

Cognome:

Nome:

N. Matr.:

Ho seguito il corso con

Prof Giarré

Prof. Biagiotti

Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____

Sistemi di Controllo - Controlli Automatici (Parte B)

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

Compito del 15 gennaio 2020 - Quiz

Per ciascuno dei seguenti quesiti, segnare con una crocetta le risposte che si ritengono corrette. Alcuni quesiti possono avere più risposte corrette.

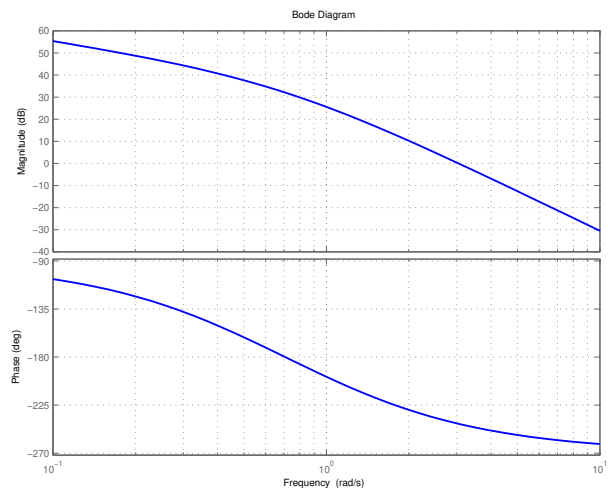
I quiz si ritengono superati se vengono individuate almeno metà delle risposte esatte (punti 5.5 su 11), diversamente il compito verrà ritenuto insufficiente a prescindere dal risultato della seconda prova.

1. Se la funzione di anello (impianto + regolatore) di un sistema in retroazione stabile presenta un polo doppio nell'origine:

- l'errore a regime per ingresso a gradino è nullo
- l'errore a regime per ingresso a rampa è diverso da zero e costante
- l'errore a regime per ingresso a parabola è infinito
- l'errore a regime per ingresso a rampa è nullo

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

- $M_\alpha \simeq 32$ dB e $M_f \simeq -62^\circ$
- $M_\alpha \simeq -32$ dB e $M_f \simeq 62^\circ$
- $M_\alpha \simeq -32$ dB e $M_f \simeq -62^\circ$
- $M_\alpha \simeq 32$ dB e $M_f \simeq 62^\circ$



3. Se un sistema dinamico, caratterizzato da un margine di fase $M_f = 50^\circ$ alla pulsazione $\omega_c = 8$ rad/s e affetto da un ritardo τ , è posto in retroazione unitaria negativa darà luogo a un sistema stabile fintanto che

- $\tau \leq 0.1091$ s
- $\tau \leq 0.16$ s
- $\tau \leq 6.25$ s
- $\tau \leq 9.1673$ s

4. In un sistema di controllo in retroazione (dove $R(s)$ è il regolatore), la relazione che lega le variazioni parametriche dell'impianto $\Delta G(s)/G(s)$ e quelle del sistema retroazionato $\Delta F(s)/F(s)$ è data da:

- $\frac{R(s)G(s)}{1 + R(s)G(s)}$
- $\frac{1}{1 + R(s)G(s)}$
- $\frac{1}{(1 + R(s)G(s))^2}$
- $\frac{R(s)G(s)}{(1 + R(s)G(s))^2}$

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 ma peggiora il margine di fase nell'intorno delle frequenze a cui agisce
 - aumenta il guadagno ad alte frequenze
 - diminuisce la banda del sistema
6. In un controllore PID, l'azione integrale:
- aumenta la banda passante
 - elimina gli errori/disturbi di misura costanti
 - aumenta il guadagno ad alte frequenze
 - aumenta il guadagno a basse frequenze
7. Il prefiltraggio del segnale di riferimento può essere impiegato per garantire errore a regime nullo in un sistema dinamico?
- solo se il segnale di riferimento è a banda limitata
 - no, mai
 - solo se il riferimento è costante e il prefiltro contiene un polo nell'origine
 - solo se lo spettro del segnale di riferimento è interamente contenuto entro la banda passante del filtro
8. Dato un sistema di controllo digitale, che non è stato equipaggiato con filtri anti-aliasing, per evitare di riportare in bassa frequenza un eventuale disturbo di misura, il periodo di campionamento deve essere scelto in modo tale che la pulsazione di Nyquist risulti collocata:
- a sinistra della pulsazione di incrocio della funzione d'anello
 - tra la pulsazione di incrocio e la minima pulsazione a cui agisce il disturbo di misura
 - a destra della minima pulsazione del disturbo di misura
 - a destra della massima pulsazione del disturbo di misura
9. 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 $T_s \leq \frac{\pi}{\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{2\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{10\omega_m}$
10. (**Giarrè**) Il sistema $G(s) = (s + 5)/(s^2 - 5s + 10)$ posto in retroazione è stabile se:
- il diagramma di Nyquist di $G(s)$ non circonda il punto critico $-1 + j0$
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 1 giro in senso orario
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 1 giro in senso antiorario
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 2 giri in senso orario
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 2 giri in senso antiorario
11. (**Biagiotti**) Dato l'impianto $G(s) = \frac{3(s + 5)}{(s + 12)^2(s^2 + 3s + 16)}$ controllato con un'azione di controllo in avanti, l'inseguimento perfetto di una traiettoria di riferimento risulta fattibile (nel senso che l'azione di controllo è limitata) se suddetta traiettoria è almeno
- di classe C^1 , ovvero continua fino alla derivata prima
 - di classe C^2 , ovvero continua fino alla derivata seconda
 - di classe C^3 , ovvero continua fino alla derivata terza
 - di classe C^4 , ovvero continua fino alla derivata quarta

Cognome:

Nome:

N. Matr.:

Ho seguito il corso con Prof Giarré Prof. Biagiotti

Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____

Sistemi di Controllo - Controlli Automatici (Parte B)

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

Compito del 15 gennaio 2020 - Problemi

Rispondere in maniera analitica ai seguenti quesiti. 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. Illustrare gli accorgimenti che possono essere assunti per ridurre l'ampiezza dell'azione di controllo in un sistema in retroazione.
2. Dato l'impianto descritto dalla funzione di trasferimento:

$$G(s) = \frac{40(s + 0.8)}{s^2 + 4s + 25}$$

- a) Progettare il regolatore $R(s)$ che consenta il soddisfacimento delle seguenti specifiche di bassa frequenza:
 - errore di velocità (ovvero errore a regime per ingresso a rampa) inferiore al 4%;
 - attenuazione di almeno 200 volte di un disturbo sinusoidale sull'uscita "d" con pulsazione $\omega_d = 0.1$ rad/s;

e delle specifiche dinamiche:

- tempo di assestamento $T_a \leq 0.3$ s;
- risposta aperiodica per ingresso a gradino;
- attenuazione di almeno 100 volte di un disturbo di misura sinusoidale a pulsazione $\omega_n = 200$ rad/s.

Si suggerisce di soddisfare prima le specifiche statiche e quindi di tracciare i diagrammi di Bode del sistema esteso (che comunque non sono obbligatori). Inoltre, nel soddisfacimento delle specifiche dinamiche si tenga in considerazione il fatto che al punto successivo viene richiesta la progettazione di un prefiltro (essendo le specifiche dinamiche chiaramente incompatibili tra loro si scelga quali soddisfare col regolatore dinamico e quali con l'aggiunta del prefiltro).

- b) Progettare il prefiltro $R_{pf}(s)$ che consenta il soddisfacimento di tutte le specifiche richieste al punto precedente.
- c) Riportare negli schemi forniti il modulo della funzione d'anello $L(s) = R(s)G(s)$ e della funzione di sensibilità complementare $F(s)$ (schema in alto) e sovrapposti nello stesso schema (in basso) il modulo di $F(s)$, quello di $R_{pf}(s)$ e quello della nuova funzione di trasferimento ingresso-uscita $F'(s) = R_{pf}(s)F(s)$.
- d) Volendo discretizzare sia il regolatore $R(s)$ che prefiltro $R_{pf}(s)$ scegliere il tempo di campionamento più idoneo tenendo in considerazione lo spettro dei segnali in gioco e una specifica sul ricostruttore di ordine zero che deve introdurre uno sfasamento sul margine di fase inferiore a 2° . Discretizzare entrambi i sistemi con il metodo di Tustin.
- e) Scrivere le equazioni alle differenze corrispondenti ai due sistemi discretizzati al punto precedente

$$R(z) = \frac{U(z)}{E(z)} \text{ e } R_{pf}(z) = \frac{Y(z)}{Q(z)}.$$

- f) In alternativa al prefiltro, progettare un'azione in avanti che, in condizioni nominali, garantisca inseguimento perfetto del riferimento nello stesso range frequenziale del prefiltro (l'espressione analitica del segnale di riferimento non è nota).

Infine mostrare lo schema a blocchi del controllo in retroazione nei due casi: con prefiltraggio del riferimento e con azione in avanti.

Diagramma di Bode delle ampiezze di $L(s)$ e $F(s)$

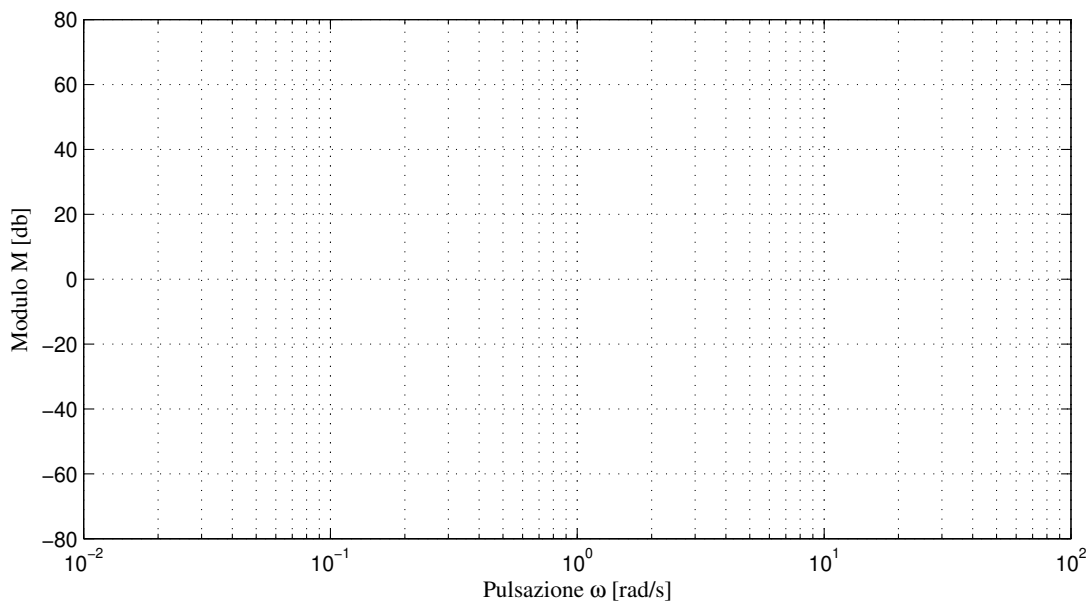
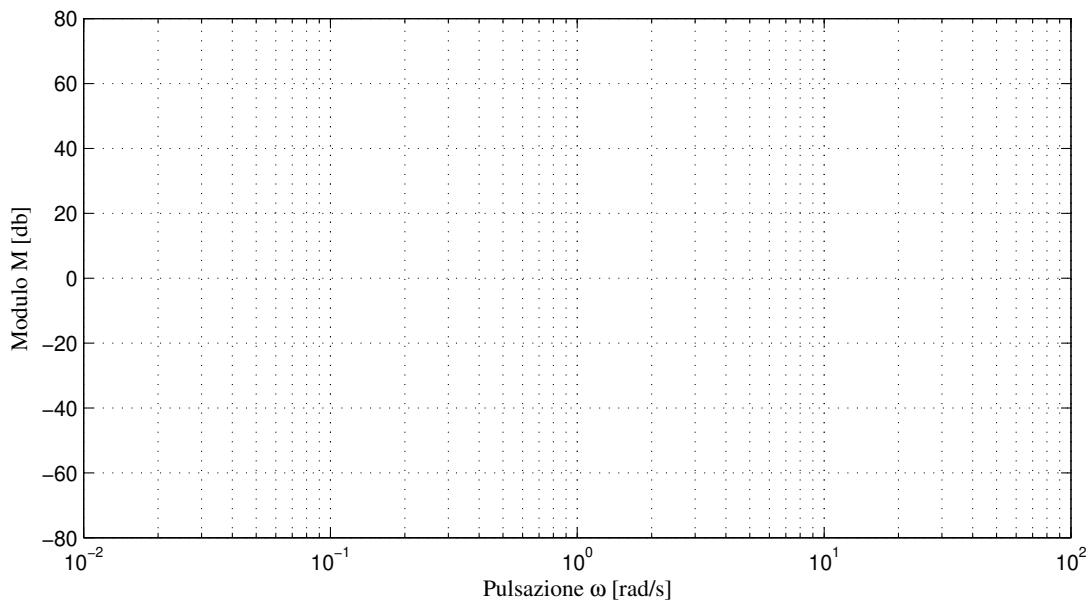


Diagramma di Bode delle ampiezze di $F(s)$, $R_{pf}(s)$ e $F'(s) = R_{pf}(s)F(s)$



Cognome:

Nome:

N. Matr.:

Ho seguito il corso con

Prof Giarré Prof. Biagiotti

Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____

Sistemi di Controllo - Controlli Automatici (Parte B)

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

Compito del 15 gennaio 2020 - Quiz

Per ciascuno dei seguenti quesiti, segnare con una crocetta le risposte che si ritengono corrette. Alcuni quesiti possono avere più risposte corrette.

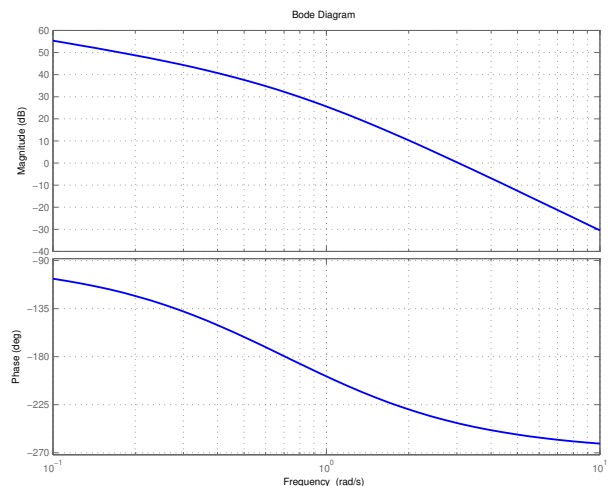
I quiz si ritengono superati se vengono individuate almeno metà delle risposte esatte (punti 5.5 su 11), diversamente il compito verrà ritenuto insufficiente a prescindere dal risultato della seconda prova.

1. Se la funzione di anello (impianto + regolatore) di un sistema in retroazione stabile presenta un polo doppio nell'origine:

- l'errore a regime per ingresso a gradino è nullo
 l'errore a regime per ingresso a rampa è diverso da zero e costante
 l'errore a regime per ingresso a parabola è infinito
 l'errore a regime per ingresso a rampa è nullo

2. 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_φ sono:

- $M_a \simeq 32$ dB e $M_f \simeq -62^\circ$
 $M_a \simeq -32$ dB e $M_f \simeq 62^\circ$
 $M_a \simeq -32$ dB e $M_f \simeq -62^\circ$
 $M_a \simeq 32$ dB e $M_f \simeq 62^\circ$



3. Se un sistema dinamico, caratterizzato da un margine di fase $M_f = 50^\circ$ alla pulsazione $\omega_c = 8$ rad/s e affetto da un ritardo τ , è posto in retroazione unitaria negativa darà luogo a un sistema stabile fintanto che

- $\tau \leq 0.1091$ s
 $\tau \leq 0.16$ s
 $\tau \leq 6.25$ s
 $\tau \leq 9.1673$ s

4. In un sistema di controllo in retroazione (dove $R(s)$ è il regolatore), la relazione che lega le variazioni parametriche dell'impianto $\Delta G(s)/G(s)$ e quelle del sistema retroazionato $\Delta F(s)/F(s)$ è data da:

- $\frac{R(s)G(s)}{1 + R(s)G(s)}$
 $\frac{1}{1 + R(s)G(s)}$
 $\frac{1}{(1 + R(s)G(s))^2}$
 $\frac{R(s)G(s)}{(1 + R(s)G(s))^2}$

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 ma peggiora il margine di fase nell'intorno delle frequenze a cui agisce
 - aumenta il guadagno ad alte frequenze
 - diminuisce la banda del sistema
6. In un controllore PID, l'azione integrale:
- aumenta la banda passante
 - elimina gli errori/disturbi di misura costanti
 - aumenta il guadagno ad alte frequenze
 - aumenta il guadagno a basse frequenze
7. Il prefiltraggio del segnale di riferimento può essere impiegato per garantire errore a regime nullo in un sistema dinamico?
- solo se il segnale di riferimento è a banda limitata
 - no, mai
 - solo se il riferimento è costante e il prefiltro contiene un polo nell'origine
 - solo se lo spettro del segnale di riferimento è interamente contenuto entro la banda passante del filtro
8. Dato un sistema di controllo digitale, che non è stato equipaggiato con filtri anti-aliasing, per evitare di riportare in bassa frequenza un eventuale disturbo di misura, il periodo di campionamento deve essere scelto in modo tale che la pulsazione di Nyquist risulti collocata:
- a sinistra della pulsazione di incrocio della funzione d'anello
 - tra la pulsazione di incrocio e la minima pulsazione a cui agisce il disturbo di misura
 - a destra della minima pulsazione del disturbo di misura
 - a destra della massima pulsazione del disturbo di misura
9. 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 $T_s \leq \frac{\pi}{\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{2\omega_m}$
 - se il tempo di campionamento $T_s \leq \frac{\pi}{10\omega_m}$
10. (**Giarrè**) Il sistema $G(s) = (s + 5)/(s^2 - 5s + 10)$ posto in retroazione è stabile se:
- il diagramma di Nyquist di $G(s)$ non circonda il punto critico $-1 + j0$
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 1 giro in senso orario
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 1 giro in senso antiorario
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 2 giri in senso orario
 - il diagramma di Nyquist di $G(s)$ circonda il punto critico $-1 + j0$ percorrendo 2 giri in senso antiorario
11. (**Biagiotti**) Dato l'impianto $G(s) = \frac{3(s + 5)}{(s + 12)^2(s^2 + 3s + 16)}$ controllato con un'azione di controllo in avanti, l'inseguimento perfetto di una traiettoria di riferimento risulta fattibile (nel senso che l'azione di controllo è limitata) se suddetta traiettoria è almeno
- di classe C^1 , ovvero continua fino alla derivata prima
 - di classe C^2 , ovvero continua fino alla derivata seconda
 - di classe C^3 , ovvero continua fino alla derivata terza
 - di classe C^4 , ovvero continua fino alla derivata quarta

Cognome: _____

Nome: _____

N. Matr.: Ho seguito il corso con Prof Giarré Prof. Biagiotti

Ho superato la Parte A in data (mese/anno) _____

Sistemi di Controllo - Controlli Automatici (Parte B)

Ingegneria Meccanica e Ingegneria del Veicolo

Compito del 15 gennaio 2020 - Problemi

Rispondere in maniera analitica ai seguenti quesiti. 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. Illustrare gli accorgimenti che possono essere assunti per ridurre l'ampiezza dell'azione di controllo in un sistema in retroazione.
2. Dato l'impianto descritto dalla funzione di trasferimento:

$$G(s) = \frac{40(s + 0.8)}{s^2 + 4s + 25}$$

- a) Progettare il regolatore $R(s)$ che consenta il soddisfacimento delle seguenti specifiche di bassa frequenza:
- errore di velocità (ovvero errore a regime per ingresso a rampa) inferiore al 4%;
 - attenuazione di almeno 200 volte di un disturbo sinusoidale sull'uscita "d" con pulsazione $\omega_d = 0.1 \text{ rad/s}$;

e delle specifiche dinamiche:

- tempo di assestamento $T_a \leq 0.3 \text{ s}$;
- risposta aperiodica per ingresso a gradino;
- attenuazione di almeno 100 volte di un disturbo di misura sinusoidale a pulsazione $\omega_n = 200 \text{ rad/s}$.

Si suggerisce di soddisfare prima le specifiche statiche e quindi di tracciare i diagrammi di Bode del sistema esteso (che comunque non sono obbligatori). Inoltre, nel soddisfacimento delle specifiche dinamiche si tenga in considerazione il fatto che al punto successivo viene richiesta la progettazione di un prefiltro (essendo le specifiche dinamiche chiaramente incompatibili tra loro si scelga quali soddisfare col regolatore dinamico e quali con l'aggiunta del prefiltro).

SOLUZIONE:

Il regolatore completo è composto da unregolatore statico e uno dinamico $R(s) = R_s(s) R_d(s)$.

Dal momento che è richiesto errore a regime limitato per ingresso a rampa il regolatore statico $R_s(s)$ dovrà avere un polo nell'origine (dal momento che nell'impianto non ve ne sono), e quindi avrà la forma

$$R_s(s) = \frac{\mu}{s}$$

dove μ è determinato imponendo il soddisfacimento delle due condizioni di bassa frequenza. In particolare dalla prima si ricava

$$e_v = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} s \frac{\mu}{s} G(0)} = \frac{1}{\mu G(0)} \leq 0.04 \rightarrow \mu \geq \frac{1}{0.04 G(0)} = 19.5313$$

essendo il guadagno statico $G(0) = 1.2800$. Dalla seconda condizione, che può essere riscritta come

$$|S(j\omega)| \leq \frac{1}{200} \text{ alla pulsazione } \omega_d = 0.1 \text{ rad/s}$$

considerando l'espressione approssimata di $|S(j\omega)|$ per basse frequenze, si ricava

$$|S(j\omega_d)| \approx \frac{1}{|L(j\omega_d)|} = \frac{1}{\left| \frac{\mu}{j\omega_d} G(j\omega_d) \right|} \leq 0.005.$$

Svolgendo i calcoli risulta $|G(j0.1)/j0.1| = 12.9031$ da cui $\mu \geq \frac{1}{12.9031 \cdot 0.005} = 15.5001$.

Per garantire che entrambe le condizioni siano verificate, occorre assumere il valore di μ più grande tra

quelli trovati. Per semplicità si considera $\mu = 20$.

Per il calcolo del regolatore dinamico si considera il sistema esteso $G_e(s) = R_s(s)G(s) = \frac{800(s+0.8)}{s(s^2+4s+25)}$.

Le specifiche dinamiche possono essere tradotte in vincoli sul margine di fase e sulla pulsazione di incrocio della funzione d'anello. In particolare,

$$\begin{aligned} T_a \leq 0.3s &\Rightarrow \frac{3}{\omega_c} \leq 0.3s \Rightarrow \omega_c \geq 10 \text{ rad/s} \\ \text{risposta aperiodica} &\Rightarrow M_f \approx 80^\circ \\ \text{attenuazione di 100 volte del disturbo di misura} &\Rightarrow \omega_c \leq \frac{200}{100} = 2 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dal momento che le due specifiche su ω_c sono incompatibili, si progetterà il regolatore dinamico con l'obiettivo di attenuare il disturbo di misura, demandando al prefiltro l'ottenimento del tempo di assestamento desiderato. Di conseguenza si assumerà $M_f^* = 80^\circ$ e $\omega_c^* = 2 \text{ rad/s}$. Dal calcolo del modulo e dell'argomento di $G_e(j\omega)$, alla pulsazione ω_c^* (e dai diagrammi di bode appena tracciati) si evince come sia necessaria una rete ritardatrice. Infatti, $|G_e(j2)| = 38.3419$ e $\arg(G_e(j2)) = -42.6559^\circ$. Pertanto l'amplificazione della rete dovrà essere

$$M^* = \frac{1}{|G_e(j\omega_c^*)|} = 0.0261,$$

mentre lo sfasamento dovrà essere

$$\varphi^* = -180^\circ + M_f^* - \arg(G_e(j\omega_c^*)) = -57.3441^\circ.$$

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

Dalle formule di inversione si ricava che $\tau = 22.45$ e $\alpha\tau = 0.3050$ per cui

$$R_d(s) = \frac{\alpha\tau s + 1}{\tau s + 1} = \frac{0.305 s + 1}{22.45 s + 1}$$

- b) Progettare il prefiltro $R_{pf}(s)$ che consenta il soddisfacimento di tutte le specifiche richieste al punto precedente.

SOLUZIONE:

Il prefiltro ha lo scopo di rendere il sistema retroazionato più veloce, allargandone la banda fino a ottenere una pulsazione di taglio di 10 rad/s (anzichè l'attuale di 2 rad/s), come richiesto dalla specifica sul tempo di assestamento. Pertanto avrà l'espressione

$$R_{pf}(s) = \frac{\frac{s}{2} + 1}{\frac{s}{10} + 1}$$

- c) Riportare negli schemi forniti il modulo della funzione d'anello $L(s) = R(s)G(s)$ e della funzione di sensitività complementare $F(s)$ (schema in alto) e sovrapposti nello stesso schema (in basso) il modulo di $F(s)$, quello di $R_{pf}(s)$ e quello della nuova funzione di trasferimento ingresso-uscita $F'(s) = R_{pf}(s)F(s)$.

SOLUZIONE:

Vedere diagramma in fondo.

- d) Volendo discretizzare sia il regolatore $R(s)$ che prefiltro $R_{pf}(s)$ scegliere il tempo di campionamento più idoneo tenendo in considerazione lo spettro dei segnali in gioco e una specifica sul ricostruttore di ordine zero che deve introdurre uno sfasamento sul margine di fase inferiore a 2° . Discretizzare entrambi i sistemi con il metodo di Tustin.

SOLUZIONE:

Il tempo di campionamento deve essere scelto considerando la più restrittiva delle condizioni richieste:

- pulsazione di campionamento pari a 10 volte la massima pulsazione dei segnali in gioco che in questo caso risulta pari a $\omega_{max} = 10 \text{ rad/s}$ (larghezza di banda della funzione ingresso-uscita con prefiltro):

$$\omega_s = 10\omega_{max} = 100 \text{ rad/s} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_s} = 0.0628 \text{ s};$$

- massimo sfasamento (negativo) sul margine di fase, introdotto dal ricostruttore di ordine zero, inferiore a 2° : $\Delta M_f = \frac{T}{2} \omega_c \frac{180}{\pi} \leq 2^\circ \Rightarrow T \leq \frac{2\pi}{180} = 0.0349 \text{ s}$ essendo $\omega_c = \omega_c^* = 2 \text{ rad/s}$.

Per soddisfare entrambe le specifiche si assume $T = 0.02 \text{ s}$.

Sostituendo $s = \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$ i corrispondenti sistemi discretizzati risultano

$$R(s) = \frac{20}{s} \frac{0.305s + 1}{22.45s + 1}$$

$$\Downarrow$$

$$R(z) = \frac{0.002805 + 0.0001781 z^{-1} - 0.002627 z^{-2}}{1 - 1.999 z^{-1} + 0.9991 z^{-2}} = \frac{0.002805 z^2 + 0.0001781 z - 0.002627}{z^2 - 1.999 z + 0.9991}$$

$$R_{pf}(s) = \frac{\frac{s}{2} + 1}{\frac{s}{10} + 1} \Rightarrow R_{pf}(z) = \frac{4.636 - 4.455 z^{-1}}{1 - 0.8182 z^{-1}} = \frac{4.636 z - 4.455}{z - 0.8182}$$

- e) Scrivere le equazioni alle differenze corrispondenti ai due sistemi discretizzati al punto precedente

$$R(z) = \frac{U(z)}{E(z)} \text{ e } R_{pf}(z) = \frac{Y(z)}{Q(z)}$$

SOLUZIONE:

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

$$R(z) = \frac{0.002805 + 0.0001781 z^{-1} - 0.002627 z^{-2}}{1 - 1.999 z^{-1} + 0.9991 z^{-2}} = \frac{U(z)}{E(z)}$$

\Downarrow

$$u_k = 1.999 u_{k-1} - 0.9991 u_{k-2} + 0.002805 e_k + 0.0001781 e_{k-1} - 0.002627 e_{k-2}$$

$$R_{pf}(z) = \frac{4.636 - 4.455 z^{-1}}{1 - 0.8182 z^{-1}} = \frac{Y(z)}{Q(z)} \Rightarrow y_k = 0.8182 y_{k-1} + 4.636 q_k - 4.455 q_{k-1}$$

- f) In alternativa al prefiltro, progettare un'azione in avanti che, in condizioni nominali, garantisca inseguimento perfetto del riferimento nello stesso range frequenziale del prefiltro (l'espressione analitica del segnale di riferimento non è nota).

Infine mostrare lo schema a blocchi del controllo in retroazione nei due casi: con prefiltraggio del riferimento e con azione in avanti.

SOLUZIONE:

Il prefiltro sul riferimento ha lo scopo di allargare la banda del sistema controllato fino a 10 rad/s , pertanto si desidera realizzare un'azione in avanti basata sull'inversione della dinamica dell'impianto (cioè $R_{ff}(s) = G^{-1}(s)$) nel range frequenziale $[0, 10] \text{ rad/s}$. Dal momento che poli e zeri di $G(s)$ si trovano tutti in tale range, nessuno di essi può essere trascurato. Inoltre è necessario aggiungere in $R_{ff}(s)$ un polo fuori banda per garantire la fisica realizzabilità dell'azione stessa. In ultima analisi,

$$R_{ff}(s) = \frac{s^2 + 4s + 25}{40(s + 0.8)(0.01s + 1)}$$

dove lo il polo in -100 (una decade a destra rispetto alla massima pulsazione di interesse) è stato aggiunto nella forma in costanti di tempo per non alterare il guadagno statico di $R_{ff}(s)$.

Diagramma di Bode delle ampiezze di $L(s)$ e $F(s)$

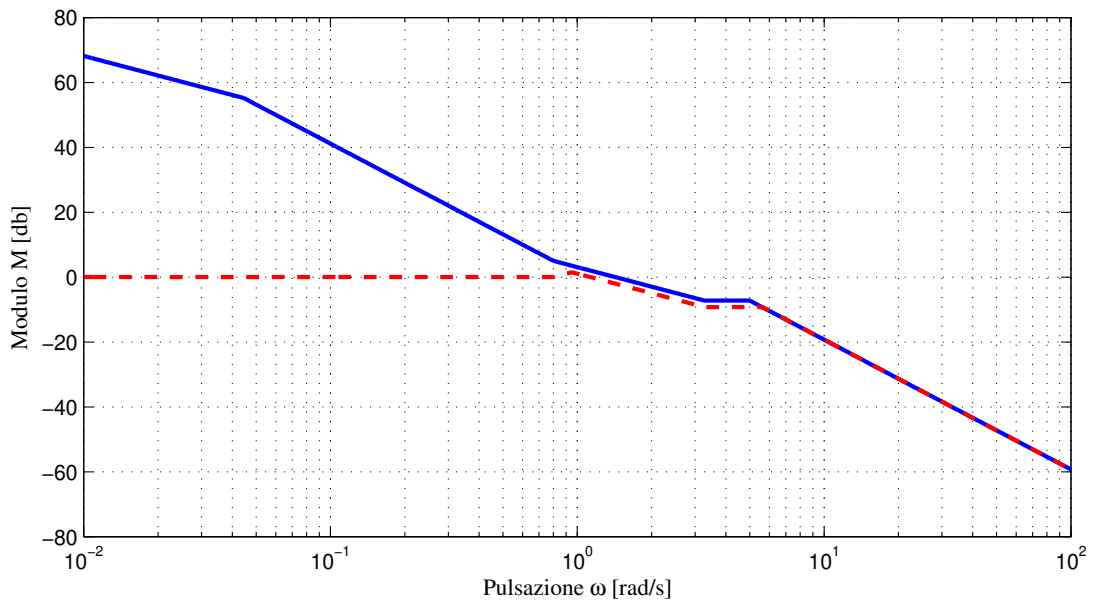


Diagramma di Bode delle ampiezze di $F(s)$, $R_{pf}(s)$ e $F'(s) = R_{pf}(s)F(s)$

