

- Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____
- Svolgerò la tesina con Matlab/Simulink in sostituzione della Parte A

Biagiotti
Giarré

Controlli Automatici - Parte B

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

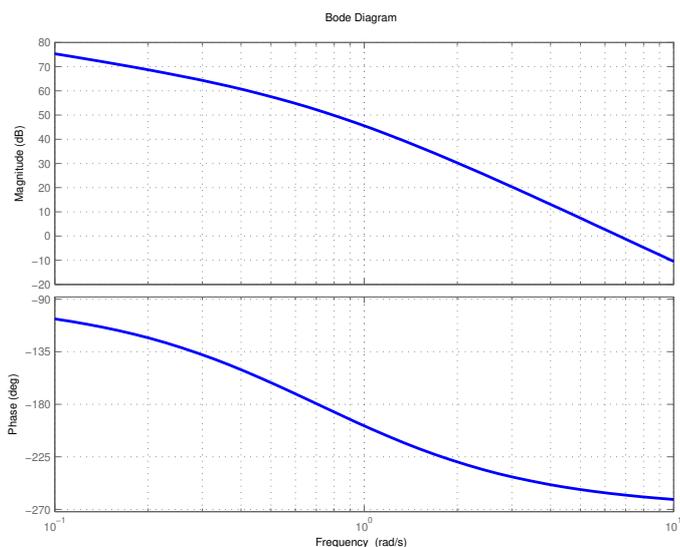
Compito del 20 luglio 2018 - Quiz

Per ciascuno dei seguenti quesiti (*si considerino solo le domande numerate normalmente o che recano il nome del docente con cui si è seguito il corso*), segnare con una crocetta le risposte che si ritengono corrette. Alcuni quesiti possono avere più risposte corrette.

I quiz si ritengono superati se vengono individuate almeno metà delle risposte esatte (punti 5.5 su 11), diversamente il compito verrà ritenuto insufficiente a prescindere dal risultato della seconda prova.

1. Si faccia riferimento ai diagrammi di Bode riportati a fianco relativi a un sistema $G(s)$ a fase minima. Il margine di ampiezza M_a e il margine di fase M_f sono:

- $M_a \simeq 52$ dB e $M_f \simeq 77^\circ$
- $M_a \simeq 52$ dB e $M_f \simeq -77^\circ$
- $M_a \simeq -52$ dB e $M_f \simeq 77^\circ$
- $M_a \simeq -52$ dB e $M_f \simeq -77^\circ$



2. Dato un sistema di controllo in retroazione, al fine di avere errore a regime nullo a fronte di un ingresso $y_{sp}(t) = \sin(\bar{\omega}t)$:
- La funzione d'anello $L(s)$ dovrà avere due poli $p_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
- La funzione d'anello $L(s)$ dovrà avere due zeri $z_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
- La funzione di sensitività $S(s)$ dovrà avere due zeri $z_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
- La funzione di sensitività $S(s)$ dovrà avere due poli $p_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
3. La compensazione di un disturbo misurabile:
- può essere fatta solo se il l'impianto controllato è stabile e a fase minima
- può essere fatta solo se il l'impianto controllato ha grado relativo nullo
- nel caso in cui la funzione di trasferimento dell'impianto non abbia zeri si può calcolare con una combinazione lineare del segnale misurato e delle sue derivate
- potrebbe richiedere l'introduzione di poli "ad alta frequenza" per rendere il compensatore fisicamente realizzabile
4. Le variazioni parametriche che intervengono in un impianto:
- possono essere compensate mediante l'utilizzo di un regolatore ad azione diretta
- possono essere compensate mediante l'utilizzo di un regolatore in retroazione
- non possono essere attenuate in nessun caso
5. Una rete ritardatrice presenta le seguenti proprietà:
- migliora il margine di fase nell'intorno delle frequenze a cui agisce
- riduce il guadagno alle alte frequenze e peggiora il margine di fase nell'intorno delle frequenze a cui agisce
- diminuisce la banda del sistema
- aumenta la banda del sistema

6. Un regolatore PI:
- è un caso particolare di rete di ritardo
 - è un caso particolare di rete di anticipo
 - è un caso particolare di rete di ritardo-anticipo
 - è un sistema non fisicamente realizzabile
7. Nella progettazione di un sistema di controllo in retroazione, l'intervallo di pulsazioni in cui far cadere la pulsazione di incrocio ω_c del guadagno d'anello:
- è determinato sulla base della massima sovraelongazione ammissibile nella risposta del sistema a un ingresso a gradino
 - è limitato inferiormente dalla (eventuale) presenza di disturbi di misura
 - è limitato inferiormente dal vincolo di errore a regime nullo a fronte di un ingresso a gradino
 - è limitato superiormente dalla (eventuale) presenza nell'anello di un ritardo puro
8. L'operazione di campionamento di un segnale tempo-continuo $x(t)$ a banda limitata, con pulsazione massima ω_m , è reversibile (nel senso che è possibile ricostruire esattamente $x(t)$ a partire dalla sequenza dei campioni $x_k = x(kT_s)$):
- mai
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{2\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{2\pi}{\omega_m}$
9. Se un sistema di controllo in retroazione, che garantisce un margine di fase $M_f = 60^\circ$ a $\omega_c = 3$ rad/s, viene implementato mediante un regolatore digitale (con periodo di campionamento $T_s = 0.1$ s), quale sarà il peggioramento del margine di fase dovuto alla presenza del riscotuttore di ordine zero?
- $\Delta M_f \approx -3^\circ$
 - $\Delta M_f \approx -6^\circ$
 - $\Delta M_f \approx -9^\circ$
 - $\Delta M_f \approx -18^\circ$
10. (**Biagiotti**) A parità di durata, se si dimezza lo spostamento h richiesto a una generica traiettoria $q(t)$:
- l'accelerazione massima si riduce di un fattore 2
 - l'accelerazione massima si riduce di un fattore 4
 - l'accelerazione massima aumenta di un fattore 4
 - l'accelerazione massima aumenta di un fattore 2
11. (**Giarrè**) Il diagramma di Nyquist completo di un sistema con un polo nell'origine si chiude all'infinito con:
- una semicirconferenza percorsa in senso antiorario
 - una semicirconferenza percorsa in senso orario
 - due semicirconferenze percorse in senso antiorario
 - due semicirconferenze percorse in senso orario

- Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____
 Svolgerò la tesina con Matlab/Simulink in sostituzione della Parte A

Biagiotti
 Giarré

Sistemi di Controllo - Controlli Automatici (Parte B)

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

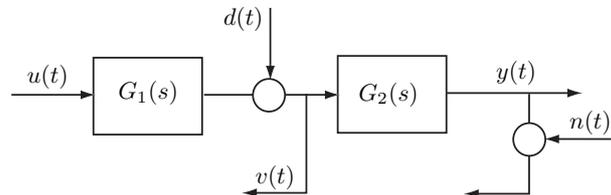
Compito del 20 luglio 2018 - Problemi

Rispondere in maniera analitica ai seguenti quesiti (gli studenti dovranno rispondere ai quesiti contrassegnati solo con lettere o col nome del docente di cui hanno seguito il corso più una lettera). I problemi e le domande a risposta aperta si ritengono superati se vengono conseguiti almeno metà dei punti totali (11 su 22), diversamente il compito verrà ritenuto insufficiente a prescindere dal risultato della prima prova.

- Descrivere la struttura di un sistema di controllo digitale in retroazione: quali componenti sono presenti rispetto al caso tempo-continuo e quali effetti producono? Come è possibile ovviare ai problemi che questi introducono?
- Dato l'impianto di figura con:

$$G_1(s) = \frac{12}{s(s+4)}$$

$$G_2(s) = \frac{0.8s + 0.64}{s^2 + 0.8s + 0.64}$$



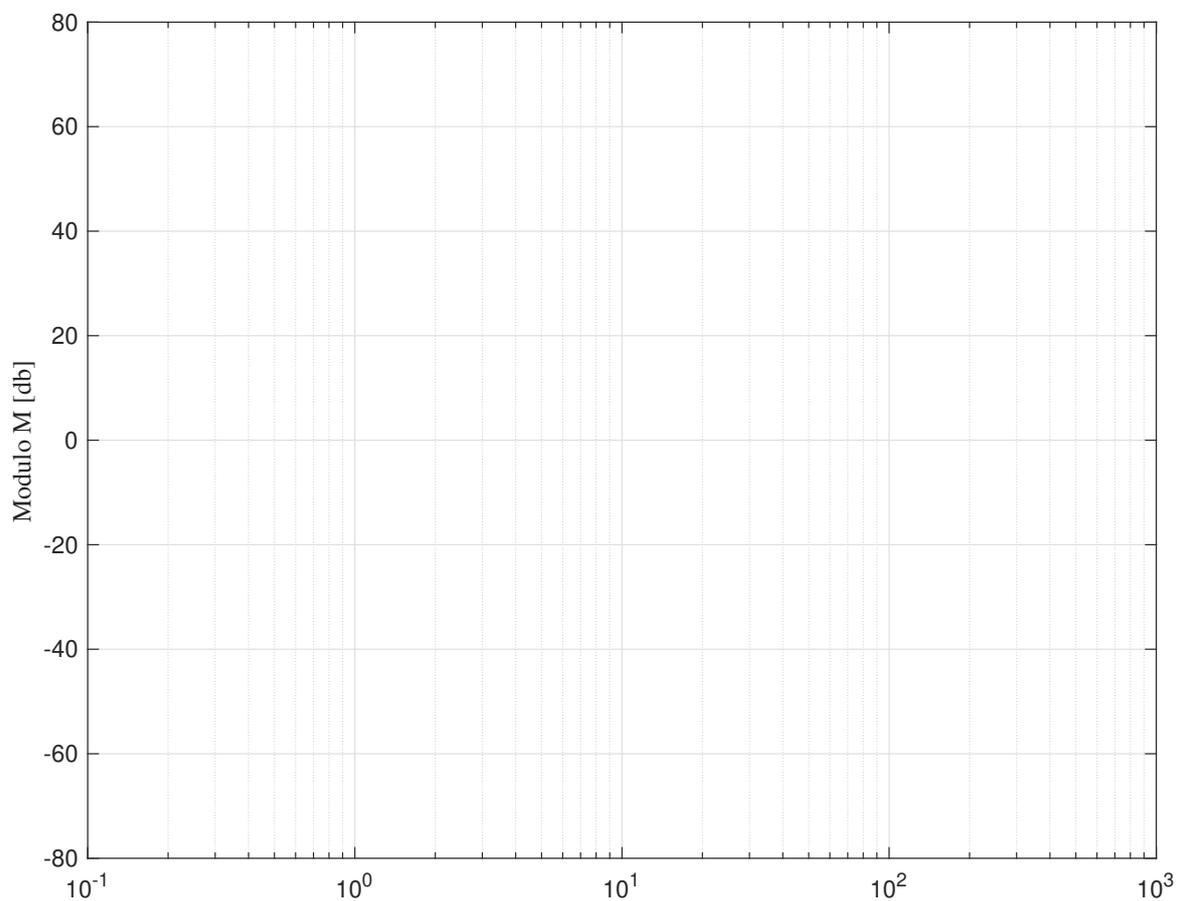
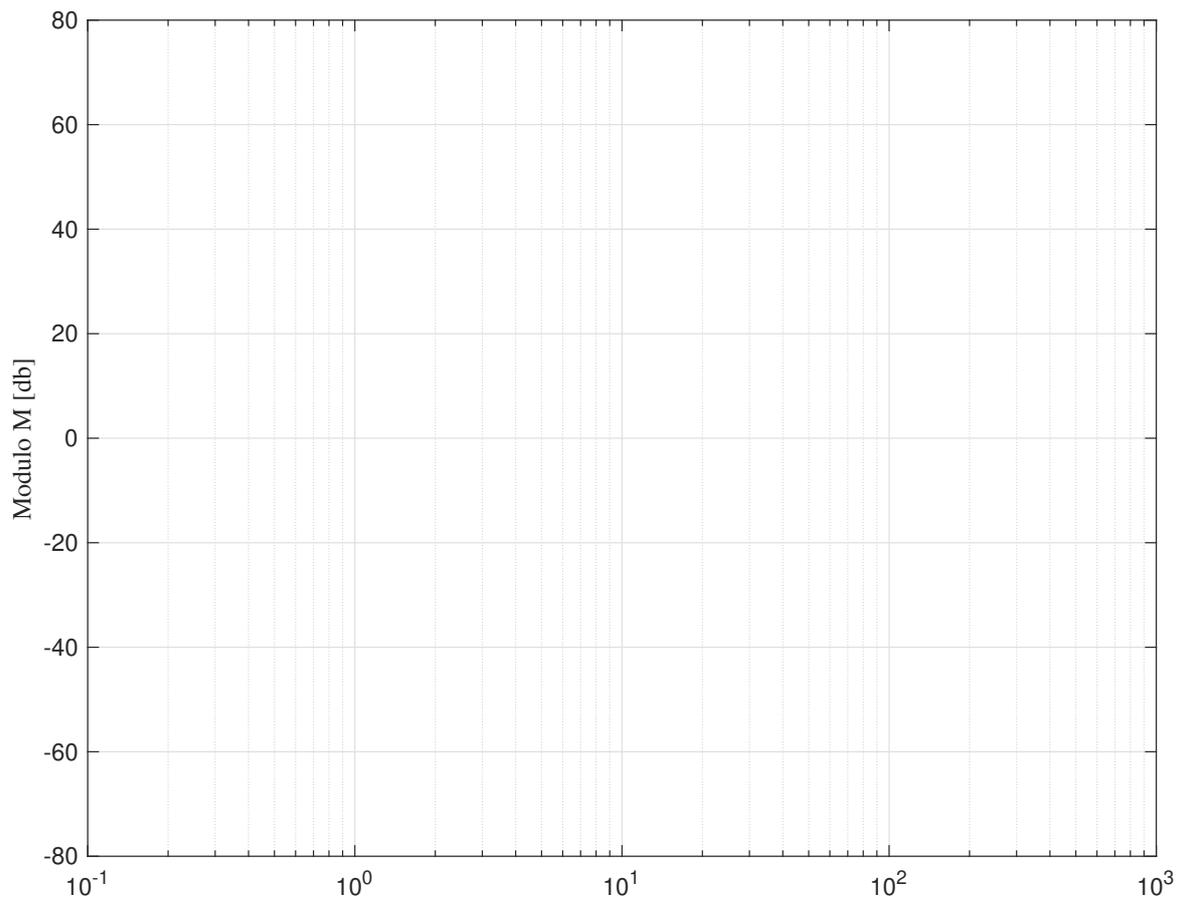
Si procede alla realizzazione di uno schema di controllo in cascata partendo dall'anello più esterno. Si richiede pertanto di:

- Progettare il regolatore di complessità minima, denominato $R_2(s)$, per il solo sottosistema $G_2(s)$ che consenta di ottenere:
 - errore di posizione nullo;
 - risposta aperiodica;
 - tempo di assestamento $T_a \leq 0.5$ s;
 - azione di controllo minima.
- Disegnare il diagramma di Bode delle ampiezze di $L_2(s) = R_2(s)G_2(s)$.
- Progettare l'anello di controllo interno con il regolatore $R_1(s)$, di complessità minima, che consenta il soddisfacimento delle seguenti specifiche:
 - attenuazione di un disturbo $d(t)$ frequenzialmente confinato nel range $[0.1, 0.4]$ rad/s di almeno 80 volte;
 - margine di fase M_f di almeno 60° ;
 - pulsazione di incrocio ω_c compatibile con il disaccoppiamento frequenziale richiesto dal progetto del regolatore in cascata.
- Tracciare i diagrammi di Bode delle ampiezze di $L_1(s) = R_1(s)G_1(s)$ e della funzione di sensitività complementare $F_1(s)$. Infine sovrapporre il diagramma di $|F_1(j\omega)|$ a quello di $|L_2(j\omega)|$, tracciato al punto b), e discutere la fattibilità del progetto in cascata.
- Scegliere il tempo di campionamento più idoneo per discretizzare i regolatori $R_1(s)$, $R_2(s)$ tenendo conto della larghezza di banda dei sistemi retroazionati e imponendo che il peggioramento del margine di fase dovuto al ricostruttore di ordine zero non superi i 10° . Discretizzare entrambi i regolatori mediante il metodo di Tustin.
- Scrivere le equazioni alle differenze corrispondenti ai regolatori $R_1(z) = \frac{U_1(z)}{E_1(z)}$, $R_2(z) = \frac{U_2(z)}{E_2(z)}$ discretizzati al punto precedente.
- Progettare un'azione di feed-forward $u_{ff}(t)$ per l'intero impianto che consenta di inseguire senza errore il riferimento $y_{sp}(t)$, di cui è nota l'espressione analitica insieme a quella delle sue derivate. Quale sarà l'ordine di continuità minimo della traiettoria $y_{sp}(t)$ che garantisce un'azione di controllo limitata?

Cognome:

Nome:

N. Matr.:



- Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____
 Svolgerò la tesina con Matlab/Simulink in sostituzione della Parte A

Biagiotti
 Giarré

Controlli Automatici - Parte B

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

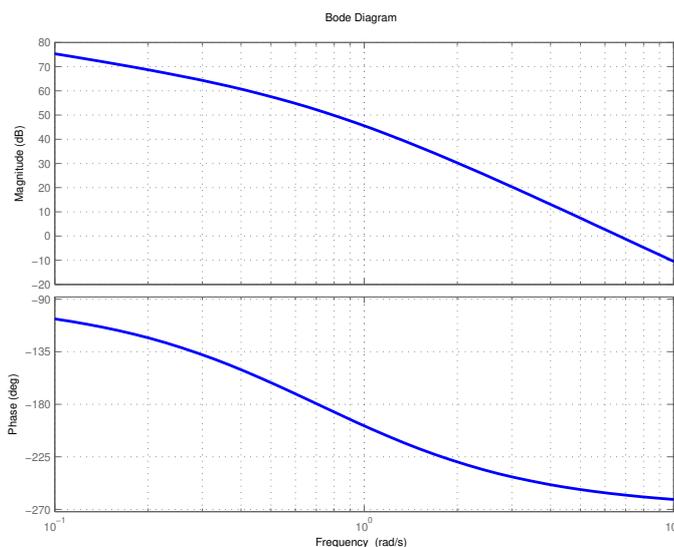
Compito del 20 luglio 2018 - Quiz

Per ciascuno dei seguenti quesiti (*si considerino solo le domande numerate normalmente o che recano il nome del docente con cui si è seguito il corso*), segnare con una crocetta le risposte che si ritengono corrette. Alcuni quesiti possono avere più risposte corrette.

I quiz si ritengono superati se vengono individuate almeno metà delle risposte esatte (punti 5.5 su 11), diversamente il compito verrà ritenuto insufficiente a prescindere dal risultato della seconda prova.

1. Si faccia riferimento ai diagrammi di Bode riportati a fianco relativi a un sistema $G(s)$ a fase minima. Il margine di ampiezza M_a e il margine di fase M_f sono:

- $M_a \simeq 52$ dB e $M_f \simeq 77^\circ$
 $M_a \simeq 52$ dB e $M_f \simeq -77^\circ$
 $M_a \simeq -52$ dB e $M_f \simeq 77^\circ$
 $M_a \simeq -52$ dB e $M_f \simeq -77^\circ$



2. Dato un sistema di controllo in retroazione, al fine di avere errore a regime nullo a fronte di un ingresso $y_{sp}(t) = \sin(\bar{\omega}t)$:
- La funzione d'anello $L(s)$ dovrà avere due poli $p_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
 La funzione d'anello $L(s)$ dovrà avere due zeri $z_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
 La funzione di sensitività $S(s)$ dovrà avere due zeri $z_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
 La funzione di sensitività $S(s)$ dovrà avere due poli $p_{1,2} = \pm j\bar{\omega}$
3. La compensazione di un disturbo misurabile:
- può essere fatta solo se il l'impianto controllato è stabile e a fase minima
 può essere fatta solo se il l'impianto controllato ha grado relativo nullo
 nel caso in cui la funzione di trasferimento dell'impianto non abbia zeri si può calcolare con una combinazione lineare del segnale misurato e delle sue derivate
 potrebbe richiedere l'introduzione di poli "ad alta frequenza" per rendere il compensatore fisicamente realizzabile
4. Le variazioni parametriche che intervengono in un impianto:
- possono essere compensate mediante l'utilizzo di un regolatore ad azione diretta
 possono essere compensate mediante l'utilizzo di un regolatore in retroazione
 non possono essere attenuate in nessun caso
5. Una rete ritardatrice presenta le seguenti proprietà:
- migliora il margine di fase nell'intorno delle frequenze a cui agisce
 riduce il guadagno alle alte frequenze e peggiora il margine di fase nell'intorno delle frequenze a cui agisce
 diminuisce la banda del sistema
 aumenta la banda del sistema

6. Un regolatore PI:
- è un caso particolare di rete di ritardo
 - è un caso particolare di rete di anticipo
 - è un caso particolare di rete di ritardo-anticipo
 - è un sistema non fisicamente realizzabile
7. Nella progettazione di un sistema di controllo in retroazione, l'intervallo di pulsazioni in cui far cadere la pulsazione di incrocio ω_c del guadagno d'anello:
- è determinato sulla base della massima sovraelongazione ammissibile nella risposta del sistema a un ingresso a gradino
 - è limitato inferiormente dalla (eventuale) presenza di disturbi di misura
 - è limitato inferiormente dal vincolo di errore a regime nullo a fronte di un ingresso a gradino
 - è limitato superiormente dalla (eventuale) presenza nell'anello di un ritardo puro
8. L'operazione di campionamento di un segnale tempo-continuo $x(t)$ a banda limitata, con pulsazione massima ω_m , è reversibile (nel senso che è possibile ricostruire esattamente $x(t)$ a partire dalla sequenza dei campioni $x_k = x(kT_s)$):
- mai
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{2\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{2\pi}{\omega_m}$
9. Se un sistema di controllo in retroazione, che garantisce un margine di fase $M_f = 60^\circ$ a $\omega_c = 3$ rad/s, viene implementato mediante un regolatore digitale (con periodo di campionamento $T_s = 0.1$ s), quale sarà il peggioramento del margine di fase dovuto alla presenza del riscotuttore di ordine zero?
- $\Delta M_f \approx -3^\circ$
 - $\Delta M_f \approx -6^\circ$
 - $\Delta M_f \approx -9^\circ$
 - $\Delta M_f \approx -18^\circ$
10. (**Biagiotti**) A parità di durata, se si dimezza lo spostamento h richiesto a una generica traiettoria $q(t)$:
- l'accelerazione massima si riduce di un fattore 2
 - l'accelerazione massima si riduce di un fattore 4
 - l'accelerazione massima aumenta di un fattore 4
 - l'accelerazione massima aumenta di un fattore 2
11. (**Giarrè**) Il diagramma di Nyquist completo di un sistema con un polo nell'origine si chiude all'infinito con:
- una semicirconferenza percorsa in senso antiorario
 - una semicirconferenza percorsa in senso orario
 - due semicirconferenze percorse in senso antiorario
 - due semicirconferenze percorse in senso orario

- Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____
 Svolgerò la tesina con Matlab/Simulink in sostituzione della Parte A

- Biagiotti
 Giarré

Sistemi di Controllo - Controlli Automatici (Parte B)

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

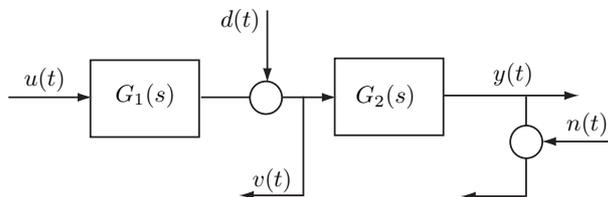
Compito del 20 luglio 2018 - Problemi

Rispondere in maniera analitica ai seguenti quesiti (gli studenti dovranno rispondere ai quesiti contrassegnati solo con lettere o col nome del docente di cui hanno seguito il corso più una lettera). I problemi e le domande a risposta aperta si ritengono superati se vengono conseguiti almeno metà dei punti totali (11 su 22), diversamente il compito verrà ritenuto insufficiente a prescindere dal risultato della prima prova.

1. Descrivere la struttura di un sistema di controllo digitale in retroazione: quali componenti sono presenti rispetto al caso tempo-continuo e quali effetti producono? Come è possibile ovviare ai problemi che questi introducono?
2. Dato l'impianto di figura con:

$$G_1(s) = \frac{12}{s(s+4)}$$

$$G_2(s) = \frac{0.8s + 0.64}{s^2 + 0.8s + 0.64}$$



Si procede alla realizzazione di uno schema di controllo in cascata partendo dall'anello più esterno. Si richiede pertanto di:

- a) Progettare il regolatore di complessità minima, denominato $R_2(s)$, per il solo sottosistema $G_2(s)$ che consenta di ottenere:
 - errore di posizione nullo;
 - risposta aperiodica;
 - tempo di assestamento $T_a \leq 0.5$ s;
 - azione di controllo minima.

SOLUZIONE:

Per garantire errore di posizione (cioè errore a regime per ingresso a gradino) nullo, il regolatore $R_2(s)$ dovrà avere la forma di un PI (o di un PID)

$$R_2(s) = \mu \frac{\tau_z s + 1}{s}$$

Le altre specifiche si traducono in:

- risposta aperiodica $\rightarrow M_f^* = 80^\circ$
- tempo di assestamento $T_a \leq 2$ s $\rightarrow T_a = \frac{3}{\omega_c} \leq 0.5$ s $\rightarrow \omega_c \geq \frac{3}{0.5} = 6$. Si assume il valore minimo $\omega_c^* = 6$ rad/s per minimizzare l'azione di controllo, come richiesto.

Per soddisfare queste specifiche occorre imporre al sistema esteso

$$G_{2e}(s) = \frac{G_2(s)}{s} = \frac{0.8s + 0.64}{s(s^2 + 0.8s + 0.64)}$$

il margine di fase $M_f^* = 80^\circ$ e la pulsazione di incrocio $\omega_{c2}^* = 6$ rad/s scegliendo opportunamente lo zero e il guadagno del regolatore PI. Si procede al calcolo di $|G_{2e}(j6)| = 0.0226$ e $\arg\{G_{2e}(j6)\} = -179.8642^\circ$, per cui $\varphi^* = 79.8642^\circ$ da cui

$$\tau_z = \frac{\tan \varphi^*}{\omega^*} = 0.9323$$

e

$$\mu = \frac{1}{|G_{2e}(j6)| \cdot \sqrt{1 + (\tau_z \omega_c^*)^2}} = 7.7809.$$

L'espressione del regolatore PI in grado di soddisfare tutte le specifiche risulta pertanto

$$R_2(s) = 7.7809 \frac{0.9323 s + 1}{s}.$$

b) Disegnare il diagramma di Bode delle ampiezze di $L_2(s) = R_2(s)G_2(s)$.

SOLUZIONE:

Vedere diagramma in fondo

c) Progettare l'anello di controllo interno con il regolatore $R_1(s)$, di complessità minima, che consenta il soddisfacimento delle seguenti specifiche:

- attenuazione di un disturbo $d(t)$ frequenzialmente confinato nel range $[0.1, 0.4]$ rad/s di almeno 80 volte;
 - margine di fase M_f di almeno 60° ;
 - pulsazione di incrocio ω_c compatibile con il disaccoppiamento frequenziale richiesto dal progetto del regolatore in cascata.
-

SOLUZIONE:

Il regolatore $R_2(s)$ sarà costituito da una parte statica (un semplice guadagno μ) più (eventualmente) una parte dinamica. Il guadagno μ deve essere scelto in modo tale a garantire l'attenuazione del disturbo $d(t)$ richiesta, pertanto occorre far sì che alla massima pulsazione del disturbo ($\omega_d = 0.4$ rad/s) si abbia $|S(j\omega_d)| \leq \frac{1}{80}$. Considerando l'espressione approssimata di $|S(j\omega)|$ per basse frequenze risulta

$$|S(j\omega_d)| \approx \frac{1}{|L(j\omega_d)|} \Rightarrow |L(j\omega_d)| \geq 80$$

con $L(s) = \mu G_1(s)$. Svolgendo i calcoli risulta

$$|\mu G_1(j0.4)| \geq 80 \Rightarrow \mu \geq \frac{80}{7.4628} = 10.7199.$$

Per semplicità si assume $\mu = 11$. Per il calcolo del regolatore dinamico si considera il sistema esteso $G_{1e}(s) = \frac{132}{s(s+4)}$ a cui si dovrà imporre un margine di fase $M_f = 60^\circ$ alla pulsazione di incrocio $\omega_c = 60$ rad/s (scelta un ordine di grandezza maggiore rispetto alla pulsazione di incrocio dell'anello esterno progettato al punto a)). Dal calcolo del modulo e dell'argomento di $G_{1e}(j\omega)$, alla pulsazione ω_c^* si evince come sia necessaria una rete anticipatrice. Infatti, $|G_{1e}(j60)| = 0.0366$ e $\arg(G_{1e}(j60)) = -176.1859^\circ$. Pertanto l'amplificazione della rete dovrà essere

$$M^* = \frac{1}{|G_{1e}(j\omega_c^*)|} = 27.3333,$$

mentre lo sfasamento dovrà essere

$$\varphi^* = -180^\circ + M_f^* - \arg(G_{1e}(j\omega_c^*)) = 56.1859^\circ.$$

M^* e φ^* verificano le condizioni di applicabilità di una rete anticipatrice.

Dalle formule di inversione si ricava che $\tau = 0.5371$ e $\alpha = 0.0194$ per cui

$$R_d(s) = \frac{0.5371 s + 1}{0.01043 s + 1}.$$

Alla fine il regolatore $R_1(s)$ vale

$$R_1(s) = 11 \frac{0.5371 s + 1}{0.01043 s + 1}.$$

d) Tracciare i diagrammi di Bode delle ampiezze di $L_1(s) = R_1(s)G_1(s)$ e della funzione di sensitività complementare $F_1(s)$. Infine sovrapporre il diagramma di $|F_1(j\omega)|$ a quello di $|L_2(j\omega)|$, tracciato al punto b), e discutere la fattibilità del progetto in cascata.

SOLUZIONE:

Vedere diagramma in fondo.

- e) Scegliere il tempo di campionamento più idoneo per discretizzare i regolatori $R_1(s)$, $R_2(s)$ tenendo conto della larghezza di banda dei sistemi retroazionati e imponendo che il peggioramento del margine di fase dovuto al ricostruttore di ordine zero non superi i 10° . Discretizzare entrambi i regolatori mediante il metodo di Tustin.

SOLUZIONE:

Il tempo di campionamento può essere scelto considerando la più restrittiva delle condizioni derivanti dalla larghezza di banda dei due regolatori e dal massimo sfasamento ammissibile:

(a) per $R_1(s)$, $\omega_c^* = 60 \text{ rad/s} \Rightarrow \omega_s = 10\omega_c^* = 600 \text{ rad/s} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_s} = 0.0105 \text{ s}$

(b) per $R_2(s)$, $\omega_c^* = 6 \text{ rad/s} \Rightarrow \omega_s = 10\omega_c^* = 60 \text{ rad/s} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_s} = 0.1047 \text{ s}$

(c) $\Delta M_f = \frac{T}{2} \omega_c \frac{180}{\pi} \leq 10^\circ \Rightarrow T \leq \frac{10 \cdot 2\pi}{\omega_c \cdot 180} = 0.0058 \text{ s}$ essendo $\omega_c = 60 \text{ rad/s}$ (si assume la ω_c più grande che corrisponde al caso peggiore).

Il valore $T = 0.005$ soddisfa tutte le specifiche.

Sostituendo $s = \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}$ la funzione di trasferimento dei regolatori discretizzati risulta

$$R_1(s) = 11 \frac{0.5371s + 1}{0.01043s + 1} \Rightarrow R_1(z) = \frac{459.1 - 454.9z^{-1}}{1 - 0.6133z^{-1}} = \frac{459.1z - 454.9}{z - 0.6133}$$

$$R_2(s) = 7.7809 \frac{0.9323s + 1}{s} \Rightarrow R_2(z) = \frac{7.273 - 7.235z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{7.273z - 7.235}{z - 1}$$

- f) Scrivere le equazioni alle differenze corrispondenti ai regolatori $R_1(z) = \frac{U_1(z)}{E_1(z)}$, $R_2(z) = \frac{U_2(z)}{E_2(z)}$ discretizzati al punto precedente.

SOLUZIONE:

Interpretando z^{-1} come l'operatore ritardo unitario segue immediatamente che le equazioni alle differenze corrispondenti a $R_1(z)$ e $R_2(z)$ sono:

$$R_1(z) = \frac{459.1 - 454.9z^{-1}}{1 - 0.6133z^{-1}} = \frac{U_1(z)}{E_1(z)} \Rightarrow u_{1k} = 0.6133u_{1k-1} + 459.1e_{1k} - 454.9e_{1k-1}$$

$$R_2(z) = \frac{7.273 - 7.235z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{U_2(z)}{E_2(z)} \Rightarrow u_{2k} = u_{2k-1} + 7.273e_{2k} - 7.235e_{2k-1}$$

- g) Progettare un'azione di feed-forward $u_{ff}(t)$ per l'intero impianto che consenta di inseguire senza errore il riferimento $y_{sp}(t)$, di cui è nota l'espressione analitica insieme a quella delle sue derivate. Quale sarà l'ordine di continuità minimo della traiettoria $y_{sp}(t)$ che garantisce un'azione di controllo limitata?

SOLUZIONE:

Invertendo la funzione di trasferimento $G(s) = G_1(s)G_2(s) = \frac{9.6s + 7.68}{s^4 + 4.8s^3 + 3.84s^2 + 2.56s}$ e interpretando l'operatore s come operatore di derivazione l'espressione dell'azione in avanti risulta immediata

$$U_{ff}(s) = G^{-1}(s)Y_{sp}(s) = 0.1042s^3Y_{sp}(s) + 0.4167s^2Y_{sp}(s) + 0.06667sY_{sp}(s) + 0.2133Y_{sp}(s) + \frac{-1.638}{9.6s + 7.68}Y_{sp}(s)$$

↓

$$u_{ff}(t) = 0.1042\ddot{y}_{sp}(t) + 0.4167\dot{y}_{sp}(t) + 0.06667\dot{y}_{sp}(t) + 0.2133y_{sp}(t) + \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{-1.638}{9.6s + 7.68}Y_{sp}(s)\right\}$$

dove \mathcal{L}^{-1} denota la trasformata inversa di Laplace.

Per garantire la limitatezza dell'azione di controllo $u_{ff}(t)$ è necessario che la traiettoria di riferimento $y_{sp}(t)$ sia almeno \mathcal{C}^2 , cioè continua fino alla derivata seconda.

Cognome:

Nome:

N. Matr.:

