

3ª Lista de Exercícios

Parte I – Exercícios de livros

- Franklin, G. Powell, J. D., Emami-Naeini, A. **Sistemas de Controle para Engenharia**, Bookman, 6ª Ed., 2013. (ou Franklin, G. Powell, J. D., Emami-Naeini, A. **Feedback Control of Dynamic Systems**, Prentice-Hall, 6th Ed., 2010)
- Ogata, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 4ª Edição, Ed. Pearson, 2003
- Dorf, R. C., Bishop, R.H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8ª edição, Ed. LTC, 2001.

Projeto de Controladores baseados no Lugar das Raízes

Capítulo 5 (Franklin) – Problemas: 5.25, 5.26, 5.29, 5.34, 5.36, 5.37, 5.38 e 5.40

Capítulo 7 (Ogata) – Problemas: 7.12, 7.14, 7.16, 7.17 e 7.18

Projeto de Controladores baseados na Resposta em Frequência

Capítulo 6 (Franklin) – Exercícios 6.45, 6.46, 6.49, 6.50, 6.51, 6.52, 6.54, e 6.56

Capítulo 9 (Ogata) – Problemas: 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8 e 9.9

Projeto de Controladores baseados no Lugar das Raízes ou na Resposta em Frequência

Capítulo 10 (Dorf) – Problemas P10.1 a P10.4, P10.11 a P10.15 e P10.21 a P10.26.

Parte II – Exercícios de Prova

1. Seja um sistema de controle à realimentação unitária cuja função de transferência em malha aberta é dada por

$$G(s) = \frac{16}{s(s+2)}$$

Deseja-se melhorar a resposta em malha fechada devido a uma entrada degrau unitário. Para isto, introduz-se no sistema um controlador PD da seguinte forma

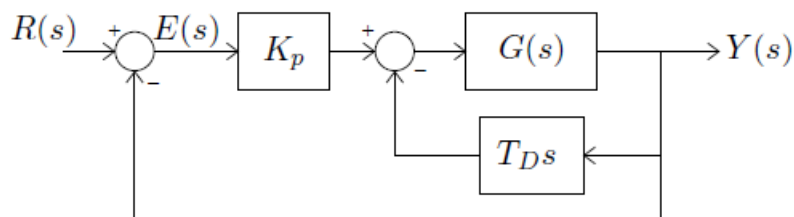
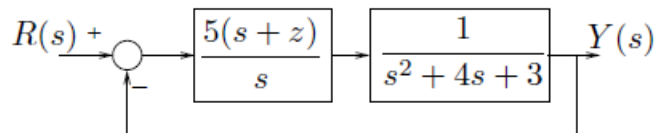


Figura 1:

- (a) Projetar o controlador PD para que o sistema em MF apresente sobre-sinal máximo inferior a 15% e tempo de acomodação menor ou igual a 1 segundo. Mostrar que as especificações são realmente alcançadas.
- (b) A ação derivativa poderia ter sido colocada no ramo direto, em série com o processo (configuração PD série). Em termos de resposta temporal, este novo esquema de controle seria mais adequado que o proposto originalmente (figura 1)? Justificar a resposta.

2. Considere o sistema de controle a realimentação unitária dado a seguir. O controlador deve ser projetado de modo que a resposta temporal apresente as seguintes características:

- Tempo de acomodação (critério 2%) para a resposta ao degrau unitário inferior ou igual a 4s;
- Módulo do erro de rastreamento à rampa inferior ou igual a 10%.



- Determinar, utilizando o lugar das raízes, os valores de $z > 0$ tais que a especificação de tempo de acomodação seja satisfeita.
- A especificação de erro pode ser satisfeita para os valores de z obtidos em (a)? Por quê? Em caso negativo, pode-se adicionar em série um novo controlador (avanço ou atraso de fase) de modo que essa especificação também seja satisfeita. Que tipo de controlador seria o mais indicado? Justificar a resposta.
- Projetar o compensador sugerido no item (b). Utilize z de acordo com o item (a) e justifique sua escolha. Verifique se todas as especificações foram realmente atendidas.

3. Considere um sistema de controle a realimentação unitária cuja função de transferência de malha aberta é dada por:

$$G(z) = \frac{0.5}{(z - 1)(z - 0.75)}$$

Para a obtenção do sistema discreto foi considerado $T = 0.5$.

- (a) Projete um controlador $C(z)$ de modo que o sistema apresente em malha fechada um comportamento similar a um sistema analógico com sobressinal menor do que 10% e tempo de acomodação não superior a 8 segundos. Justifique a escolha do tipo de controlador e descreva detalhadamente as etapas do projeto. É possível afirmar que especificações são realmente atendidas com o controlador projetado? Justifique a resposta.
- (b) Suponha que seja acrescida ao problema uma especificação de erro de regime permanente devido a uma entrada rampa unitária inferior a 15%. É possível atender a essa especificação apenas ajustando o controlador já projetado? Justifique a resposta. Em caso negativo, projete um novo controlador, a ser inserido em série com o anterior, de modo que a especificação de erro também seja alcançada.

4. Considere um sistema de controle com realimentação unitária cuja função de transferência do processo é dada por:

$$G(s) = \frac{5}{s(s^2 + 4s + 4)}.$$

Deseja-se colocar um controlador $C(s)$ em série com o processo de modo a atingir os seguintes objetivos:

- Erro de rastreamento a rampa menor ou igual a 20%;
- Margem de fase maior ou igual a 50°;

Responda as questões abaixo considerando a abordagem em frequência.

- É possível atingir estes objetivos apenas com um controle proporcional? Justificar a resposta.
- Projetar um compensador em atraso de modo que as duas especificações sejam satisfeitas. Mostrar que as especificações são atendidas.
- Suponha que se deseje também uma margem de ganho superior a 18dB. Calcular a margem de ganho do sistema compensado. Caso esta não seja satisfatória, explicar conceitualmente (sem calcular) como o projeto anterior poderia ser modificado de modo a obter a margem de ganho desejada garantindo o atendimento das demais especificações.

5. Considere um sistema de controle a realimentação unitária cuja função de transferência de malha aberta é dada por:

$$G(z) = \frac{0,2}{(z-1)(z-0,8)}$$

Para a obtenção do sistema discreto foi considerado $T = 0,5$.

- Projetar um controlador discreto $C(z)$, em série com $G(z)$, de modo que o sistema apresente em malha fechada um comportamento similar a um sistema analógico com sobresinal menor do que 10% e tempo de acomodação não superior a 6 segundos. É possível afirmar que especificações são realmente atendidas com o controlador projetado? Justificar a resposta.
- É possível ajustar o ganho do controlador projetado para atender uma especificação de erro de regime permanente à entrada rampa unitária inferior a 20%? Justificar a resposta. Em caso negativo, descrever detalhadamente como esta especificação adicional poderia ser satisfeita.

6. Seja o sistema de controle:

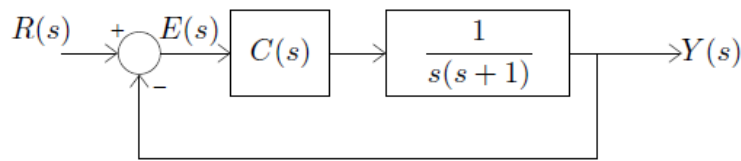


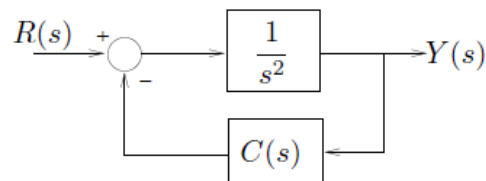
Figura 1: Controlador em Série

Deseja-se que a resposta do sistema atenda as seguintes especificações de desempenho:

- erro de rastreamento à rampa inferior a 10%;
- margem de fase superior a 60° ;
- largura de faixa maior ou igual a 6 rad/s.

Projetar o controlador $C(s)$, baseado na resposta em frequência, que atenda a todas as especificações de desempenho. Mostrar que as especificações são realmente atendidas.

7. Seja o seguinte sistema de controle:



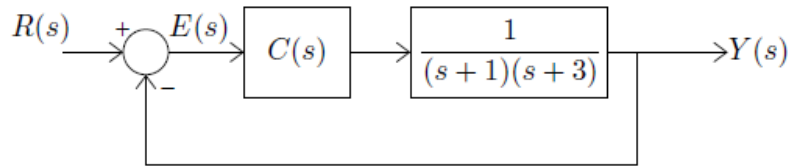
O controlador deve ter a seguinte forma:

$$C(s) = K \frac{s + b}{s + a}$$

Deseja-se garantir uma resposta ao degrau unitário com sobresinal menor do que 5% e tempo de acomodação não superior a 3 segundos. Além disso, o erro de regime permanente deve ser menor do que 20% (em módulo).

- Projetar o controlador $C(s)$ para atender as especificações de resposta transitória. Avaliar se as especificações serão, teoricamente, atendidas.
- O controlador projetado atende também a especificação de regime permanente? Em caso negativo, mostrar como esta especificação poderia ser alcançada (garantidas as especificações da resposta transitória).

8. Para o sistema a seguir, deseja-se projetar um compensador $C(s)$ de modo que a resposta em malha fechada tenha um sobre-sinal máximo de 5% com um tempo de subida não superior a 0.5 segundos.



- Mostre que um controlador proporcional, $C(s) = K_p$, não consegue atender as especificações. Esboce o Lugar das raízes para justificar a resposta.
- Que tipo de compensador (avanço ou atraso de fase) seria o mais indicado pra atender as especificações de desempenho? Justificar a resposta.
- Projete um compensador do tipo

$$C(s) = K \frac{s + b}{s + ab}$$

para atender as especificações da resposta temporal. Verifique analiticamente se as especificações foram atingidas

9. Considere um sistema de controle a realimentação unitária cuja função de transferência de malha aberta é $C(s)G(s)$, com

$$G(s) = \frac{2e^{-0.5s}}{s}$$

Deseja-se projetar um controlador $C(s)$ de modo que:

- a margem de ganho seja igual ou superior a 10dB;
 - a margem de fase seja igual ou superior a 70° ;
 - o erro de rastreamento à entrada rampa unitária seja menor ou igual a 20%
- Considerando $C(s) = K_p$, com $K_p > 0$, determinar a faixa de valores de K_p tal que ambas as especificações de margens de estabilidade sejam atendidas.
 - É possível satisfazer também a especificação referente ao erro com o controle proporcional? Caso não o seja, projetar um controlador de modo a satisfazer todas as especificações. Justificar a escolha do tipo de controlador e descrever a metodologia de projeto. Indicar as margens de estabilidade obtidas com o controlador projetado.

10. Considere um sistema de controle com realimentação unitária cuja função de transferência de malha aberta é dada por:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+2)}$$

Com o objetivo de eliminar erros de regime permanente, deseja-se projetar um controlador PI

$$C(s) = K \frac{(bs+1)}{s}$$

colocado em série com $G(s)$, tal que a margem de fase do sistema controlado seja igual a 50° .

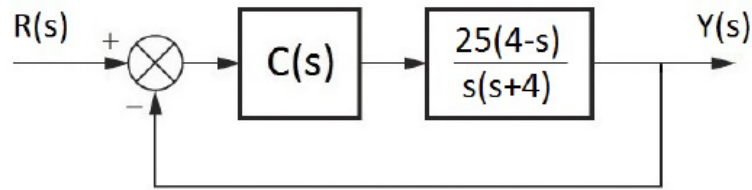
- (a) É possível atingir a especificação de margem de fase apenas com um controle integral?

$$C(s) = \frac{K_I}{s}$$

Justificar a resposta;

- (b) Determinar a faixa de valores de $b > 0$ para o qual o sistema em malha fechada pode ser estabilizado. Neste caso, explicar como a especificação de margem de fase poderia ser garantida.
- (c) Determinar $b > 0$ de modo que o máximo valor da fase de $C(j\omega)G(j\omega)$ seja -130° . Determinar a frequência correspondente a este valor máximo;
- (d) Para o valor de b obtido acima, ajustar o ganho K de modo que a margem de fase do sistema controlado seja igual a 50° ;
- (e) Qual a margem de ganho do sistema controlado ? Justificar a resposta.

11. Seja o sistema de controle abaixo.



Deseja-se que a resposta do sistema atenda as seguintes especificações de desempenho:

- sobressinal menor do que 5%;
- tempo de acomodação não superior a 4 segundos;
- erro de rastreamento à entrada rampa inferior a 15%.

Projetar o controlador $C(s)$, baseado na resposta no tempo, de modo a atender todas as especificações. Esboçar a resposta ao degrau unitário para o controlador projetado. Comentar sobre o desempenho do controlador.

12.

Seja um sistema de controle com realimentação unitária cuja função de transferência de malha aberta é dada por:

$$G(s) = \frac{2}{s^2(s+3)}.$$

Deseja-se projetar um controlador $C(s)$ que, colocado em série com $G(s)$, seja tal que:

- O erro de rastreamento à rampa não seja superior a 10%;
 - A margem de fase não seja inferior a 50° ;
- (a) Esboçar os diagramas de Bode de $G(j\omega)$;
- (b) É possível satisfazer as especificações com um controlador proporcional? Justificar a resposta;
- (c) Projetar um controlador que satisfaça as especificações.