

Projeto de Compensador por Avanço de Fase para Motor de Corrente Contínua

**PEDRO R. DE GODOY¹, MURILLO KUBINHETZ², HUGO DA SILVA BERNARDES
GONÇALVES³, ALEXANDRE BRINCALEPE CAMPO⁴**

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São Paulo, godoy.pedro@aluno.ifsp.edu.br

² Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista de Projeto de Inovação, IFSP, Câmpus São Paulo, m.kubinhetz@aluno.ifsp.edu.br

³ Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), hugo.bernardes@gmail.com

⁴ Professor do Instituto Federal de São Paulo, campus São Paulo, IFSP, Câmpus São Paulo, brinca@ifsp.edu.br
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.03-3 Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação

RESUMO: Na indústria, grande parte dos processos de produção acontecem de forma automatizada, e para que isso seja possível, são aplicados nestes sistemas o que chamamos de Controladores, que são dispositivos que tem a função de controlar variáveis de processos. Este projeto tem como objetivo o estudo acerca de um tipo específico de controlador: o Compensador de Avanço de Fase. Para estudar este tipo de controlador, será projetado um compensador para executar o controle de velocidade de um motor de corrente contínua de acordo com especificações de projeto pré-definidas.

PALAVRAS-CHAVE: Controlador; Motor de Corrente Contínua; Compensador; Sistemas de Controle

Phase Lead Compensator Design for Speed Control of DC Motor

ABSTRACT: In the industry, most of the production processes happen in an automated way, and to make this possible, what we call Controllers are applied in these systems, which are devices that have the function of controlling, and sometimes correcting these processes. With this in mind, this project aims to study a specific type of controller, the Phase Lead Compensator. To study this type of controller, a compensator will be designed to control the speed of a direct current motor.

KEYWORDS: Controller; Direct Current Motor; Compensator; Controlling Systems

INTRODUÇÃO

Sistemas de controle realimentado são aqueles que possuem uma realimentação da variável de saída, permitindo seu controle em malha fechada. Estes sistemas possuem diversos dados que podem ser manipulados a fim de obter respostas diferentes como resultado, de acordo com o valor de referência determinado (Cruz; Da Cruz, 2011).

Estes sistemas podem ser de malha aberta ou de malha fechada, ou seja, com realimentação. Os sistemas de malha aberta relacionam a entrada e a saída de formas separadas, ou seja, o resultado obtido na saída não interfere no resultado seguinte. Já o sistema de malha fechada ou com realimentação, relaciona essas entradas e saídas de forma que o resultado obtido na saída é levado em consideração.

No controle, a forma de caracterizar um sistema é através de uma função característica chamada Função de Transferência. Esta função relaciona as entradas e saídas de um sistema, de acordo com variáveis que fazem parte do estudo. A formação desta função se dá através de uma razão entre os zeros deste sistema e os polos somados a um tempo de subida, aliados a um ganho determinado.

Com as Funções de Transferência são possíveis fazer análises de comportamentos dos sistemas, e a forma mais efetiva de fazer essa análise é descobrindo as raízes deste mesmo sistema,

para isso foi desenvolvido o Método do Lugar Geométrico das Raízes por W.R. Evans, que consiste em representar esta raízes graficamente para todos os parâmetros expostos na Função de Transferência.

A fim de manipular estas raízes para obter o comportamento desejado, foram criados diversos métodos de controle. Um deles é o Compensador de Avanço de Fase, que consiste em aplicar mais zeros e polos, aliados a um ganho, à função característica de malha fechada para manipular a resposta original de acordo com parâmetros escolhidos pelo projetista.

MATERIAL E MÉTODOS

Para iniciar o estudo, foi proposta uma função de transferência arbitrária que seja próxima a uma função característica de um motor de corrente contínua, o objetivo com esta função foi projetar um controlador de velocidade.

A função característica escolhida foi a da Equação 1:

$$F_V = \frac{1800}{(0.01s+1)} \quad (1)$$

Tendo a função, com o auxílio do programa de simulações matemáticas MATLAB, foi fechada uma malha de controle para descobrir quais seriam as raízes do sistema. Com isso, foram escolhidos quais parâmetros serviriam de base para projetar o compensador (Franklin et al., 2013). Estes parâmetros seriam o sobressinal de 10% e Tempo de Pico (t_p) de 20 ms, com esses dados, foi calculado um valor de amortecimento (ζ) através da Equação 2:

$$M_p(\%) = e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (2)$$

Em que,

$M_p(\%)$ – Sobressinal;

ζ – Amortecimento.

Com este valor de amortecimento foram feitos mais alguns cálculos para determinar a frequência natural não amortecida e o ponto no eixo complexo do lugar geométrico das raízes para os parâmetros definidos. As equações para determinar estes parâmetros foram a Equação 3 e 4:

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n * \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (3)$$

Em que,

T_p – Tempo de pico;

ζ – Amortecimento;

ω_n – Frequência natural não amortecida.

$$\omega_d = \omega_n * \sqrt{1-\zeta^2} \quad (4)$$

Em que,

ω_d – Ponto no eixo complexo;

ζ – Amortecimento;

ω_n – Frequência natural não amortecida.

Por fim tendo estes valores, foi calculado o ponto no eixo real que representa os comportamentos escolhidos, e com este ponto foi decidido qual seria o zero do compensador, e para determinar este ponto foi utilizada da Equação 5:

$$S = -\zeta * \omega_n \pm \omega_d j \quad (5)$$

Em que,

S – Ponto dom Lugar das Raízes para comportamento desejado;

ω_d – Ponto no eixo complexo;

ζ – Amortecimento;

ω_n – Frequência natural não amortecida.

Com todos os pontos definidos, só restou utilizar os dados para determinar o polo e o ganho do compensador, já que o zero foi escolhido arbitrariamente. Para definir o polo foi feita uma relação

trigonométrica relacionando o zero escolhido, e as raízes de malha aberta do sistema proposto, respeitando as condições de ângulo foi utilizada a Equação 6:

$$\theta_z - \varphi_{ma1} - \varphi_{ma2} - \varphi_p = \pm 180 * (2n + 1) \quad (6)$$

Determinando assim qual ângulo para o polo e determinando seu valor através da Equação 7:

$$p = \frac{\omega_d}{\text{tg } \varphi_p} + 264,41 \quad (7)$$

Com isso foram definidos os valores de polos e zeros para o compensador, e em conjunto foi adicionado mais um polo na origem para melhorar a resposta do sistema e substituir os valores na função característica do compensador, visto na Equação 8:

$$G_c = K * \frac{(s+z)}{(s+p)} \quad (8)$$

Por fim, com o programa montado no software MATLAB com todos os valores descobertos, através de uma análise do Lugar das Raízes para o sistema até então, foi escolhido o ganho do controlador para obter a resposta desejada para o sistema e substituir o valor K da função acima.

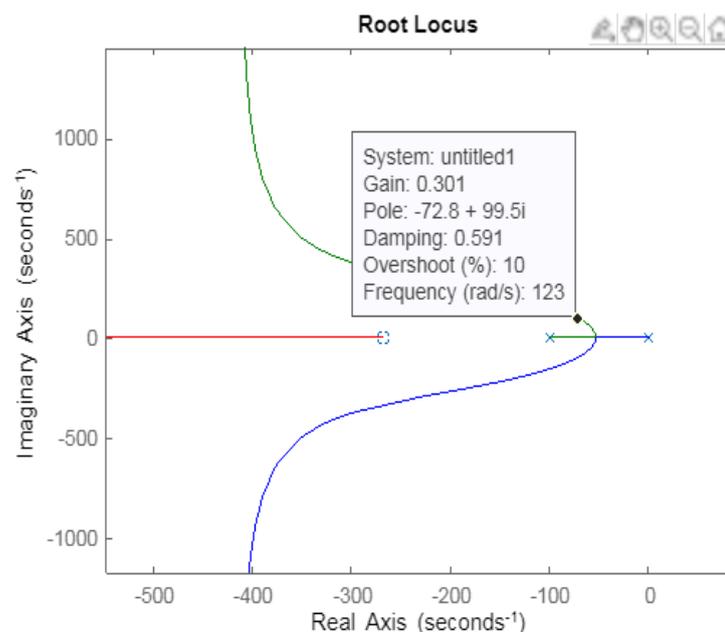
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para os cálculos feitos para cada fase do projeto do controlador estão expostos abaixo:

- Amortecimento – $\zeta = 0,8604$
- Frequência natural não amortecida – $\omega_n = 311,97 \text{ Rad/s}$
- Ponto no eixo complexo – $\omega_d = \pm 157,08$
- Pontos reais e imaginários no lugar das raízes – $s = 268,41 \pm 157,08j$
- Zero escolhido – $z = 268,41$
- Ângulo do polo do compensador – $\varphi_p = 6,54 \text{ graus}$
- Polo do controlador – $p = 1001,6$

Com estes valores no programa montado para a análise, na Figura 1 podemos ver em um plano cartesiano como ficou o mapa do Lugar Geométrico da Raízes, que representa graficamente todas as raízes do sistema com o controlador para os parâmetros obtidos.

FIGURA 1. Mapa do Lugar Geométrico das Raízes Para Projeto do Compensador

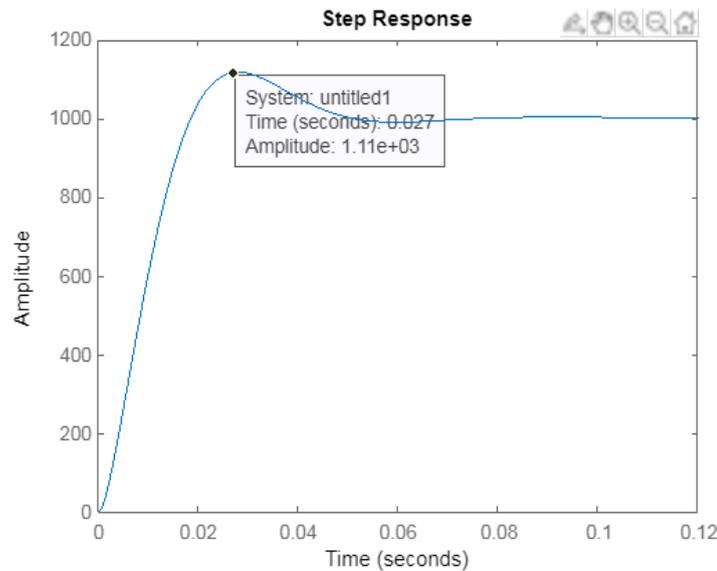


Como pode ser visto na Figura 1, o ajuste de ganho para se obter um valor de sobressinal de 10% foi obtido experimentalmente através da análise do Lugar das Raízes do sistema (Ogata, 2011). Este valor foi necessário para montar a função completa do compensador, visto na Equação 9:

$$G_c = 0,301 \frac{s+268,41}{s(s+1001,6)} \quad (9)$$

Com o compensador finalizado e aplicado no sistema com a malha fechada, foi analisada a resposta da saída do sistema, o resultado pode ser visto na Figura 2, onde é possível ver como o sistema responde após a aplicação do compensador no sistema:

FIGURA 2. Resposta da Saída do Sistema com a Influência do Compensador por Avanço de Fase



Olhando este resultado da Figura 2, vemos que o resultado obtido está como desejado, pois os parâmetros iniciais que deveriam ser encontrados na resposta final seria um Tempo de Pico(TP), próximo de 20ms, o que podemos ver na Figura 2, o parâmetro Time(seconds) de 27ms, e o sobressinal que deveria se de aproximadamente 10% do valor final que no caso é 1000, atinge um valor de Amplitude de 1110.

CONCLUSÕES

Com este estudo foi possível um melhor entendimento acerca do funcionamento de um tipo específico de controlador em um sistema como um motor. Durante o processo de criação do compensador, foram vistos e utilizados diversos conceitos de controle de sistemas e como eles são de vital importância em um processo em malha fechada. Com os resultados obtidos é possível concluir que o controlador projetado atendeu aos requisitos pedidos e que se empregado no dispositivo físico, este compensador atingirá seu propósito.

Ainda existem formas de melhorar este sistema alterando o tipo de controlador, com o controlador do tipo PID, que possuem uma precisão maior do que o Compensador por Avanço de Fase, porém o compensador foi escolhido o controlador, por se relacionar diretamente com os estudos propostos na pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Alexandre Brincalpe Campo, meus agradecimentos pela oportunidade de trabalhar em um projeto de pesquisa científica e orientação durante todo o processo de estudo.

Ao Murillo Kubinhetz, meus agradecimentos pelo apoio nas pesquisas e parte das tarefas.

Ao Hugo da Silva Bernardes Gonçalves, meus agradecimentos pelas dicas e disponibilização de materiais para estudo.

REFERÊNCIAS

CRUZ, J. J. DA; DA CRUZ, J. J. Controle Automático. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-17592011000400009>>.

FRANKLIN, G. F.; DAVID POWELL, J.; EMAMI-NAEINI, A. Sistemas de Controle para Engenharia - 6ed. Bookman Editora, 2013.

OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno, 5ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

DC Motor Speed: System Controlling. Control Tutorials for MatLab & Simulink, 2020. Disponível em:

<<http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorSpeed§ion=SystemModeling>>.

Acesso em: 05 de abr. de 2020.