



# ANÁLISE DE TÉCNICAS DE CONTROLE DIGITAL EM ATUADORES ELETROMAGNÉTICOS



Autores: Rafael Baptista Meneguetti (bolsista), Katia Lucchesi Cavalca (orientadora)

## FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Financiamento do projeto: CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

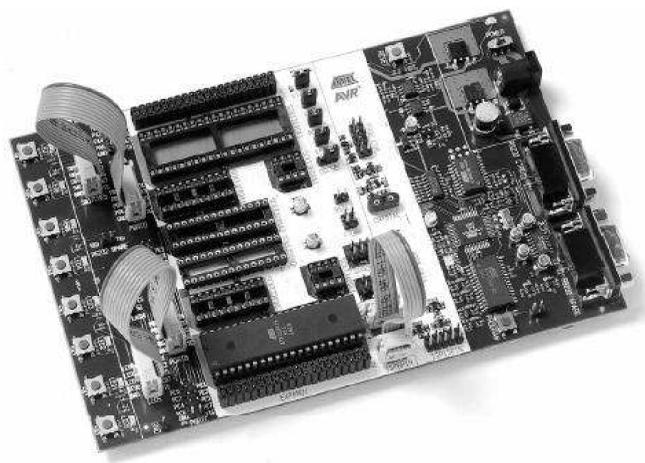
### Atuador Magnético – Controle Digital – Microcontrolador

#### Introdução

Na operação de máquinas rotativas, faz-se necessário o uso de elementos de suporte do rotor tais como mancais de rolamento, hidrodinâmicos ou magnéticos. Para desenvolver estudos sobre a utilização de mancais magnéticos, é necessário primeiro ter conhecimento e controle do elemento básico que os compõem: o atuador magnético. O sistema de controle do atuador pode ser analógico (resistores, capacitores, amplificadores operacionais) ou digital (microcontrolador). A implementação de um controle digital possui algumas vantagens sobre o controle analógico, sendo a principal delas a possibilidade de reprogramação do microcontrolador. O controlador PID foi estudado por ser o de implementação física mais simples.

#### Metodologia

Um kit didático da empresa ATMEL foi utilizado para programação do microcontrolador AVR ATmega16, da mesma empresa. Esse kit (Figura A) fornece, além da plataforma física para carregar o programa no chip, integração com o ambiente de desenvolvimento de programação (AVR Studio) dos microcontroladores AVR



A

Foi desenvolvido e implementado no microcontrolador um programa para realizar a operação de um controlador Proporcional Integral Derivativo (PID), recebendo como entradas nos canais de conversão Analógica-Digital um sinal de referência e a realimentação e fornecendo como saída, através do uso de PWM, um sinal de controle para o atuador.

As equações do controlador PID digital são apresentadas na Figura B.

$$P = erro$$

$$I = \frac{1}{2} * (erro + erro\_antigo) * (t1 - t0) + I$$

$$D = \frac{erro - erro\_antigo}{t1 - t0}$$

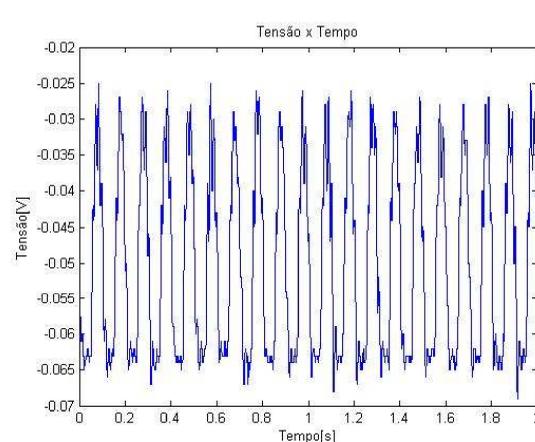
$$Esforço de Controle = Kp * P + Ki * I + Kd * D$$

B

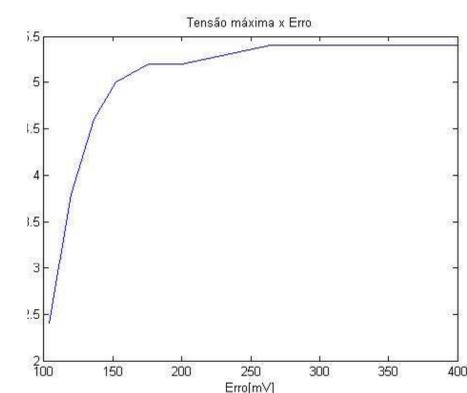
#### Resultados e Discussões

Os controladores P, PD e PID foram implementados no chip do microcontrolador.

Apesar deste trabalho visar um estudo inicial sobre a implantação de um controle digital, conseguiu-se aplicar o controlador P aos atuadores magnéticos para que esses simulassem uma vibração externa senoidal de 10 Hertz no rotor (Figura C).



C

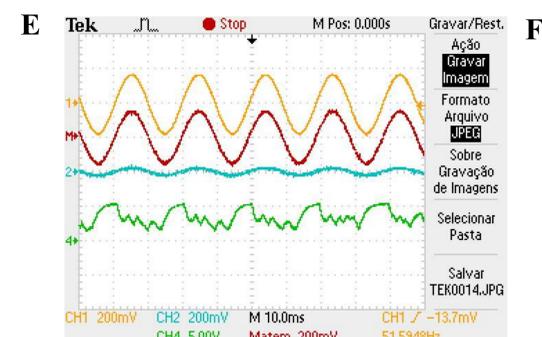
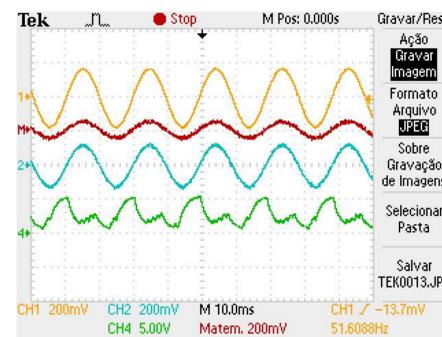


D

Observa-se que o sinal obtido apresenta muitos ruídos devido a limitações do hardware. Mesmo assim, uma vibração de formato senoidal com aproximadamente 10 Hz foi obtida no rotor, validando o controlador proporcional.

Para o controlador PD, uma análise feita foi da máxima tensão de saída do PWM em função do valor do erro de entrada (diferença entre a referência e a realimentação). Como pode-se observar na Figura D, a tensão máxima cresce exercendo um maior esforço de controle sobre a planta com o crescimento do erro, conforme esperado. Entretanto, existe um limite para o valor do erro, determinado pelo número de bits disponíveis para a conversão A/D, após o qual o controlador satura.

Já para o controlador PID um resultado obtido foi o formato das ondas da referência, da realimentação, do erro e do esforço de controle (Figuras E e F). Deve-se notar que neste caso o controlador não estava aplicado a um sistema físico, por isso a realimentação foi simulada para dois valores e manteve-se constante nos dois casos.



#### Conclusões

Conclui-se que a implementação de um controlador digital no lugar do controlador analógico existente mostrou-se satisfatória desde que seja feita uma análise para diminuir o nível de ruídos presente no sinal. A principal vantagem observada do controlador digital foi de fato a possibilidade de reprogramação, sem necessidade de alteração do circuito.

Os três tipos de controladores analisados (P, PD e PID) apresentaram resultados condizentes com a teoria, validando a implementação deles através de um sistema digital que possui como componente principal um microcontrolador.

#### Referências Bibliográficas

- BERGER, A. S., "Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools, & Techniques", CMP Books, 2002 (ISBN 1-57820-073-3).
- FURTADO, R. M., 2008, "Desenvolvimento de um Atuador Magnético para Excitação sem Contato de Sistemas Rotativos", Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 113 p., Dissertação (Doutorado).