

# **EXERCÍCIOS MÓDULO 2**

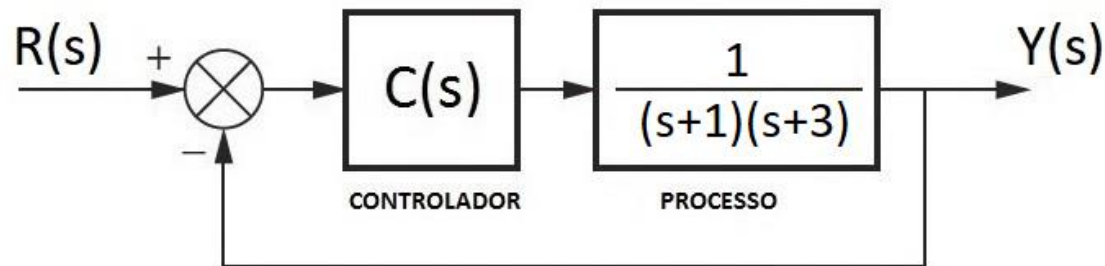
## **PROJETO DE CONTROLADORES**

### **USANDO LUGAR DAS RAÍZES**

**Profa. Cristiane Paim**

# Exercício 1

Para o sistema a seguir, deseja-se projetar um controlador  $C(s)$  de modo que a resposta ao degrau unitário tenha um sobressinal máximo de 5% e um tempo de subida não superior a 0,5 segundos.



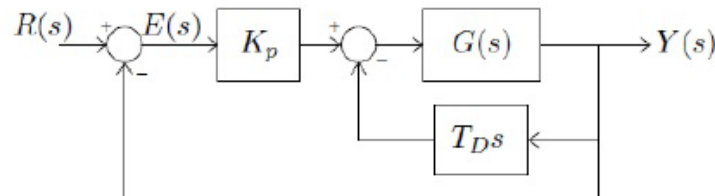
- Mostrar, utilizando o lugar das raízes, que um controlador proporcional,  $C(s)=K$ , não é suficiente para atender as especificações.
- Projetar um controlador  $C(s)$  para atender as especificações da resposta temporal.
- É possível ajustar o controlador projetado para atender uma especificação de erro de regime permanente (em módulo) menor do que 15%? Justificar a resposta.
- Mostrar um solução para garantir o erro de regime permanente menor do que 15%.

## Exercício 2

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-s

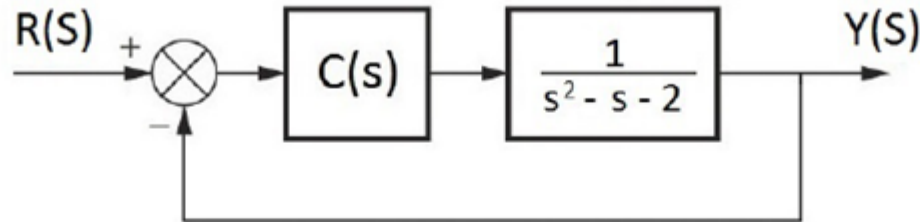


- (a) Projetar o controlador PD para que o sistema em MF apresente sobre-sinal máximo inferior a 15% e tempo de acomodação menor ou igual a 1 segundo. Mostrar que as especificações são realmente alcançadas.
- (b) A ação derivativa poderia ter sido colocada no ramo direto, em série com o processo (configuração PD série). Em termos de resposta temporal, este novo esquema de controle seria mais adequado que o proposto originalmente? Justificar a resposta.
- (c) Calcular o erro de regime permanente devido a uma entrada rampa unitária. Seria possível reduzir este erro usando apenas o controlador PD mas sem violar as demais especificações? Por quê? Caso não seja possível, indicar como o problema poderia ser resolvido.
- (d) Projetar um sistema de controle para atender as especificações de resposta transitória indicadas no item (a) e ainda um erro de regime permanente à entrada rampa inferior à 10%. Indicar a estrutura de controle.

Se necessário, pode ser acrescentado um novo controlador ou alterada a estrutura de controle originalmente proposta.

## Exercício 3

Seja o sistema de controle representado na figura abaixo.

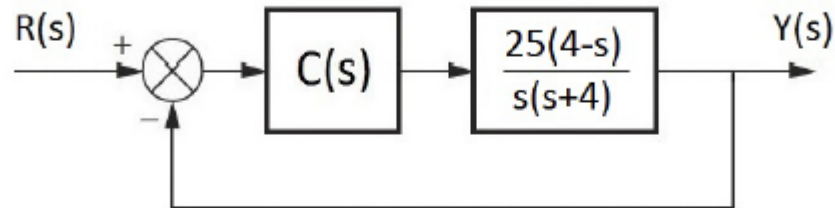


Deseja-se que a resposta ao degrau unitário atenda as seguintes especificações de desempenho:

- sobressinal menor do que 10%;
  - tempo de acomodação inferior a 4 segundos.
- (a) Projetar um controlador  $C(s)$ , baseado na resposta no tempo, de modo a atender todas as especificações de desempenho. É possível afirmar que as especificações são realmente atendidas com o controlador projetado? Justificar a resposta.
- (b) Deseja-se agora que o erro de rastreamento (em módulo) à entrada degrau seja inferior a 10%. Considerando a solução mais simples possível, mostrar como esta especificação adicional poderia ser também atendida.
- (c) Projetar o controlador sugerido no item anterior.

## Exercício 4

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%.

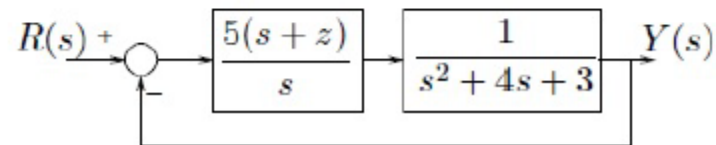
Projetar o controlador  $C(s)$ , baseado na resposta no tempo, de modo a atender todas as especificações. Esboçar a resposta ao degrau unitário para o controlador projetado. Comentar sobre o desempenho do controlador.



## Exercício 5

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:

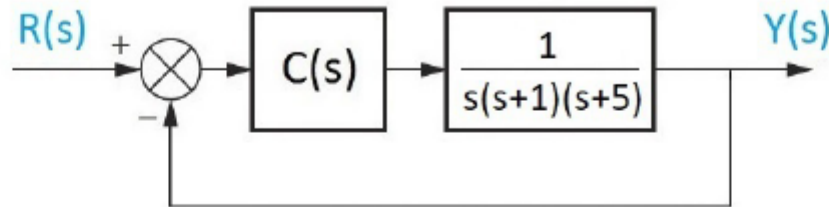
- Tempo de acomodação (critério 2%) para a resposta ao degrau unitário inferior ou igual a 4s;
- Módulo do erro de rastreamento à rampa inferior ou igual a 10%.



- 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.

## Exercício 6

Seja o sistema de controle representado na figura abaixo.



Deseja-se que a resposta ao degrau unitário atenda as seguintes especificações de desempenho:

- sobressinal menor do que 20%;
- tempo de acomodação não superior a 8 segundos.

E ainda que o erro de rastreamento à entrada rampa unitária seja menor ou igual a 5%.

- (a) Projetar um controlador  $C(s)$ , baseado na resposta no tempo, de modo a atender todas as especificações de desempenho. O controlador deve ser do tipo avanço-atraso, com a estrutura definida a seguir.

$$C(s) = K \left( \frac{s + 1/T_1}{s + \beta/T_1} \right) \left( \frac{s + 1/T_2}{s + 1/\beta T_2} \right) \quad \beta > 1$$

- (b) É possível afirmar que as especificações são realmente atendidas com o controlador projetado? Justificar a resposta.

## Exercício 7

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.



## Exercício 8

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  $T = 0,5$ .

- (a) 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.
- (b) 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.