

# Análise e Projeto de Controle pelo Diagrama de Bode (T1)

Neste trabalho vamos exercitar a análise e projeto de sistemas de controle através da resposta em frequência na forma de Diagramas de Bode. O processo dinâmico (planta) que vamos controlar neste trabalho apresenta a seguinte função de transferência de quarta ordem:

$$G(s) = \frac{a(s + z)}{(s + p_1)(s + p_2)(s + p_3)(s + p_4)},$$

onde  $a$ ,  $z$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  e  $p_4$  são constantes aleatórias. Para obter tais valores, basta executar o comando `[a,z,p1,p2,p3,p4] = getvaluesT1(seed)` no MATLAB, inserindo no campo `seed` os oito dígitos da matrícula (sem dígito verificador) de um dos integrantes do grupo. Lembre-se que a função `getvaluesT1` (anexada junto com este enunciado) deve ser colocada no seu diretório de trabalho do MATLAB.

A arquitetura de controle que será considerada é a forma clássica conforme o diagrama de blocos da Figura 1, onde  $C(s)$  representa o bloco compensador a ser projetado.

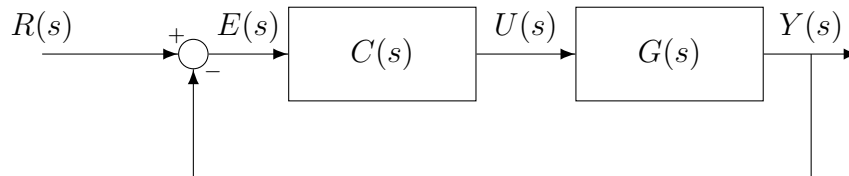


Figura 1: Diagrama de blocos de um sistema de controle tradicional.

Este estudo divide-se em três etapas. Primeiramente vamos analisar a dinâmica da planta  $G(s)$  em malha-aberta. Após, vamos considerar um controle em malha-fechada com compensador do tipo ganho proporcional  $C(s) = K$ . Por fim, vamos considerar uma estrutura de compensação do tipo integral na forma  $C(s) = K/s$ .

Na sequência são apresentadas as atividades requisitadas neste trabalho. Para avaliação, seu grupo deverá elaborar um relatório descrevendo a metodologia empregada para resolver cada atividade, bem como discussões sobre os resultados obtidos.

## Etapa 1: Sistema em Malha-Aberta

Nesta etapa, o objetivo é simplesmente estudar a característica dinâmica natural da planta sem a aplicação de controle. As seguintes tarefas são solicitadas aqui:

- (a) Determine os polos e zeros da função de transferência  $G(s)$  da planta. Com base nisso, avalie a estabilidade em malha-aberta deste sistema.
- (b) No MATLAB, gere o diagrama de bode  $G(s)$  com demarcação de assíntotas utilizando a função `asympt` fornecida em *Material Extra* no Moodle.
- (c) No MATLAB/Simulink, obtenha a resposta ao degrau unitário da planta  $G(s)$  em malha-aberta.
- (d) Ainda no MATLAB/Simulink, obtenha a resposta do sistema para sinais senoidais de entrada com amplitude unitária e frequências 1 rad/s e 10 rad/s. Observe a alteração de amplitude e fase na resposta em regime permanente do sistema para cada caso. Veja se o resultado está de acordo com o previsto pelo Diagrama de Bode.

## Etapa 2: Sistema em Malha-Fechada com Compensador Proporcional

Agora, vamos considerar que a planta está sendo controlada conforme a arquitetura da Figura 1, onde o compensador é definido como sendo  $C(s) = K$ . Neste contexto, faça as seguintes tarefas:

- (a) A partir do Diagrama de Bode da  $G(s)$ , determine as margens de ganho e fase do sistema. Com base nestes dados, preveja se o sistema em malha-fechada com  $K = 1$  terá estabilidade assegurada ou não. Além disso, informe qual seria o valor máximo admissível para o ganho proporcional  $K$  do controle.
- (b) A partir do Diagrama de Bode da  $G(s)$ , determine a constante de erro de posição  $K_p$ . Com base nisso, preveja qual será o erro em regime do sistema de controle perante um sinal de referência do tipo degrau unitário.

- (c) Utilizando o MATLAB/Simulink, construa o digrama de controle da Figura 1 e obtenha por simulação a resposta do sistema em malha-fechada para uma referência do tipo degrau. Teste o controle com  $K = 1$  e também com o valor crítico determinado no item (a). Compare os resultados obtidos com as previsões teóricas anteriores.

### **Etapla 3: Sistema em Malha-Fechada com Compensador Integral**

Vamos nesta última etapa considerar uma compensação do tipo integral na forma  $C(s) = K/s$ . Neste contexto, faça o seguinte:

- (a) Considerando  $C(s) = K/s$  com  $K = 1$ , gere no MATLAB o Diagrama de Bode atualizado do conjunto planta-controlador  $L(s) = C(s)G(s)$ . Indique as margens de fase e ganho do sistema de controle nesta situação.
- (b) Com base no Diagrama de Bode obtido no item anterior, determine um valor para o ganho  $K$  de modo que a malha-fechada se torne estável com margem de fase entre 40 e 50 graus. Após, atualize o Diagrama de Bode com a aplicação deste ganho  $K$  selecionado e identifique as margens de fase e ganho resultantes.
- (c) Com base no Diagrama de Bode atualizado, determine as constantes de erro de posição  $K_p$  e velocidade  $K_v$  do sistema. Assim, preveja qual será o erro em regime deste sistema de controle perante sinais de referência do tipo degrau unitário e rampa de inclinação unitária.
- (d) Por fim, simule o sistema de controle integral projetado utilizando o MATLAB/Simulink. Compare os resultados de simulação com as previsões teóricas.