

PROJETO DE CONTROLADORES ROBUSTOS PARA UM MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA (C.C.).

Ian da Silva Viganó¹; Márcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: ians028@gmail.com
2. Orientador, Departamento de tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de Controle, Controle Robusto, Motor de Corrente Contínua.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Controle têm desempenhado um papel fundamental na evolução da engenharia e da ciência, sendo um componente importante e intrínseco nos sistemas de veículos espaciais, sistemas de controle de mísseis, sistemas robóticos e similares, sistemas de controle de pressão, velocidade, temperatura, vazão, etc (Ogata, 2010).

No cotidiano da vida moderna, os motores elétricos estão presentes em todos os lugares. Nas casas, os motores elétricos acionam refrigeradores, freezers, aspiradores de ar, processadores de alimentos, aparelhos de ar condicionado, ventiladores e muitos outros eletrodomésticos similares. Nas indústrias, os motores produzem a força motriz para mover praticamente todas as máquinas. Um dos tipos de motores elétricos é o motor de corrente contínua (C.C.), que é uma máquina elétrica que transforma energia elétrica em energia mecânica (Young, 2013).

Este trabalho propõe a aplicação da metodologia de análise intervalar modal descrita em (Prado e Paz, 2008) no projeto de controladores robustos. Para isso foram aplicadas variações nos parâmetros do sistema, gerando, assim, intervalos modais. A substituição dos parâmetros constantes do sistema por intervalos permite tornar os parâmetros do sistema variáveis e, com isso, fazendo uso da aritmética intervalar modal (Sainz et al, 2014), é possível realizar o projeto do controlador robusto.

METODOLOGIA

Para realizar a modelagem do sistema são usadas as equações diferenciais que podem representar a dinâmica do sistema matematicamente (Dorf e Bishop, 2001). Um motor de Corrente contínua excitado pela corrente na armadura é descrito como tendo uma resistência constante R_a em série com uma indutância constante L_a , que representa a indutância do enrolamento da armadura, e uma fonte de tensão v_g representando a tensão que é gerada na armadura. O enrolamento de campo é representado por uma resistência invariável R_f e uma indutância constante L_f , com o fluxo do entreferro sendo chamado de φ . A velocidade do eixo de armadura é representada por ω e o torque gerado, torque de inércia do motor, torque de atrito do motor, e o torque da carga são indicados por T_g , T_J , T_f e T_L , respectivamente. é possível obter duas funções de

transferência para o sistema em questão, uma que relaciona a posição do eixo do motor com a tensão de alimentação. Esta nos permite controlar a posição do eixo, e uma outra função de transferência que relaciona a velocidade de giro do eixo do motor com a tensão de alimentação. Esta por sua vez nos permite controlar a velocidade em que o eixo gira (Young, 2013). Utilizando leis da Física como as Leis de Kirchhoff e as leis de Newton, juntamente com a transformada de Laplace obtemos a seguintes funções de transferência para o sistema do motor:

$$G_v(s) = \frac{A}{s+B} \quad (1)$$

Onde $A = 3813$ e $B = 42,37$.

$$G_p(s) = \frac{A}{s^2 - sB} \quad (2)$$

A equação (1) representa a função de transferência para a posição do eixo, e a equação (2) representa a função de transferência para a velocidade de giro do eixo.

Para o projeto dos controladores partiu-se da equação de realimentação em malha fechada dada por (Ogata, 2010):

$$Gmf(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \quad (3)$$

Onde $C(s)$ representa a função de transferência do controlador e $G(s)$ é a função de transferência que representa o comportamento dinâmico da planta. Desenvolvendo essa equação para ambos os subsistemas, e utilizando um controlador PD (Proporcional-Derivativo), dado por $C(s) = Kp + Kds$ para o controle da posição e um controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo), dado por, $C(s) = \frac{Kds^2 + Kps + Ki}{s}$, para o controle da velocidade, obtemos (Ogata, 2010):

$$Gmf_p(s) = \frac{A(Kp + Kds)}{s^2 + Bs + (Kp + Kds)AH} \quad (4)$$

$$Gmf_v(s) = \frac{A(Kds^2 + Kps + Ki)}{s(s+B) + (Kds^2 + Kps + Ki)AH} \quad (5)$$

Nas equações (4) e (5) H , é respectivamente, um conversor de um sinal de posição para um sinal de tensão, e um conversor de sinal de velocidade para um sinal de tensão pois como nas funções de transferência os sinais de entrada não tem a mesma unidade dos sinais de saída, se faz necessário esse tipo de conversão para a realimentação da planta. Para o sistema da posição o conversor é um potenciômetro que relaciona diretamente a tensão (entrada) com a posição (saída), Já para o sistema da velocidade H é uma função que relaciona a tensão (entrada) com a velocidade em que o eixo gira (saída).

Para encontrar os ganhos de um controlador PD ou PID é necessário comparar o denominador da equação (4) e (5) com a equação (6) que representa a equação padrão de segunda ordem. Dessa forma é possível determinar os valores dos ganhos em função dos parâmetros de desempenho definidos para o sistema (Dorf e Bishop, 2001).

$$s^2 + 2\varepsilon\omega_n s + \omega_n^2 \quad (6)$$

Os parâmetros de desempenho definidos para a planta foram 10% de sobre-elevação máxima e um tempo de acomodação de 0,1s para o controle de posição e de 0.0005s para o controle de velocidade. Esses parâmetros de desempenho resultam em um $\varepsilon = 0,5912$ e um $\omega_n = 67,6641$, para o controle da posição e $\varepsilon = 0,5912$ e um $\omega_n = 1,3533 \times 10^4$, para a velocidade.

Para projetar o controlador robusto, os parâmetros da planta, foram variados em 10%. Com isso os valores de A e B se tornam intervalos, com o valor desses intervalos e aplicando a aritmética intervalar descrita em (Saintz et al, 2014) obtemos o valor para os ganhos do controlador na forma de intervalos, são eles: $[Kd]' = 0$, $[Kp]' = [3,4229; 5,1160]$ e $[Ki]' = [3,9294 \times 10^4; 5,8633 \times 10^4]$ para o sistema da velocidade e $[Kd]' = [0,0071; 0,0133]$ e $[Kp]' = [0,9824; 1,4675]$ para o sistema da posição.

RESULTADOS

Para analisar os controladores propostos, estes foram aplicados na planta, por simulação, com parâmetros variáveis, fazendo o sistema resultante responder ao degrau unitário. Os valores de parâmetros da planta (A e B) foram variados de acordo com a Tabela 1. Os valores de Kp e Ki foram variados em um conjunto de dez controladores dentro dos intervalos e aplicados a cada uma das variações da planta.

	Km	τ	A	B
Varição 1	-10%	-10%	3813	47,08
Varição 2	0%	+5%	4004	42,37
Varição 3	+5%	+10%	3995	40,36
Varição 4	-5%	0%	4014	44,60
Varição 5	+10%	-5%	3293	38,52

Tabela 1: Parâmetros do variados no sistema da posição e da velocidade

A Figura 1-A mostra o resultado obtido para o sistema de controle da posição do motor, onde foram aplicados os valores de Kp e Kd na equação (4). É possível perceber, através da análise do gráfico, que o sistema estabiliza para qualquer controlador aplicado dentro dos valores dos intervalos de $[Kp]'$ e $[Kd]'$ e que o sistema atende aos requisitos propostos para algumas variações dos controladores aplicados, assim há pelo menos um controlador para cada planta que seus parâmetros estão contidos nos intervalos $[Kp]'$ e $[Kd]'$ e que atendem às especificações do projeto, mantendo sobre-elevação máxima igual ou inferior a 10% e tempo de estabelecimento menor que 0.1 segundo (com critério de 5%), que são os valores máximos aceitos após a variação de 10% sobre os requisitos de projeto.

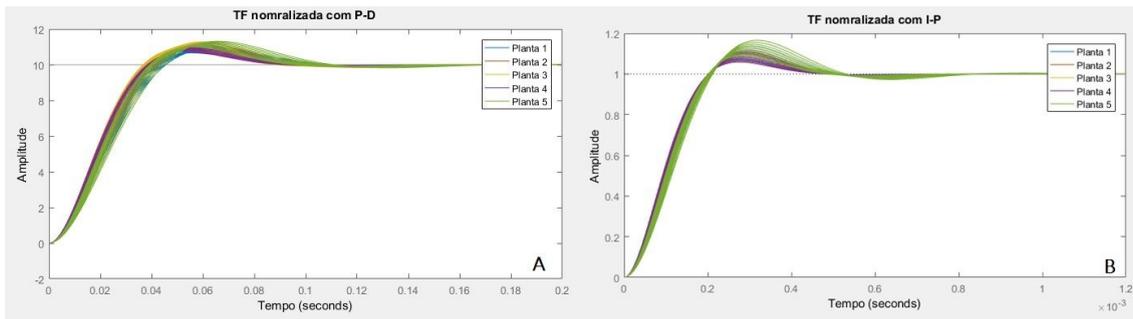


Figura 1: A - Resposta ao degrau para o sistema de controle de posição. B - Resposta ao degrau do subsistema de controle de velocidade.

A Figura 1-B mostra o resultado obtido para os controladores gerados utilizando valores dentro dos intervalos $[Kp]'$ e $[Ki]'$ obtidos através do projeto feito para o controle de velocidade. É possível perceber, através da análise do gráfico, que o sistema atende aos requisitos propostos para algumas variações dos controladores aplicados, assim há pelo menos um controlador para cada planta que seus parâmetros estão contidos nos intervalos $[Kp]'$ e $[Ki]'$ e que atendem às especificações do projeto, mantendo sobre-elevação máxima igual ou inferior a 10% e tempo de estabelecimento menor que 0,0005 segundos (com critério de 5%), que são os valores máximos aceitos após a variação de 10% sobre os requisitos de projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos resultados obtidos com o projeto do controlador robusto foi possível perceber que o sistema atende todas as especificações do projeto, com uma sobre-elevação máxima satisfatória e um tempo de resposta dentro do limite estipulado. Constatou-se ainda que os sinais de controle assumiram valores ótimos dentro do esperado.

REFERÊNCIAS

- Z. YOUNG. (2013), DC Motors, Speed Controls, Servo Systems: An Engineering Handbook. Elsevier, 3ed.
- DORF, R. C; BISHOP, R. H. (2001). Sistemas de Controle Modernos.
- OGATA, K. (2010). Engenharia de Controle Moderno, Pearson. 5ed. 824p.
- PRADO, M; PAZ, M. (2008). Controle robusto utilizando estrutura pd e análise intervalar modal, XIII Congresso Latinoamericano de Control Automático, Mérida.
- SAINZ, M. A; ARMENGOL, J; CALM, R; HERRERO, P; JORBA, L; VEHI, J. (2014). Modal interval analysis, Lecture Notes in Mathematics 2091.