

CONVERSOR DE POTÊNCIA MICROPROCESSADO COM ACIONAMENTO POR ÂNGULO DE FASE

MARCELO SANTOS MORGADO DA COSTA; FELIPE VESENICK RADEL;
RAFAEL MAGALHÃES SALES; GABRIEL FIGUEIREDO SCHIMITZ; MARCELO
ESPOSITO

Universidade Federal de Pelotas – engesposito@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Conversores de potência são equipamentos destinados para o controle de potência sobre cargas resistivas e indutivas.

Gragadores são conversores de potência estáticos que tem a função de variar o valor eficaz de tensão de uma rede alternada. Estes se caracterizam por colocarem a carga conectada diretamente com a fonte, sem tratamento intermediário de energia. São principalmente empregados em sistemas de controle de temperatura, velocidade de motores de indução e intensidade luminosa.

Para controle da potência fornecida à carga através de gradadores, destacam-se dois métodos: modulação por ângulo de fase e modulação por ciclos inteiros. No presente trabalho foi utilizado o método de controle por ângulo de fase.

Aqui será abordado apenas a modulação por ângulo de fase, pois foi o método utilizado para realização do trabalho. Na modulação por ângulo de fase, o acionamento dos tiristores se dá a cada semiciclo da rede. A modulação acontece ligando o tiristor no ângulo que corresponde ao percentual de potência elétrica definido pelo sinal de entrada do controlador de potência. O desligamento acontece na próxima passagem por zero. É repassada para a carga apenas uma parte de cada semiciclo. Por exemplo, para uma potência de 50 %, definida pelo sinal de entrada, o tiristor é acionado em 90° e desliga naturalmente (para cargas resistivas) em 180° (passagem por zero), conforme apresentado na Figura 1 (a). Na Figura 1 (b) são apresentados outros percentuais de potência.

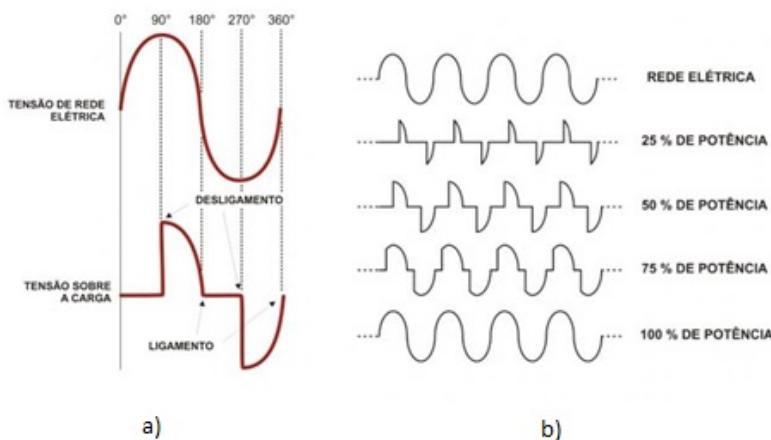


Figura 1 – (a) Exemplo de acionamento para 50% da potência e (b) exemplos de acionamentos por ângulo de fase.

O uso do microcontrolador no disparo dos triacs é um assunto discutido com interesse e pouca literatura tem sido escrita a respeito, porque tal aplicação envolve temporizações precisas no controle do ângulo de disparo dos semicondutores.

2. METODOLOGIA

Utilizando o microcontrolador Arduino UNO foi possível projetar o controle de forma digital. Assim permitindo a recepção de sinais advindos de outros controladores. Onde o rduino UNO se torna parte integrante de um outro sistema de controle.

O circuito de sincronização com a rede consiste de um optoacoplador em sua região de saturação que permite a detecção da passagem por zero. Para o circuito de ataque à chave eletrônica é utilizado outro optoacoplador para amplificar o sinal que irá executar o disparo do tiristor. Os optoacopladores se fazem necessários para isolar o circuito da rede elétrica (220Vrms) do circuito eletrônico do microcontrolador, garantindo a segurança dos componentes e dos usuários.

A chave eletrônica selecionada para esta aplicação é o TRIAC. Este componente é um dispositivo de chaveamento que tem como característica principal a possibilidade de disparar ou chavear a tensão independente do fluxo de corrente, por isto é empregado para o controle em circuitos de corrente alternada.

O circuito de detecção de passagem por zero proporciona um degrau a cada semiciclo da rede, sendo os semiciclos positivos e negativos tratados por duas interrupções distintas na programação do microcontrolador. Através da borda de subida destes degraus, um temporizador interno é resetado, assumindo assim a passagem da rede elétrica pelo valor “zero”.

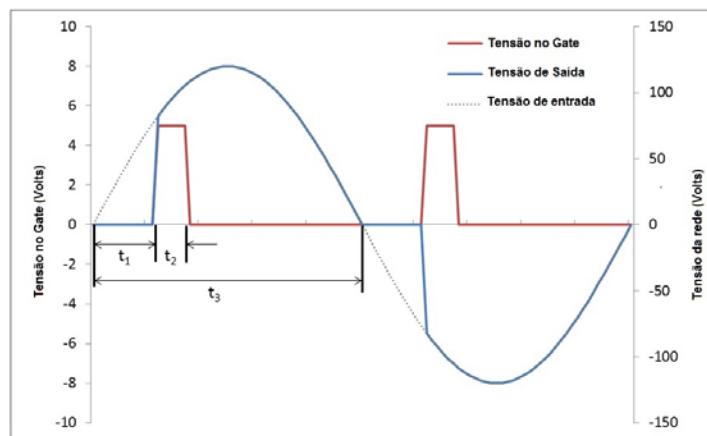


Figura 2 – Exemplo de controle de potência por ângulo de disparo.

Após a detecção da passagem por zero, a chave eletrônica permanece desligada durante um período de tempo (t_1). Quando o seu tempo em off estiver decorrido, o microcontrolador aciona o TRIAC com um pulso tensão em seu *gate* (mostrado em vermelho na Figura 2). Uma vez ligado, o triac permanece em condução até que a corrente de polarização cesse. Ele se desligará quando a corrente entre os terminais for zero, ou seja, na próxima vez que a onda fizer a passagem por zero, para o caso de carga resistiva. Em casos em que a carga tem propriedades indutivas, a condução pelo TRIAC só cessa quando finda a corrente armazenada no elemento indutivo. A duração do pulso exercido no *gate* (t_2) é determinado pela especificação do TRIAC utilizado, neste trabalho é utilizado um tempo de largura do pulso de disparo de 240 μ s.

A determinação de t_3 é feita da seguinte forma: o sinal CA é de 60Hz, o que significa que ele passa por zero, atinge o pico positivo, passa por zero novamente, atinge o pico negativo e retorna ao zero 60 vezes a cada segundo. O

período disto é $1/60$ ou $0,01667$ segundos. O tempo t_3 é a metade disto, ou seja, $8,33$ milissegundos.

O atraso no disparo do TRIAC é gerado por um *timer* interno no Arduino. O *timer* utilizado tem frequência de 16MHz . Utilizando uma divisão por 256 no *timer*, temos um incremento no contador deste timer a cada 16\mu s . Sendo assim, meio ciclo da onda de 60Hz proveniente da rede tem duração de $8,33\text{ ms}$ e é aproximadamente 520 incrementos no contador do *timer*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O atraso é computado no contador entre os valores 5 e 495 – devido a largura do pulso de disparo -, com atrasos mínimo de 80\mu s e máximo de 7920\mu s . Isto implica em uma potência máxima próxima a 99% e mínima de aproximadamente 5% , com resolução de $0,2\%$.

A sintonia do controlador PID iniciou-se com o método de Cohen-Coon e foi refinada analisando-se a resposta do sistema até que atingisse os resultados desejados.

Para validar os resultados, utilizou-se também, como forma de comparação, um conversor de potência analógico com acionamento por ângulo de fase.

A seguir podem ser conferidas algumas comparações entre os dados obtidos pelo conversor microcontrolado e pelo conversor analógico alterando-se a tensão no gate e consequentemente a potência fornecida na saída.

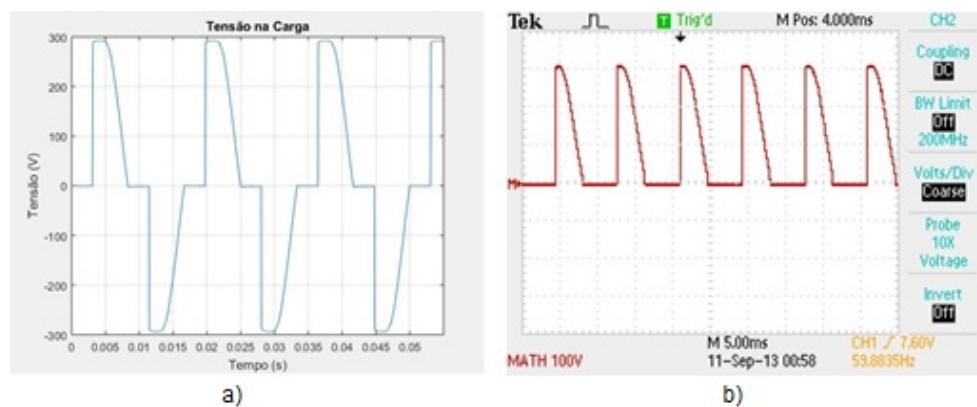


Figura 3 – (a) Forma de onda de tensão na carga para o conversor microcontrolado e (b) forma de onda do conversor analógico, variando-se a tensão de controle.



Figura 4 – (a) Forma de onda de tensão na carga para o conversor microcontrolado e (b) forma de onda do conversor analógico, variando-se a tensão de controle.

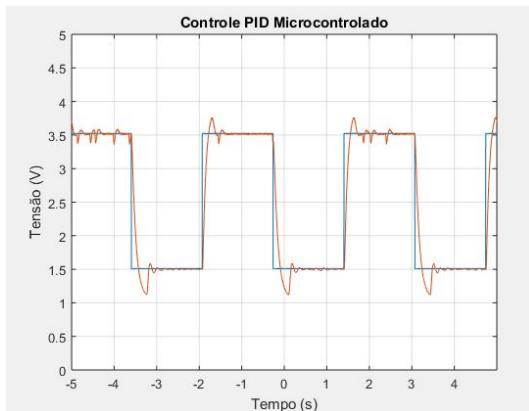


Figura 5 – Controle PID do conversor microcontrolado.

Na figura 6 observa-se a comparação do controlador projetado utilizando o microcontrolador e o controlador analógico utilizado como comparação de resultados.

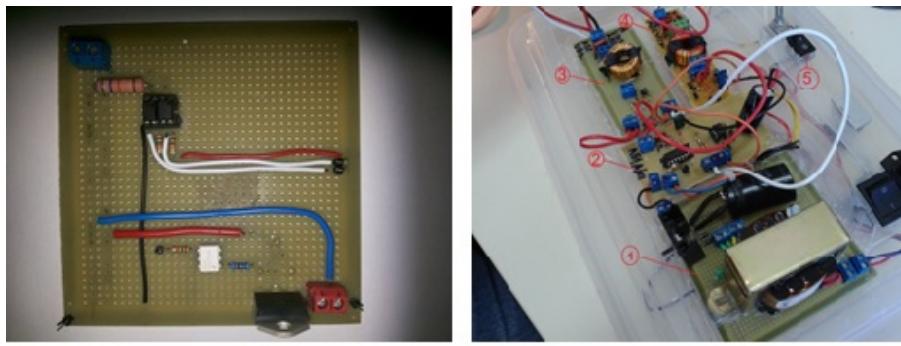


Figura 6 – (a) Protótipo do conversor microcontrolado e (b) conversor analógico utilizado.

4. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados na implementação prática do conversor evidenciaram de forma clara a diferença de robustez na implementação de um conversor analógico e de um conversor microcontrolado, além de que é possível a realização de um refinamento no código que será implementado de forma digital para que seja possível uma melhoria nos resultados obtidos, ao passo que para ser feito isto, de forma analógica, aumentaria ainda mais fisicamente o circuito empregado, no caso de implementação de um PID analógico.

Vale ainda vale salientar que o conversor analógico utilizado para comparação não utiliza realimentação, e caso utilizasse, necessitaria aproximadamente de, no mínimo, 19 amplificadores operacionais e de forma digital pode-se otimizar o conversor alterando os parâmetros do PID do controlador diretamente no código, obtendo assim melhores resultados.

Como trabalho futuro, está sendo projetado uma placa de circuito impresso que abrigará os componentes, inclusive o microcontrolador, para utilizar este conversor como um sistema embarcado e dedicado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO.CC. **AC Phase Control**. Acessado em 28 jun. 2015. Online. Disponível em: playground.arduino.cc/Main/ACPhaseControl