

## CONTROLE DE POTÊNCIA UTILIZANDO TÉCNICA DE MODULAÇÃO POR CICLOS INTEIROS

**GUSTAVO COLPES RIBEIRO<sup>1</sup>; HENRIQUE GONÇALVES ANDRADE<sup>2</sup>; MATEUS BECK FONSECA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – colpesgustavo@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – henriqueandrageg@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – beckfonseca@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

O controle do fluxo de energia entre dois ou mais sistemas elétricos é uma preocupação constante dos profissionais ao longo do desenvolvimento da engenharia. Para efetuar este controle, alguns componentes foram utilizados, tais como relés, contatores, reatores, retificadores, etc, sendo o diferencial de cada método, o rendimento que cada um emprega no tratamento de potências elevadas. (BARBI, 2006)

Contextualizando, uma das técnicas de controle de potência em cargas resistivas mais difundidas na indústria é aplicada no aquecimento de água em duchas eletrônicas. Os modelos atualmente empregados no mercado utilizam controle por ângulo de fase, utilizando estruturas conhecidas como *Gradadores*, as quais utilizam tiristores para que uma parcela dos semiciclos da rede elétrica seja transferida à carga. No entanto, é sabido que esta técnica gera problemas de distorção das correntes da rede elétrica, incluindo a presença de harmônicas acima da fundamental, cuja filtragem torna-se de difícil implementação devido ao alto valor das potências envolvidas e das dimensões físicas dos aparelhos. (ISERHARDT, 2014).

Uma alternativa para minimizar estes efeitos é a utilização da técnica de *Modulação por Ciclos Inteiros*, a qual não gera harmônicas de corrente acima da fundamental, melhorando substancialmente o sistema visto pela rede elétrica de alimentação. Com o objetivo de explorar uma implementação analógica utilizando componentes discretos (sem utilização de microcontrolador) deste circuito, visto que a construção digital é bastante difundida no meio acadêmico e nas disciplinas de Eletrônica de Potência e de Controle dos principais cursos de graduação em Engenharia Elétrica/Eletrônica do país.

### 2. METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre conceitos básicos de Eletrônica de Potência e Conversores Estáticos (BARBI, 2006). O estudo sobre os sistemas de aquecimento resistivo, revisão mercadológica sobre os tipos de circuitos eletrônicos implementados nos chuveiros eletrônicos comerciais, bem como nas soluções propostas pela comunidade acadêmica foram alvos de estudo (MARTINS, 2009). As normas de regulamentação da geração de conteúdo harmônico na rede elétrica como a IEC-61000 e a IEEE 519 foram analisadas para um melhor entendimento da qualidade e eficiência de energia requerida para bons projetos de aquecimento resistivo. (MARTINS, R.S.)

A modulação por ciclos inteiros consiste em comutar o semicondutor, neste caso um Tiristor, no momento em que o sinal da rede elétrica passa pelo valor zero e manter este estado por um número pré-definido de ciclos ( $T_{on}$ ) e então

bloquear o interruptor em outros ciclos ( $T_{off}$ ) de forma periódica ( $T$ ). Dessa maneira, a forma de onda da tensão imposta à carga deve estar de acordo com a da Figura 1.

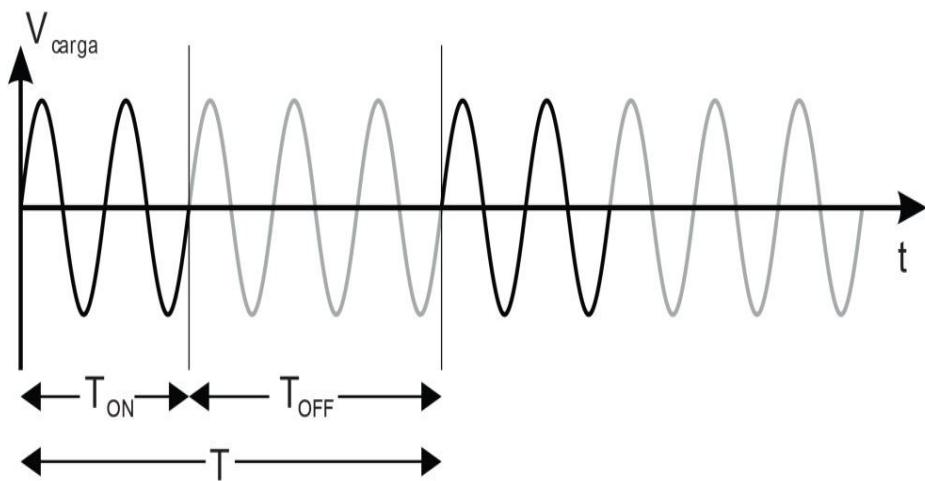


Figura 1- Operação da Modulação em Ciclos Inteiros. (ISERHARDT, 2014)

A estratégia de controle por ciclos inteiros utilizada neste projeto, consiste em aplicar a um *Flip-Flop* tipo D, um sinal PWM, do inglês *Pulse Width Modulation*, onde a variação da razão cíclica implicará na quantidade de ciclos da rede entregue à carga.

A frequência do PWM é uma divisão da frequência da rede elétrica de 60 Hz e este subcircuito foi projetado para uma frequência de 15Hz utilizando um circuito integrado LM555 na configuração astável com o desbalanceamento do ciclo de carga e descarga, ou seja, com a alteração da razão cíclica de 50% para qualquer valor desejado.

O sinal de *clock* do *Flip-Flop* são os pulsos de passagem por zero da rede elétrica, comumente conhecidos pelo termo em inglês *Zero Crossing*, gerados a partir de um circuito integrado optoacoplador 4N25, apresentado na Figura 2. Este circuito desempenha o papel da sincronização do sistema por ciclos inteiros com o sinal da rede elétrica, para que seja possível entregar a carga uma tensão sem recortes, com a quantidade de ciclos desejadas na forma senoidal pura.

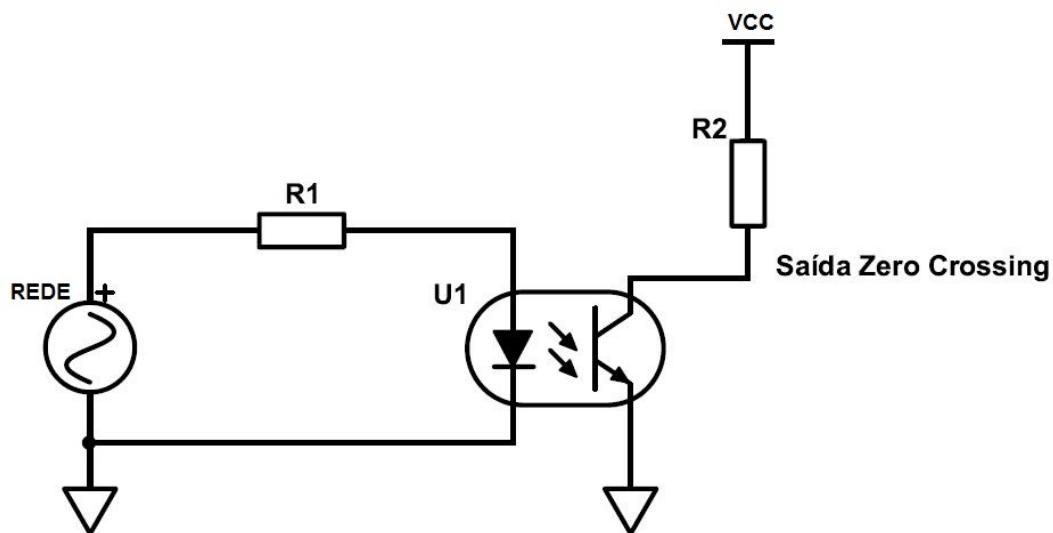


Figura 2 - Circuito Detector de Passagem por Zero (COLPES, G.C; ANDRADE, H.G.).

A saída do Flip-Flop será entregue a um outro circuito optoacoplador MOC3020, composto de um *optodiac* em seu estágio de saída, o qual acionará uma carga resistiva tanto no semicírculo positivo quanto no negativo da rede elétrica e também efetua a isolação da parte de potência com a parte de controle, como mostra a Figura 3.

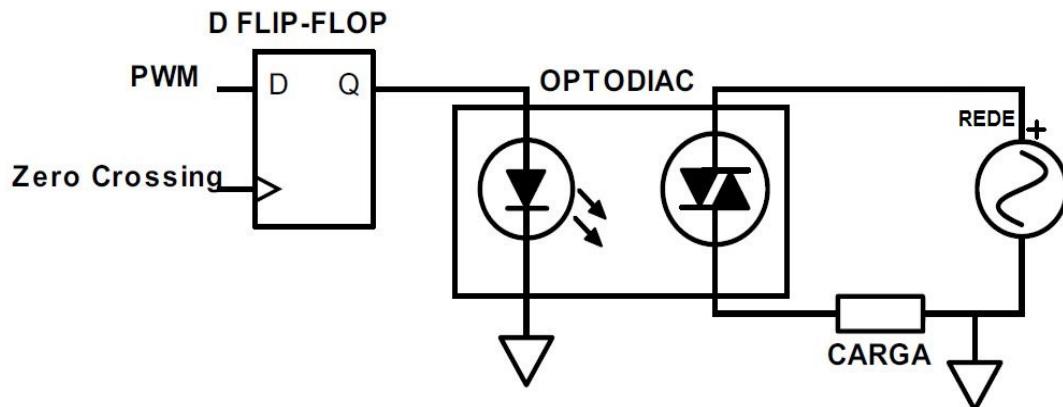


Figura 3 - Estágio de Saída do Sistema (COLPES, G.C.; ANDRADE, H.G.).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando um osciloscópio, os seguintes resultados para a tensão na carga e da Transformada de Fourier da saída foram obtidos através de medições e ensaios como mostram as Figura 4 e 5.

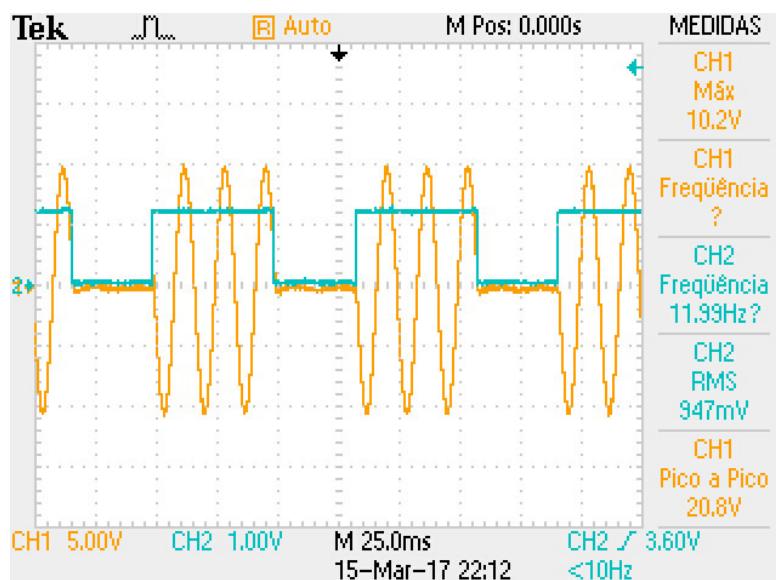


Figura 4 - Tensão na Carga para 3 ciclos da Rede Elétrica (COLPES, G.C.; ANDRADE, H.G.)

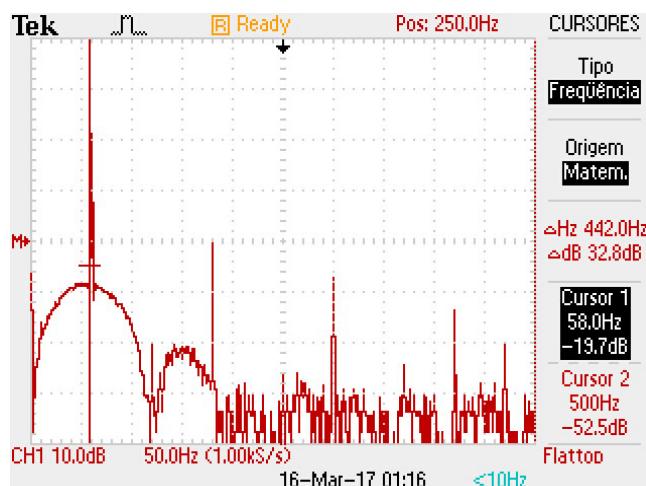


Figura 5 - Transformada de Fourier da Tensão na Carga para 3 Ciclos (COLPES, G.C.; ANDRADE, H.G.).

Através da Figura 6, é notório a presença da freqüência fundamental em 60Hz e harmônicas de amplitudes baixas, o que facilitaria a filtragem deste sinal, haja visto que haveria a necessidade da construção de um filtro de baixo custo.

#### 4. CONCLUSÕES

A produção deste material não apresentou dificuldade acima das já esperadas em trabalhos que envolvam pesquisa acadêmica e apresentação de material. Por fim resume-se o circuito de controle por ciclos inteiros seguindo o fluxo apresentado neste trabalho: Primeiro obtém-se um subcircuito PWM com frequência fixa que é uma divisão da frequência da rede, em um segundo momento concebe-se um subcircuito de detecção de passagem por zero da rede elétrica e então implementa-se um circuito com Flip-Flop tipo D que acionará um optoacoplador com *fotodiode* que por sua vez aplicará um número de ciclos inteiros à carga resistiva.

Realizando as medições necessárias, não foram observadas harmônicas de ordem elevadas na tensão de saída, portanto, caracterizando com êxito a estratégia de controle por ciclos inteiros, contemplando suas particularidades e características específicas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBI, I. **Eletônica de Potência**. Florianópolis: Editora do Autor, 2006.
- MOHAN, N. **Power Electronics**. New York: John Wiley & Sons Inc, 2003. 3v.
- ISERHARDT, M.R. **Modulação de Potência por Ciclos Inteiros: Técnicas de Atenuação de Flicker**. 2014. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa.
- DE OLIVEIRA JÚNIOR, C.J. **Controle Eletrônico de Potência em Aquecedores Elétricos de Passagem por Semi Ciclos Otimizados**. 2006. 70f. Dissertação(Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- MARTINS, R.S. **Aquecimento de Água usando Ciclos Inteiros**. 2009. 91f. Monografia (Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Programa de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.