

Esercitazione di laboratorio #7 - Controlli Automatici

Esercizio #2

Autori: M. Indri, M. Taragna (ultima modifica: 28/05/2020)

Contents

- Comandi di pulizia iniziali
- Definizione del sistema e calcolo del guadagno stazionario
- Analisi delle specifiche
- Funzione d'anello di partenza e valutazione azioni da intraprendere
- Progetto delle reti di compensazione
- Verifica del soddisfacimento dei requisiti su G_a e definizione del controllore
- Verifica delle specifiche in catena chiusa
- Valutazione delle prestazioni in catena chiusa
- Confronto con una soluzione alternativa
- Nota finale

Comandi di pulizia iniziali

```
clear all, close all
```

Definizione del sistema e calcolo del guadagno stazionario

```
s=tf('s');  
F=5*(s+20)/(s*(s^2+2.5*s+2)*(s^2+15*s+100));  
KF=dcgain(s*F)  
  
Kr=2;
```

KF =

0.5000

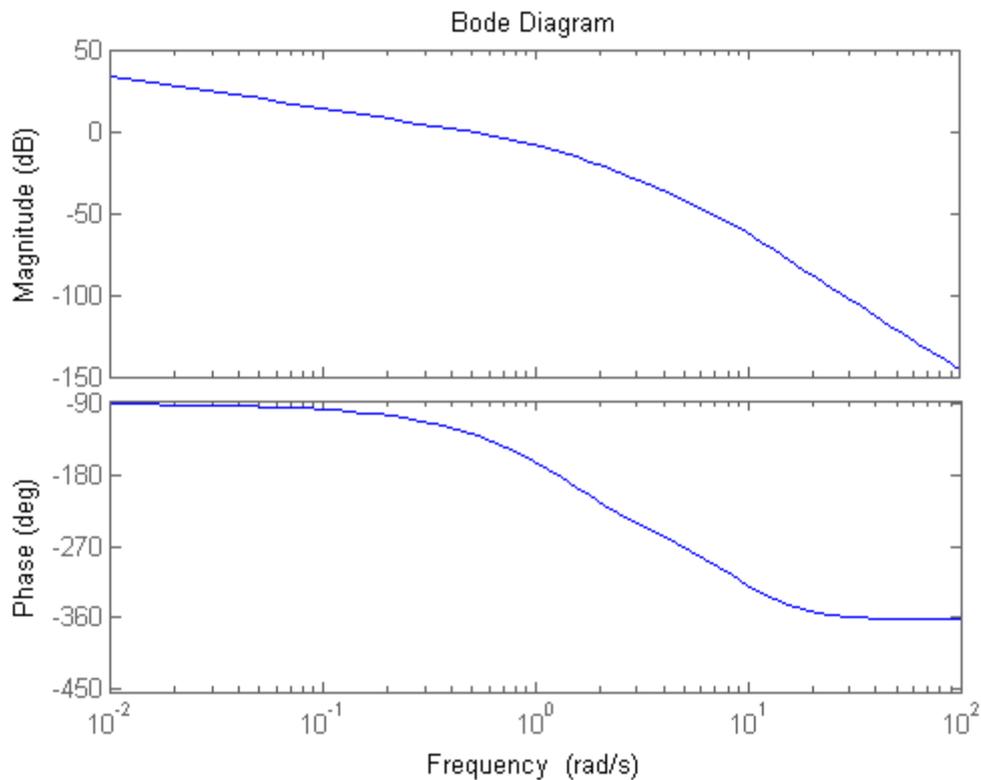
Analisi delle specifiche

```
% specifica a) =>  
% 1) non richiede inserimento di poli nell'origine (ce n'e' gia' uno in F(s))  
% 2)  $|K_r/K_Ga| \leq 0.05 \Rightarrow |K_c| \geq 20 \cdot K_r^2 / |K_F| \Rightarrow |K_c| \geq 160$   
  
% specifica b) =>  
% 1) non richiede inserimento di poli nell'origine (il disturbo è costante)  
% 2)  $|d/(K_c/K_r)| \leq 0.02 \Rightarrow |K_r/K_c| \leq 0.02 \Rightarrow |K_c| \geq 100$   
  
% segno di  $K_c$  positivo: il sistema è a stabilità regolare  
bode(F)  
  
% specifica c) =>  $t_s = 1s \Rightarrow B_3 \approx 3/t_s = 3 \Rightarrow$   
%  $w_c < B_3 < 2 \cdot w_c \Rightarrow w_c \approx 0.63 \cdot B_3$   
  
wc_des=1.9
```

```
% specifica d => s_hat=0.3 => Mr <= 1.44, Mr_dB=3.2dB
% (su Nichols) margine_di_fase >= 40deg => meglio 45deg
```

wc_des =

1.9000



Funzione d'anello di partenza e valutazione azioni da intraprendere

```
Kc=160 % minimo valore ammissibile
Ga1=Kc*F/Kr

figure, bode(Ga1)

[m_wc_des,f_wc_des]=bode(Ga1,wc_des)

% In wc_des il modulo vale circa 18.5 dB e la fase -209.8 deg
% Risulta necessario recuperare circa 80 deg prevedendo di dover inserire
% anche una rete attenuatrice per ridurre il modulo.
% Il recupero della fase dovrà essere ottenuto usando due reti derivate.
```

Kc =

160

Ga1 =

800 s + 16000

2 s^5 + 35 s^4 + 279 s^3 + 560 s^2 + 400 s

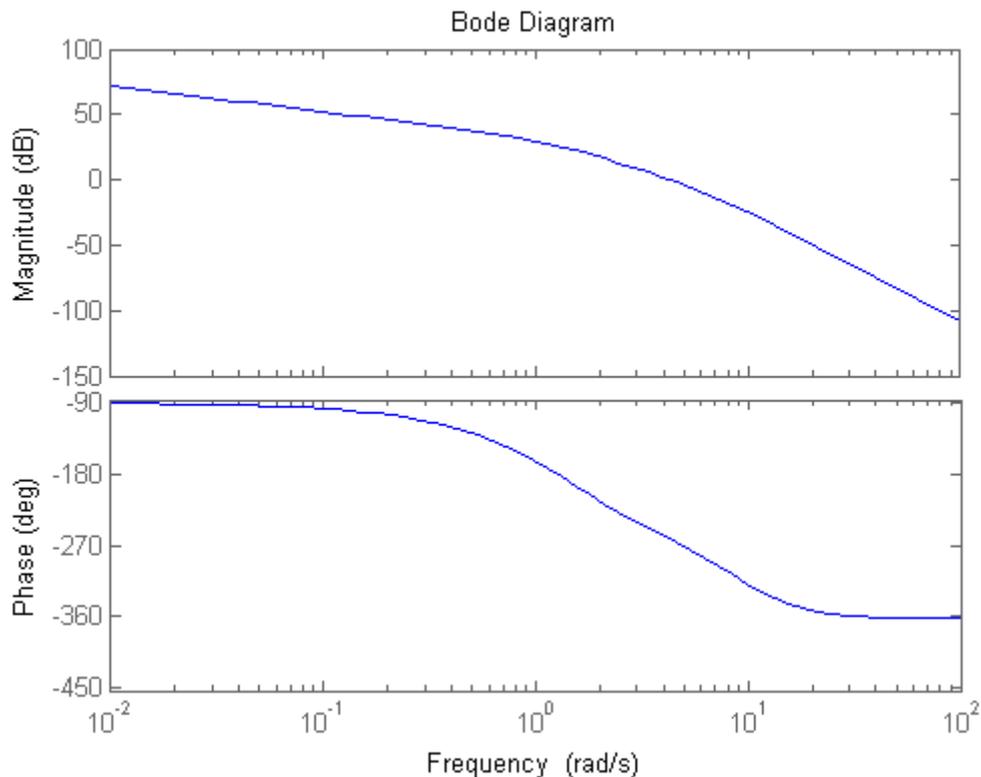
Continuous-time transfer function.

m_wc_des =

8.3897

f_wc_des =

-209.7687



Progetto delle reti di compensazione

```
% Inserimento di due reti derivate uguali da 6 per recuperare 80deg in w=wc_des,  
% progettate sul fronte di salita del recupero di fase in xd = 1.3 per limitare l'aumento di modulo  
% ed evitare la successiva necessità di una rete attenuatrice molto forte
```

```
m_a=6  
xd=1.3  
tau_a=xd/wc_des  
Rd=(1+s*tau_a)/(1+s*tau_a/m_a)  
  
[m1_wc_des,f1_wc_des]=bode(Rd^2*Ga1,wc_des)  
figure, bode(Rd^2*Ga1)
```

```
% Inserimento di una rete integrativa con m_i=m1_wc_des ~= 21.5 per avere wc_finale=wc_des  
% e progettata in xi=230 per perdere circa 5 gradi di fase in w=wc_des  
% (vedere i diagrammi di Bode normalizzati della rete tracciati in Matlab)
```

```
m_i=21.5  
figure,bode((1+s/m_i)/(1+s))  
xi=230  
tau_i=xi/wc_des  
Ri=(1+s*tau_i/m_i)/(1+s*tau_i)
```

m_a =

6

xd =

1.3000

tau_a =

0.6842

Rd =

$$\frac{4.105 s + 6}{0.6842 s + 6}$$

Continuous-time transfer function.

m1_wc_des =

21.5564

f1_wc_des =

-129.3561

m_i =

21.5000

xi =

230

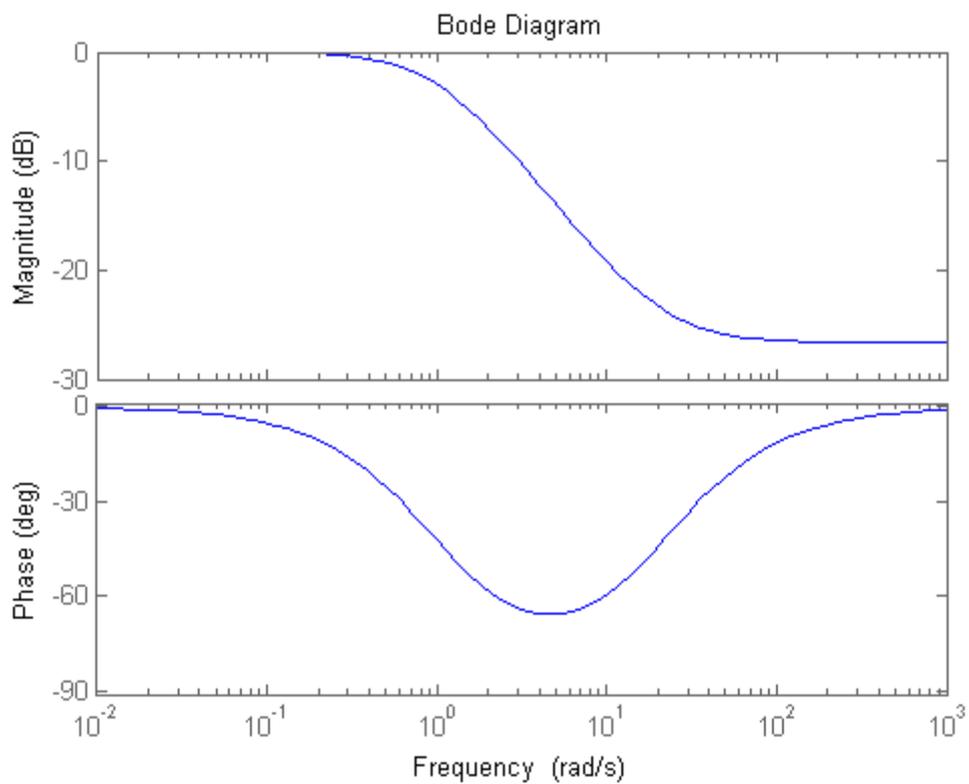
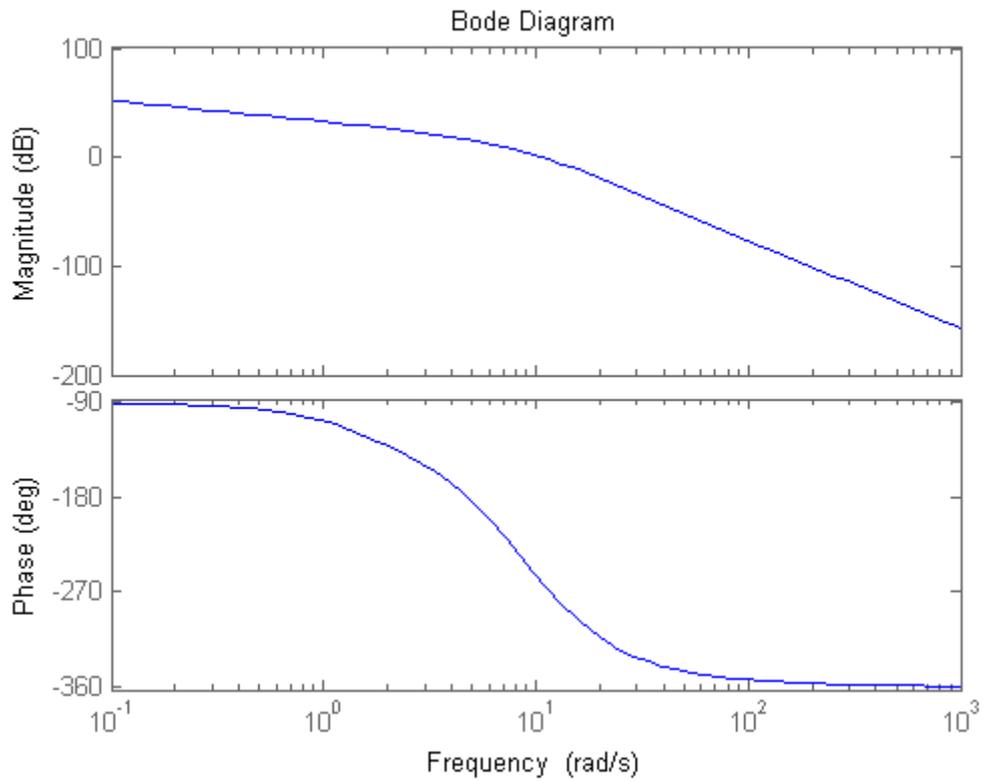
tau_i =

121.0526

Ri =

$$\frac{121.1 s + 21.5}{2603 s + 21.5}$$

Continuous-time transfer function.



Verifica del soddisfacimento dei requisiti su G_a e definizione del controllore

```
figure, margin(Rd^2*Ri*Ga1)
```

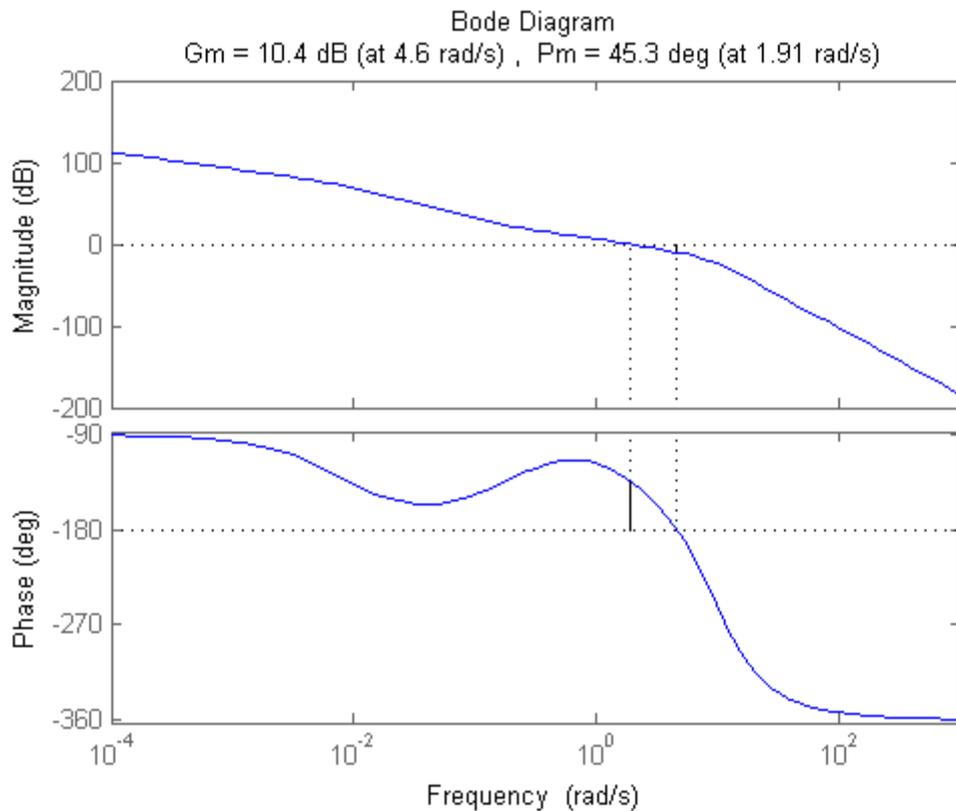
$$C = K_c \cdot R_d^2 \cdot R_i$$

$$G_a = C \cdot F / K_r$$

C =

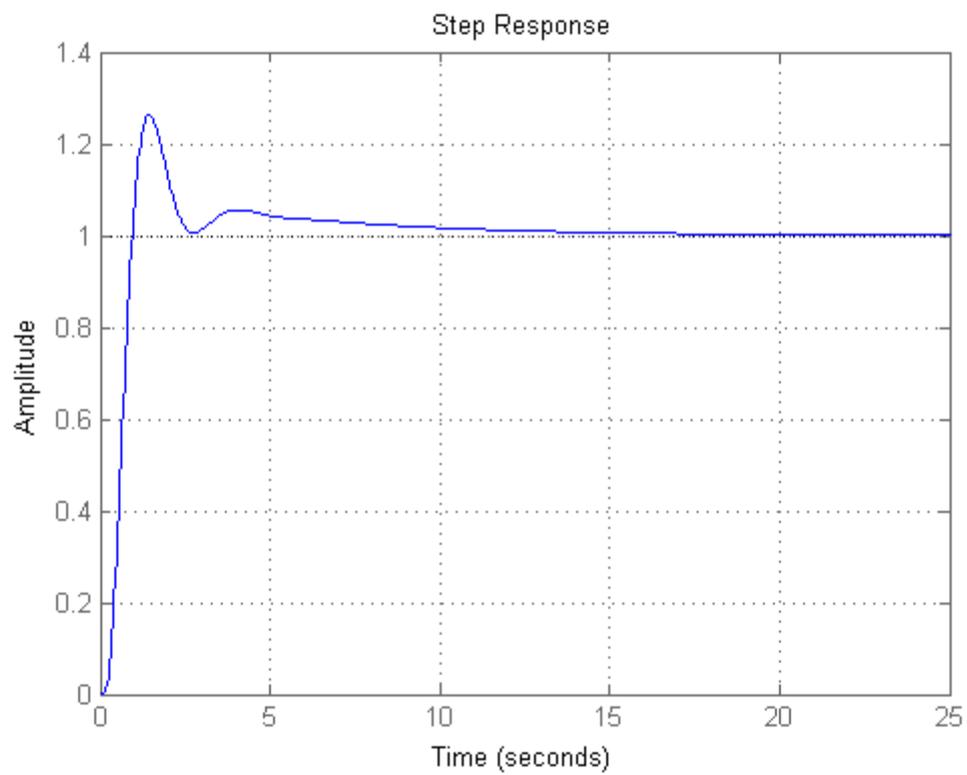
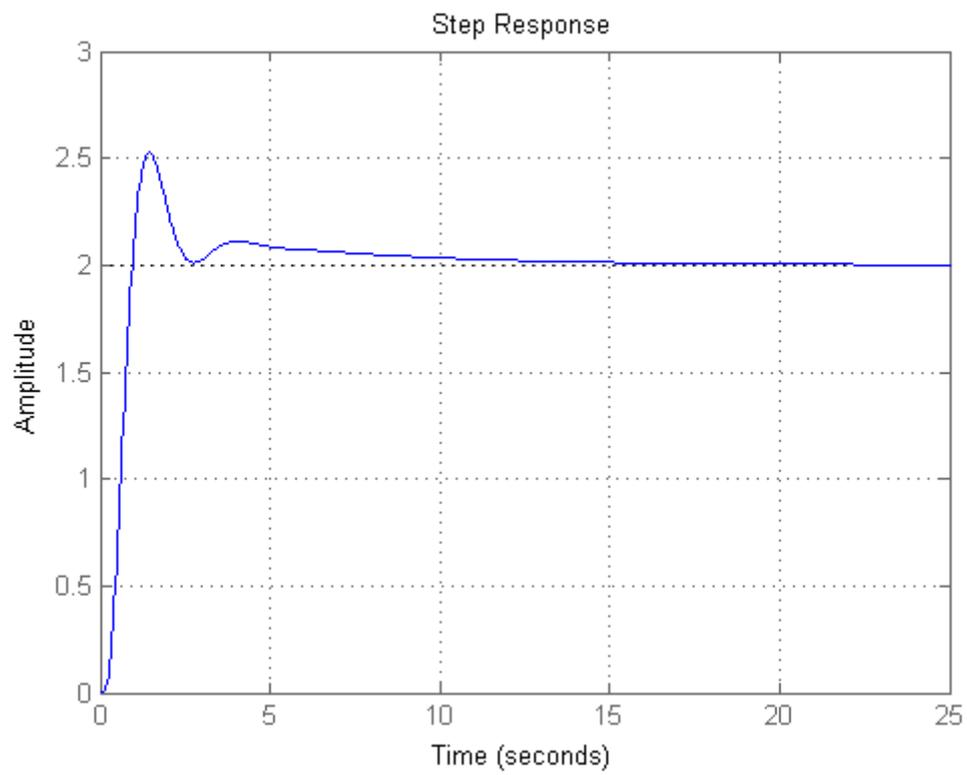
$$\frac{3.264e05 s^3 + 1.012e06 s^2 + 8.667e05 s + 123840}{1218 s^3 + 2.138e04 s^2 + 9.387e04 s + 774}$$

Continuous-time transfer function.

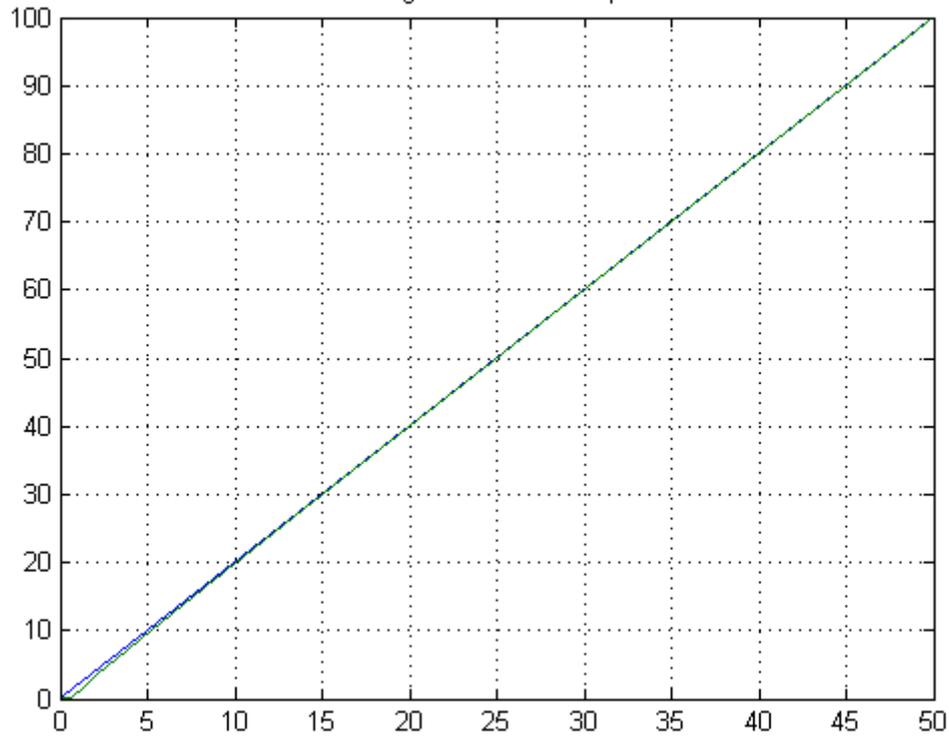


Verifica delle specifiche in catena chiusa

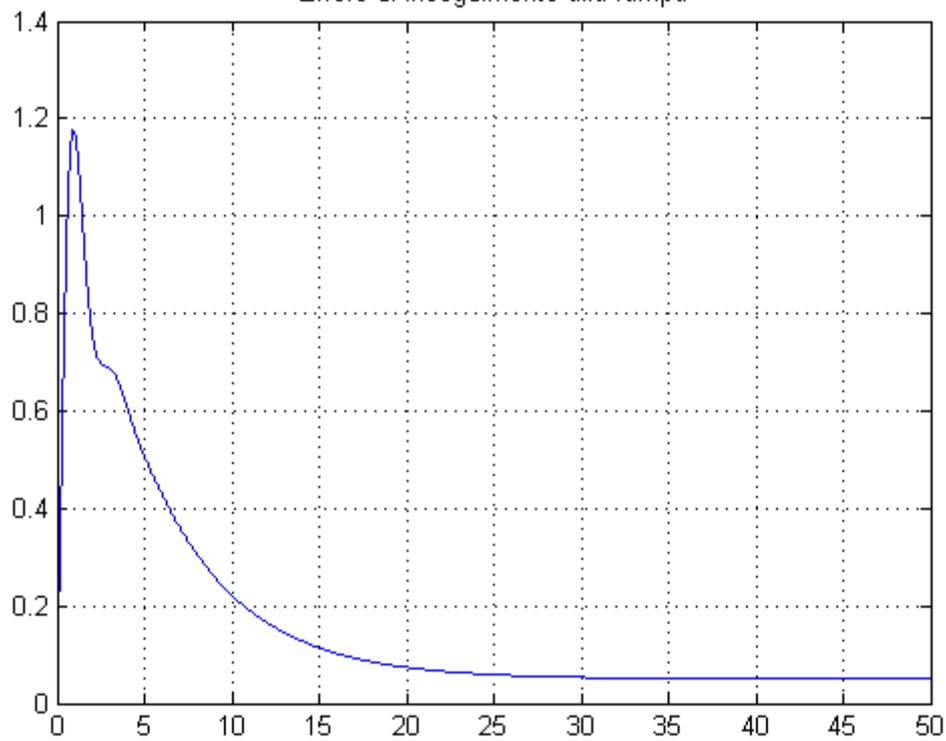
```
W=feedback(C*F,1/Kr);  
  
% Verifica delle specifiche sulla risposta al gradino t_s e s_hat  
% La divisione per Kr permette di valutare direttamente s_hat=0.263 dal  
% valore massimo; il tempo salita risulta pari a 0.94 s  
% (confrontare il risultato dai due grafici!)  
  
figure, step(W), grid on  
figure, step(W/Kr), grid on  
  
% Verifica dell'errore di inseguimento alla rampa  
% (si ottiene errore = 0.05 in regime permanente)  
t=0:0.01:50;  
r=t';  
y_rampa=lsim(W,r,t);  
figure, plot(t,Kr*r,t,y_rampa), title('Inseguimento alla rampa'), grid on  
figure, plot(t,Kr*r-y_rampa), title('Errore di inseguimento alla rampa'), grid on  
  
% Verifica dell'effetto del disturbo in regime permanente (pari a 0.0125)  
Wd=feedback(F,1/Kr*C);  
figure, step(Wd,50)
```

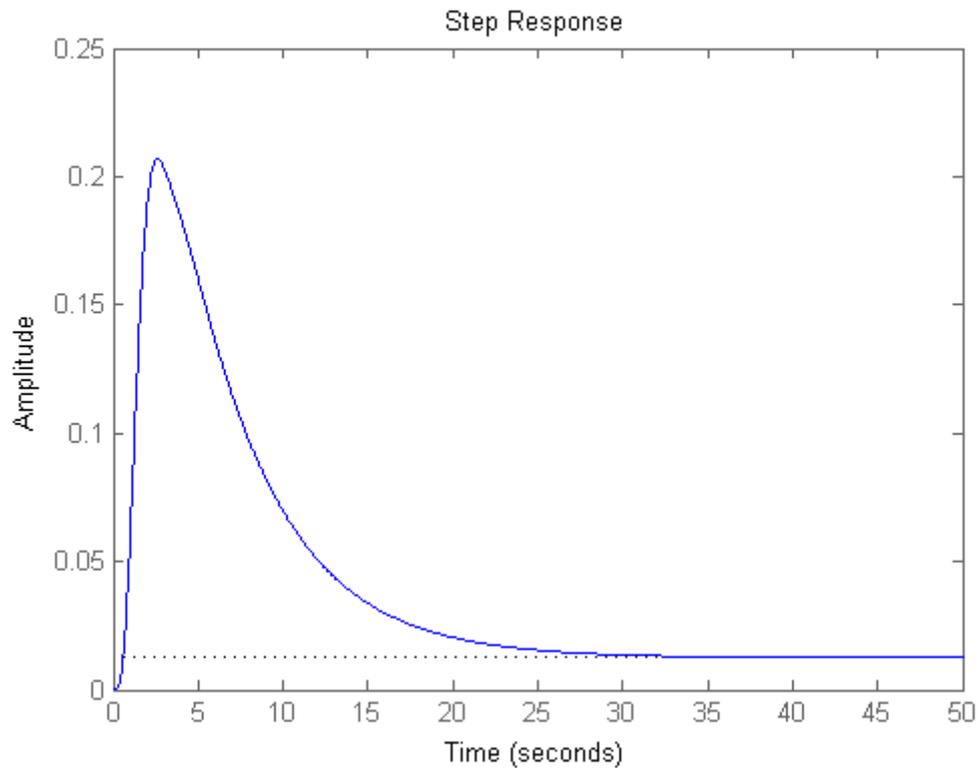


Inseguimento alla rampa



Errore di inseguimento alla rampa





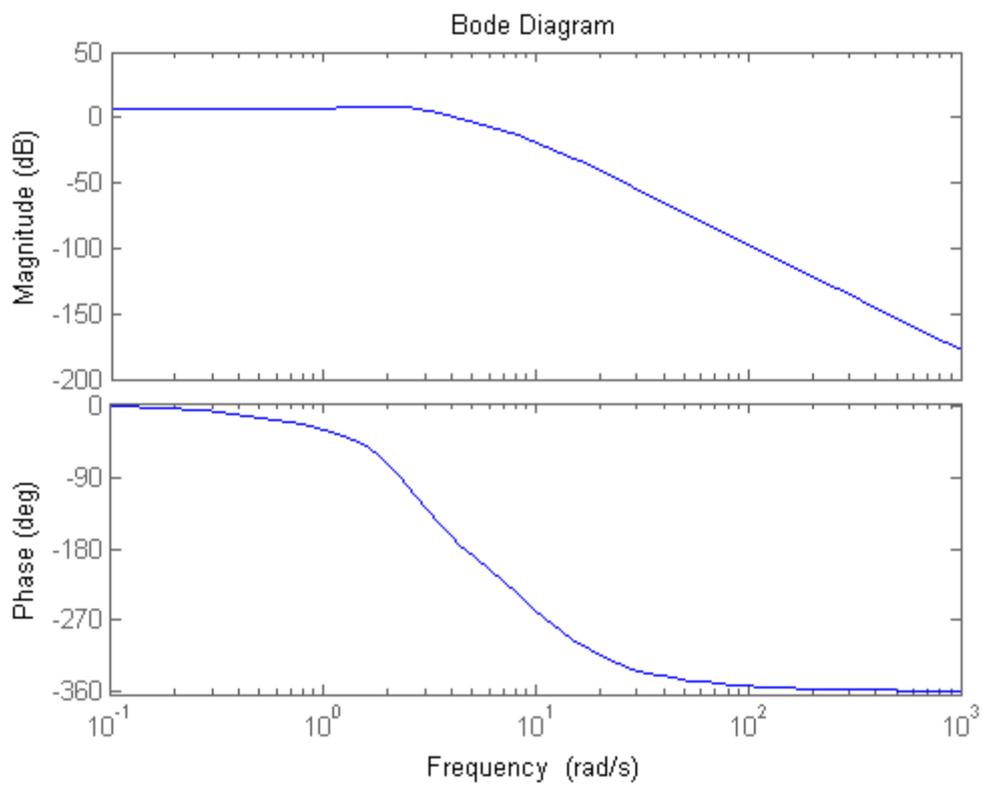
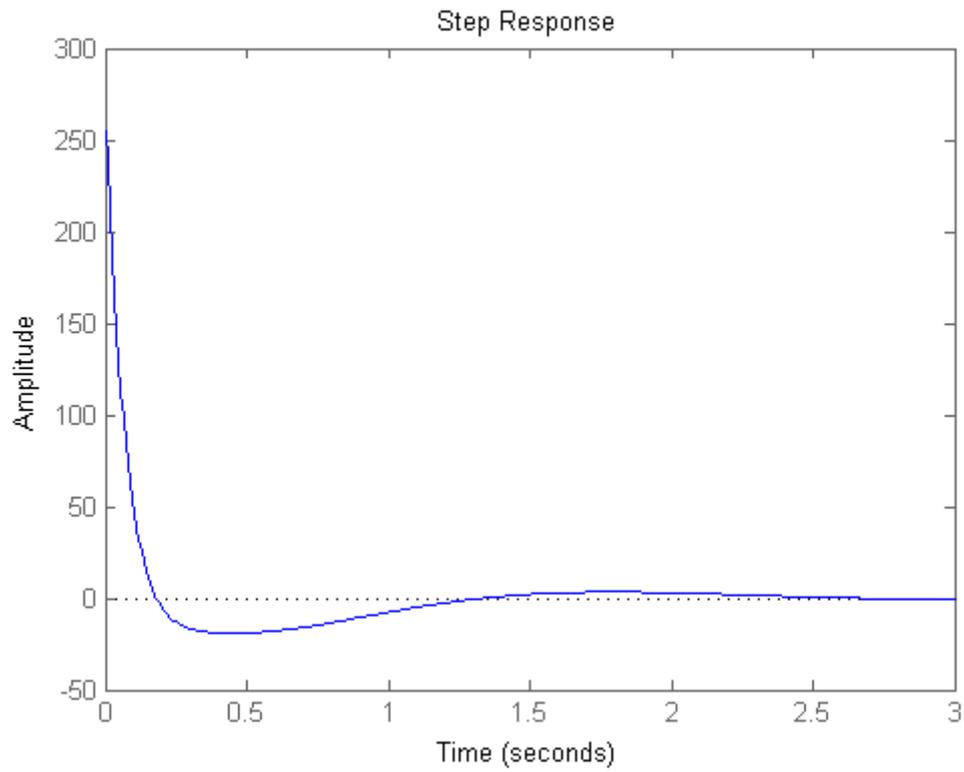
Valutazione delle prestazioni in catena chiusa

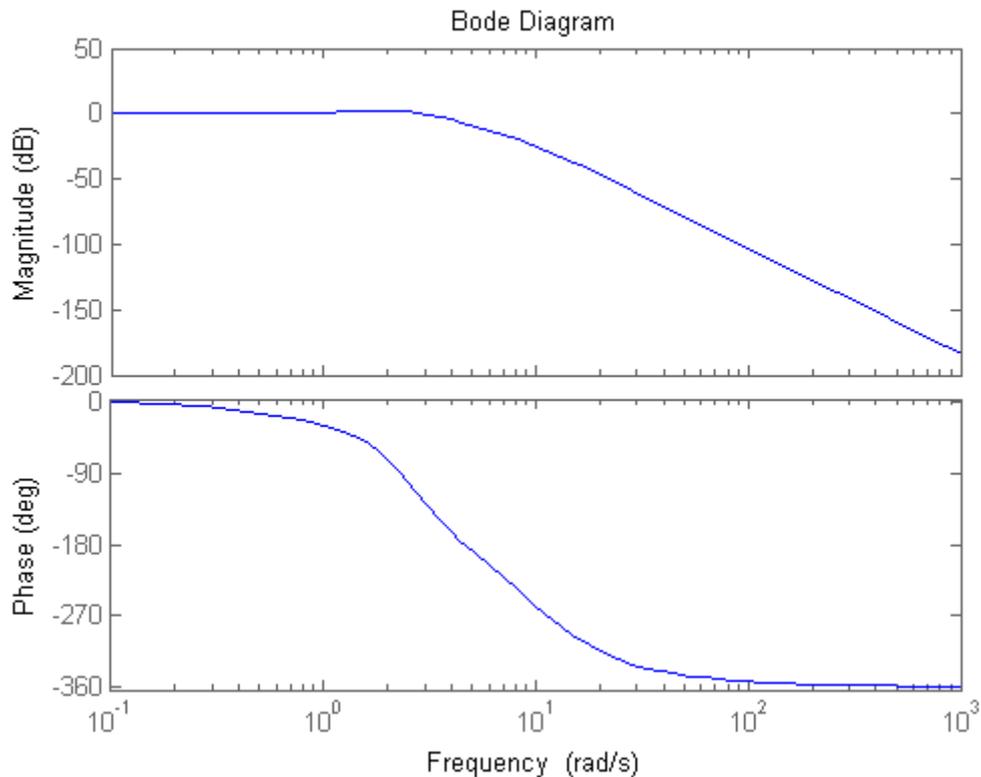
```
% Attività sul comando:
% confrontare il valore iniziale del grafico con quanto ricavabile dal
% teorema del valore iniziale; si ottiene  $u(0) = Kc \cdot m_a^2 / m_i = 267.9...$ 
```

```
Wu=feedback(C,F/Kr);
figure,step(Wu)
```

```
% Valutazione banda passante e picco di risonanza
% La divisione per Kr permette di valutare direttamente B3 e Mr
% Confrontare i risultati dai due grafici: Mr=2.3 dB, B3=3.65 rad/s
```

```
figure,bode(W)
figure, bode(W/Kr)
```





Confronto con una soluzione alternativa

```
% Soluzione alternativa: reti derivate invariate, utilizzo di 2 attenuatrici meno forti
% da 4.6 progettate in xi_alt = 70
```

```
m_i_alt=4.6
xi_alt=70
tau_i_alt=xi_alt/wc_des
Ri_alt=(1+s*tau_i_alt/m_i_alt)/(1+s*tau_i_alt)
```

```
C_alt=Kc*Rd^2*Ri_alt^2;
Ga_alt=C_alt*F/Kr;
figure,margin(Ga_alt)
```

```
% Confronti ad anello chiuso delle due soluzioni:
% la prima soluzione è complessivamente migliore perché
% (1) corrisponde ad un controllore di ordine minore (ho usato una rete in meno)
% (2) presenta un effetto coda leggermente ridotto (grafico blu)
% la seconda soluzione ha come unico vantaggio una sensibilità ridotta
% per w comprese fra 0.007 e 0.1
```

```
Sens=feedback(1,Ga); % sensibilità per la soluzione originale
```

```
W_alt=feedback(C_alt*F,1/Kr);
figure,step(W)
hold
step(W_alt)
hold off
Sens_alt=feedback(1,Ga_alt);
figure,bode(Sens)
hold
bode(Sens_alt)
hold off
```

```
m_i_alt =
```

4.6000

xi_alt =

70

tau_i_alt =

36.8421

Ri_alt =

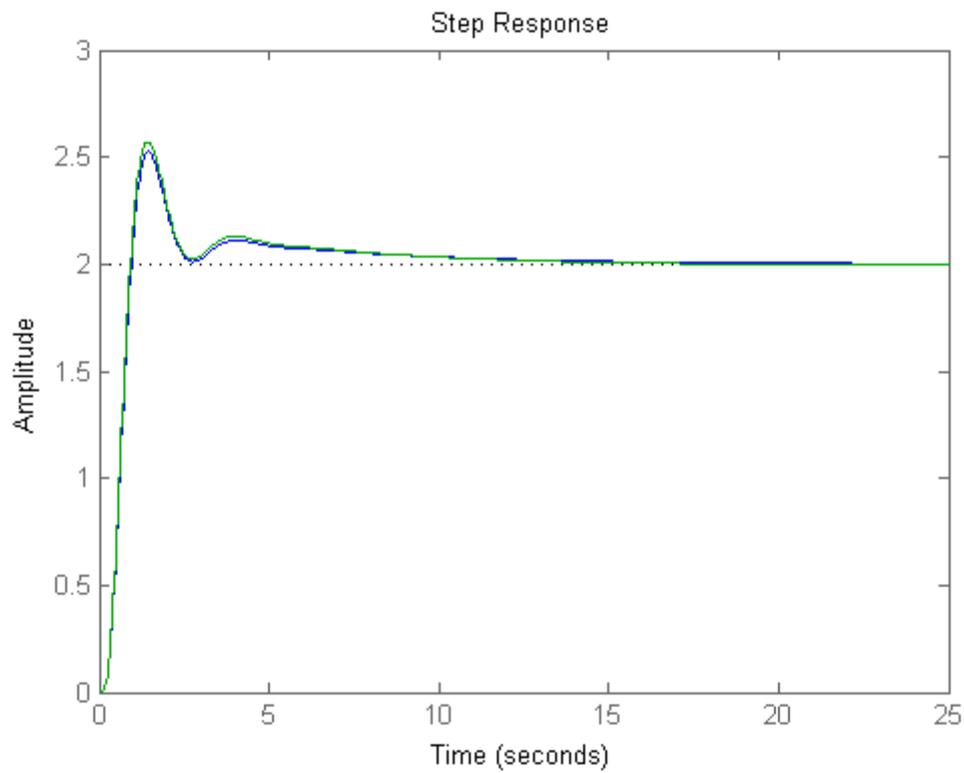
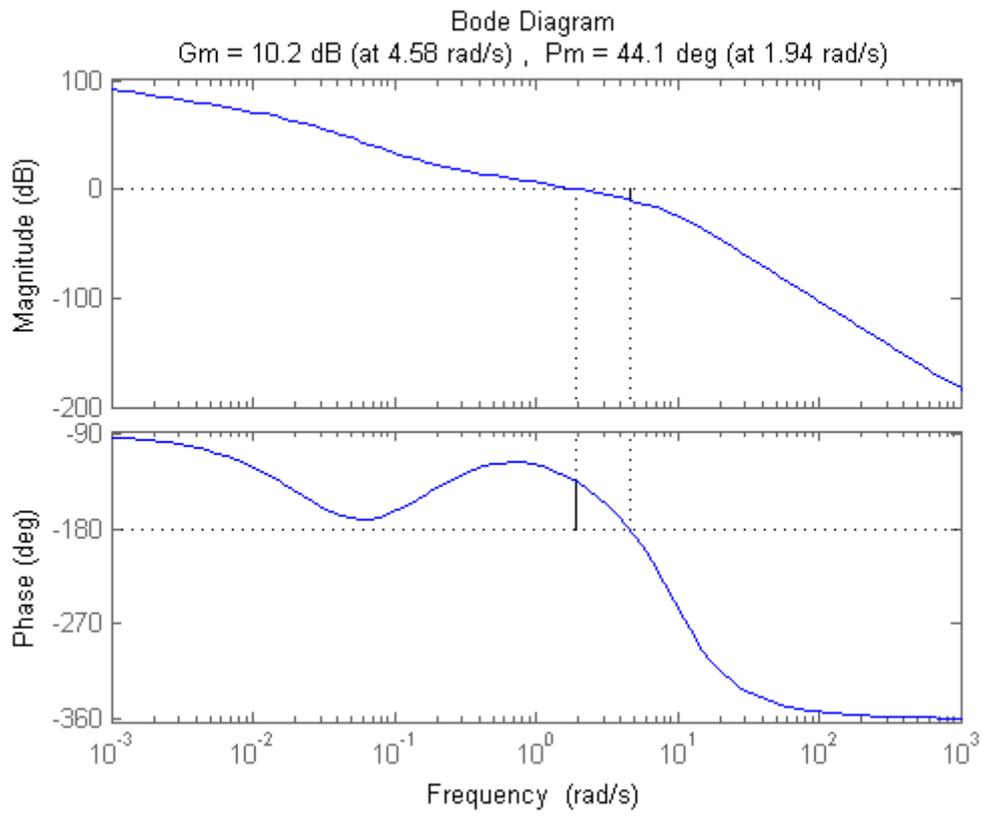
36.84 s + 4.6

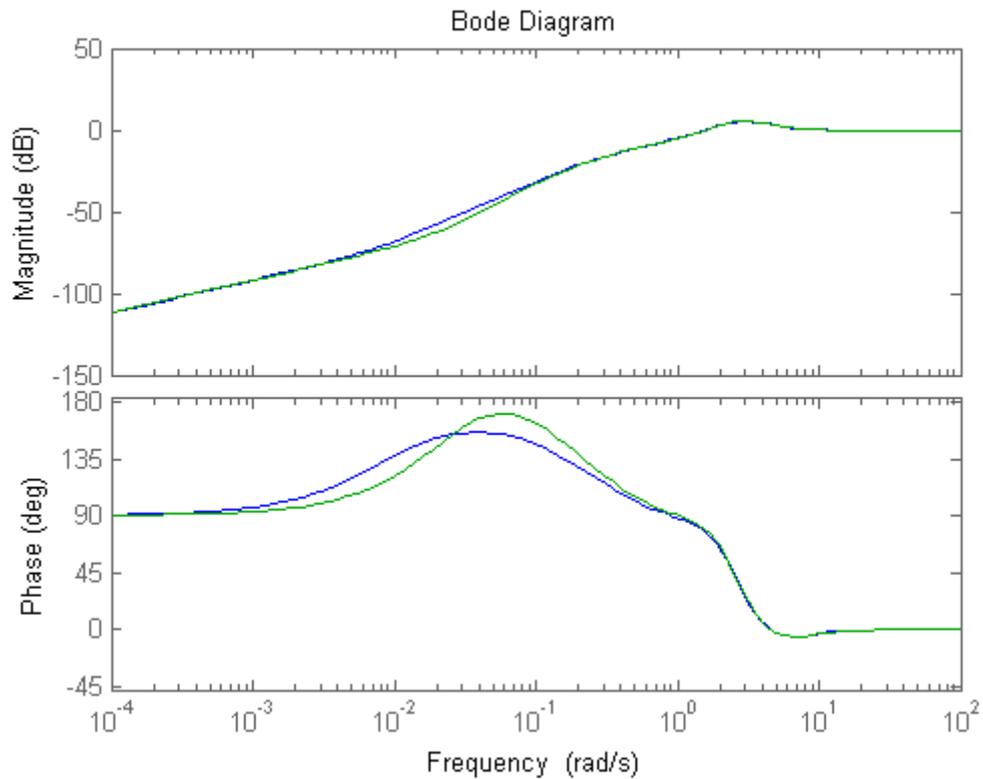
169.5 s + 4.6

Continuous-time transfer function.

Current plot held

Current plot held





Nota finale

```
% In questa soluzione proposta tutte le simulazioni sono state eseguite
% utilizzando soltanto Matlab al fine di avere un unico file di tutte le parti.
% Gli studenti sono invitati a costruire il corrispondente schema Simulink
% ed a svolgere con esso le verifiche delle specifiche e le valutazioni
% richieste in catena chiusa.
```