

GAT125 - LABORATÓRIO INTEGRADOR

CONTROLE PID DE VELOCIDADE DE UM MOTOR CC UTILIZANDO SENSOR ÓPTICO E MODELAGEM EM CAIXA PRETA

GABRIEL HENRIQUE RIBEIRO DOS SANTOS LUIS GUSTAVO DE SOUZA OLIVEIRA

> Lavras - MG 06 de Setembro de 2021

1. RESUMO

A utilização de motores na indústria é algo que está presente em praticamente todos os processos. No controle de processos industriais, às vezes é necessário ajustar a velocidade do motor em uma ampla faixa com boa resolução de velocidade e reprodutibilidade. (MALONEY, 1976) Grande parte dos sistemas de controle e automação utilizados atualmente nas indústrias se baseiam na estrutura clássica de reguladores, como os do tipo proporcional, integral e derivativo (PID). (CARVALHO, 2010) Com o advento dos CLPs e sua popularização a partir da década de 70, os antigos controladores analógicos perderam espaço e a inserção dos métodos de controle digital nos processos industriais tornou-se uma realidade. Os métodos convencionais de controle analógico sofrem vários problemas, incluindo não linearidade no transdutor analógico de velocidade e dificuldade em transmitir com precisão o sinal analógico após ter sido obtido do transdutor. (MASON, 1964)

O sistema que é matéria de estudo deste trabalho, que será de malha fechada, contará com a presença de um sensor óptico (infravermelho) como encoder, a fim de monitorar a velocidade (em RPM) do motor. A velocidade atual do motor é obtida medindo a frequência de saída do encoder óptico. (LIN, 1977)

Para que seja desenvolvido um controlador de forma corresponder com as nossas necessidades, primeiramente é necessário a modelagem da planta. São raras as situações em que se tem informações relativas ao sistema eletromecânico de motores, sendo a posse deste tipo de informação muito restrito a quem fabrica estes equipamentos. (GUSTAVSEN e SEMLYEN, 1998; SILVA, 2014) Devido a isso, a modelagem matemática do equipamento nem sempre pode corresponder a realidade já que não é de conhecimento do usuário todos os parâmetros do sistema físico. No caso de motores, a modelagem matemática consiste em representar o sistema como um circuito RL equivalente. A denominação "caixa branca" é utilizada para designar os métodos de modelagem em que se conhecem a fundo as relações matemáticas que descrevem o comportamento dinâmico do sistema que se pretende representar (AGUIRRE, 2007) Diante deste problema, se justifica o uso da modelagem caixa preta que consiste em realizar medições dos sinais de entrada e saída de um sistema. Em teoria de sistemas, a denominação "caixa preta" se refere aos métodos de modelagem em que a única fonte de informação a partir da qual um modelo é construído é a relação causa-efeito apresentada pelos sinais de entrada e saída do sistema modelado (AGUIRRE, 2007)

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar o controle de velocidade de um motor CC de imãs permanentes que está integrado a uma ventoinha (*Cooling Fan*). A lógica de controle será a de um controlador digital PID obtido por meio de técnicas de modelagem caixa preta, que por vez estará embarcado numa placa de desenvolvimento Arduíno. O sistema será composto também por um sensor óptico infravermelho, como encoder, para monitorar a velocidade do motor, realimentando o sinal de leitura para fazer o cálculo do erro.

3. METODOLOGIA

O sistema será desenvolvido durante o período de 06 de Setembro de 2021 até 29 de Novembro de 2021, nas cidades de Três Pontas e Varginha, Minas Gerais. A distribuição das etapas de trabalho para gerar o projeto final será em semanas, conforme o cronograma de atividades, e assim que os meses vão se alternando a proposta é manter o projeto em responsabilidade de cada integrante da equipe, com o intuito de proporcionar o contato físico com o mesmo.

A planta de estudo é composta por um motor CC de ímã permanente integrado a uma ventoinha (*Cooling Fan*) do modelo *FM802512M*. O componente apresenta dois terminais para alimentação e normalmente é encontrado em gabinetes de computadores antigos para arrefecimento, dificilmente é vendido separado no mercado pois o mesmo está fora de fabricação. Entretanto, um modelo semelhante *TianXuan TX8025L12S* apresenta características semelhantes, principalmente em relação a alimentação, número de aletas e dimensões, conforme as especificações da tabela 1.

TABELA 1. Especificações do modelo TX8025L12S

Tamanho	80 x 80 x 25 mm
Tensão	12 V
Potência	1.68 W
Corrente	0.14 A
Volume de ar	30 cfm
Intensidade de ruídos	25 dba
Nº aletas	7
Velocidade	2400 rpm

Sendo assim, para avaliar a velocidade de rotação do motor (em RPM) será implementado um sensor óptico simulando um encoder, no qual serão usados um LED (Light Emitting Diode) de luz infravermelha da faixa de 940nm e um receptor fototransistor infravermelho, onde segundo o site MASTERWALKER os componentes apresentam as especificações mencionadas na tabela 2.

TABELA 2. Especificações do emissor e receptor IR

	Emissor	Receptor
Dimensão	5 mm	5 mm
Tensão de operação	1.2 VDC	1,1 a 1,4 VDC
Corrente de operação	20 mA	10 mA
Comprimento de onda	940 nm	940 nm
Ângulo de posicionamento	15° - 20°	15° - 20°
Peso	1 g	1 g

A técnica de sensoriamento consiste em posicionar o emissor IR (*infrared* - infravermelho) e o receptor IR de forma que fiquem paralelos e em direções opostas, respeitando o ângulo vertical máximo de 20°, conforme as especificações e figura 1. O motor CC será inserido entre os componentes, alertando ao fato que somente as aletas podem interferir na passagem de luz IR para monitorar a velocidade do motor com precisão.

Tanto os sensores quanto o circuito de acionamento do motor serão conectados à placa de prototipagem Arduino UNO R3 com o objetivo de implementar uma malha fechada a partir da leitura e transmissão de dados do sensor, algoritmo de controle no microprocessador da placa (ATmega328P) e o acionamento do circuito de potência do motor com um sinais de saída PWM (Pulse With Modulation) para modificar a velocidade do atuador.

TELET LINE TO UNO 10 PART A POLITICAL PROPERTY OF THE PART A POLIT

FIGURA 1. Esquemático com o Arduino UNO, motor CC (sem circuito de potência) e sensor óptico

Fonte: blogmasterwalkershop.com

Além disso, o uso do Arduíno UNO oferece a capacidade de registrar e monitorar todos os valores lidos pelo sensor óptico, útil principalmente na modelagem do sistema dinâmico que representa o comportamento do motor CC. Assim, a técnica da modelagem em caixa preta será aplicada para encontrar a função de transferência de segunda ordem da planta de forma experimental. Primeiramente, um degrau de tensão na entrada de 12V será aplicado, e através da leitura do sensor óptico, um sinal binário tipo "1" (luz IR interrompida) ou tipo "0" (luz IR recebida) é enviado ao Arduíno. Estes sinais serão avaliados por um programa que determina quanto tempo foi necessário para o motor CC em questão completar uma volta e calcula a velocidade de rotação do motor, a partir da fórmula:

$$RPM = \frac{Tv.60}{1000}$$

em que:

RPM = rotações por minuto

Tv = tempo para uma volta completa (em ms)

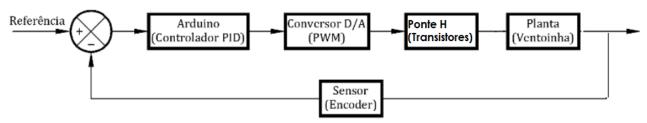
As informações de velocidade de rotação e as amostras de tempo durante a aplicação do degrau de 12 V serão registradas em um arquivo ".txt" para análises posteriores no software MATLAB e chegar em uma função de transferência de 2^a ordem experimental pelos métodos determinísticos de Sundaresan ou Mollenkamp (DESHPANDE, ASH, 1981), onde ωn é a

frequência natural não amortecida, G_{DC} o ganho e ξ o fator de amortecimento, representados pela equação a seguir:

$$H(s) = G_{DC} \frac{{\omega_n}^2}{s^2 + 2\xi \omega_n s + {\omega_n}^2}$$

Por fim, a estrutura do sistema de controle pode ser identificada a partir do diagrama de blocos da figura 2.

FIGURA 2. Diagrama de blocos da malha de controle



Fonte: Autores do projeto

A variável controlada é a velocidade de rotação do motor CC em RPM, no qual o sensor óptico avalia sua dinâmica gerando sinais quadrados com frequência inversamente proporcional ao tempo requerido para uma volta completa, em milissegundos. Sendo assim, estes sinais binários são enviados ao Arduíno UNO, calcula-se a velocidade de rotação que será mapeada dentro de uma resolução de 10 bits (0 a 1024). Um conversor *D/A* (Digital/ Analógico) interno da placa será usado para transformar o sinal de controle em pulsos PWM de 8 bits com frequência configurada em 25 kHz, sugerida pelo fabricante do motor (MAY, 2015).

A ponte H consiste em 2 pares de transistores TIP120, com suas bases conectadas diretamente nas saídas digitais D3, D5, D6 e D9 do Arduíno UNO, possibilitando que a potência requerida pela carga seja entregue somente pela fonte de alimentação, isolada do circuito de controle. Além disso, um controlador PID será implementado pela própria plataforma utilizando-se dos recursos disponibilizados pela biblioteca *PIDLibrary* (BEAUREGARD, 2017).

Por fim, alguns sinais de referência serão testados, sendo que o primeiro sinal consiste em um degrau de 5V identificado pelo conversor A/D como 1024 (10 bits), correspondendo a velocidade de rotação máxima do motor CC. Assim, o propósito é avaliar a resposta transitória e o comportamento em regime permanente da planta após o controle. O segundo sinal de referência será composto de vários degraus e rampas aleatórias, com o objetivo de verificar o próprio comportamento do sistema e as respostas geradas (MAY, 2015).

4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

ATIVIDADES	06/09 até 29/11 - 11 SEMANAS										
	1ª	2ª	3ª	4 ^a	5ª	6ª	7 ^a	8ª	9ª	10ª	11ª
Software para amostragem											
Coleta de amostras											
Modelagem em caixa preta											
Análise da função de transferência											
Desenvolvimento do controlador											
Implementação do controle para o Arduíno UNO											
Dimensionamento dos componentes											
Montagem do protótipo											
Período de testes											
Ajustes finais e apresentação											

5. REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. "Introdução à Identificação de Sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais". 3. ed rev. e ampl. Belo Horizonte: 2007.

BEAUREGARD, B. Arduino PID Library, v. 1.2.1,. Disponível em: https://github.com/br3ttb/Arduino-PID -Library. Acesso em: 31 de agosto.

CARVALHO, S. N. N. Modellistica e Controllo di un Motore in Corrente Continua, Monografia – E265 – Politécnico de Turim, 2010.

DESHPANDE, P. B.; ASH, R. H. Elements of Computer Process Control, with Advanced Control Applications. Instrument Society of America, 1981. Michigan University, p. 382

GUSTAVSEN, B.; SEMLYEN, A., "Application of vector fitting to state equation representation of transformers for simulation of eletromagnétic transients", Power Delivery, IEEE Transactions on, v. 13, n. 3, p. 834-842, July 1998.

LIN, A. K.; KOEPSEL, W. W. A microprocessor speed control system. IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, n. 3, p. 241-247, 1977.

MALONEY, T. J.; ALVARADO, F. L. A digital method for dc motor speed control. IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, n. 1, p. 44-46, 1976.

MASON, J. "Guide to measuring rotary speed with tachometergenerators," Machine Design, page 157, October 8, 1964.

MAY, W. P. Controle de uma ventoinha de microprocessador utilizando controlador PID digital. Trabalho final de disciplina, Faculdade de Engenharia Elétrica, UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, J. C. S., "Modelagem caixa preta de transformadores de potência em amplo espectro de frequências", Dissertação de Mestrado, Programa de Pósgraduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.