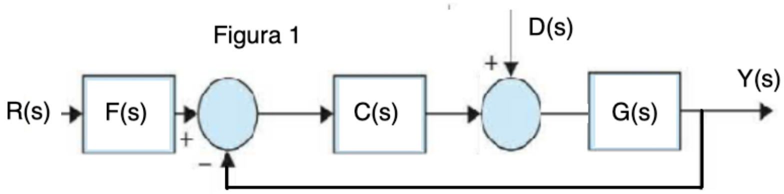
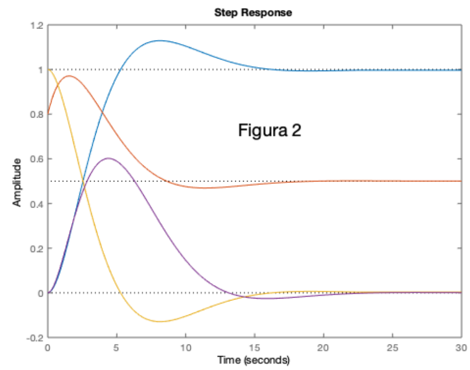
Universidade Federal do Espírito Santo - Departamento de Engenharia Elétrica

Primeira prova de Sistemas Realimentados (9/4/2024)





1) Seja o sistema de controle mostrado na figura 1 e $G(s) = \dfrac{4}{s+2}$ e $F(s) = 1$.

1.1 Obtenha via sintese direta $C(s)$ tal que em malha fechada o erro à entrada degrau seja nulo e a constante de tempo em malha fechada seja $1/5$ da constante de tempo de malha aberta.

1.2 Esboce na mesma figura a resposta ao degrau em malha aberta e em malha fechada.

1.3 Analise a rejeição do distúrbio $D(s)$ usando o controlador projetado.

2) Seja $G(s) = \dfrac{1}{s^2 + 0.7s + 1}$.

2.1 Esboce a resposta ao degrau deste sistema.

2.2 Escolha um modelo de referência $T(s)$ para o sistema em malha fechada de modo que se tenha sobreelevação menor que 5% e tempo de estabelecimento menor que a metade do obtido em malha aberta.

2.3 Projete um controlador $C(s)$ via sintese direta de modo que em malha fechada se tenha o mesmo tempo de estabelecimento porém sem sobreelevação.

2.4 Seja o pré-compensador $F(s)$ da figura. Em qual dos casos 2.2 ou 2.3 ele pode melhorar a resposta $\dfrac{Y(s)}{R(s)}$ e como deve ser projetado?

3) A figura 2 mostra o resultado do projeto de um controlador $C(s)$ para uma FT dada por $G(s) = \dfrac{2}{5s^2 + 6s + 1}$.

3.1 Identifique as curvas obtidas das FTs $\dfrac{Y(s)}{R(s)}, \dfrac{U(s)}{R(s)}, \dfrac{E(s)}{R(s)}, \dfrac{Y(s)}{D(s)}$, para $R(s) = D(s) = \dfrac{1}{s}$, justificando as escolhas.

3.2 Explique como obter o valor de IAE a partir destas curvas para resposta à entrada degrau R(s) e ao distúrbio D(s).

Peso 1.5 para 1.1 e 2.3. Os demais itens têm peso 1.0.

Solução

Questão 1

```
g1=tf(4,[1 2]);
```

1.1 Controlador: tau=1/2=0.5 e o ganho é K=4/2=2   lambda=0.5/5=0.1   kp=tau/(K*lambda);   ki=1/tau;

```
c1=pidtuning(g1,0.1)
```

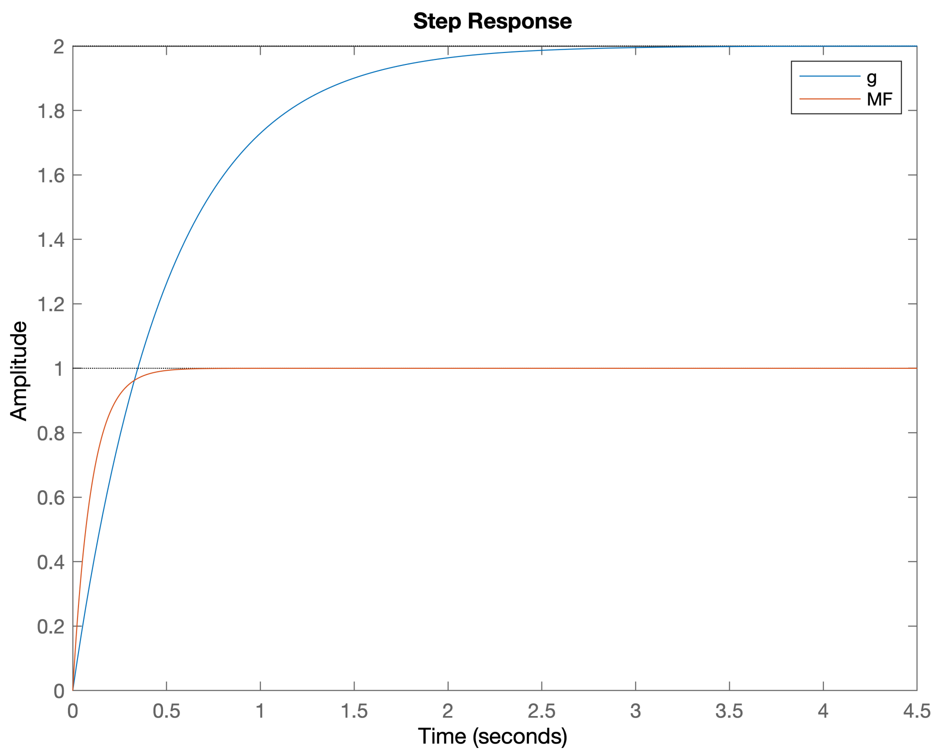
```
c1 =

             1
  Kp + Ki * ---
             s

  with Kp = 2.5, Ki = 5

Continuous-time PI controller in parallel form.
```

```
m1=feedback(c1*g1,1);
```

Kp=2.5   Ki=5/2.5

1.2 Esboçar a resposta: usar informação de ganho K=2 e constante de tempo tau=0.5 para malha aberta e K=1 tau=0.1 para malha fechada

```
figure;step(g1,m1);legend('g','MF')
```



1.3 $\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{4s^2 + 8s}{s^3 + 4s^2 + 44s + 80}$

Aplicando o teorema do valor final para D(s) degrau unitário, resulta $y(\infty) = 0$.

Questão 2

```
g2=tf(1,[1 0.7 1]);
```

2.1 Obter UP e ts usando ζ, ω_n e desenhar resposta

```
wn=1;
zeta=0.7/(2*wn)
```

```
zeta = 0.3500
```

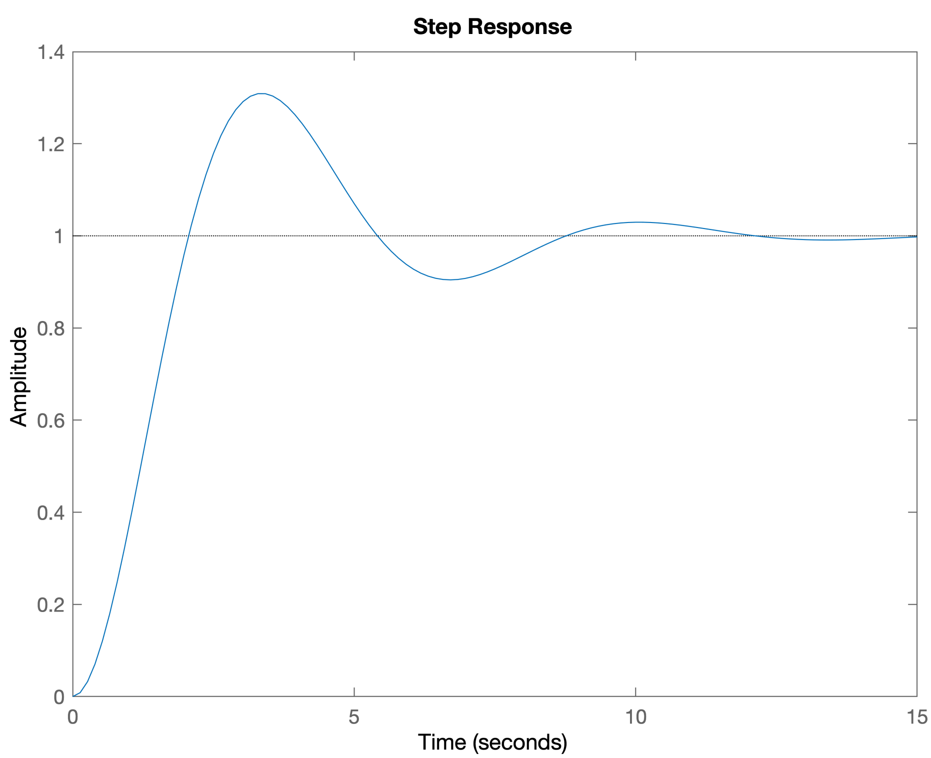
```
UP=100*exp(-zeta*pi/(sqrt(1-zeta^2)))
```

```
UP = 30.9190
```

```
ts=4/(zeta*wn)
```

```
ts = 11.4286
```

```
figure;step(g2);
```



2.2 UP=5% implica $\zeta = 0.69$, tempo de estabelecimento =7s implica $\omega_n = 0.83$. Portanto,

$$T(s) = \frac{0.68}{s^2 + 1.15s + 0.68}$$

2.3 Como UP=0, deve-se escolher $T(s) = \frac{1}{\lambda s + 1}$, com $\lambda = 14/4$. O controlador resultante é um PID dado por Kp = 0.475, Ki = 0.286/Kp, Kd = 0.415/Kp.

2.4 Ele pode ser usado no caso 2.2 para cancelar o efeito dos 2 zeros introduzidos pelo controlador PID, que fazem com que a resposta em malha fechada $\frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}$ seja diferente da FT especificada $T(s)$. F(s) é projetado como $F(s) = \frac{1}{B(s)}$, onde B(s) são os zeros do controlador PID, porém removendo seu ganho.

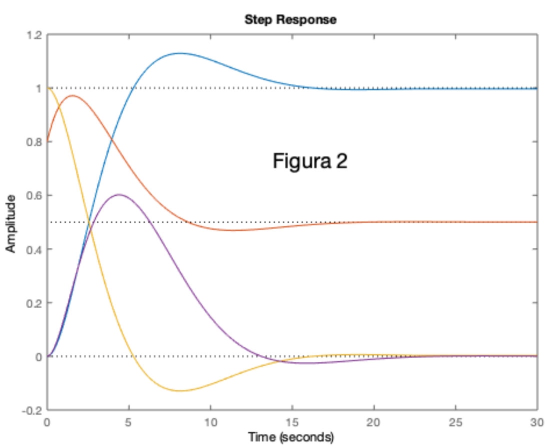
No caso 2.3 F(s) não tem efeito pois os zeros do controlador já cancelam os polos da FT de malha aberta.

Questão 3

3) A figura 2 mostra o resultado do projeto de um controlador $C(s)$ para uma FT dada por $G(s) = \frac{2}{5s^2 + 6s + 1}$.

3.1 Identifique as curvas obtidas dos modelos $\frac{Y(s)}{R(s)}, \frac{U(s)}{R(s)}, \frac{E(s)}{R(s)}, \frac{Y(s)}{D(s)}$, para $R(s) = D(s) = \frac{1}{s}$, justificando as escolhas.

3.2 Explique como obter o valor de IAE a partir destas curvas.

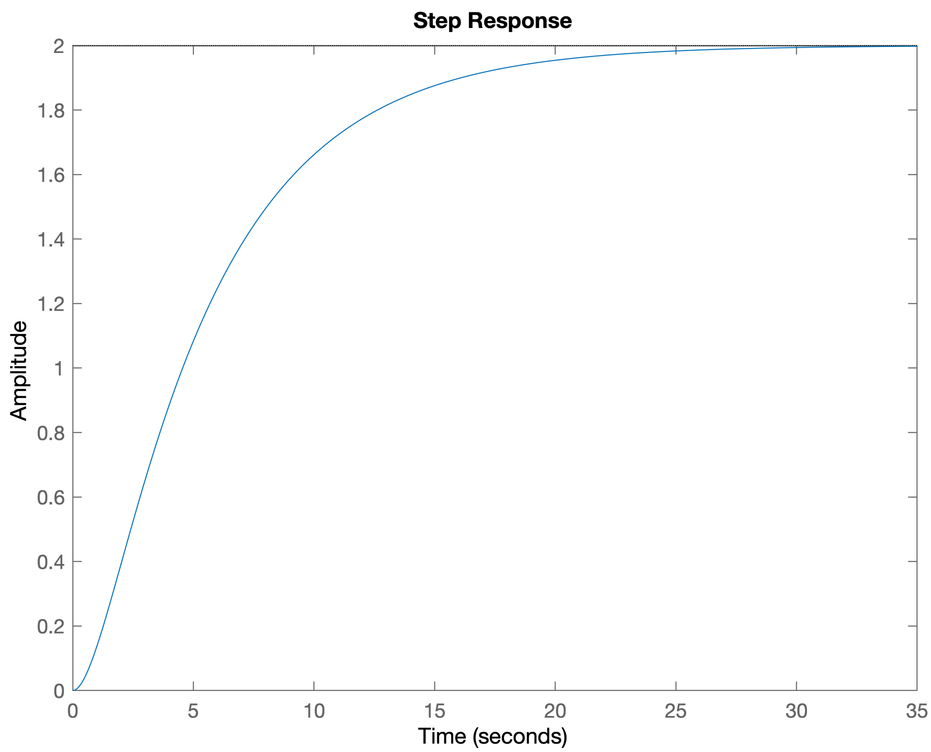


Questão 3

```
g3=tf(2,[5 6 1])
```

```
g3 =

         2
  ---------------
  5 s^2 + 6 s + 1

Continuous-time transfer function.
```

```
figure;step(g3)
```




```
[c, iae]=pidtuning(g3,'method','polealoc','type','PI','param',[5 10]) ;
my=feedback(c*g3,1);
mu=feedback(c,g3);
me=feedback(1,c*g3);
md=feedback(g3,c);
% figure;
% step(my,mu,me,md);
```

3.1 A figura abaixo identifica as curvas.

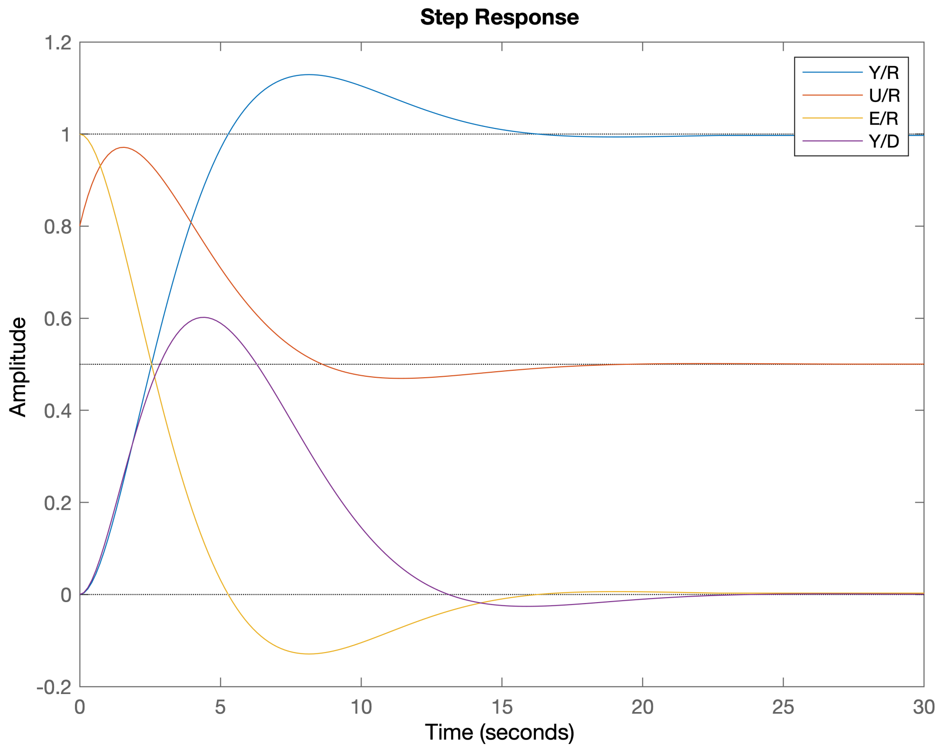
Y/R começa em zero e tende a 1 em regime.

U/R começa com um valo inicial não nulo e tende a um valor constante em regime.

E/R começa com o valor de R(=1) e tende a zero em regime pois Y tende a R.

Y/D começa com valor nulo no início do distúrbio e depois volta a zero pois o distúrbio é rejeitado.

```
figure;
step(my,mu,me,md);legend('Y/R','U/R','E/R','Y/D')
```



3.2 O valor do IAE é obtido integrando o valor absoluto do erro E=R-Y, no intervalo de tempo de 0 a 30 segundos.

Para resposta a R(s), o erro a integrar é `R-Y`, ou seja, `1-Y`.

Para resposta a D(s), o erro a integrar também é |`R-Y|`, neste caso, `0-Y`=|-Y|.