Voto

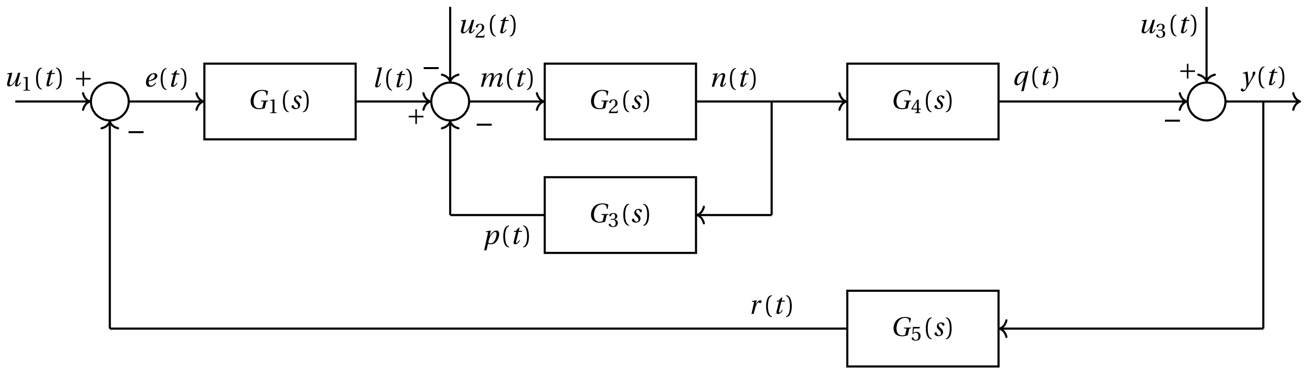
Traccia Matlab

Cognome, Nome e Matricola

CORSO: TEORIA DEI SISTEMI
DOCENTE: VINCENZO LIPPIELLO

Prova scritta del 06/11/2024

Leggere con attenzione
Il corretto svolgimento del compito prevede che lo studente risponda in maniera chiara ai quesiti proposti e, ove necessario, argomenti i diversi passaggi, espliciti le formule usate, motivi le scelte e non si limiti a riportare i soli risultati dei calcoli.
Alla consegna della prova scritta, l'allievo riceverà la traccia dell'elaborato tecnico da svolgere in ambiente Matlab/Simulink.
Non è consentito consultare appunti o altro materiale, così come è assolutamente vietata ogni forma di collaborazione, pena l'annullamento della prova e il non poter partecipare alla successiva seduta d'esame. Durante la seduta, si forniranno spiegazioni soltanto su quesiti inerenti la comprensione della traccia.
Durata della prova: 3 ore.



1. Si calcoli la funzione di trasferimento dello schema a blocchi rappresentato nella figura di cui allo schema di sopra. **[Punti: 5]**

2. Si consideri un sistema LTI a tempo continuo avente la seguente forma i-s-u con $k, h \in \mathbb{R}$,

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{b}u(t) = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & h \\ 0 & -h & k \end{bmatrix} \boldsymbol{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} u(t),$$
$$y(t) = \boldsymbol{c}\boldsymbol{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{x}(t).$$

   a) Si discuta la stabilità, l'osservabilità e la raggiungibilità al variare dei parametri. **[Punti: 5]**
   b) Si trovino i valori dei parametri affinché il sistema presenti dei modi naturali convergenti pseudo-periodici con coefficiente di smorzamento più piccolo di 0.1. **[Punti: 2]**
   c) Posti $h = 1$ e $k = -1 - \delta_{-1}(t)$, considerato $u(t) = 1 - \sin(2t)$, si calcoli l'uscita del sistema, $y(t)$, $\forall t \in \mathbb{R}$. **[Punti: 7]**

3. Sia dato il sistema LTI a tempo continuo caratterizzato dalla seguente funzione di trasferimento

$$G(s) = -8\frac{(s^2+2s+1)(s^2+25)}{(s^2+0.1s+0.01)(s^2+20s+100)(s-20)}.$$

   Si disegnino i diagrammi asintotici di Bode con le dovute correzioni. **[Punti: 5]** Si determini se il sistema è un filtro, dandone opportuna giustificazione. **[Punti: 2]**

4. Si consideri un sistema a tempo discreto col seguente polinomio caratteristico $\varphi(z) = 2z^2 + (\alpha - \beta)z + 1$, con $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$. Usando il criterio di Jury, si grafichino le condizioni sui parametri affinché il sistema risulti asintoticamente stabile. **[Punti: 4]**

Soluzione

1 Esercizio

Si riconosce che il sistema raffigurato è di tipo MISO, con tre ingressi e una uscita. Pertanto, la funzione di trasferimento può essere scritta come

$$Y(s) = \boldsymbol{G}(s)\boldsymbol{U}(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) & G_{13}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \\ U_3(s) \end{bmatrix}, \tag{1.1}$$

con $G_{1i}(s)$ la funzione di trasferimento fra y e u_i, $i = 1, \ldots, 3$, quando gli altri segnali di ingresso sono nulli. Si proceda quindi ora scrivere le relazioni fra i vari segnali dello schema a blocchi direttamente nel dominio di Laplace

$$E(s) = U_1(s) - R(s), \tag{1.2a}$$
$$L(s) = G_1(s)E(s), \tag{1.2b}$$
$$M(s) = L(s) - U_2(s) - P(s), \tag{1.2c}$$
$$N(s) = G_2(s)M(s), \tag{1.2d}$$
$$P(s) = G_3(s)N(s), \tag{1.2e}$$
$$Q(s) = G_4(s)N(s), \tag{1.2f}$$
$$Y(s) = -Q(s) + U_3(s), \tag{1.2g}$$
$$R(s) = G_5(s)Y(s). \tag{1.2h}$$

Grazie alla sovrapposizione degli effetti, per il calcolo di $G_{11}(s)$ si procede algebricamente come segue ponendo $u_2(t) = u_3(t) = 0$. Per prima cosa, è utile risolvere la relazione che lega $N(s)$ con $L(s)$ quando $u_2(t) = 0$. Questa è pari a

$$N(s) = G_2(s)M(s) = G_2(s)(L(s) - P(s)) = G_2(s)(L(s) - G_3(s)N(s)) \Rightarrow N(s) = \frac{G_2(s)}{G_2(s)G_3(s)+1}L(s).$$

Dunque, svolgendo per esteso i conti, partendo dall'uscita, la relazione che lega $Y(s)$ con $U_1(s)$, quindi la $G_{11}(s)$ si ottiene come

$$\begin{aligned} Y(s) &= -Q(s) = -G_4(s)N(s) = -\frac{G_2(s)G_4(s)}{G_2(s)G_3(s)+1}L(s) = -\frac{G_1(s)G_2(s)G_4(s)}{G_2(s)G_3(s)+1}E(s) \\ &= -\frac{G_1(s)G_2(s)G_4(s)}{G_2(s)G_3(s)+1}(U_1(s) - R(s)) = -\frac{G_1(s)G_2(s)G_4(s)}{G_2(s)G_3(s)+1}(U_1(s) - G_5(s)Y(s)). \end{aligned}$$

Da cui

$$Y(s) = -\frac{G_1(s)G_2(s)G_4(s)}{1 + G_2(s)G_3(s) - G_1(s)G_2(s)G_4(s)G_5(s)}U(s),$$

pertanto

$$G_{11}(s) = -\frac{G_1(s)G_2(s)G_4(s)}{G_1(s)G_2(s)G_4(s)G_5(s) + G_2(s)G_3(s) + 1}.$$

Per il calcolo di $G_{12}(s)$ si procede algebricamente come prima ponendo $u_1(t) = u_3(t) = 0$. Svolgendo i conti si ottiene

$$G_{12}(s) = \frac{G_2(s)G_4(s)}{1 + G_2(s)G_3(s) - G_1(s)G_2(s)G_4(s)G_5(s)}.$$

Infine, per il calcolo di $G_{13}(s)$ si pone $u_1(t) = u_2(t) = 0$. Svolgendo i conti si ottiene

$$G_{13}(s) = \frac{1 + G_2(s)G_3(s)}{1 + G_2(s)G_3(s) - G_1(s)G_2(s)G_4(s)G_5(s)}.$$

2 ESERCIZIO

Quesito a.
Gli autovalori della matrice della dinamica $\boldsymbol{A}$ sono pari a $\lambda_1 = k$, $\lambda_{2,3} = k \pm jh$. Il sistema è asintoticamente stabile quando tutti gli autovalori sono a parte reale negativa, e ciò avviene quando $k < 0 \wedge \forall h \in \mathbb{R}$. Il sistema è instabile quando un solo autovalore ha parte reale positivo, e ciò accade quando $k > 0 \wedge \forall h \in \mathbb{R}$. Il sistema è stabile quando un autovalore è nullo e gli altri a parte reale negativa. Ciò non accade mai. Quando $k = 0 \wedge h \neq 0$ succede che un autovalore è nullo, λ_1. e gli altri sono immaginari puri. Gli autovalori sono tutti distinti e, quindi, la molteplicità algebrica di tutti è pari a quella geometrica. Questo comporta che il sistema è semplicemente stabile. Quando, invece, $k = h = 0$, si ha che $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$. La molteplicità algebrica dell'autovalore nullo è 3. La matrice $\boldsymbol{A}$ risulta essere tutta nulla. La matrice nulla è una matrice diagonale e quindi la molteplicità algebrica coincide con quella geometrica. Dunque, il sistema è stabile anche in questo caso. Riassumendo, si ha asintotica stabilità per $k < 0 \wedge \forall h \in \mathbb{R}$, instabilità per $k > 0 \wedge \forall h \in \mathbb{R}$, stabilità per $k = 0 \wedge \forall h \in \mathbb{R}$.
La raggiungibilità del sistema si può studiare attraverso la seguente matrice

$$\boldsymbol{M}_r = \begin{bmatrix} \boldsymbol{b} & \boldsymbol{A}\boldsymbol{b} & \boldsymbol{A}^2\boldsymbol{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & k & k^2 \\ 0 & -h & -2hk \\ -1 & -k & h^2 - k^2 \end{bmatrix}.$$

Il determinante di $\boldsymbol{M}_r$ è pari a $-h^3$, quindi il sistema è completamente raggiungibile se e sole se $\forall k \in \mathbb{R} \wedge h \neq 0$.
L'osservabilità del sistema si può studiare attraverso la seguente matrice

$$\boldsymbol{M}_o = \begin{bmatrix} \boldsymbol{c}^T & \boldsymbol{A}^T\boldsymbol{c}^T & \boldsymbol{A}^{T^2}\boldsymbol{c}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & k & k^2 \\ 0 & -h & -2hk \\ 1 & k & k^2 - h^2 \end{bmatrix}.$$

Il determinante di $\boldsymbol{M}_o$ è h^3, quindi il sistema è completamente osservabile se e solo se $\forall k \in \mathbb{R} \wedge h \neq 0$.

Quesito b.
Si giù verificato che il sistema per è asintoticamente stabile (e quindi con modi naturali convergenti) se e solo se $k < 0 \wedge \forall h \in \mathbb{R}$. Un modo naturale è e^{-kt} sul quale non si può agire per avere la pseudo-periodicità. Essa la si ottiene a partire dagli autovalori complessi coniugati. Il polinomio caratteristico è $\varphi(\lambda) = (k - \lambda)(\lambda^2 - 2k\lambda + h^2 + k^2)$. Il secondo pezzo potrebbe presentare quanto richiesto se comparato col polinomio caratteristico del tipo $\lambda^2 + 2\xi\omega_n\lambda + \omega_n^2$, con $|\xi| < 1$ e $\omega_n > 0$. Si verifica quindi che $\omega_n = \sqrt{h^2 + k^2}$, che è sempre maggiore di zero per qualsiasi valore dei parametri, e quindi $\xi = -\dfrac{k}{\sqrt{h^2 + k^2}}$. La soluzione è da ricercarsi ponendo quindi $0 < \xi < 0.1$. Si ottiene

$$-\frac{k}{\sqrt{h^2 + k^2}} > 0 \wedge -\frac{k}{\sqrt{h^2 + k^2}} < 0.1 \Rightarrow k < 0 \wedge \frac{k + 0.1\sqrt{h^2 + k^2}}{\sqrt{h^2 + k^2}} > 0 \Rightarrow k < 0 \wedge \left[\begin{array}{c} \sqrt{h^2 + k^2} > -10k \\ \forall h, k \in \mathbb{R} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow k < 0 \wedge \sqrt{h^2 + k^2} > -10k \Rightarrow\Rightarrow k < 0 \wedge \left(\begin{cases} k < 0 \\ -\sqrt{\dfrac{h^2}{99}} < k < \sqrt{\dfrac{h^2}{99}} \cup k > 0 \end{cases} \right) \Rightarrow -\sqrt{\frac{h^2}{99}} < k < 0.$$

Questo risultato è perfettamente in linea con l'intervallo di asintotica stabilità.

Quesito c.
La risposta complessiva $y(t)$ si può suddividere come

$$y(t) = \begin{cases} y_1(t), \ t < 0, \\ y_2(t), \ t \geq 0. \end{cases}$$

Il valore k assume espressione

$$k = \begin{cases} -1, & t < 0, \\ -2, & t \geq 0. \end{cases}$$

Si cominci dal caso $t < 0$ e si provveda a calcolare $y_1(t)$. La matrice della dinamica dalla forma i-s-u, dopo aver sostituito i valori $h = 1$ e $k = -1$, è pari a

$$\boldsymbol{A}_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Il sistema è asintoticamente stabile per i risultati visti precedentemente.
Poiché si presuppone che i segnali siano stati applicati ad un tempo $t = -\infty$, qualunque istante di tempo $t < 0$ si consideri, si può presupporre che le evoluzioni libere ed il transitorio si siano già estinti: il sistema è quindi a regime. Il legame fra l'uscita $y(t)$ e l'ingresso $u(t)$ è dato dalla seguente funzione di trasferimento

$$\boldsymbol{W}_1(s) = \boldsymbol{c}(s\boldsymbol{I}_3 - \boldsymbol{A}_1)^{-1}\boldsymbol{b} = \frac{1}{s^3 + 3s^2 + 4s + 2}.$$

Sapendo che $Y_1(s) = W_1(s)U(s)$, per il teorema della risposta armonica si può scrivere

$$y_1(t) = W_1(0) - |W_1(2j)| \sin\left(2t + \arg\left(W_1(2j)\right)\right) = -\frac{1}{2} - \frac{1}{10}\sin(2t + \pi),$$

per $t < 0$.
Per il prosieguo, sarà utile avere a disposizione anche l'evoluzione dello stato per $t < 0$. Pertanto, considerando $\boldsymbol{H}(s) = (s\boldsymbol{I}_3 - \boldsymbol{A}_1)^{-1}\,\boldsymbol{b}_1$ la matrice delle risposte impulsive nello stato, si ottiene

$$\boldsymbol{H}(s) = \begin{bmatrix} H_1(s) \\ H_2(s) \\ H_3(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{s+1} \\ -\dfrac{1}{s^2+2s+2} \\ -\dfrac{s+1}{s^2+2s+2} \end{bmatrix}.$$

Giacché per $t < 0$ anche lo stato sarà al suo andamento di regime, applicando nuovamente il teorema della risposta armonica si può concludere che

$$\boldsymbol{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1(0) - |H_1(2j)|\sin(2t + \arg(H_1(2j))) \\ H_2(0) - |H_2(2j)|\sin(2t + \arg(H_2(2j))) \\ H_3(0) - |H_3(2j)|\sin(2t + \arg(H_3(2j))) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - 0.4472\sin(2t - 1.1071) \\ -0.5 - 0.2236\sin(2t + 1.1071) \\ -0.5 - 0.5\sin(2t + 2.2143) \end{bmatrix}.$$

Particolarizzando lo stato in $t = 0$ (istante di chiusura dell'interruttore) si ottiene

$$\boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{x}_0 = \begin{bmatrix} x_{0,1} \\ x_{0,2} \\ x_{0,3} \end{bmatrix} \simeq \begin{bmatrix} \dfrac{7}{5} \\ -\dfrac{7}{10} \\ -\dfrac{9}{10} \end{bmatrix}$$

.
Per $t \geq 0$, invece, fissati h e k come richiesto, la matrice della dinamica del sistema è

$$\boldsymbol{A}_2 = \begin{bmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}.$$

L'uscita calcolabile per $t \geq 0$ è pari a

$$y_2(t) = \mathscr{L}^{-1}\left[\boldsymbol{c}\,(s\boldsymbol{I}_3 - \boldsymbol{A}_2)^{-1}\,\boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{c}\,(s\boldsymbol{I}_3 - \boldsymbol{A}_2)^{-1}\,\boldsymbol{b}U(s)\right], \tag{2.1}$$

con

$$\boldsymbol{c}\,(s\boldsymbol{I}_3-\boldsymbol{A}_2)^{-1}=\begin{bmatrix}\dfrac{1}{s+2} & -\dfrac{1}{s^2+4s+5} & \dfrac{s+2}{s^2+4s+5}\end{bmatrix},$$
$$\boldsymbol{c}\,(s\boldsymbol{I}_3-\boldsymbol{A}_2)^{-1}\,\boldsymbol{b}=\frac{1}{s^3+6s^2+13s+10},$$

da cui, sostituendo nella (2.1), si ottiene

$$y_2(t)=\mathscr{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+2}x_{0,1}-\frac{1}{s^2+4s+5}x_{0,2}+\frac{s+2}{s^2+4s+5}x_{0,3}+\frac{1}{s^3+6s^2+13s+10}U(s)\right].$$

Essendo $U(s)=\dfrac{1}{s}-\dfrac{2}{s^2+4}$, e tenendo conto dei valori numerici delle condizioni iniziali, si ottiene

$$y_2(t)\simeq-\frac{1}{10}+\frac{33}{20}e^{-2t}-\frac{\sqrt{130}}{10}e^{-2t}\cos(t+0.661)-\frac{13}{65}e^{-2t}\cos(t+0.3948)+\frac{\sqrt{130}}{260}\sin(2t+0.9098),$$

per $t\geq 0$.
La risposta complessiva del sistema $\forall\, t\in\mathbb{R}$ risulta dunque pari a

$$y(t)\simeq\begin{cases}-\dfrac{1}{2}-\dfrac{1}{10}\sin(2t+\pi), & t<0,\\ -\dfrac{1}{10}+\dfrac{33}{20}e^{-2t}-\dfrac{\sqrt{130}}{10}e^{-2t}\cos(t+0.661)-\dfrac{13}{65}e^{-2t}\cos(t+0.3948)+\dfrac{\sqrt{130}}{260}\sin(2t+0.9098), & t\geq 0.\end{cases}$$

3 Esercizio

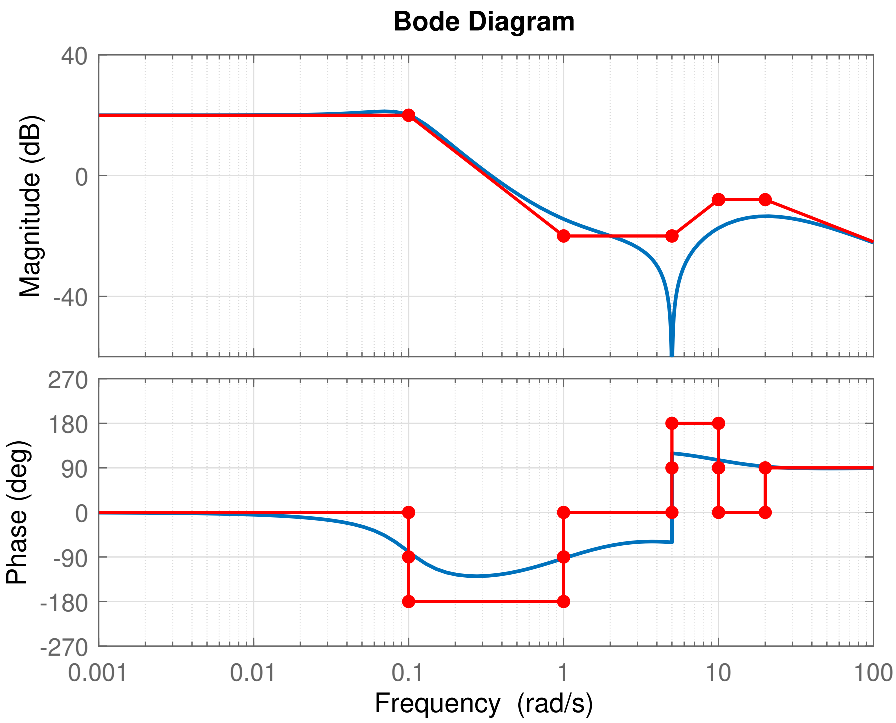


Figura 3.1: Diagramma di Bode della funzione di trasferimento $G(s)$.

La forma ingegneristica di tale funzione di trasferimento è pari a

$$G(s)=10\frac{(s+1)^2\left(1+\dfrac{s^2}{25}\right)}{\left(1+\dfrac{2\cdot 0.5}{0.1}s+\dfrac{s^2}{0.01}\right)\left(1+\dfrac{s}{10}\right)^2\left(1-\dfrac{s}{20}\right)}.$$

Si riconoscono al numeratore un termine binomio, di molteplicità doppia, e un termine trinomio di molteplicità singola. Al denominatore, invece, vi è un termine trinomio di molteplicità singola, un binomio di molteplicità doppia e uno di molteplicità singola. I parametri riguardanti guadagno del sistema, tipo, costanti di tempo, smorzamenti e pulsazioni naturali sono pari a $\mu = 10$, $g = 0$, $\alpha_n = 5$ rad/s, $\varsigma = 0$, $\tau = 1$ s, $\omega_n = 0.1$ rad/s, $\zeta = 0.5$, $T_1 = 0.1$ s, $T_2 = -0.05$ s. Le pulsazioni di rottura, in ordine crescente, sono quindi pari a $\omega_1 = \omega_n = 0.1$ rad/S, $\omega_2 = 1/|\tau|$ rad/s, $\omega_3 = \alpha_n = 5$ rad/s, $\omega_4 = 1/|T_1| = 10$ rad/s, $\omega_5 = 1/|T_2| = 20$ rad/s.
Poiché il sistema è di tipo 0, il diagramma dei moduli partirà con un tratto piatto pari a $\mu_{dB} = 20$ dB. La prima pulsazione di rottura è in ω_1 ad opera del termine trinomio al denominatore. La variazione di pendenza relativa del diagramma asintotico è di -40 dB/decade. Poiché lo smorzamento è $\zeta = 0.5$, in circa ω_1 vi sarà una correzione di $P_R = \left|\frac{1}{2\varsigma\sqrt{1-\varsigma^2}}\right|_{dB} \simeq 1.25$ dB. La seconda pulsazione di rottura è in ω_2 ad opera del termine binomio al numeratore di molteplicità doppia. La variazione di pendenza relativa del diagramma asintotico è di 40 dB/decade. La terza pulsazione di rottura è in ω_3 ad opera del termine trinomio al numeratore. La variazione di pendenza relativa del diagramma asintotico è di 40 dB/decade. Poiché $\varsigma = 0$, si avrà un asintoto verticale tendente a $-\infty$ dB. La quarta pulsazione di rottura è in ω_4 ad opera del termine binomio al denominatore di molteplicità doppia. La variazione di pendenza relativa del diagramma asintotico è di -40 dB/decade. La quinta pulsazione di rottura è in ω_5 ad opera del termine binomio al denominatore di molteplicità singola. La variazione di pendenza relativa del diagramma asintotico è di -20 dB/decade.
Il diagramma delle fasi tiene conto delle solite tecniche di tracciamento. Quindi, il grafico parte da 0 deg siccome il guadagno $\mu > 0$ e il sistema è di tipo 0. Il termine trinomio al denominatore, di molteplicità singola, apporta un salto relativo del diagramma asintotico di -180 deg alla relativa pulsazione di rottura. Il termine trinomio al numeratore, di molteplicità singola, apporta un salto relativo del diagramma asintotico di 180 deg alla relativa pulsazione di rottura. Qui vi è una correzione di 180 deg, dal basso verso l'alto, con centro il valore del diagramma asintotico in ω_3. Il termine binomio al denominatore, di molteplicità doppia, apporta un salto relativo del diagramma asintotico di -180 deg alla relativa pulsazione di rottura. Il termine binomio al denominatore, di molteplicità singola, apporta un salto relativo del diagramma asintotico di 90 deg ($T_2 < 0$) alla relativa pulsazione di rottura.
Per effetto di questi contributi, il diagramma delle fasi termina con un tratto piatto pari a 90 deg.
Il sistema potrebbe essere un **filtro passa basso** perché rispetta la condizione necessaria di essere di tipo zero. Tale condizione è verificata perché il grafico rimane nell'intorno $[17, 23]$ dB attorno a μ_{dB} e quando vi esce dal basso non vi fa più rientro.

4 ESERCIZIO

Dato che il polinomio è di secondo grado, condizione necessaria e sufficiente per la stabilità è il soddisfacimento delle seguente tre disequazioni:

1. $p(1) = 3 + (\alpha - \beta) > 0$
2. $(-1)^2 p(-1) = 3 - (\alpha - \beta) > 0$
3. $|a_2| = 2 > |a_0| = 1 \rightarrow \text{ok}$

da cui risulta $-3 < \alpha - \beta < 3$, ovvero $-3 + \beta < \alpha < 3 + \beta$.
La Figura 4.1 rappresenta graficamente la soluzione del precedente sistema di disequazioni.

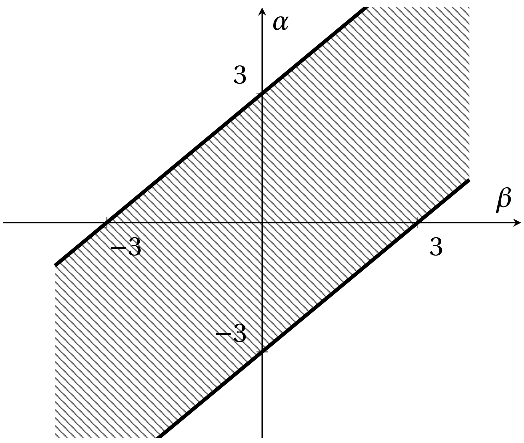


Figura 4.1: Rappresentazione grafica nel dominio dei parametri

ELABORATO TECNICO - TRACCIA N.1 (MATRICOLE PARI)

Risolvere il quesito di seguito riportato utilizzando unicamente lo strumento software Matlab e/o Simulink. Non calcolare nulla a parte su supporti cartacei. Il file generato va consegnato entro il giorno antecedente la prova orale tramite email all'indirizzo del docente con oggetto *[TSI-FSD][Elaborato tecnico]- Cognome Nome Matricola.* In caso di problemi, il discente deve portare un drive USB il giorno della seduta orale. In caso di più files generati, compattare tutto in un file ZIP. ATTENZIONE: nel caso si utilizzi Simulink, salvare il file con compatibilità per la *versione 24.2.* A scanso di equivoci, portare il proprio PC con la versione di Simulink utilizzata.

Sia dato il sistema LTI a tempo continuo caratterizzato dalla seguente espressione

$$\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{b}u(t) = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & h \\ 0 & -h & k \end{bmatrix} \boldsymbol{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} u(t),$$
$$y(t) = \boldsymbol{c}\boldsymbol{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{x}(t),$$

con $h, k \in \mathbb{R}$.

- Si scriva uno script per il quale si determinino le proprietà di stabilità asintotica, stabilità semplice ed instabilità del sistema, nonché le proprietà di osservabilità e raggiungibilità, quando i parametri h e k variano nell'intervallo $[-5, 5]$.
- Posti $h = 1$ e $k = -1$, si disegni il valore dell'uscita del sistema quando ad esso è sottoposto l'ingresso $u(t) = (1 - \sin(2t))\delta_{-1}(-t)$, con $t \in [-10, 10]$ s.

Sia dato il sistema LTI a tempo continuo caratterizzato dalla seguente funzione di trasferimento

$$G(s) = -8\frac{(s^2 + 2s + 1)(s^2 + 25)}{(s^2 + 0.1s + 0.01)(s^2 + 20s + 100)(s - 20)}.$$

Si disegnino i diagrammi di Bode e Nyquist del sistema. Si determini la banda passante a 3 dB del sistema.

ELABORATO TECNICO - TRACCIA N.2 (MATRICOLE DISPARI)

Risolvere il quesito di seguito riportato utilizzando unicamente lo strumento software Matlab e/o Simulink. Non calcolare nulla a parte su supporti cartacei. Il file generato va consegnato entro il giorno antecedente la prova orale tramite email all'indirizzo del docente con oggetto *[TSI-FSD][Elaborato tecnico]- Cognome Nome Matricola.* In caso di problemi, il discente deve portare un drive USB il giorno della seduta orale. In caso di più files generati, compattare tutto in un file ZIP. ATTENZIONE: nel caso si utilizzi Simulink, salvare il file con compatibilità per la *versione 24.2.* A scanso di equivoci, portare il proprio PC con la versione di Simulink utilizzata.

Sia dato il sistema LTI a tempo discreto del primo ordine caratterizzato dalle seguenti matrici

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\dfrac{h_1 h_2}{h_3} \\ 0 & 1 + h_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \ \boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \ \boldsymbol{c} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \ d = 0.$$

con $h_1, h_2, h_3, h_4 > 0$.

- Si scriva uno script per il quale si determinino le proprietà di stabilità asintotica, stabilità semplice ed instabilità del sistema quando tutti gli $h_i \in [0, 5]$, $h = 1, \ldots, 4$.
- Posti tutti gli $h_i = -0.3$, $i = 1, \ldots, 4$, si disegni il valore dell'uscita del sistema quando ad esso è sottoposto l'ingresso $u(k) = -5\delta_{-1}(-k)$, con $k \in [-30, 30]$.

Sia dato il sistema LTI a tempo continuo caratterizzato dalla seguente funzione di trasferimento

$$G(s) = -8\frac{(s^2 + 2s + 1)(s^2 + 25)}{(s^2 + 0.1s + 0.01)(s^2 + 20s + 100)(s - 20)}.$$

Si disegnino i diagrammi di Bode e di Nyquist del sistema. Si trovi una forma i-s-u del sistema.