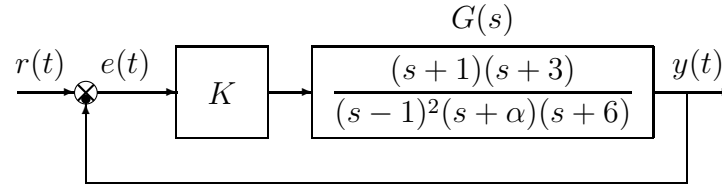


Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

a) Sia dato il seguente sistema retroazionato:



a.1) Posto $\alpha = 4$, tracciare qualitativamente il luogo delle radici del sistema retroazionato al variare del parametro $K > 0$. Determinare esattamente la posizione degli asintoti. Determinare la posizione di eventuali punti di diramazione “solo in modo qualitativo”.

Sol. Posto $\alpha = 4$, l'equazione caratteristica del sistema retroazionato è:

$$1 + K_1 G_1(s) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad 1 + K \frac{(s+1)(s+3)}{(s-1)^2(s+4)(s+6)} = 0$$

dove $K_1 = K$. L'andamento qualitativo del luogo delle radici del sistema $G(s)$ per $K > 0$ è mostrato in Fig. 1.

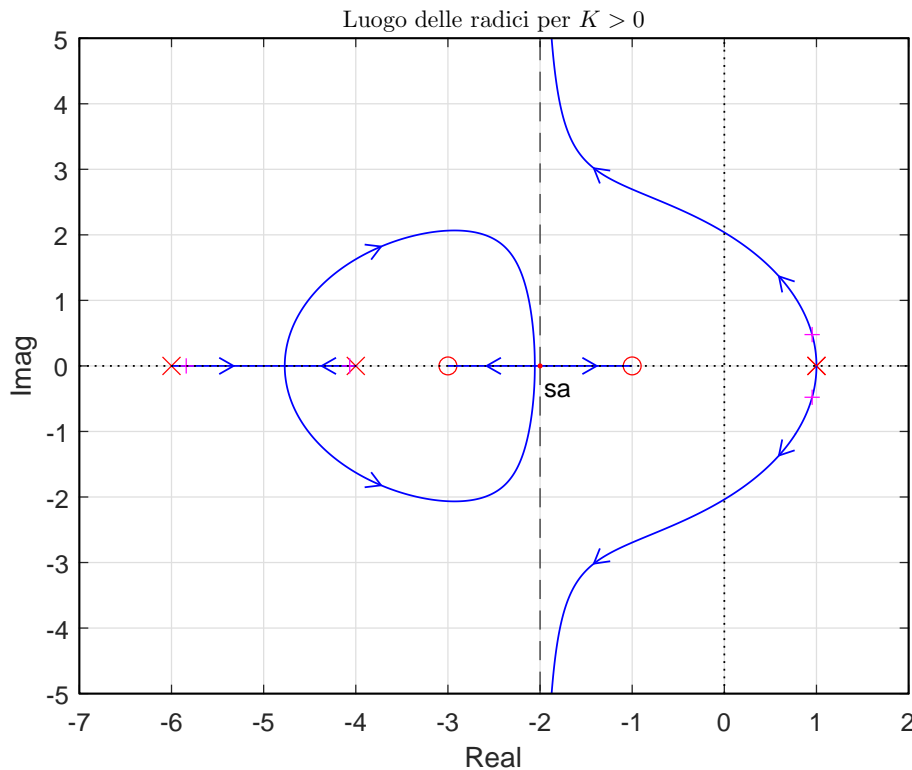


Figura 1: Luogo delle radici del sistema $G(s)$ per $K > 0$.

Il luogo delle radici ha due asintoti. Il centro degli asintoti è:

$$\sigma_a = \frac{1}{2}(-8 + 4) = -2.$$

a.2) Posto $K = 45$, tracciare qualitativamente il contorno delle radici del sistema retroazionato al variare del parametro $\alpha > 0$. Nella graficazione si tenga conto che: a) la posizione dei poli del sistema retroazionato quando $K = 45$ e $\alpha = 0$ è: $p_{1,2} \simeq 0.6 \pm 6j$, $p_3 \simeq -0.85$ e $p_4 \simeq -4.4$ e che il sistema retroazionato è stabile per $\alpha_1^* < \alpha < \alpha_2^*$. Determinare la posizione dei punti di diramazione “solo in modo qualitativo”.

Soluzione. Posto $K = 45$, l'equazione caratteristica del sistema retroazionato è la seguente:

$$1 + \frac{45(s+1)(s+3)}{(s-1)^2(s+\alpha)(s+6)} = 0 \quad \rightarrow \quad (s-1)^2(s+\alpha)(s+6) + 45(s+1)(s+3) = 0$$

da cui si ricava l'equazione caratteristica $1 + \alpha G_2(s) = 0$:

$$1 + \frac{\alpha(s-1)^2(s+6)}{s(s-1)^2(s+6) + 45(s+1)(s+3)} = 0$$

I poli della funzione $G_2(s)$ sono quelli indicati nel testo:

$$1 + \frac{\alpha(s-1)^2(s+6)}{((s-0.6)^2 + 6^2)(s+0.85)(s+4.4)} = 0$$

Il contorno delle radici al variare del parametro $\alpha > 0$ è mostrato in Fig. 2. Il contorno

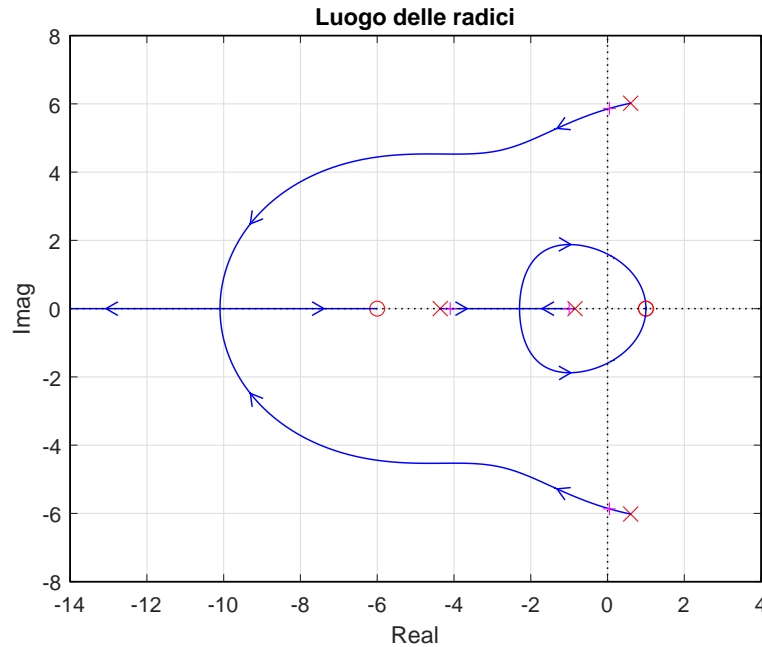


Figura 2: Contorno delle radici del sistema $G_2(s)$ al variare del parametro $\alpha > 0$.

delle radici ha un solo asintoto che coincide con il semiasse reale negativo.

- a.3) Sia data la seguente funzione di trasferimento $G(s)$ che descrive la dinamica di un sistema fisico:

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

Utilizzando la metodologia del contorno delle radici mostrare come si spostano sul piano complesso i poli della funzione $G(s)$ al variare del parametro $\beta > 0$. Calcolare il valore β^* in corrispondenza del quale si ha il minimo tempo di assestamento della risposta al gradino del sistema $G(s)$.

Sol. I poli della funzione $G(s)$ sono le radici del polinomio a denominatore della funzione $G(s)$:

$$s^2 + (\beta+3)s + 4\beta = 0$$

Tale equazione può essere riscritta nel seguente modo $1 + \beta G_1(s) = 0$:

$$s(s+3) + \beta(s+4) = 0 \quad \rightarrow \quad 1 + \beta \frac{(s+4)}{s(s+3)} = 0$$

Il contorno delle radici al variare del parametro $\beta > 0$ è mostrato in Fig. 3. In questo caso il contorno delle radici si muove lungo una circonferenza centrata in $z = -4$. Il raggio R della circonferenza è:

$$R = \sqrt{1 \cdot 4} = \sqrt{4} \simeq 2.$$

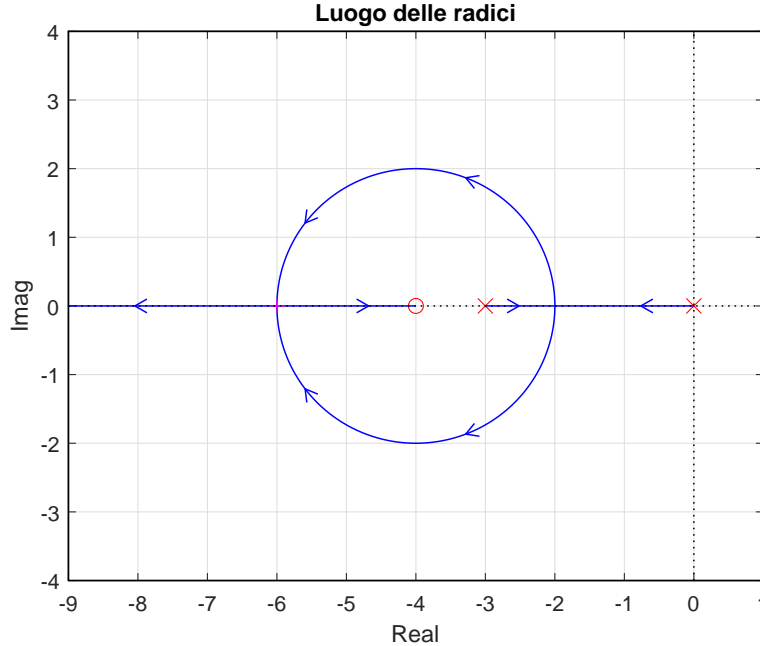


Figura 3: Luogo delle radici del sistema $G_1(s)$ al variare del parametro $\beta > 0$.

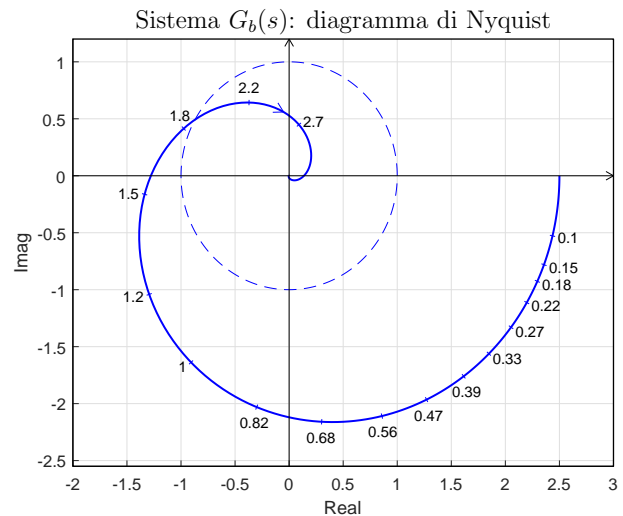
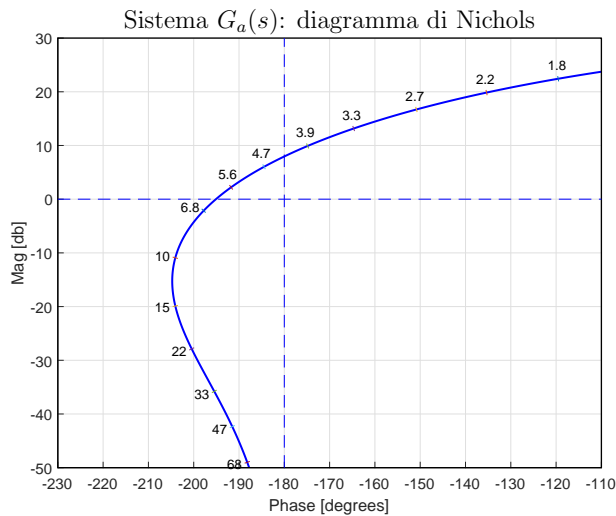
I punti di diramazione σ_1 e σ_2 sono:

$$\sigma_1 = -4 - 2 = -6, \quad \sigma_2 = -4 + 2 = -2.$$

Il minimo tempo di assestamento si ha in corrispondenza del punto di diramazione σ_1 piú lontano dall'asse immaginario. La condizione di minimo tempo di assestamento del sistema $G_1(s)$ si ha in corrispondenza del seguente valore del parametro β^* :

$$\beta^* = - \left. \frac{1}{G_1(s)} \right|_{s=\sigma_1} = - \left. \frac{s(s+3)}{(s+4)} \right|_{s=-6} = 9.$$

b) Siano date le seguenti due funzioni di risposta armonica dei sistemi $G_a(s)$ e $G_b(s)$:



b.1) Per il sistema $G_a(s)$ progettare una rete anticipatrice in modo che la funzione di risposta armonica del sistema compensato passi per il punto $B = (-160^\circ, -10 \text{ db})$. Scegliere il valore della pulsazione ω che si ritiene piú opportuno;

Soluzione. La posizione del punto B è completamente determinata dalla specifica di progetto $B = M_B e^{j\varphi_B}$: $M_B = -10 \text{ db} = 0.3162$ e $\varphi_B = -160^\circ$. La regione di ammissibilità è mostrata in grigio in Fig. 4. Il punto $A = G_a(j\omega_A)$ scelto per il progetto è quello corrispondente alla pulsazione $\omega_A = 33$:

$$M_A = |G(j\omega_A)| = -35.79 \text{ db} = 0.01624, \quad \varphi_A = \arg[G(j\omega_A)] = -195.5^\circ.$$

Sostituendo i valori di M , φ e ω all'interno delle formule di inversione:

$$\tau_1 = \frac{M - \cos \varphi}{\omega \sin \varphi}, \quad \tau_2 = \frac{\cos \varphi - \frac{1}{M}}{\omega \sin \varphi}$$

si ottengono i valori dei parametri $\tau_1 = 0.9745$ e $\tau_2 = 0.03986$ della rete correttiva $C_1(s)$:

$$M = \frac{M_B}{M_A} = 19.47, \quad \varphi = \varphi_B - \varphi_A = 35.46^\circ \quad \rightarrow \quad C_1(s) = \frac{(1 + 0.9745 s)}{(1 + 0.03986 s)}.$$

Sintesi della rete correttiva $C_1(s)$ con altri valori della pulsazione ω_A :

$$\begin{aligned} \omega_A &= [15 \quad 22 \quad 33 \quad 47 \quad 68] \\ M_A &= [0.1013 \quad 0.0403 \quad 0.0162 \quad 0.0076 \quad 0.0035] \\ \varphi_A &= [155.9 \quad 159.6 \quad 164.5 \quad 168.5 \quad 171.8] \\ M &= [3.123 \quad 7.832 \quad 19.47 \quad 41.44 \quad 89.07] \\ \varphi &= [44.06 \quad 40.44 \quad 35.46 \quad 31.49 \quad 28.19] \\ \tau_1 &= [0.2305 \quad 0.4954 \quad 0.9745 \quad 1.653 \quad 2.746] \\ \tau_2 &= [0.0381 \quad 0.0443 \quad 0.0398 \quad 0.0337 \quad 0.0270] \end{aligned}$$

I diagrammi di Nichols delle funzioni $G_a(s)$ e $C_1(s)G_a(s)$ sono mostrati in Fig. 4.

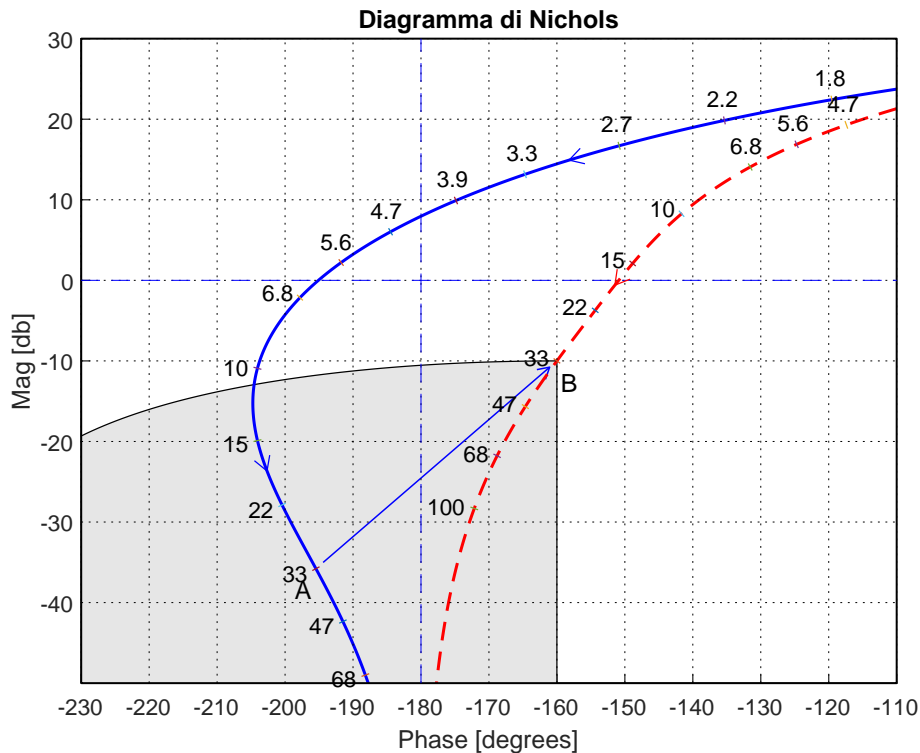


Figura 4: Diagrammi di Nichols delle funzioni $G_a(s)$ e $C_1(s)G_a(s)$.

- b.2) Per il sistema $G_b(s)$, progettare una rete correttiva $C(s)$ in grado di garantire al sistema compensato un margine di ampiezza $M_a = 5$. Scegliere il valore della pulsazione ω che si ritiene più opportuno;

Soluzione. La posizione del punto B è completamente determinata dalla specifica di progetto $B = M_B e^{j\varphi_B}$: $M_B = 0.2$ e $\varphi_B = 180^\circ$. La regione di ammissibilità è mostrata in grigio in Fig. 5. Il punto $A = G_a(j\omega_A)$ scelto per il progetto è quello corrispondente alla pulsazione $\omega_A = 1.2$:

$$M_A = |G(j\omega_A)| = 1.661, \quad \varphi_A = \arg[G(j\omega_A)] = 218.8^\circ.$$

Sostituendo i valori di M , φ e ω all'interno delle formule di inversione:

$$\tau_1 = \frac{M - \cos \varphi}{\omega \sin \varphi}, \quad \tau_2 = \frac{\cos \varphi - \frac{1}{M}}{\omega \sin \varphi}$$

si ottengono i valori dei parametri $\tau_1 = 0.8759$ e $\tau_2 = 10.01$ della rete correttiva $C_2(s)$:

$$M = \frac{M_B}{M_A} = 0.1204, \quad \varphi = \varphi_B - \varphi_A = -38.81^\circ \quad \rightarrow \quad C_2(s) = \frac{(1 + 0.8759 s)}{(1 + 10.01 s)}$$

Sintesi della rete correttiva $C_2(s)$ con altri valori della pulsazione ω_A :

$$\begin{aligned} \omega_A &= [1.5 & 1.2 & 1 & 0.82] \\ M_A &= [1.347 & 1.661 & 1.872 & 2.053] \\ \varphi_A &= [186.9 & 218.8 & 241 & 261.6] \\ M &= [0.1485 & 0.1204 & 0.1068 & 0.0974] \\ \varphi &= [-6.943 & -38.81 & -61.02 & -81.6] \\ \tau_1 &= [4.656 & 0.8759 & 0.4317 & 0.0600] \\ \tau_2 &= [31.66 & 10.01 & 10.15 & 12.47] \end{aligned}$$

I diagrammi di Nyquist delle funzioni $G_b(s)$ e $C_2(s)G_b(s)$ sono mostrati in Fig. 5.

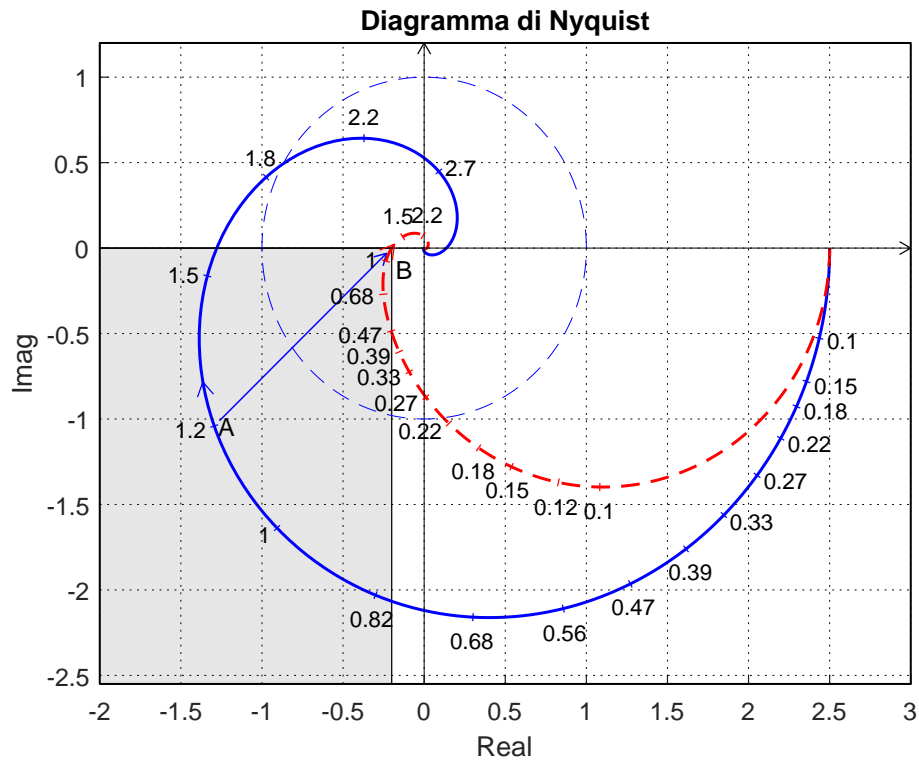
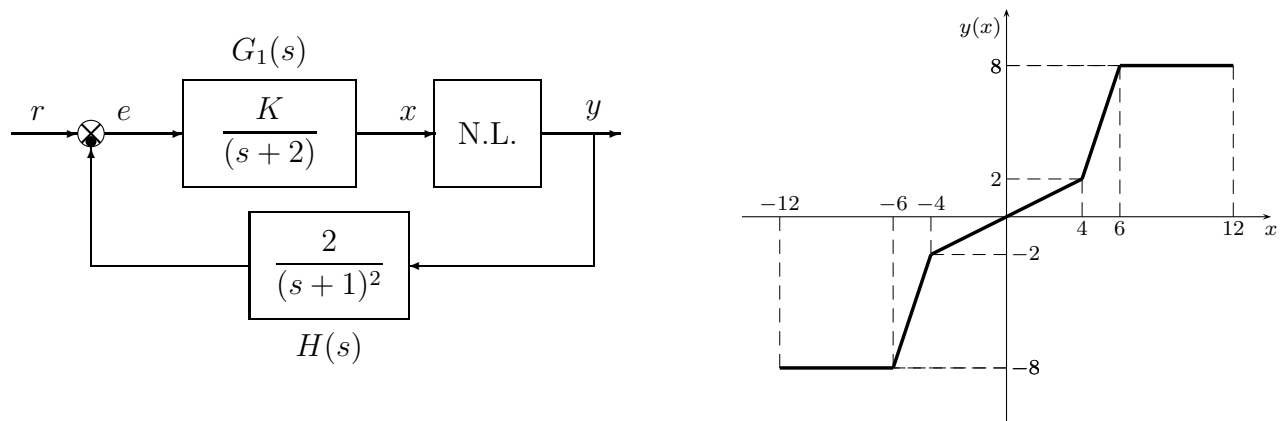


Figura 5: Diagrammi di Nyquist delle funzioni $G_b(s)$ e $C_2(s)G_b(s)$.

c) Si consideri il seguente sistema non lineare retroazionato:



c.1) Posto $K = 1$, determinare per quale valore r_1 dell'ingresso r il punto di lavoro del sistema retroazionato è posizionato in $(x_1, y_1) = (4, 2)$.

Sol. Posto $K = 1$, i guadagni statici delle funzioni $G_1(s)$, $G_2(s)$ e $H(s)$, rispettivamente, sono:

$$K_1 = 0.5, \quad K_2 = 1, \quad K_3 = 2.$$

La retta di carico della parte lineare del sistema è una retta orizzontale di ordinata:

$$x = K_1(r - K_2K_3y) \quad \rightarrow \quad r = \frac{x}{K_1} + K_2K_3y.$$

il valore di r in corrispondenza del punto di lavoro (4, 2) è:

$$r_1 = \frac{4}{0.5} + 1 \cdot 2 \cdot 2 = 12.$$

- c.2) Posto $K = 1$, utilizzare il criterio del cerchio per verificare se il sistema retroazionato è stabile nell'intorno del punto $(x_0, y_0) = (4, 2)$.

Sol. Le pendenze α e β delle due rette che centrate nel punto $(x_0, y_0) = (4, 2)$ racchiudono a settore tutta la non linearità sono le seguenti:

$$\alpha = \frac{6}{15} = \frac{2}{5} = 0, \quad \beta = 3.$$

L'equazione caratteristica del sistema retroazionato è:

$$1 + K \frac{2}{(s+1)^2(s+2)} = 0 \quad \rightarrow \quad s^3 + 4s^2 + 5s + (2K+2) = 0$$

La tabella di Routh ha la seguente struttura:

$$\begin{array}{c|cc} 3 & 1 & 5 \\ 2 & 4 & 2K+2 \\ 1 & 18.0-2K & \\ 0 & 2K+2 & \end{array}$$

Imponendo che tutti gli elementi della prima colonna della tabella di Routh siano positivi si ricavano i seguenti vincoli:

$$18.0 - 2K > 0, \quad 2K + 2 > 0,$$

dai quali si ricava:

$$K < 9, \quad K > -1.$$

Quindi il sistema retroazionato è asintoticamente stabile per:

$$-1 < K < 9 = K^*.$$

La pulsazione ω^* corrispondente al valore limite K^* è:

$$\omega^* = \sqrt{\frac{2K^* + 2}{4}} = 2.2361.$$

Il valore di K^* è maggiore di β :

$$K^* = 9 > \beta = 3$$

e il diagramma di Nyquist della funzione $G(s)$ non interseca il cerchio critico. Quindi, in base al criterio del cerchio, si può affermare che il sistema retroazionato è asintoticamente stabile nell'intorno del punto di lavoro. In Fig. 6 è mostrato il diagramma di Nyquist della funzione $G(s)$ sovrapposto al cerchio critico.

- c.3) Disegnare in modo qualitativo l'andamento della funzione descrittiva $F(X)$ della non linearità $y(x)$ nell'intorno del punto (0, 0). Utilizzare le variabili m_1, m_2, m_3, \dots per rappresentare gli eventuali valori minimi e massimi "non noti" della funzione $F(X)$.

Sol. L'andamento qualitativo della funzione descrittiva $F(X)$ è mostrato in Fig. 7. Parametri: a) $m_0 = 0.5$ è il valore iniziale della funzione $F(X)$ per $X = 0$; b) $m_1 \simeq 1.1$ è il valore massimo della funzione $F(X)$ per $X \simeq 6.7$; c) $m_3 = 0$ è il valore finale a cui tende la funzione $F(X)$ per $X \rightarrow \infty$.

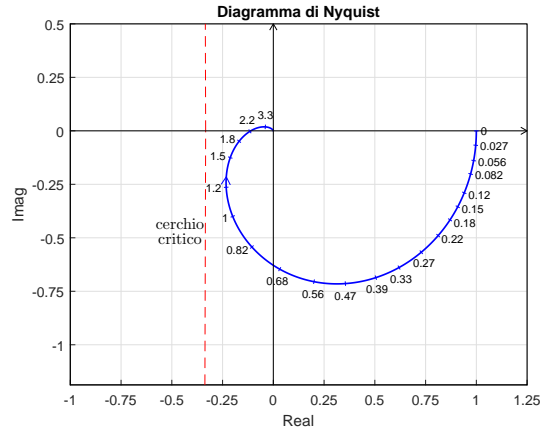
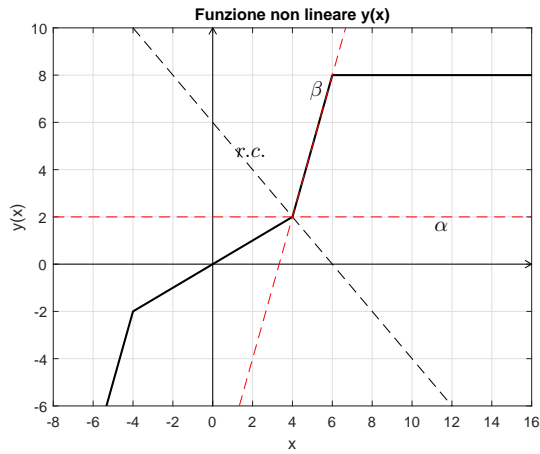


Figura 6: Diagramma di Nyquist della funzione $G(s)$ e cerchio critico.

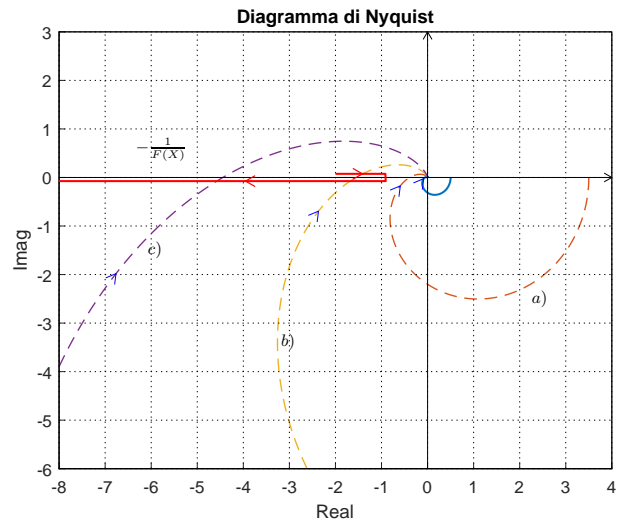
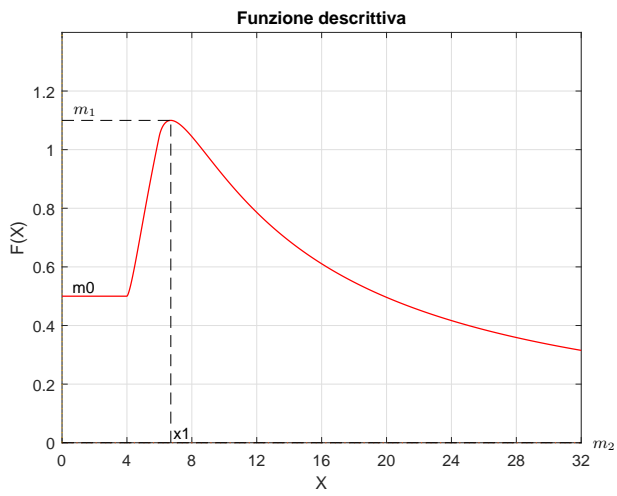


Figura 7: Andamento della funzione descrittiva $F(X)$.

c.4) Discutere “qualitativamente”, anche in funzione dei parametri m_1, m_2, m_3, \dots , l'esistenza o meno di cicli limite nel sistema retroazionato al variare del guadagno $K > 0$.

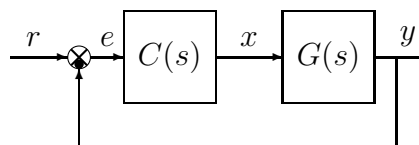
Sol. Per $K = 1$, il margine di ampiezza K_1^* del sistema $G_1(s)$ è $K_1^* = 9$. Per $K \neq 1$, il margine di ampiezza K^* del sistema $K G_1(s)$ è $K^* = \frac{K_1^*}{K} = \frac{8}{K}$. Al variare di K^* si possono avere le seguenti condizioni di funzionamento:

a) Per $K^* > m_1$ il diagramma di Nyquist della funzione $G(s)$ non interseca la funzione $-1/F(X)$. In questo caso il punto di lavoro è globalmente asintoticamente stabile perché la funzione $-1/F(X)$ è tutta esterna al diagramma di Nyquist.

b) Per $m_0 < K^* < m_1$, il diagramma di Nyquist della $G(s)$ interseca la funzione $-1/F(X)$ in due punti a cui corrispondono un ciclo limite instabile (il primo) e uno stabile (il secondo).

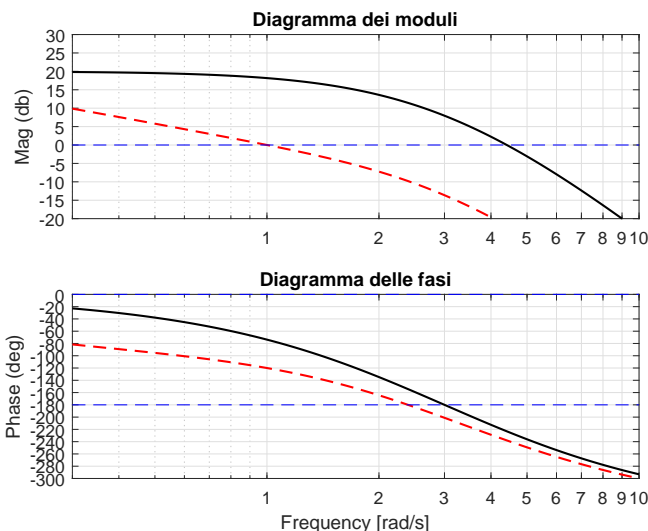
c) Per $K^* < m_0$, il diagramma di Nyquist della $G(s)$ interseca la funzione $-1/F(X)$ in un punto a cui corrisponde un ciclo limite stabile.

d) Sia dato il sistema retroazionato e i diagrammi di Bode della funzione $G(s)$ riportati a fianco.



d.1) Posto $C(s) = 1$, determinare la larghezza di banda ω_{f0} del sistema retroazionato $G_0(s)$ e il corrispondente tempo di salita T_{r0} :

$$\omega_{f0} \approx 4.3 \quad T_{r0} \approx 0.23$$



d.2) Progettare una rete correttiva $C(s)$ in modo da garantire al sistema compensato un margine di fase $M_\varphi = 60^\circ$ in corrispondenza della pulsazione $\omega_A = 1$.

Sol. d.2) Il modulo e fase del punto B sono univocamente determinati dalla specifica sul margine di fase $M_\varphi = 50^\circ$:

$$M_B = 1, \quad \varphi_B = 240^\circ = -120^\circ$$

Il modulo e la fase del punto A alla pulsazione $\omega_A = 1$ si leggono direttamente dai diagrammi di Bode della funzione $G(s)$:

$$M_A = 8.1, \quad \varphi_A = -73.73^\circ \quad \longrightarrow \quad M = \frac{M_B}{M_A} = 0.1235, \quad \varphi = \varphi_B - \varphi_A = -46.27^\circ$$

La rete correttiva $C(s)$ si ottiene utilizzando le formule di inversione:

$$\tau_1 = \frac{M - \cos \varphi}{\omega \sin \varphi} = 0.7857, \quad \tau_2 = \frac{\cos \varphi - \frac{1}{M}}{\omega \sin \varphi} = 10.2489 \quad \longrightarrow \quad C(s) = \frac{1 + 0.7857 s}{1 + 10.2489 s}$$

e) Utilizzando il metodo della trasformazione bilineare, discretizzare il seguente sistema tempo-continuo:

$$D(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = \frac{(s + 3)}{s}$$

giungendo anche alla determinazione della corrispondente equazione alle differenze. Si utilizzi il periodo di campionamento $T = 0.1$.

Soluzione. Utilizzando il metodo della trasformazione bilineare si ottiene:

$$D(z) = \frac{(s+3)}{s} \Big|_{s=\frac{2(1-z^{-1})}{T(1+z^{-1})}} = \frac{3T+2+(3T-2)z^{-1}}{2-2z^{-1}}$$

Sostituendo $T = 0.1$ si ottiene:

$$D(z) = \frac{M(z)}{E(z)} = \frac{2.3 - 1.7 z^{-1}}{2 - 2 z^{-1}}$$

La corrispondente equazione alle differenze ha la forma seguente:

$$m_k = \frac{1}{2} [2 m_{k-1} + 2.3 e_k - 1.7 e_{k-1}]$$

cioè:

$$m_k = m_{k-1} + 1.15 e_k - 0.85 e_{k-1}$$

- f) Partendo da condizioni iniziali nulle, calcolare la risposta $y(n)$ della seguente equazione alle differenze:

$$y(n+1) = 0.4 y(n) + 3 x(n)$$

quando in ingresso è presente il gradino unitario $x(n) = 1$.

Soluzione. L'equazione alle differenze genera la seguente funzione discreta $G(z)$:

$$y(n+1) - 0.4 y(n) = 3 x(n) \quad \leftrightarrow \quad G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{3}{z - 0.4}.$$

La \mathcal{Z} -trasformata del segnale di ingresso $x(n) = 1$ è:

$$X(z) = \frac{z}{(z-1)}.$$

La \mathcal{Z} -trasformata $Y(z)$ del segnale di uscita è quindi la seguente:

$$Y(z) = G(z)X(z) = \frac{3z}{(z-0.4)(z-1)}.$$

Mediante il metodo della scomposizione in fratti semplici si ricava:

$$Y(z) = z \left[\frac{3}{(z-1)(z-0.4)} \right] = z \left[\frac{5}{(z-1)} - \frac{5}{(z-0.4)} \right]$$

e quindi:

$$Y(z) = \frac{5z}{(z-1)} - \frac{5z}{(z-0.4)} \quad \rightarrow \quad y(n) = 5 [1 - 0.4^n].$$

Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

Rispondere alle domande e ai test che seguono. Per ciascuno dei test segnare con una crocetta le affermazioni che si ritengono corrette.

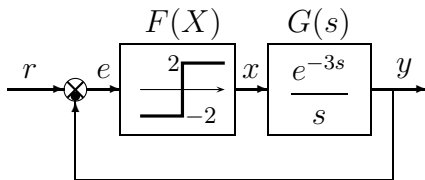
1. Scrivere la funzione di trasferimento discreta $G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$ corrispondente alla seguente equazione alle differenze:

$$y_{k+2} + 3y_{k+1} + 5y_k + 2y_{k-1} = 4x_{k+1} + 6x_k \quad \rightarrow \quad G(z) = \frac{4z + 6}{z^2 + 3z + 5 + 2z^{-1}}$$

2. Calcolare il valore iniziale $y_0 = \lim_{k \rightarrow 0} y(k)$ e il valore finale $y_\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} y(k)$ del segnale $y(k)$ corrispondente alla seguente funzione $Y(z)$:

$$Y(z) = \frac{z(3+z)}{(1-z)(2z+1)} \quad \rightarrow \quad y_0 = -\frac{1}{2}, \quad y_\infty = -\frac{4}{3}$$

3. Sia dato il sistema retroazionato riportato qui sotto. Calcolare:



- b) la Funzione descrittiva $F(X)$ del relé ideale:

$$F(X) = \frac{8}{\pi X}$$

- c) l'ampiezza X^* dell'oscillazione autosostenuta presente all'interno del sistema retroazionato:

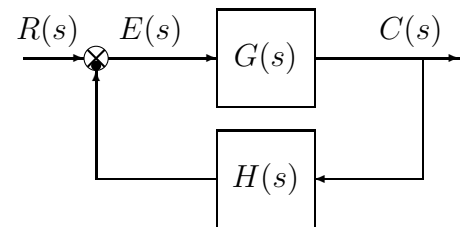
- a) il margine di stabilità K^* del sistema $G(s)$:

$$K^* = \frac{\pi}{2t_0} = \frac{\pi}{6} = 0.5236 \quad \rightarrow \quad F(X^*) = K^* \quad \rightarrow \quad X^* = \frac{48}{\pi^2} = 4.8634$$

4. Indicare quale dei seguenti sistemi discreti $G(z)$ tende a zero "più lentamente":

$G(z) = \frac{1}{z(z+0.6)}$
 $G(z) = \frac{1}{z(3z-1)}$
 $G(z) = \frac{1}{z(z+0.8)}$
 $G(z) = \frac{1}{z(z-0.4)}$

5. Si consideri il sistema retroazionato riportato di fianco. Scrivere il legame che lega la variazione relativa del sistema $G(s)$ alla variazione relativa del sistema retroazionato $G_0(s)$ quando varia un parametro α interno alla funzione di trasferimento $G(s)$:



$$\frac{\Delta G_0(s)}{G_0(s)} = \frac{1}{1 + G(s)H(s)} \frac{\Delta G(s)}{G(s)}$$

6. Calcolare la \mathcal{Z} -trasformata $X(z)$ dei seguenti segnali tempo continui $x(t)$ quando $t = kT$:

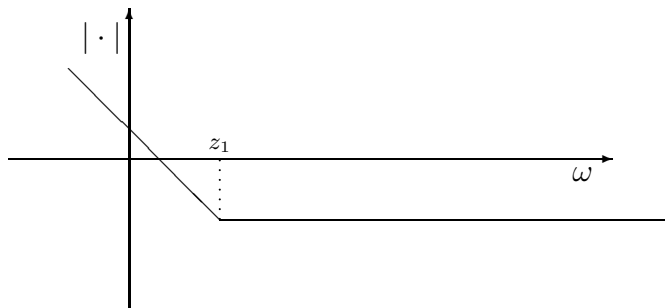
$$x(t) = 3^{-2t} \quad \rightarrow \quad X(z) = \frac{z}{(z - 3^{-2T})} \quad \quad \quad x(t) = 4t \quad \rightarrow \quad X(z) = \frac{4Tz}{(z - 1)^2}$$

7. Sia $X(z) = \mathcal{Z}[x(k)]$. Enunciare il teorema della traslazione "in anticipo" nel tempo:

$$\mathcal{Z}[x(t + nT)] = z^n [X(z) - \sum_{k=0}^{n-1} x(kT)z^{-k}]$$

8. Scrivere la funzione di trasferimento $G(s)$ di un regolatore standard PI e a fianco disegnare qualitativamente il corrispondente diagramma di Bode dei moduli:

$$G(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$



9. Come si determina la funzione di risposta armonica $F(\omega)$ di un sistema discreto $G(z)$?

$F(\omega) = G(e^{j\omega})$
 $F(\omega) = G(j\omega)$
 $F(\omega) = G(j\omega T)$
 $F(\omega) = G(e^{j\omega T})$

10. Il metodo di Ziegler-Nichols per determinare i valori di primo tentativo dei parametri di un regolatore standard PID

- è applicabile solo al controllo di sistemi lineari
 richiede la conoscenza della risposta al gradino del sistema da controllare
 richiede la conoscenza della risposta impulsiva del sistema da controllare
 richiede la conoscenza esatta del modello dinamico del sistema da controllare

11. Il metodo del contorno delle radici studia le curve descritte dalle radici dell'equazione caratteristica al variare (da 0 all'infinito)

- delle sole costanti di tempo relative ad un polo o ad uno zero;
 di un qualunque parametro che compare nell'equazione caratteristica;
 di un qualunque parametro che entra linearmente nell'equazione caratteristica.

12. Quale dei seguenti parametri della risposta al gradino di un sistema $G(s)$ è maggiormente influenzato dalla larghezza di banda ω_f del sistema stesso:

- tempo di salita T_s tempo di assestamento T_a
 tempo di ritardo T_r massima sovranelongazione S

13. A fianco è riportato il luogo delle radici del sistema $G(s) = \frac{2(s+2)}{(s-1)((s+2)^2+1)}$ al variare del parametro $K > 0$. Calcolare:

- 1) L'ascissa σ_0 corrispondente alla condizione di allineamento dei tre poli:

$$\sigma_0 = -1$$

- 2) Il valore K_0 corrispondente alla condizione di allineamento dei tre poli:

$$K_0 = - \left. \frac{1}{G(s)} \right|_{s=-1} = 2$$

- 3) Il valore limite K^* per la stabilità del sistema retroazionato:

$$K^* = - \left. \frac{1}{G(s)} \right|_{s=0} = \frac{5}{4}$$

