DIP. ING. INFORMAZIONE

Fondamenti di Automatica: Esempi di sintesi di un controllore

Sergio Grammatico, Mario Innocenti

ESERCITAZIONE DI FONDAMENTI DI AUTOMATICA

Pisa, 25 maggio 2017

Outline

1. Rete anticipatrice
2. Rete ritardatrice
3. Equ. Diofantina e retroazione dello stato
4. Retroazione dello stato
5. Altre risorse

Outline

1. Rete anticipatrice
2. Rete ritardatrice
3. Equ. Diofantina e retroazione dello stato
4. Retroazione dello stato
5. Altre risorse

Esercizio 1

$$G(s) = \frac{1}{1 + s/2} \quad \text{(forma di Bode)}$$

Specifiche:

1. $e_{\mathsf{rampa}}(\infty) \leq 0.01$
2. $\omega_{\mathsf{n}} \geq 20$ rad/s
3. PM $\simeq 50^\circ$

Approccio richiesto:

- Rete correttrice

Esercizio 1: Analisi delle specifiche

1. $e_{\text{rampa}}(\infty) \leq 0.01 \implies$ sistema in anello chiuso di tipo 1

   $\implies$ aggiungiamo 1 polo nell'origine: $\frac{1}{s}$

   Teorema del valore finale:

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+\frac{k_0}{s}G(s)} \underbrace{\frac{1}{s^2}}_{\text{rampa}}$$

$$= \lim_{s\to 0} \frac{1}{s + k_0 \frac{1}{1+s/2}} = \frac{1}{k_0} \leq 0.01 \iff k_0 \geq 100$$

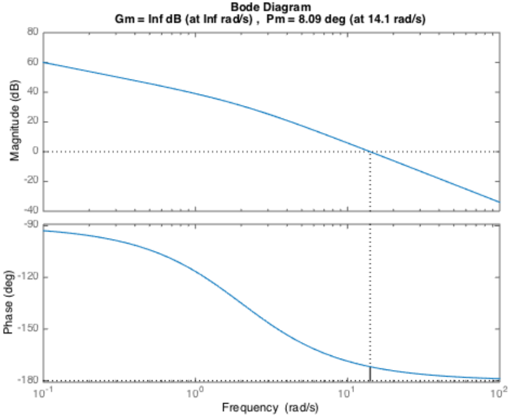
$\implies$ scegliamo $k_0 := 100$

$$\implies K_0(s)G(s) = \frac{k_0}{s}\frac{1}{1+s/2} = \frac{100}{s\,(1+s/2)}$$

Esercizio 1: Analisi delle specifiche (2)

2. $\omega_n \geq 20$ rad/s

```
>> s = tf('s'); G = 1/(1+s/2); K0 = 100/s; G1 = K0*G;
>> margin(G1)
```



Esercizio 1: Analisi delle specifiche (3)

2. $\omega_n \geq 20$ rad/s
3. PM $\geq 50°$

$\Longrightarrow$ aumentiamo il guadagno: $k_0 = 300$

```
>> s = tf('s'); G = 1/(1+s/2); K0 = 300/s; G1 = K0*G;
>> margin(G1)
```

$\Longrightarrow$ nuova frequenza di taglio $= 24.5$ rad/s > 20 rad/s

$\Longrightarrow$ PM $\simeq 5°$

$\Longrightarrow$ rete anticipatrice per aumentare la fase (ad esempio, di $60°$)

Esercizio 1: Rete anticipatrice

- Rete anticipatrice:

$$K_1(s) = \frac{1+Ts}{1+\alpha Ts}, \quad \alpha < 1,\ T > 0$$

- Aumento di fase:

$$\sin\left(\phi_{\max}\right) = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}, \quad \omega_{\max} = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}$$

$\Longrightarrow$ aumentiamo la fase di $\phi_{\max} = 60°$ in $\omega_{\max} = 24.5$ rad/s

$\Longrightarrow \alpha = \dfrac{1-\sin(\phi_{\max})}{1+\sin(\phi_{\max})} \simeq 0.144, \quad T = \dfrac{1}{\omega_{\max}\sqrt{\alpha}} \simeq 0.1076$

- Guadagno in $\phi_{\max}$:

$$\left|\frac{1+Ts}{1+\alpha Ts}\right| = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \simeq 2.63$$

Esercizio 1: Rete anticipatrice (2)

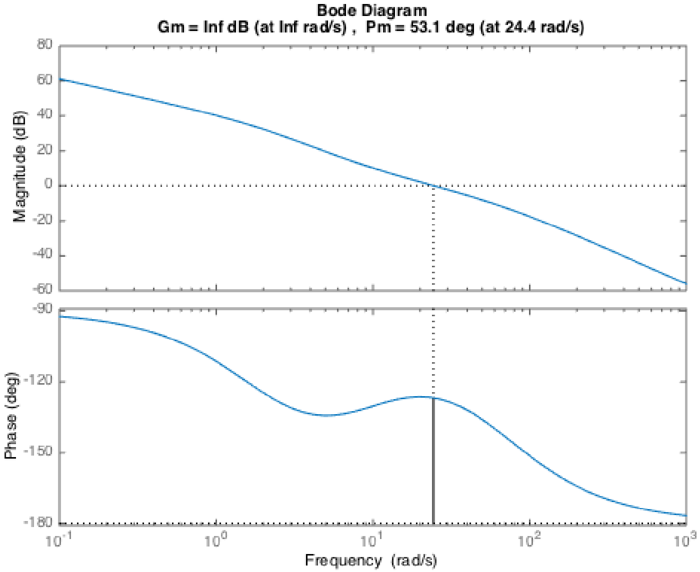
- Controllore:

$$K(s) = \sqrt{\alpha}K_1(s)K_0(s) = \frac{\sqrt{\alpha}(1+Ts)}{1+\alpha Ts} \cdot \frac{k_0}{s} \simeq \frac{1+0.1076s}{1+0.0155s} \cdot \frac{114}{s}$$

- Anello aperto:

$$K(s)G(s) = \frac{1+0.1076s}{1+0.0155s} \cdot \frac{114}{s} \cdot \frac{1}{1+s/2}$$

```
>> s = tf('s'); G = 1/(1+s/2); K0 = 300/s;
>> K = K0*sqrt(0.144)*(1+0.1076*s)/(1+0.0155*s);
>> margin(K*G)
```


Bode Diagram
Gm = Inf dB (at Inf rad/s) , Pm = 53.1 deg (at 24.4 rad/s)
Magnitude (dB)
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
Phase (deg)
-90
-120
-150
-180
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
Frequency (rad/s)

Outline

1. Rete anticipatrice
2. Rete ritardatrice
3. Equ. Diofantina e retroazione dello stato
4. Retroazione dello stato
5. Altre risorse

Esercizio 2

$$G(s) = \frac{1}{1 + s/2} \quad \text{(forma di Bode)}$$

Specifiche:

1. $e_{\text{rampa}}(\infty) \leq 0.01$
2. PM $\simeq 60°$

Approccio richiesto:

- Rete correttrice

Esercizio 2: Analisi delle specifiche

1. $e_{\text{rampa}}(\infty) \leq 0.01 \implies$ sistema in anello chiuso di tipo 1

   $\implies$ aggiungiamo 1 polo nell'origine: $\frac{1}{s}$

   Teorema del valore finale:

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0} s \frac{1}{1+\frac{k_0}{s}G(s)} \underbrace{\frac{1}{s^2}}_{\text{rampa}}$$

$$= \lim_{s\to 0} \frac{1}{s + k_0 \frac{1}{1+s/2}} = \frac{1}{k_0} \leq 0.01 \iff k_0 \geq 100$$

$\implies$ scegliamo $k_0 := 100$

$$\implies K_0(s)G(s) = \frac{100}{s\,(1+s/2)}$$

Esercizio 2: Analisi delle specifiche (2)

2. PM $\geq 60^\circ$

- Diagrammi di Bode:

```
>> s = tf('s'); G = 1/(1+s/2); K0 = 100/s; G1 = K0*G;
>> margin(G1)
```

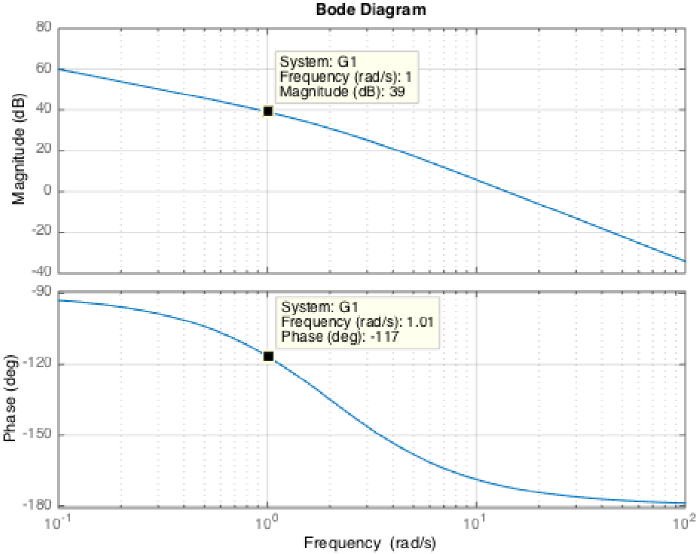
$\Longrightarrow$ PM $\simeq 8^\circ$ alla frequenza di taglio, 14 rad/s

```
>> bode(G1)
```

$\Longrightarrow K_0(s)G(s)$ ha fase $\simeq -117^\circ$ alla frequenza di 1 rad/s

$K_0(s)G(s)$ ha modulo $\simeq 39$ dB alla frequenza di 1 rad/s

Esercizio 2: Analisi delle specifiche (3)



- Rete ritardatrice:

$$K_1(s) = \frac{1+Ts}{1+\alpha Ts}, \quad \alpha > 1,\ T > 0$$

- Attenuazione di modulo:

$$\lim_{s\to\infty} \frac{1+Ts}{1+\alpha Ts} = \frac{1}{\alpha}$$

$\Longrightarrow$ riduciamo il modulo di $\alpha = 100 = 40$ dB

$\Longrightarrow$ scegliamo polo e zero in bassa frequenza: $\frac{1}{T} = \frac{1}{20} \Leftrightarrow T = 20$

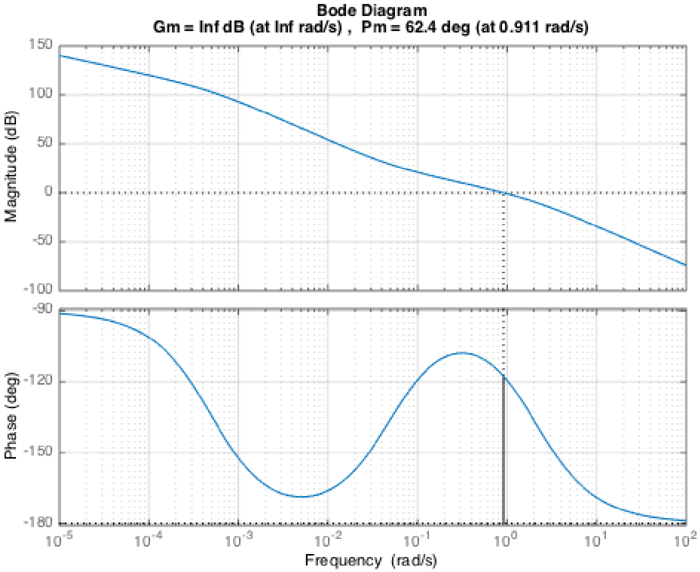
Esercizio 2: Rete ritardatrice (2)

- $K(s) = K_1(s)K_0(s) = \dfrac{1+Ts}{1+\alpha Ts} \cdot \dfrac{k_0}{s} \simeq \dfrac{1+20s}{1+2000s} \cdot \dfrac{100}{s}$
- Anello aperto:

$$K(s)G(s) = \frac{1+20s}{1+2000s} \cdot \frac{100}{s} \cdot \frac{1}{1+s/2}$$

```
>> s = tf('s'); G = 1/(1+s/2); K0 = 100/s;
>> K = K0*(1+200*s)/(1+2000*s);
>> margin(K*G)
```

Esercizio 2: Rete ritardatrice (3)



Outline

1. Rete anticipatrice
2. Rete ritardatrice
3. Equ. Diofantina e retroazione dello stato
4. Retroazione dello stato
5. Altre risorse

Esercizio 3

$$G(s) = \frac{1}{s(s-10)}$$

Specifiche:

1. $e_{\text{rampa}}(\infty) = 0$
2. $\omega_{\text{n}} \geq 1$ rad/s
3. $T_{\text{assestamento}} \leq 5$ s

Esercizio 3

$$G(s) = \frac{1}{s(s-10)}$$

Specifiche:

1. $e_{\text{rampa}}(\infty) = 0$
2. $\omega_{\text{n}} \geq 1$ rad/s
3. $T_{\text{assestamento}} \leq 5$ s

Approcci consigliati:

- Equazione Diofantina
- Retroazione dello stato

Esercizio 3: Analisi delle specifiche

1. $e_{\text{rampa}}(\infty) = 0 \Longrightarrow$ sistema in anello chiuso di tipo 2

   $\Longrightarrow$ aggiungiamo 1 polo nell'origine: $\dfrac{1}{s}$

Esercizio 3: Analisi delle specifiche

1. $e_{\mathsf{rampa}}(\infty) = 0 \implies$ sistema in anello chiuso di tipo 2

   $\implies$ aggiungiamo 1 polo nell'origine: $\dfrac{1}{s}$

2. $\omega_{\mathsf{n}} \geq 1$ rad/s
3. $T_{\mathsf{assestamento}} \leq 5$ s

   $$\xi\, \omega_{\mathsf{n}}\, T_{\mathsf{assestamento}} \simeq 4.6 \implies \xi \geq \frac{4.6}{\omega_{\mathsf{n}}\, T_{\mathsf{assestamento}}} \simeq 0.92$$

   $\implies$ scegliamo $\omega_{\mathsf{n}} := 1,\ \ \xi := 1$

Esercizio 3: Equazione Diofantina

- Polinomio caratteristico desiderato in anello chiuso:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = (s+10)^2\,(s^2 + 2\xi\omega_{\mathsf{n}} s + \omega_{\mathsf{n}}^2) = (s+10)^2\,(s+1)^2$$

Esercizio 3: Equazione Diofantina

- Polinomio caratteristico desiderato in anello chiuso:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = (s+10)^2\,(s^2 + 2\xi\omega_{\mathsf{n}} s + \omega_{\mathsf{n}}^2) = (s+10)^2\,(s+1)^2$$

- Sistema: $G(s) = \dfrac{n(s)}{d(s)} = \dfrac{1}{s(s-10)}$

Esercizio 3: Equazione Diofantina

- Polinomio caratteristico desiderato in anello chiuso:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = (s+10)^2\,(s^2 + 2\xi\omega_{\mathsf{n}} s + \omega_{\mathsf{n}}^2) = (s+10)^2\,(s+1)^2$$

- Sistema: $G(s) = \dfrac{n(s)}{d(s)} = \dfrac{1}{s(s-10)}$
- Controllore: $K(s) = \dfrac{n_K(s)}{d_K(s)} = \dfrac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s(a_2 s + a_1)}$

Esercizio 3: Equazione Diofantina

- Polinomio caratteristico desiderato in anello chiuso:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = (s+10)^2\left(s^2 + 2\xi\omega_{\mathsf{n}} s + \omega_{\mathsf{n}}^2\right) = (s+10)^2\left(s+1\right)^2$$

- Sistema: $G(s) = \dfrac{n(s)}{d(s)} = \dfrac{1}{s(s-10)}$
- Controllore: $K(s) = \dfrac{n_K(s)}{d_K(s)} = \dfrac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s(a_2 s + a_1)}$
- Anello chiuso: $G_{\mathsf{CL}}(s) = \dfrac{n(s)n_K(s)}{d(s)d_K(s) + n(s)n_K(s)}$

Esercizio 3: Equazione Diofantina (2)

Equazione Diofantina:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = d(s)d_K(s) + n(s)n_K(s) =: d_{\mathsf{CL}}(s)$$

Esercizio 3: Equazione Diofantina (2)

Equazione Diofantina:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = d(s)d_K(s) + n(s)n_K(s) =: d_{\mathsf{CL}}(s)$$

$$\begin{aligned}
d^*_{\mathsf{CL}}(s) &= (s+10)^2(s+1)^2 \\
&= (s+10)^2\left(s^2+2s+1\right) \\
&= \left(s^2+20s+100\right)\left(s^2+2s+1\right) \\
&= s^4+22s^3+141s^2+220s+100 \\
d_{\mathsf{CL}}(s) &= s(s-10)(a_2s^2+a_1s)+b_2s^2+b_1s+b_0 \\
&= (s^2-10s)(a_2s^2+a_1s)+b_2s^2+b_1s+b_0 \\
&= a_2s^4+(a_1-10a_2)s^3+(-10a_1+b_2)s^2+b_1s+b_0
\end{aligned}$$

$$\Longrightarrow a_2 = 1, a_1 = 32, b_2 = 461, b_1 = 220, b_0 = 100$$

Esercizio 3: Equazione Diofantina (3)

Risultato:

- $K(s) = \dfrac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s} = \dfrac{461 s^2 + 220 s + 100}{s(s+32)}$
- $K(s)G(s) = K(s)\dfrac{1}{s(s-10)} = \dfrac{461 s^2 + 220 s + 100}{s^2(s+32)(s-10)}$
- $G_{\mathsf{CL}}(s) = \dfrac{n(s)n_K(s)}{d(s)d_K(s) + n(s)n_K(s)} = \dfrac{461 s^2 + 220 s + 100}{(s+10)^2(s+1)^2}$

Esercizio 3: Equazione Diofantina (4)

Comandi MATLAB:

```
>> n = 1; d = [1 -10 0]; G = tf(n,d)
>> nK = [461 220 100]; dK = [1 32 0]; K = tf(nK,dK)
```

Esercizio 3: Equazione Diofantina (4)

Comandi MATLAB:

```
>> n = 1; d = [1 -10 0]; G = tf(n,d)
>> nK = [461 220 100]; dK = [1 32 0]; K = tf(nK,dK)
```

alternativamente

```
>> s = tf('s'); G = 1/(s*(s-10))
>> K = (461*s^2 + 220*s + 100)/(s^2 + 32*s)
```

Esercizio 3: Equazione Diofantina (4)

Comandi MATLAB:

```
>> n = 1; d = [1 -10 0]; G = tf(n,d)
>> nK = [461 220 100]; dK = [1 32 0]; K = tf(nK,dK)
```

alternativamente

```
>> s = tf('s'); G = 1/(s*(s-10))
>> K = (461*s^2 + 220*s + 100)/(s^2 + 32*s)
```

```
>> Gcl = n*nK/(d*dK+n*nK)
>> step(Gcl)
```

Esercizio 4: Retroazione dello stato

- Spazio di stato (forma compagna di controllo):

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

Esercizio 4: Retroazione dello stato

- Spazio di stato (forma compagna di controllo):

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

- Polinomio caratteristico in anello aperto:

$$d(s) = \det(sI - A) = \det\left(\begin{bmatrix} s & -1 \\ 0 & s - 10 \end{bmatrix}\right) = s(s - 10) = s^2 - 10s$$

Esercizio 4: Retroazione dello stato

- Spazio di stato (forma compagna di controllo):

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

- Polinomio caratteristico in anello aperto:

$$d(s) = \det(sI - A) = \det\left(\begin{bmatrix} s & -1 \\ 0 & s-10 \end{bmatrix}\right) = s(s-10) = s^2 - 10s$$

- Polinomio caratteristico desiderato in anello chiuso:

$$d^*_{\mathsf{CL}}(s) = (s+1)^2 = s^2 + 2s + 1$$

Esercizio 4: Retroazione dello stato (2)

- Matrice dinamica in anello chiuso:

$$A_{\mathsf{CL}} = A - BK = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_1 & 10 - k_2 \end{bmatrix}$$

Esercizio 4: Retroazione dello stato (2)

- Matrice dinamica in anello chiuso:

$$A_{\mathsf{CL}} = A - BK = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_1 & 10 - k_2 \end{bmatrix}$$

- Matrice dinamica desiderata in anello chiuso:

$$A^*_{\mathsf{CL}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}$$

Esercizio 4: Retroazione dello stato (2)

- Matrice dinamica in anello chiuso:

$$A_{\mathsf{CL}} = A - BK = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_1 & 10 - k_2 \end{bmatrix}$$

- Matrice dinamica desiderata in anello chiuso:

$$A^*_{\mathsf{CL}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}$$

$\Longrightarrow$ scegliamo $k_1 = 1$, $k_2 = 12$.

Esercizio 4: Retroazione dello stato (3)

Comandi MATLAB:

```
>> s = tf('s'); G = 1/(s*(s-10));
>> A = [0 1; 0 10]; B = [0; 1]; C = [1 0; 0 1];
>> K = [1 12]; Acl = A - B*K; eig(Acl)
```

Esercizio 4: Retroazione dello stato (3)

Comandi MATLAB:

```
>> s = tf('s'); G = 1/(s*(s-10));
>> A = [0 1; 0 10]; B = [0; 1]; C = [1 0; 0 1];
>> K = [1 12]; Acl = A - B*K; eig(Acl)
```

- assegnamento tramite formula di Ackerman

```
>> A = [0 1; 0 10]; B = [0; 1];
>> K = acker(A,B,[-1;-1]); Acl = A - B*K; eig(Acl)
```

Esercizio 4: Retroazione dello stato (3)

Comandi MATLAB:

```
>> s = tf('s'); G = 1/(s*(s-10));
>> A = [0 1; 0 10]; B = [0; 1]; C = [1 0; 0 1];
>> K = [1 12]; Acl = A - B*K; eig(Acl)
```

- assegnamento tramite formula di Ackerman

```
>> A = [0 1; 0 10]; B = [0; 1];
>> K = acker(A,B,[-1;-1]); Acl = A - B*K; eig(Acl)
```

- molteplicità poli desiderati $\leq$ rank(B) $\Longrightarrow$ funzione `place`

```
>> A = [0 1; 0 10]; B = [0; 1];
>> K = place(A,B,[-1;-2]); Acl = A - B*K; eig(Acl)
```

Outline

1. Rete anticipatrice
2. Rete ritardatrice
3. Equ. Diofantina e retroazione dello stato
4. Retroazione dello stato
5. Altre risorse

Esercizio 5

$$G(s) = \frac{(s-2)(s-4)}{s^2(s-1)(s-3)(s^2+0.8s+4)}$$

Specifiche:

1. $e_{\text{gradino}}(\infty) = 0$
2. $T_{\text{assestamento}} \leq 10$ s
3. $M_{\%} \leq 5\%$

Esercizio 5

$$G(s) = \frac{(s-2)(s-4)}{s^2(s-1)(s-3)(s^2+0.8s+4)}$$

Specifiche:

1. $e_{\text{gradino}}(\infty) = 0$
2. $T_{\text{assestamento}} \leq 10$ s
3. $M_{\%} \leq 5\%$

Approccio raccomandato:

- Retroazione dello stato

Esercizio 5: Analisi delle specifiche

1. $e_{\text{gradino}}(\infty) = 0$: $G(s)$ è già di tipo 2
2. $\xi\omega_{\text{n}}T_{\text{assestamento}} \simeq 4.6 \Longrightarrow \xi\omega_{\text{n}} \geq 0.46$

Esercizio 5: Analisi delle specifiche

1. $e_{\text{gradino}}(\infty) = 0$: $G(s)$ è già di tipo 2
2. $\xi \omega_{\text{n}} T_{\text{assestamento}} \simeq 4.6 \Longrightarrow \xi \omega_{\text{n}} \geq 0.46$
3. $M_{\%} = \exp\left(\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \leq 0.05 \Longrightarrow \xi \simeq 0.69$

$$\Longrightarrow \omega_{\text{n}} \geq \frac{0.46}{0.69} \simeq 0.67$$

Esercizio 5: Analisi delle specifiche

1. $e_{\text{gradino}}(\infty) = 0$: $G(s)$ è già di tipo 2
2. $\xi \omega_{\text{n}} T_{\text{assestamento}} \simeq 4.6 \Longrightarrow \xi \omega_{\text{n}} \geq 0.46$
3. $M_{\%} = \exp\left(\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \leq 0.05 \Longrightarrow \xi \simeq 0.69$

$$\Longrightarrow \omega_{\text{n}} \geq \frac{0.46}{0.69} \simeq 0.67$$

$\Longrightarrow$ scegliamo $\omega_{\text{n}} = 1$, $\xi = 0.7$

Esercizio 5: Analisi delle specifiche

1. $e_{\mathsf{gradino}}(\infty) = 0$: $G(s)$ è già di tipo 2
2. $\xi\omega_{\mathsf{n}} T_{\mathsf{assestamento}} \simeq 4.6 \Longrightarrow \xi\omega_{\mathsf{n}} \geq 0.46$
3. $M_{\%} = \exp\left(\dfrac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \leq 0.05 \Longrightarrow \xi \simeq 0.69$

$$\Longrightarrow \omega_{\mathsf{n}} \geq \frac{0.46}{0.69} \simeq 0.67$$

$\Longrightarrow$ scegliamo $\omega_{\mathsf{n}} = 1$, $\xi = 0.7$

- Polinomio dominante desiderato in anello chiuso:

$$s^2 + 2\xi\omega_{\mathsf{n}} s + \omega_{\mathsf{n}}^2 = s^2 + 1.4s + 1$$

Esercizio 5: Retroazione dello stato

$$G(s) = \frac{(s-2)(s-4)}{s^6 + 3.2s^5 + 3.8s^4 + 13.6s^3 + 12s^2}$$

- Forma canonica di controllo

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -12 & -13.6 & -3.8 & -3.2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

- Polinomio caratteristico desiderato in anello chiuso:

$$(s+10)^4(s^2 + 2\xi\omega_{\mathsf{n}} s + \omega_{\mathsf{n}}^2) = (s+10)^4(s^2 + 1.4s + 1)$$

Esercizio 5: Retroazione dello stato (2)

Comandi MATLAB:

```
>> n = 6;
>> A = [zeros(n-1,1),eye(n-1); 0 0 -12 -13.6 -3.8 -3.2];
>> B = [zeros(n-1,1); 1];
>> p = [-1; -1; -1; -1; roots([1 1.4 1])];
>> K = acker(A,B,p)
```

```
(Warning: Pole locations are more than 10% in error.)
```

```
>> Acl = A-B*K; eig(Acl)
```

Dinamica del primo stato in anello chiuso

```
>> G1cl = [1 zeros(1,n-1)]*(s*eye(n)-(A-B*K))^(-1)*B;
>> % risposta a gradino e rampa
>> step(G1cl)
>> step(G1cl/s)
```

Outline

1 Rete anticipatrice

2 Rete ritardatrice

3 Equ. Diofantina e retroazione dello stato

4 Retroazione dello stato

5 Altre risorse

Altri esercizi

Esercizi di modellistica e simulazione:

http://ctms.engin.umich.edu/CTMS

Esercizi di analisi e sintesi, con soluzioni:

http://webm.dsea.unipi.it/~innocentiw/public_html/materiale_didattico_sitoDSEA/Lanari.pdf

www.control.lth.se/media/Education/EngineeringProgram/FRT010/exercises.pdf

Esercizi di esame:

www.dsea.unipi.it/Members/landiw/fondamenti_index/compito-automatica.pdf

(password)

Funzioni MATLAB

- Funzioni di trasferimento
  `tf`
- Diagrammi di Bode
  `bode`, `margin`
- Diagrammi di Nyquist
  `nyquist`
- Luogo delle radici
  `rlocus`
- Assegnamento dei poli
  `place`, `acker`
  (assegnamento poli osservatore: `H = place(A',C',p)'`)

Video riassuntivi

Canale YOUTUBE del Dr. Brian Douglas:

- Diagrammi di Bode
  ("Bode plots by hand")
- Luogo delle radici
  ("Root locus method", "Sketching the root locus")
- Margini di guadagno e di fase
  ("Gain and phase margins explained")
- Diagrammi di Nyquist
  ("Nyquist stability criterion")
- Reti correttrici
  ("Lead/lag compensators", "Designing a lead (lag) compensator with Bode plot", "Designing a lead compensator with root locus")