Desenvolvimento de controle embarcado aplicado à um motor elétrico didático

Diego Solak Castanho
diegoscastanho@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Fernanda Cristina Corrêa
fernandacorrea@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

RESUMO

OBJETIVO: Desenvolver um módulo de ensino e aprendizagem de controle digital a partir de um motor de corrente contínua didático de baixo custo. **MÉTODOS:** Uma revisão bibliográfica, simulação via *software,* projeto e construção do módulo foram realizados. **RESULTADOS:** Um módulo compacto e de baixo custo foi construído. O correto ajuste dos pré-requisitos de projeto foi obtido, como diminuição do tempo de resposta e ajuste do percentual de sobressinal a níveis aceitáveis. Um controlador proporcional-integral foi projetado obtendo-se uma equação a diferenças a ser embarcada no microcontrolador. **CONCLUSÕES:** O desenvolvimento do motor, transdutor, circuito de comando, condicionadores de sinal, interface homem-máquina e obtenção de todos os sinais necessários para realização do controle em malha fechada foram alcançados. O controlador foi projetado e uma equação a diferenças a ser embarcada foi obtida.

PALAVRAS-CHAVE: Controle digital em malha fechada. Módulo didático. Motor de Corrente Contínua.

INTRODUÇÃO

O motor de corrente contínua é composto basicamente por um estator e um rotor. O estator propicia um caminho de retorno do fluxo criado pelo circuito magnético do estator. O circuito magnético é formado por um conjunto de espiras, que quando alimentadas produzem uma força magnetomotriz, necessária para a produção do fluxo que gera uma determinada força mecânica. Já o rotor da armadura do motor de corrente contínua promove a ação motora mecânica. Basicamente um rotor é composto por um eixo, onde são fixos o núcleo e o comutador. O núcleo é geralmente composto por camadas de aço laminado que provém a diminuição de correntes parasitas circulantes dentro do núcleo. Envolto ao núcleo tem-se um conjunto de bobinas isoladas entre si, que são conectadas ao comutador. O comutador providencia a comutação eletromecânica necessária para a interação do estator e rotor a fim de gerar o movimento (KOSOW,1982).

A figura 1 apresenta um fluxograma resumido dos componentes necessários para a implementação do controle em malha fechada. O sistema a qual se deseja controlar é um motor de corrente contínua didático de autoria própria. Para a implementação do controle em malha fechada é necessário realizar medições e atuações. Para atender estes pré-requisitos, um encoder e um circuito de comando foram projetados e implementados. Através da subtração desses dois sinais, realimentação do sinal de saída e referência, se obtém um sinal de erro, que é o parâmetro utilizado pelo controlador para realizar a ação de controle. Ao final, se pretende otimizar o funcionamento do motor, apresentando passo a passo, a construção e implementação dos dispositivos utilizados para a realização do controle (OGATA, 2003).

Figura 1 – Motor operando em malha Fechada

Fonte: Autoria Própria (2017)

METODOLOGIA

O módulo que foi desenvolvido é composto basicamente por um motor, sensor elétrico, circuito de comando, condicionadores de sinal, interface homem-máquina e um microcontrolador.

Transdutor é o dispositivo capaz de transformar uma grandeza física em outra, com o intuito de se obter informação que permita a mensuração. Sensor é um tipo de transdutor que transforma uma grandeza física em uma grandeza elétrica. Em um sistema de medição, a entrada de energia no transdutor produz um sinal de saída, que é acondicionado e por fim apresentado ou registrado (FERDINANDO, 2008).

O encoder incremental deste trabalho foi construído em uma placa de fenolite, foram realizados alguns testes para verificar se o sensor estava funcionando como esperado. O multímetro foi ligado ao receptor onde foram obtidos 2,44 V como nível baixo. Com o multímetro conectado ao receptor foram colocadas as pás do encoder entre emissor e receptor obtendo-se 4.86 V como nível alto. A partir da transição desses dois estágios obtém-se uma onda quadrada, que é utilizada para extrair as informações necessárias para realizar o controle do motor, como velocidade, frequência, entre outras.

O condicionamento de sinal torna a aquisição dos dados pelo microcontrolador eficaz, a cada borda de descida gerada pelo sensor, haverá uma interrupção gerada pelo microcontrolador, que aciona um contador de pulsos. A figura 5 apresenta o sinal obtido na saída do schmitt trigger, onde observa-se que praticamente não há ruído e o nível lógico baixo está em 0 V e o nível lógico alto está em 5,8 V aproximadamente.

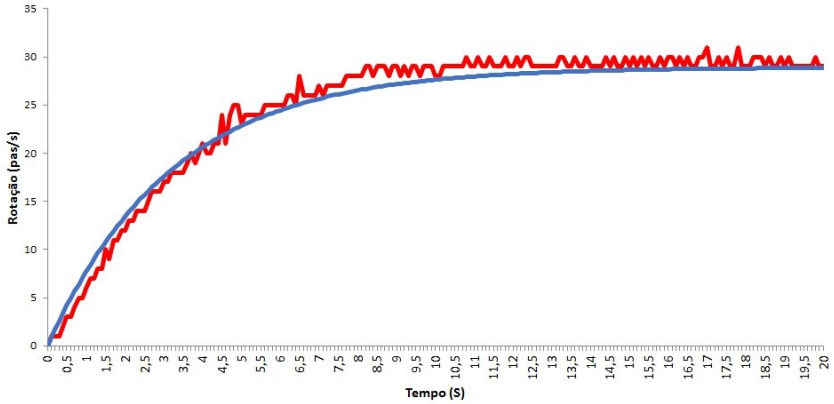
Para que o usuário do kit didático desenvolvido possa visualizar a rotação do motor, foi implementada uma IHM (interface homem máquina), que consiste basicamente em um display LCD, que pode apresentar valores de frequência, pás por segundo, rotação por minuto, rotações por segundo, entre outros. Através dessa interface é possível fazer a calibração do encoder a partir de um osciloscópio (FERDINANDO, 2008).

A utilização de uma saída PWM *(Pulse Width Modulation)* é uma forma de se controlar a tensão eficaz aplicada a um dispositivo a partir de uma saída digital. Assim, foi criado um código que interpreta o *Set Point* definido pelo usuário e ajusta a razão cíclica de uma das saídas PWM do microcontrolador.

O circuito de comando, tem por objetivo controlar a tensão eficaz aplicada ao motor através de um MOSFET de potência (IRF830). O gatilho do transistor de potência não é acionado com uma tensão de 0 a 5 V, assim se faz necessário um condicionamento de sinal, de 5 para 15 V. Para obter 15 V no Gate do MOSFET, foi utilizado um circuito regulador de tensão, LM7815, assim se pode utilizar a própria fonte do motor para alimentar o circuito de acionamento. No circuito de proteção do comando foi utilizado um diodo zener que tem o intuito de "grampear" a tensão em 24 V.

OBTENÇÃO DA FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA E CONTROLADOR

Figura 2 – Curvas matemática e amostrada da velocidade do motor (Ts=100ms).



Fonte: Autoria Própria (2017)

Dentre as curvas obtidas, as que obteve maior similaridade foi a de período de amostragem T_s de 100 ms, apresentado na figura 2, onde a linha vermelha representa a curva obtida a partir de experimentação prática e a linha em azul a curva obtida matematicamente para um motor de corrente contínua.

Foram realizados alguns ensaios experimentais com o objetivo de determinar os máximos valores de rotação em relação aos períodos de amostragem respectivos, e dessa forma determinar graficamente os valores da constante de tempo e ganho estático do motor elétrico. A função transferência discretizada obtida esta apresentada na equação (1) a seguir:

$$P(z) = \frac{0{,}0494}{z - 0{,}9198} \quad (1)$$

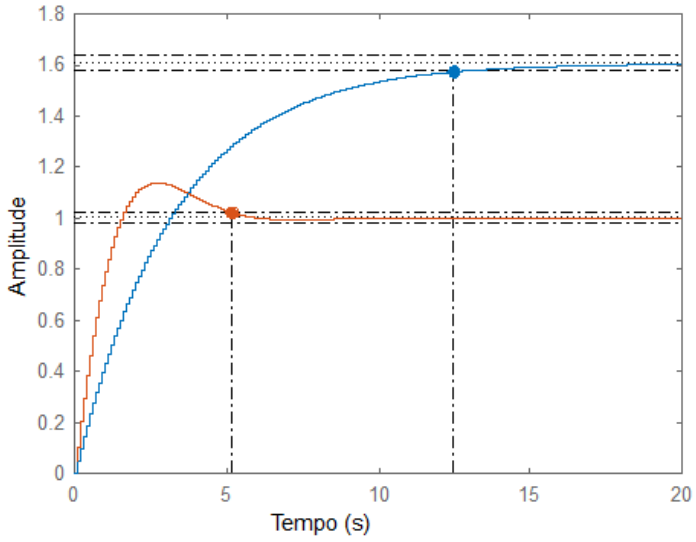
Como pretende-se melhorar o desempenho tanto em regime transitório quanto estacionário, justifica-se o projeto de um Controlador Proporcional Integral PI, pois através da Ação Proporcional KP, ajusta-se a velocidade de resposta, e com a Ação Integral é possível corrigir o erro estacionário. Após a obtenção dos valores de k e α, obtém-se o controlador K(z),

Dessa forma, para que se possa implementar o controlador no microcontrolador, a mesma foi escrita na forma de equação a diferenças. Aplicando-se a transformada Z inversa, obteve-se a equação (2), tem-se o esforço de controle a ser aplicado na saída pelo controlador que irá tomar como base para os cálculos o erro da amostra atual e o erro da amostra passada.

$$u_{(k)} = u_{(k-1)} + 2{,}09e_{(k)} - 3{,}99e_{(k-1)} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 3 – Resposta ao degrau unitário em malha aberta (azul) e em malha fechada (laranja)



Fonte: Autoria Própria (2017)

Ao submeter a malha fechada à uma entrada do tipo degrau unitário pode-se observar se os requisitos de projeto foram alcançados, sendo eles tempo de estabilização e percentual de sobressinal.

Na figura 3, a curva em azul representa o sistema sem o controle que estabiliza em aproximadamente 12,5 segundos, já a curva em laranja representa o sistema controlado onde é possível observar uma melhora significativa, estabilizando em pouco mais de 5 segundos. Para o percentual de sobressinal foi estabelecido um valor inicial de 5%, obtendo-se aproximadamente 14%, tal comportamento é devido à presença de um zero muito próximo ao polo, o que acaba influenciando negativamente no sistema em termos de percentual de sobressinal.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um módulo de ensino e aprendizagem de controle digital a partir de um motor de corrente contínua didático. Para isso um transdutor elétrico, um circuito de acondicionamento de sinal e um circuito de comando foram projetados e construídos. A função de transferência do motor de corrente contínua foi estimada experimentalmente, capturando-se o transitório de partida e por meio de uma aproximação de uma função de primeira ordem onde pode-se representar o comportamento do motor. Além disso, o módulo possui uma Interface Homem-Máquina que permite ao usuário configurar a referência além de permitir o acompanhamento da velocidade de rotação do sistema. A partir do desenvolvimento do controlador PI aplicado a função transferência do motor elétrico projetado foi possível constatar que o comportamento de saída apresentou uma diminuição do tempo de estabilização e níveis aceitáveis de percentual de sobressinal.

A próxima etapa será a implementação do controlador no microcontrolador e a partir dos resultados experimentais obtidos, uma comparação poderá ser feita com os resultados de simulação.

Development of embedded control applied to a didactic electric motor

ABSTRACT

OBJECTIVE: To develop a digital control teaching and learning module from a low cost didactic DC motor. **METHODS:** A bibliographic review, software simulation, design and module construction were performed. **RESULTS:** A compact, low-cost module was built. The correct adjustment of the pre-design requirements was obtained, such as reduction of the response time and adjustment of the percentage of overshoot to acceptable levels. A proportional-integral controller was designed by obtaining a differential equation to be loaded into the microcontroller. **CONCLUSIONS:** The development of the motor, transducer, control circuit, signal conditioners, human-machine interface (HMI) and obtaining all the signals required to perform closed-loop control were achieved. The controller was designed and a differential equation to be shipped was obtained.

KEYWORDS: Closed-loop digital control. Didactic module. DC motor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à DIRPPG/UTFPR Ponta Grossa pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

KOSOW, IRVING L; ELÉTRICAS, Máquinas. Transformadores. 3ª Edição. [S.l.: s.n.], 1982.

FERDINANDO, Natale. **Automação industrial.** [S.l.: s.n.], 2008. v. 10. 1–252 p.

NISE, Norman S; SILVA, Fernando Ribeiro da. **Engenharia de sistemas de controle.** [S.l.]: LTC, 2002. v. 3.

OGATA, Katsuhiko; MAYA, Paulo Álvaro; LEONARDI, Fabrizio. **Engenharia de controle moderno.** [S.l.]: Prentice Hall, 2003.

Recebido: 31 ago. 2017.
Aprovado: 02 out. 2017.
Como citar:
CASTANHO, D. S.; CORREA, F. C. Desenvolvimento de controle embarcado aplicado à um motor elétrico didático. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos.** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2017/index. Acesso em: XXX.
Correspondência:
Diego Solak Castanho
Rua Charles Louis Jean Renaud, número 550, Bairro Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.
Direito autoral:
Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.