

Modelagem e Controle de Motor DC: Desenvolvimento de Controlador pelo Método de Alocação de Polos com o Software MATLAB

Autoria

Heloisa Helena de Oliveira

ANDRIGHETTO

Estudante do Curso Superior (Bacharelado)

em Engenharia de Controle e Automação

no IFF Campus Macaé

Giovanna Freitas de OLIVEIRA

Estudante do Curso Superior (Bacharelado)

em Engenharia de Controle e Automação

no IFF Campus Macaé

Gabriel Solino de Abreu ARÊAS

Docente no IFF Campus Macaé

Orientação

Gabriel Solino de Abreu ARÊAS

Docente no IFF Campus Macaé

Resumo: O presente projeto tem como objetivo demonstrar e analisar um modelo matemático, além de desenvolver o projeto de um controlador para um motor de corrente contínua, utilizando o software *MATLAB*. O trabalho contempla todo o processo de modelagem e projeto de controlador pelo método de alocação de polos, pela formulação da equação diferencial que descreve o sistema dinâmico do motor DC. Esses motores possuem ampla aplicação em sistemas industriais, acadêmicos e comerciais, sendo utilizados em robótica, esteiras transportadoras, veículos elétricos e outros equipamentos que demandam controle preciso de velocidade e posição. Sua facilidade de controle e adaptabilidade em diferentes condições operacionais tornam os motores de corrente contínua importantes e essenciais para o estudo de controle. Dessa forma, este projeto não apenas explora os fundamentos teóricos do controle, mas também contribui para o entendimento prático, oferecendo uma base sólida para aplicações futuras e aprimoramento no campo da engenharia de controle e automação.

Palavras-chave: controle; modelagem; motor DC; MATLAB.



1 Introdução

Os motores de corrente contínua (DC) são amplamente utilizados por serem versáteis, terem ótimo desempenho e segurança. O funcionamento deles é baseado em conversão de energia, em que a energia elétrica é transformada em mecânica. O diferencial desses motores é a alta capacidade de controle da velocidade e o alto torque, ideal para processos que demandam agilidade e precisão da velocidade (Silva, 2009). O motor DC possui parte mecânica e elétrica, logo, é um sistema eletromecânico e de segunda ordem, possuindo dois polos.

2 Metodologia

A teoria do trabalho foi composta pela revisão de artigos, livros e do material didático das disciplinas, já a prática foi composta por experimentos no *MATLAB* para obter os erros, as respostas transitórias e permanentes do modelo.

2.1 Modelagem

A modelagem de um sistema dinâmico consiste na sua análise, para identificar os parâmetros influenciadores no sistema, que serão utilizados para montar as equações diferenciais ordinárias (EDO) (Nise, 2017). Para o motor DC, encontra-se a seguinte EDO:

$$\dot{\omega}_m + \left(\frac{D_e}{J_e} + \frac{R_a}{L_a} \right) \cdot \omega_m + \left(\frac{R_a \cdot D_e}{L_a \cdot J_e} + \frac{K_b \cdot K_t}{L_a \cdot J_e} \right) \cdot \omega_m = \frac{K_t}{L_a \cdot J_e} \cdot V_a(t) \quad (1)$$

Em que as constantes R_a, L_a, J_e e D_e são, respectivamente, a resistência, a indutância, a inércia e o amortecimento viscoso. Já $K_b, K_t, V_a(t)$ e ω_m representam a constante do torque, a constante da força contra-eletromotriz, a fonte de tensão e a velocidade angular do rotor. Com base em pesquisas sobre o funcionamento do motor DC, foi possível encontrar suas especificações técnicas a partir de *datasheets*, folha de dados, fornecidas pelos fabricantes.





2.2 Métricas de desempenho e substituição numérica

Para esta etapa realizou-se uma pesquisa que resultou em dados reais de um específico motor DC, que foram utilizados como parâmetros em testes envolvendo a resposta do sistema e as métricas de desempenho, como: erro zero (e), máximo sobressinal (M_p) abaixo de 2% e tempo de acomodação (T_s) abaixo de 0.0005 segundos.

Tabela 1. Parâmetros de um motor DC

Parâmetros	Valor
R_a	2.6Ω
L_a	$180\mu H$
K_t	$7.67 \cdot 10^{-3} N \cdot m/A$
K_b	$7.67 \cdot 10^{-3} V/(r/s)$
J_e	$5.3 \cdot 10^{-7} kg \cdot m^2$
D_e	$7.7 \cdot 10^{-6} N \cdot m/(r/s)$

Fonte: MODELING DC SERVOMOTORS CONTROL SYSTEMS TECH NOTE (Meier, 2010).

2.2 Projeto de um controlador

Com as especificações obtidas na etapa de substituição, foi possível calcular as métricas do sistema, a fim de melhorar o desempenho transitório e permanente, utilizando um controlador moderno e aplicando os conceitos referentes ao conteúdo de sistemas de controle.

3 Resultados

3.1 Modelagem no espaço de estados

O espaço de estados é uma abordagem moderna para a representação de sistemas. Quando comparado a outras abordagens, o espaço de estados tem diversas vantagens, como a possibilidade de representar sistemas não lineares, com múltiplas entradas e saídas, variantes no tempo ou que não possuem condições iniciais nulas (Ogata, 2010). A representação do sistema no espaço de estados será feita a partir da função de transferência em malha aberta:





$$G(s) = \frac{8.04 \cdot 10^7}{s^2 + 1.446 \cdot 10^7 \cdot s + 8.265 \cdot 10^5} \quad (2)$$

Aplicando no espaço de estados e substituindo os parâmetros específicos do motor estudado na modelagem no espaço de estados descrita na seção anterior, o resultado é a representação no espaço de estados para a função de transferência do sistema:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -8.2651 \cdot 10^5 & -1.4458 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad (3)$$

$$y = [8.03983 \cdot 10^7 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

3.2 Aplicação do método alocação de polos

Diferentemente dos métodos clássicos, que consistem no posicionamento dos polos dominantes do sistema de acordo com as especificações necessárias, o método de alocação de polos consiste na escolha de todos os polos de malha fechada de um sistema. Para a aplicação do método, considera-se a representação no espaço de estado do sistema (Ogata, 2010).

Para a execução desse método, o sistema deve ser completamente controlável. Para verificar a controlabilidade, é necessário confirmar que todos os vetores-coluna que compõem a matriz de controlabilidade são linearmente independentes. Montando a matriz de controlabilidade (C), é observado que:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -14458 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Calculando o determinante da matriz de controlabilidade, foi encontrado que ele é diferente de zero, portanto os vetores-coluna que compõem a matriz de controlabilidade são linearmente independentes, o que significa que o sistema é controlável. Sendo assim, é possível aplicar o método de alocação de polos nesse sistema.



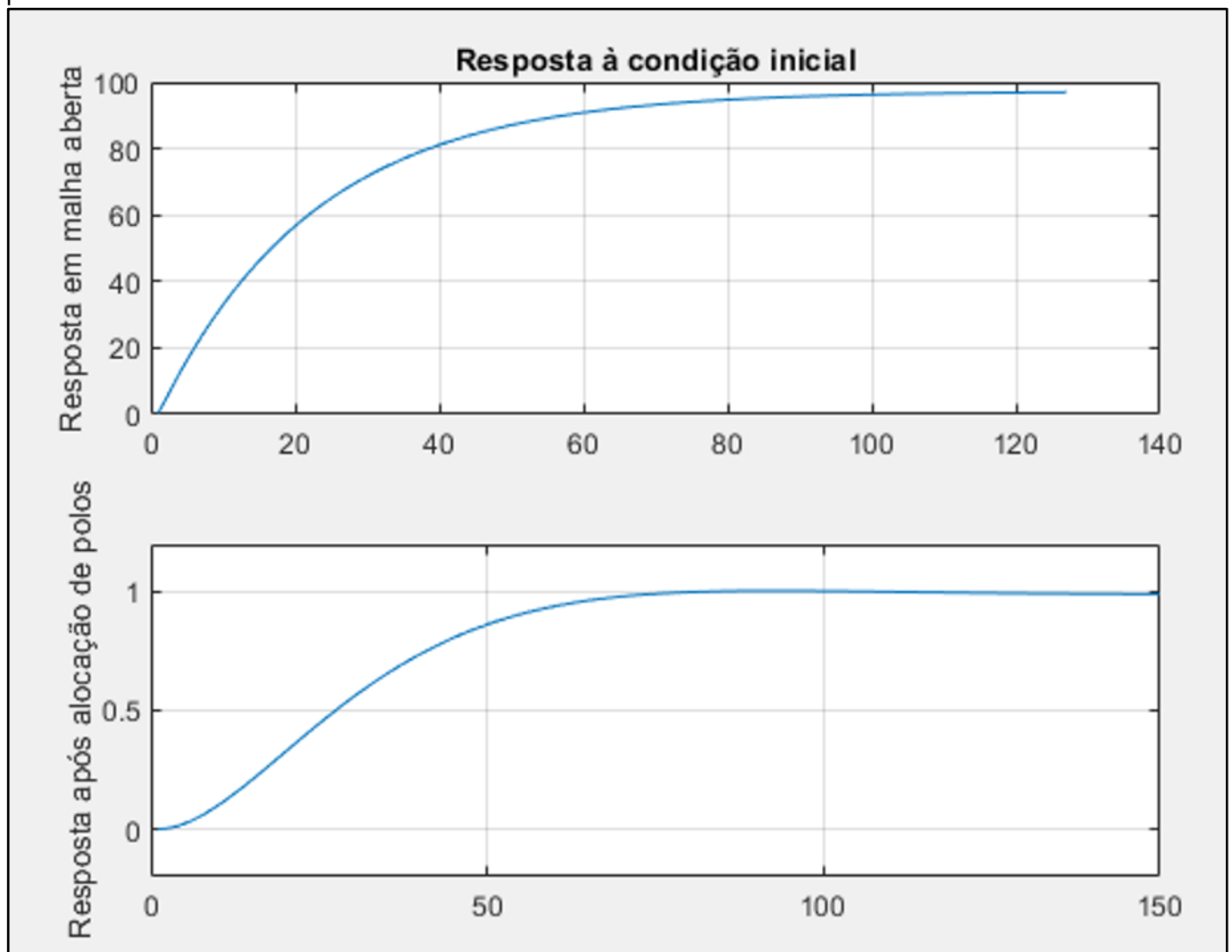


Para a aplicação do método com os polos desejados ($s_{1,2} = -8000 \pm j6424.5$) e um polo em -40000 , que é cinco vezes mais distante que os demais polos, utiliza-se a fórmula de *Ackermann*, e com o *MATLAB*, é possível obter o vetor K :

$$K = [0.00092594 \cdot 10^4 \cdot 0.00000005167 \cdot 10^4 - 5.23763 \cdot 10^4] \quad (6)$$

Resposta do sistema após o método de alocação de polos:

Figura 1. Comparação da resposta do sistema em malha aberta e após a aplicação o método de polos.



Fonte: Elaboração própria.



4 Discussão

A partir da visualização do gráfico e as informações de tempo de acomodação, máximo sobressinal e erro é evidente que o método de alocação de polos teve um resultado satisfatório, atendendo os requisitos estabelecidos anteriormente, zerando o erro em regime permanente do sistema, sem prejudicar o regime transitório, com um máximo sobressinal de 1.91% e tempo de acomodação de 0.000381 segundos.

5 Considerações finais

Com base nos conteúdos de controle desenvolvidos pelos autores Norman Nise e Katsuhiko Ogata, foi possível realizar um estudo sobre a modelagem de um motor DC e projetar um controlador utilizando o método de alocação de polos, atendendo a todos os requisitos determinados anteriormente.

Referências:

- MEIER, R. *MODELING DC SERVOMOTORS CONTROL SYSTEMS TECH NOTE*. Milwaukee: MSOE, 2010. Disponível em: <https://faculty-web.msoe.edu/meier/ee3720/technotes/dcservo.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.
- NISE, N. S. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2017.
- OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. 5. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2010.
- SILVA, H.; SILVA, G. Controle de velocidade em motores de corrente contínua. *In: Simpósio Internacional de Ciências Integradas*, 14., 2017, Guarujá, SP. *Anais [...]*. Guarujá: UNAERP, 2019. Disponível em: <https://www.unaerp.br/pesquisa/anais-de-congressos-unaerp/sici/anais-e-edicoes-anteriores/2017/secao-04/2799-controle-de-velocidade-em-motores-de-corrente-continua/file>. Acesso em: 9 dez. 2024.

