

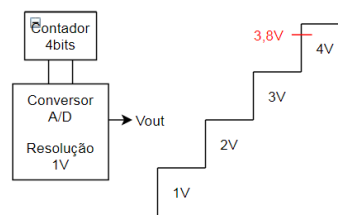
No MPLAB X IDE é necessário criar um novo projeto e selecionar o modelo do microcontrolador, em seguida através da aba *Configuration Bits* configurar o microcontrolador da forma que melhor atende as necessidades, nesta etapa configura-se parâmetros como oscilador, ativação do pino MCLR, entre outros.

Para este código a única biblioteca necessária é a biblioteca padrão “xc.h”, que disponibiliza as informações do microcontrolador ao compilador. Após a inserção da biblioteca podemos iniciar a declaração das variáveis utilizadas no código.

O microcontrolador deverá fazer a conversão do valor que o sensor ACS712 está indicando, este valor representa a corrente de saída do conversor que será controlada a partir da variação da frequência. Sabendo disso será necessário configurar o módulo A/D para fazer a conversão, o módulo PWM para gerar os pulsos e o módulo de interrupções.

A conversão A/D depende da resolução que o conversor possui. Como exemplo consideremos um conversor de 4 bits para realizar a conversão de um sinal de 0 a 4V de uma fonte. Um contador inicia a contagem até que o valor desta contagem seja maior ou igual ao valor da fonte, esta comparação é feita através de um circuito comparador. Supondo que a tensão da fonte seja 3,8V, o conversor indicará 4V. A Fig. 2 ilustra o exemplo.

**Figura 2 – Conversão A/D.**



**Fonte: Autoria Própria**

A função *Config\_ADC()* foi criada e é responsável por configurar as especificações do conversor A/D, onde *ADCON0* seleciona o canal utilizado para a conversão, *ADCON1* define a tensão de referência para a conversão, que neste caso será a própria tensão de alimentação do microcontrolador e *ADCON2* define a precisão da conversão (10 ou 8 bits) e a frequência utilizada na amostragem. O comando *ANSEL* define se o terminal será digital ou analógico, e o comando *TRIS* irá definir se o terminal será configurado como entrada ou saída de dados.

A interrupção é um chamado realizado em meio a execução do programa, este chamado interrompe a execução, salva as variáveis e o endereço no qual a execução foi interrompida, após isso a rotina da função interrupção é executado, como ilustra a Fig. 3.

A função *config\_interrupt()* foi criada e é responsável por configurar os parâmetros da interrupção, que é necessária para realizar o controle do conversor. *INTCON* seleciona qual o tipo de interrupção (global ou prioritária) e qual o gatilho para a interrupção (timer 0 ou ação externa). *T0CON* configura o timer 0. *OSCCON*



configura o oscilador interno e o ativa como fonte de clock do microcontrolador. RCON habilita as interrupções prioritárias.

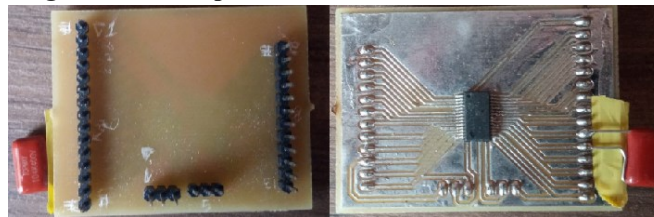
A função *config\_pwm()* foi criada e é responsável por configurar o módulo PWM. PR2 configura o período e CCP1L o ciclo de trabalho do sinal PWM. T2CON habilita o timer 2 que é utilizado pelo sinal PWM. CCP1CON define a forma do sinal PWM, como complementar ou não. PWM1CON configura o tempo morto dos pulsos. PIR1 desabilita o timer 2 enquanto este é configurado e habilita novamente no fim da configuração.

A função *Init\_var()* foi criada e inicializa todas as variáveis utilizadas no código, a função *main()* é a função principal e faz a chamada de todas as funções de configurações e então entra em um loop.

Na função *\_\_interrupt(high\_priority) adc()* é realizada a conversão A/D, o valor desta conversão é adequado através de operações matemáticas e então utilizado na equação de controle do conversor, a resposta destas equações são utilizadas na definição da frequência dos pulsos de PWM.

Feita a programação, com a finalidade de realizar os testes, foi elaborada uma placa de circuito impresso para o microcontrolador, com o objetivo de facilitar a programação e em primeiro momento não ser necessário a alteração do layout do protótipo do conversor. A placa é ilustrada na Fig. 3.

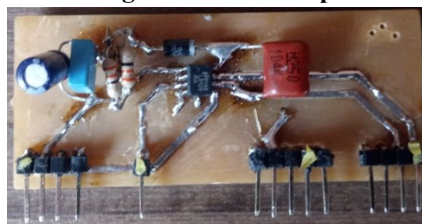
**Figura 3 – Placa para microcontrolador PIC18F25K20.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Para não ser necessário alteração da placa do conversor em fase de testes foi desenvolvida uma placa de circuito impresso para o circuito bootstrap, essa com as mesmas características físicas do driver utilizado em fase de validação da topologia (dro100s25a), como ilustrado na Fig. 4.

**Figura 4 – Bootstrap.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Os resultados obtidos com a utilização do circuito bootstrap não foram satisfatórios, mesmo com as especificações do componente atendendo as necessidades do projeto. Com o circuito de potência sem carga o bootstrap atende as necessidades, realizando o correto chaveamento dos interruptores, porém quando a carga é conectada e o conversor demanda potência na saída os pulsos gerados sofrem uma perturbação que faz com



que os dois interruptores entrem em condução juntos no momento da comutação, criando um curto circuito, comumente chamado de curto-circuito de braço.

#### 4 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou as adaptações necessárias realizadas em um conversor estático de energia elétrica de alto rendimento e baixa distorção harmônica para torna-lo um produto comercial, e com baixo custo. As principais alterações foram a utilização de um microcontrolador de baixo custo, implementação de um circuito bootstrap e troca do resistor shunt por um sensor de efeito Hall. Os objetivos não puderam ser atingidos devido ao problema encontrado com o circuito bootstrap, porém a implementação do microcontrolador de baixo custo e sensor hall foram finalizadas. Como continuidade deste projeto, os próximos passos seriam o estudo para concluir qual o real problema do circuito bootstrap e a elaboração de um conversor flyback para a alimentação dos circuitos do sensor de efeito Hall e do microcontrolador, assim alcançando o objetivo final.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a instituição UTFPR pelo apoio e Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica; Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Claudinor Bitencourt Nascimento por todo o suporte.

#### REFERÊNCIAS

- ARAUJO, Leticia. **Conversor de Único Estágio com Características de Fonte de Corrente para Acionar LEDs de Potência**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.
- BNDES, **Iluminação LED: principais benefícios**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/iluminacao-led>. Acesso em: 22 jul 2021.
- BULLOUGH, J. D. **Lighting Answers: Led Systems**. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, Issue 3, 2003.
- DEMIAN, A. E; et al. **Micontrroller-Based Quadratic Buck Converter Used as LED Lamp Driver, Power Electronics and Aplications**, 2007 European Conference on. vol., no., p.2640,2644, 15-19 June 2007.
- FONSECA, Z. P. *et al.* **Single-Stage High Power Factor Converters Requiring Low DC-Link Capacitance to Drive Power LEDs**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, v. 64, n. 5, pp. 3557-3567.
- MOTTA, L. C., AGOSTINI, E., NASCIMENTO, C. B. **Single-Stage Converter Based on the Charge-Pump and Valley-Fill Concepts to Drive Power LEDs**. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2018, v. 6, n. 3, pp. 1131-1142.
- OSRAM. Otimização da iluminação com baixo consumo de energia. Disponível em: <https://www.osram.pt/cb/referencias/referencias/index.jsp>. Acesso em: 22 jul. 2021.