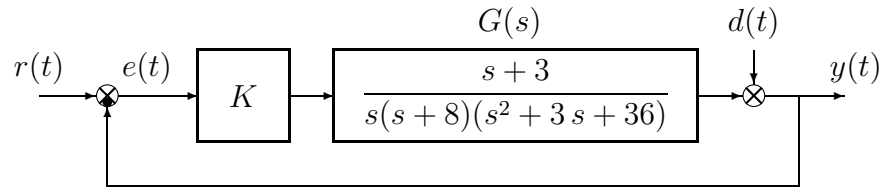


Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

a) Sia dato il seguente sistema retroazionato:



a.1) Determinare per quali valori del parametro  $K$  il sistema retroazionato è asintoticamente stabile.

a.2) Posto  $K = 50$ , disegnare qualitativamente il diagramma di Nyquist “completo” del guadagno d’anello  $K G(s)$ . Calcolare esattamente la posizione  $\sigma_a$  dell’asintoto verticale, le eventuali intersezioni  $\sigma_i^*$  con l’asse reale e i corrispondenti valori delle pulsazioni  $\omega_i^*$ . Determinare inoltre il margine di ampiezza  $M_\alpha$  e indicare sul diagramma il margine di fase di  $K G(s)$ .

b) Si faccia riferimento al sistema retroazionato dell’esercizio precedente e si ponga  $K = 50$ :

b.1) Tracciare i diagrammi di Bode asintotici delle ampiezze e della fasi del guadagno di anello  $K G(s)$ ;

b.2) Fornire una stima della larghezza di banda del sistema retroazionato;

b.3) Fornire una stima della risposta “a regime”  $y_\infty(t)$  del sistema retroazionato quando il disturbo  $d(t) = 2$  e in ingresso è presente il segnale  $r(t) = 3 + 4 \cos(0.53 t + \pi/5)$ .

c) **Non è richiesto lo svolgimento di questo esercizio agli iscritti ad Ingegneria Ambientale.**

Si faccia riferimento al sistema descritto nell’esercizio a):

c.1) Tracciare qualitativamente il luogo delle radici del sistema retroazionato per valori positivi del parametro  $K$ . Determinare l’angolo con cui rami entrano o escono dalle radici e la posizione qualitativa dei punti di diramazione.

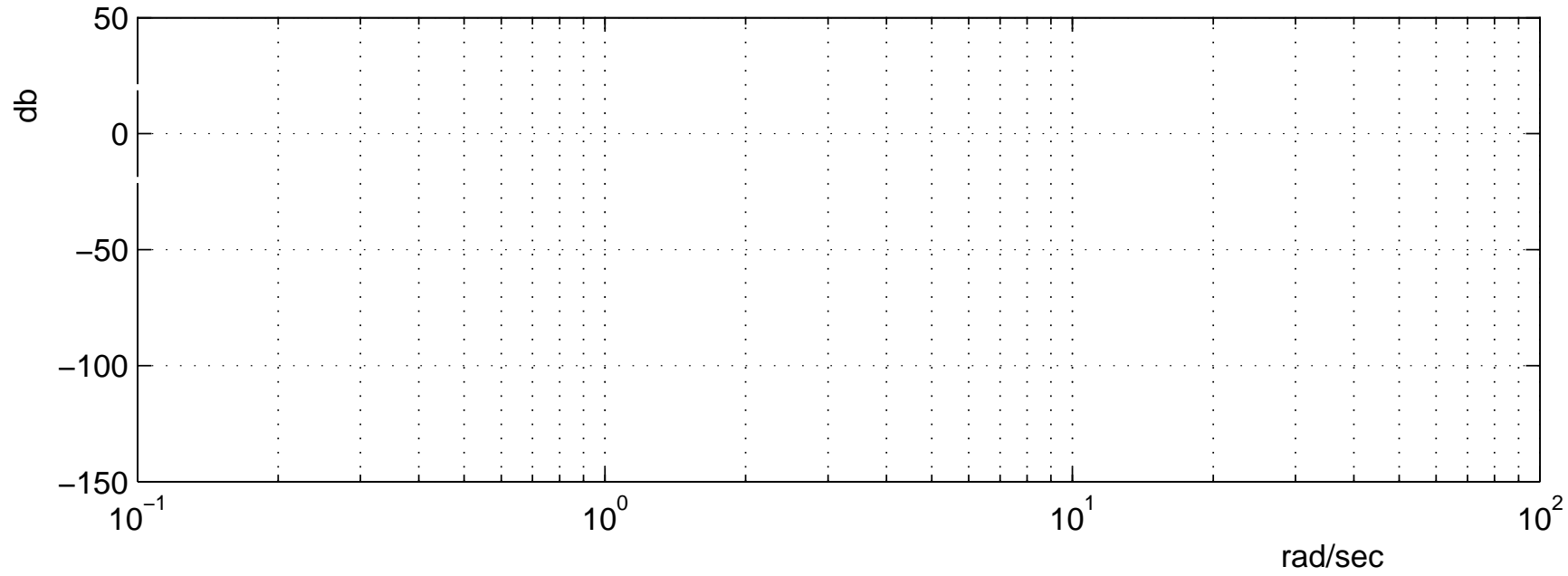
c.2) Determinare il centro degli asintoti, gli angoli che gli asintoti formano rispetto all’asse reale positivo, le intersezioni del luogo delle radici con l’asse immaginario e i corrispondenti valori del parametro  $K$ .

1. La funzione di risposta armonica permette di determinare:
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso sinusoidale;
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso non periodico;
  - la risposta libera di un sistema.
2. Quale delle seguenti affermazioni sulla funzione di risposta armonica è vera:
  - può essere definita solo per sistemi lineari stabili;
  - per sistemi lineari stabili, è determinata univocamente dalla risposta al gradino unitario;
  - per sistemi lineari stabili, determina univocamente la sua risposta alla rampa unitaria.
3. Se gli elementi della prima colonna della tabella di Routh di una equazione caratteristica di 4° grado ha due elementi negativi e i rimanenti positivi, ne segue che l'equazione caratteristica:
  - può avere tutte le radici a parte reale positiva;
  - ha solo una radice a parte reale positiva;
  - ha almeno una radice a parte reale positiva.
4. Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s) = \frac{(s+2)(s+8)}{s^2+4s}$  per  $\omega \in [0, \infty[$ :
  - termina nell'origine;
  - presenta un asintoto verticale;
  - si evolve tutto nel quarto quadrante.
5. Il sistema  $G(s) = \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s(s+p_1)(s+p_2)}$  con  $0 < z_1 < z_2 < p_1 < p_2$  presenta:
  - margine di fase maggiore di  $\pi/2$ ;
  - margine di ampiezza infinito;
  - guadagno statico unitario.
6. Si consideri un'equazione caratteristica nella quale compaiono solamente le potenze pari di  $s$ . Utilizzando la tabella di Routh è possibile affermare che l'equazione caratteristica:
  - ha un polo nell'origine;
  - ha lo stesso numero di radici a parte reale strettamente positiva e strettamente negativa;
  - ha soluzioni simmetriche rispetto all'origine.
7. La funzione di risposta armonica di un sistema lineare può essere determinata sperimentalmente:
  - se il sistema  $G(s)$  è semplicemente stabile;
  - se il sistema  $G(s)$  è asintoticamente stabile;
  - anche se il sistema è instabile.
8. Il margine di fase del sistema  $G(s) = 1/s^2$ :
  - è  $\pi$ ;
  - è nullo;
  - non è definibile.

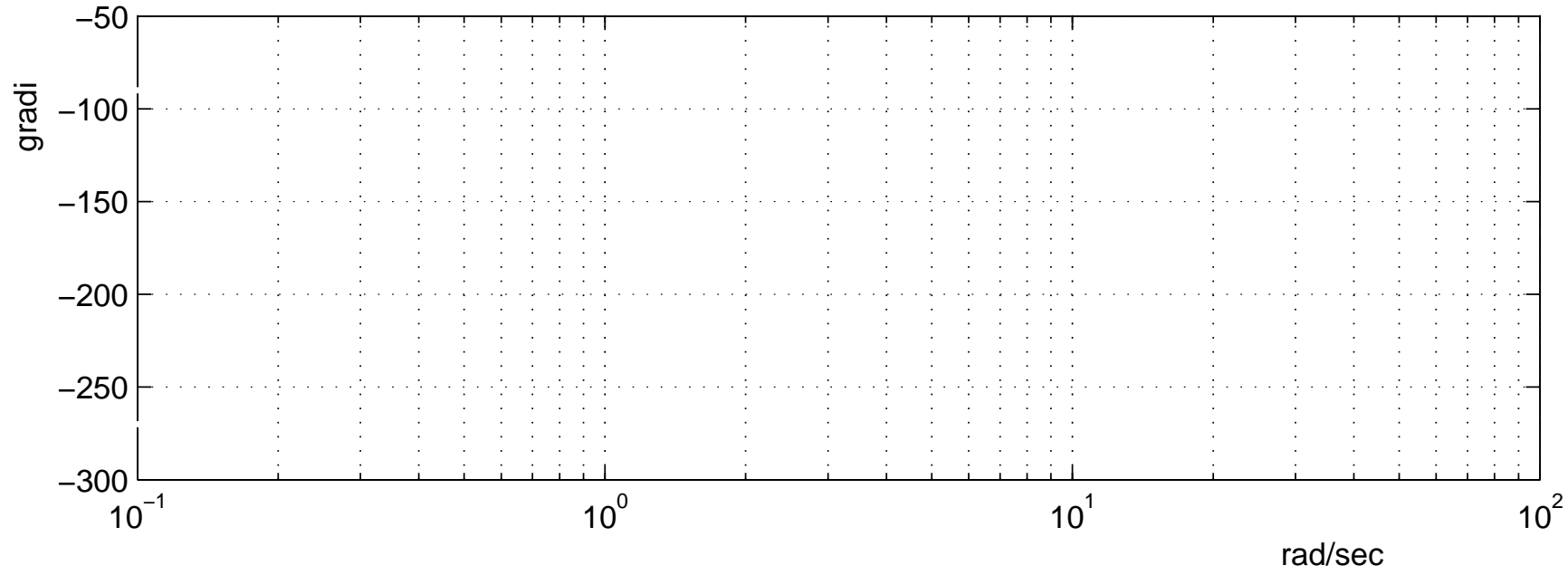
**Gli studenti di Ingegneria Ambientale non rispondano alle seguenti domande**

9. Nella graficazione del contorno delle radici al variare del parametro  $\tau$ , un asintoto può essere percorso dall'infinito al finito:
  - solo se il grado relativo è negativo;
  - solo se il grado relativo è positivo;
  - anche se il grado relativo è nullo.
10. Il luogo delle radici presenta almeno un asintoto orizzontale se:
  - $K > 0$  e il grado relativo è dispari;
  - $K > 0$  e il grado relativo è pari;
  - $K < 0$  e il grado relativo è pari.

ampiezza



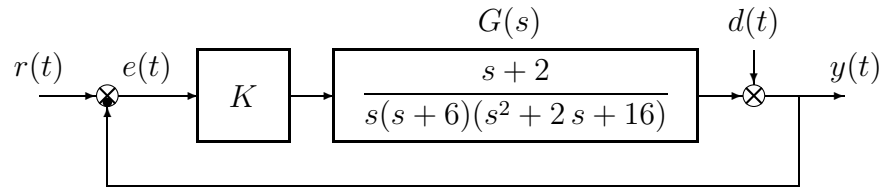
fase





Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

a) Sia dato il seguente sistema retroazionato:



a.1) Determinare per quali valori del parametro  $K$  il sistema retroazionato è asintoticamente stabile.

a.2) Posto  $K = 20$ , disegnare qualitativamente il diagramma di Nyquist “completo” del guadagno d’anello  $K G(s)$ . Calcolare esattamente la posizione  $\sigma_a$  dell’asintoto verticale, le eventuali intersezioni  $\sigma_i^*$  con l’asse reale e i corrispondenti valori delle pulsazioni  $\omega_i^*$ . Determinare inoltre il margine di ampiezza  $M_\alpha$  e indicare sul diagramma il margine di fase di  $K G(s)$ .

b) Si faccia riferimento al sistema retroazionato dell’esercizio precedente e si ponga  $K = 20$ :

b.1) Tracciare i diagrammi di Bode asintotici delle ampiezze e della fasi del guadagno di anello  $K G(s)$ ;

b.2) Fornire una stima della larghezza di banda del sistema retroazionato;

b.3) Fornire una stima della risposta “a regime”  $y_\infty(t)$  del sistema retroazionato quando il disturbo  $d(t) = 3$  e in ingresso è presente il segnale  $r(t) = 2 + 5 \cos(0.043 t + \pi/4)$ .

c) **Non è richiesto lo svolgimento di questo esercizio agli iscritti ad Ingegneria Ambientale.**

Si faccia riferimento al sistema descritto nell’esercizio a):

c.1) Tracciare qualitativamente il luogo delle radici del sistema retroazionato per valori positivi del parametro  $K$ . Determinare l’angolo con cui rami entrano o escono dalle radici e la posizione qualitativa dei punti di diramazione.

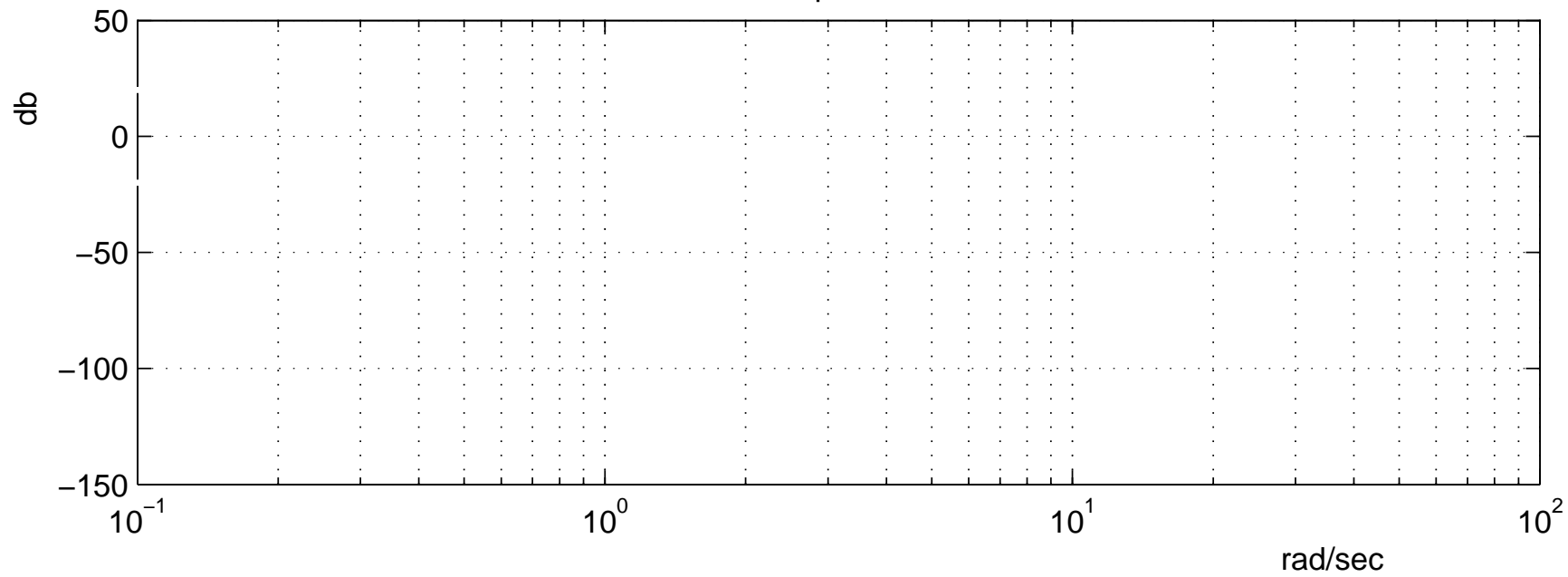
c.2) Determinare il centro degli asintoti, gli angoli che gli asintoti formano rispetto all’asse reale positivo, le intersezioni del luogo delle radici con l’asse immaginario e i corrispondenti valori del parametro  $K$ .

1. La funzione di risposta armonica permette di determinare:
  - la risposta libera di un sistema;
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso sinusoidale;
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso non periodico.
2. Quale delle seguenti affermazioni sulla funzione di risposta armonica è vera:
  - per sistemi lineari stabili, è determinata univocamente dalla risposta al gradino unitario;
  - per sistemi lineari stabili, determina univocamente la sua risposta alla rampa unitaria;
  - può essere definita solo per sistemi lineari stabili.
3. Se gli elementi della prima colonna della tabella di Routh di una equazione caratteristica di 4° grado ha due elementi negativi e i rimanenti positivi, ne segue che l'equazione caratteristica:
  - ha solo una radice a parte reale positiva;
  - ha almeno una radice a parte reale positiva;
  - può avere tutte le radici a parte reale positiva.
4. Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s) = \frac{(s+2)(s+8)}{s^2+4s}$  per  $\omega \in [0, \infty]$ :
  - si evolve tutto nel quarto quadrante;
  - presenta un asintoto verticale;
  - termina nell'origine.
5. Il sistema  $G(s) = \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s(s+p_1)(s+p_2)}$  con  $0 < z_1 < z_2 < p_1 < p_2$  presenta:
  - con pendenza di  $-60 \text{ db/decade}$  per  $\omega \rightarrow \infty$ ;
  - con pendenza di  $-40 \text{ db/decade}$  per  $\omega \rightarrow 0$ ;
  - con pendenza di  $-20 \text{ db/decade}$  per  $\omega \rightarrow \infty$ .
6. Si consideri un'equazione caratteristica nella quale compaiono solamente le potenze pari di  $s$ . Utilizzando la tabella di Routh è possibile affermare che l'equazione caratteristica:
  - ha soluzioni simmetriche rispetto all'origine;
  - ha lo stesso numero di radici a parte reale strettamente positiva e strettamente negativa;
  - ha un polo nell'origine.
7. La funzione di risposta armonica di un sistema lineare può essere determinata sperimentalmente:
  - se il sistema  $G(s)$  è asintoticamente stabile;
  - se il sistema  $G(s)$  è semplicemente stabile;
  - anche se il sistema è instabile.
8. Il margine di fase del sistema  $G(s) = 1/s^2$ :
  - è nullo;
  - è  $\pi$ ;
  - non è definibile.

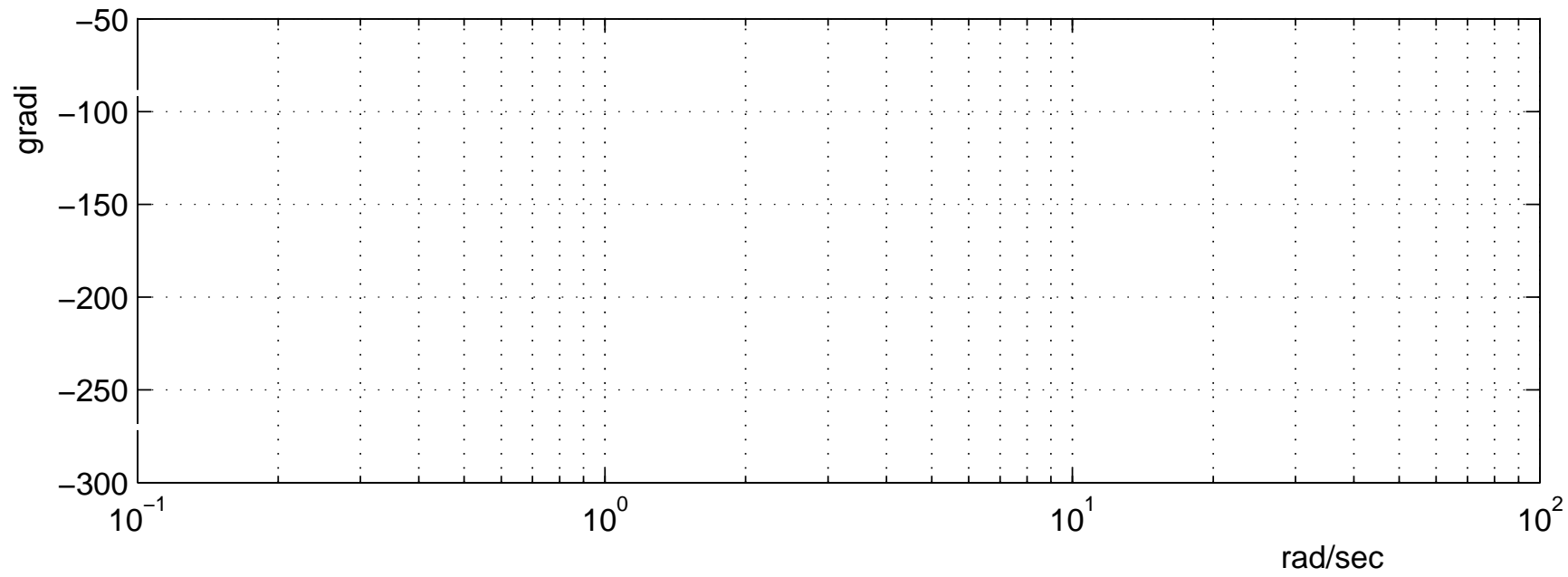
**Gli studenti di Ingegneria Ambientale non rispondano alle seguenti domande**

9. Nella graficazione del contorno delle radici al variare del parametro  $\tau$ , un asintoto può essere percorso dall'infinito al finito:
  - solo se il grado relativo è positivo;
  - solo se il grado relativo è negativo;
  - anche se il grado relativo è nullo.
10. Il luogo delle radici presenta almeno un asintoto orizzontale se:
  - $K < 0$  e il grado relativo è pari;
  - $K > 0$  e il grado relativo è dispari;
  - $K > 0$  e il grado relativo è pari.

ampiezza



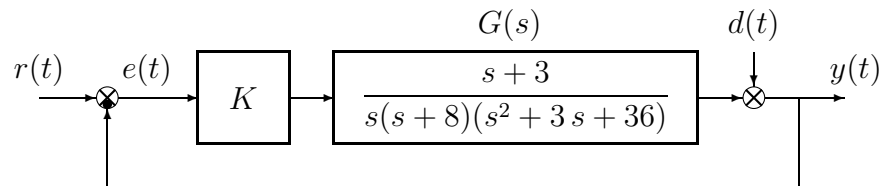
fase





Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

a) Sia dato il seguente sistema retroazionato:



a.1) Determinare per quali valori del parametro  $K$  il sistema retroazionato è asintoticamente stabile.

Soluzione: l'equazione caratteristica del sistema retroazionato è

$$1 + \frac{K(s+3)}{s(s+8)(s^2+3s+36)} = 0 \quad \rightarrow \quad s^4 + 11s^3 + 60s^2 + (288+K)s + 3K = 0$$

La corrispondente tabella di Routh è la seguente

$$\begin{array}{c|cccc} 4 & & 1 & 60 & 3K \\ 3 & & 11 & 288+K & \\ 2 & & 372-K & 33K & \\ 1 & & -K^2-279K+107136 & & \\ 0 & & 33K & & \end{array}$$

Dalla riga 1 e dalla riga 0 si ricavano i seguenti vincoli:

$$K > 0, \quad K < 216.3$$

La pulsazione  $\omega^*$  corrispondente al valore limite  $K^* = 216.3$  è:

$$\omega^* = \sqrt{\frac{288+K^*}{11}} = 6.77$$

a.2) Posto  $K = 50$ , disegnare qualitativamente il diagramma di Nyquist "completo" del guadagno d'anello  $K G(s)$ . Calcolare esattamente la posizione  $\sigma_a$  dell'asintoto verticale, le eventuali intersezioni  $\sigma_i^*$  con l'asse reale e i corrispondenti valori delle pulsazioni  $\omega_i^*$ . Determinare inoltre il margine di ampiezza  $M_a$  e indicare sul diagramma il margine di fase di  $K G(s)$ .

Soluzione: Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s)$  per  $\omega \in [0, \infty]$  è mostrato in Fig. 1.

Il sistema è di tipo 1 per cui esiste un asintoto verticale in  $K_r \Delta_a = 0.065$ .

Esiste un'unica intersezione  $\sigma^*$  con l'asse reale. Tale intersezione si determina facilmente dall'analisi di Routh svolta al punto d.1:

$$\sigma^* = -\frac{1}{K^*} = -0.23$$

Il corrispondente valore di  $\omega^*$  è 6.771 mentre il margine di ampiezza è  $M_a = \frac{1}{|\sigma^*|} = 4.326$ .

b) Si faccia riferimento al sistema retroazionato dell'esercizio precedente e si ponga  $K = 50$ :

b.1) Tracciare i diagrammi di Bode asintotici delle ampiezze e della fasi del guadagno di anello  $K G(s)$ ;

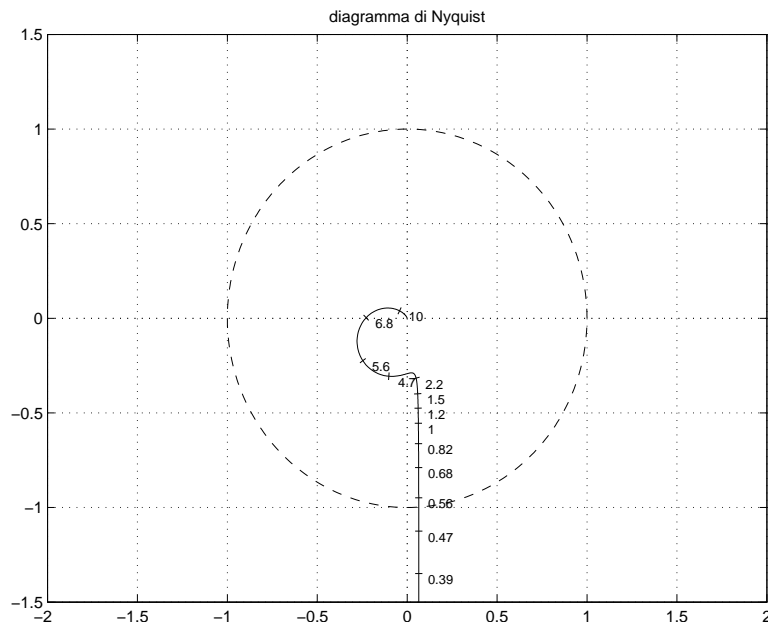


Figura 1: Diagramma di Nyquist della funzione  $G(s)$  per  $\omega \in [0, \infty]$ .

b.2) Fornire una stima della larghezza di banda del sistema retroazionato;

Soluzione: La banda passante del sistema può essere determinata dal punto di incrocio del diagramma di Bode delle ampiezze con l'asse 0 db. Una stima della banda passante del sistema è quindi  $\omega_T = 0.53 \text{ rad/s}$ .

b.3) Fornire una stima della risposta "a regime"  $y_\infty(t)$  del sistema retroazionato quando il disturbo  $d(t) = 2$  e in ingresso è presente il segnale  $r(t) = 3 + 4 \cos(0.53t + \pi/5)$ .

Soluzione: Il sistema è di tipo 1, quindi un disturbo costante in uscita viene completamente annullato. Essendo la pulsazione del segnale di ingresso  $\omega_r = \omega_T$ , l'ampiezza della componente sinusoidale dell'uscita risulta uguale alla metà di quella del segnale d'ingresso con uno sfasamento di circa  $-\pi/4$ , mentre la componente continua risulta inalterata, perciò  $y(t) = 3 + 2 \cos(0.53t - \pi/20)$ .

c) **Non è richiesto lo svolgimento di questo esercizio agli iscritti ad Ingegneria Ambientale.**

Si faccia riferimento al sistema descritto nell'esercizio a):

c.1) Tracciare qualitativamente il luogo delle radici del sistema retroazionato per valori positivi del parametro  $K$ . Determinare l'angolo con cui rami entrano o escono dalle radici e la posizione qualitativa dei punti di diramazione. Soluzione: vedi figura 4.

c.2) Determinare il centro degli asintoti, gli angoli che gli asintoti formano rispetto all'asse reale positivo, le intersezioni del luogo delle radici con l'asse immaginario e i corrispondenti valori del parametro  $K$ .

Soluzione:

$$\begin{aligned}\sigma &= -3 \\ \phi &= 60, 180, 300 \\ s^* &= 6.771 i \\ K^* &= 216.3\end{aligned}$$

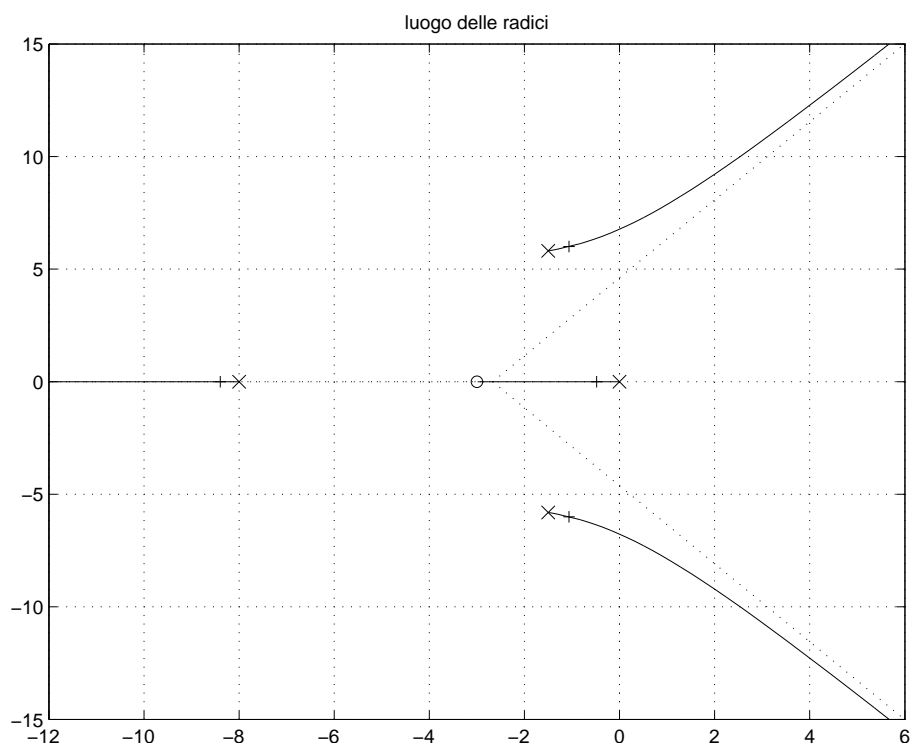


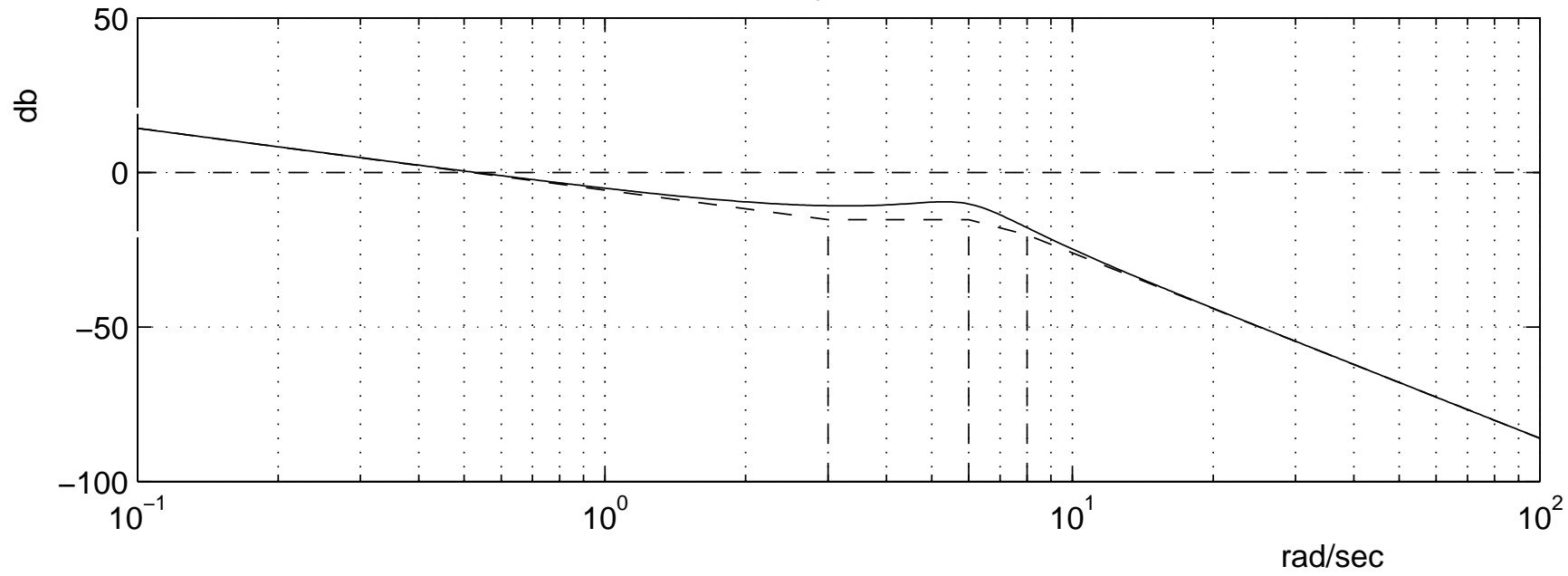
Figura 2: Luogo delle radici di  $G(s)$ .

1. La funzione di risposta armonica permette di determinare:
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso sinusoidale;
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso non periodico;
  - la risposta libera di un sistema.
2. Quale delle seguenti affermazioni sulla funzione di risposta armonica è vera:
  - può essere definita solo per sistemi lineari stabili;
  - per sistemi lineari stabili, è determinata univocamente dalla risposta al gradino unitario;
  - per sistemi lineari stabili, determina univocamente la sua risposta alla rampa unitaria.
3. Se gli elementi della prima colonna della tabella di Routh di una equazione caratteristica di 4° grado ha due elementi negativi e i rimanenti positivi, ne segue che l'equazione caratteristica:
  - può avere tutte le radici a parte reale positiva;
  - ha solo una radice a parte reale positiva;
  - ha almeno una radice a parte reale positiva.
4. Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s) = \frac{(s+2)(s+8)}{s^2+4s}$  per  $\omega \in [0, \infty[$ :
  - termina nell'origine;
  - presenta un asintoto verticale;
  - si evolve tutto nel quarto quadrante.
5. Il sistema  $G(s) = \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s(s+p_1)(s+p_2)}$  con  $0 < z_1 < z_2 < p_1 < p_2$  presenta:
  - margine di fase maggiore di  $\pi/2$ ;
  - margine di ampiezza infinito;
  - guadagno statico unitario.
6. Si consideri un'equazione caratteristica nella quale compaiono solamente le potenze pari di  $s$ . Utilizzando la tabella di Routh è possibile affermare che l'equazione caratteristica:
  - ha un polo nell'origine;
  - ha lo stesso numero di radici a parte reale strettamente positiva e strettamente negativa;
  - ha soluzioni simmetriche rispetto all'origine.
7. La funzione di risposta armonica di un sistema lineare può essere determinata sperimentalmente:
  - se il sistema  $G(s)$  è semplicemente stabile;
  - se il sistema  $G(s)$  è asintoticamente stabile;
  - anche se il sistema è instabile.
8. Il margine di fase del sistema  $G(s) = 1/s^2$ :
  - è  $\pi$ ;
  - è nullo;
  - non è definibile.

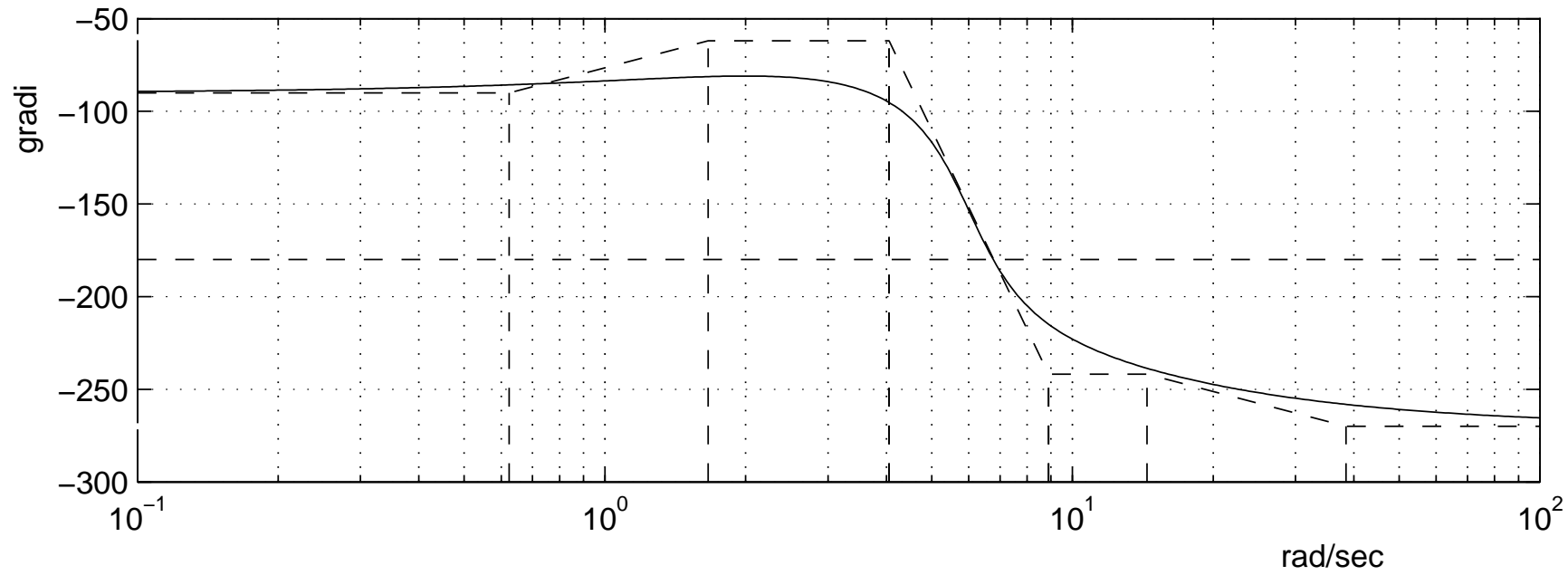
**Gli studenti di Ingegneria Ambientale non rispondano alle seguenti domande**

9. Nella graficazione del contorno delle radici al variare del parametro  $\tau$ , un asintoto può essere percorso dall'infinito al finito:
  - solo se il grado relativo è negativo;
  - solo se il grado relativo è positivo;
  - anche se il grado relativo è nullo.
10. Il luogo delle radici presenta almeno un asintoto orizzontale se:
  - $K > 0$  e il grado relativo è dispari;
  - $K > 0$  e il grado relativo è pari;
  - $K < 0$  e il grado relativo è pari.

ampiezza



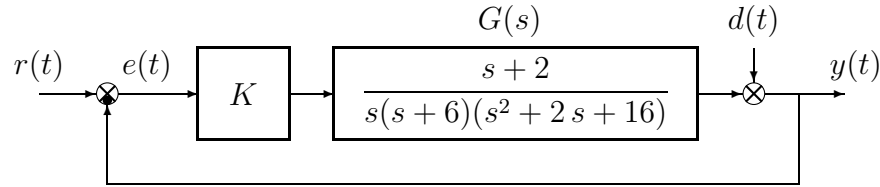
fase





Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

a) Sia dato il seguente sistema retroazionato:



a.1) Determinare per quali valori del parametro  $K$  il sistema retroazionato è asintoticamente stabile.

Soluzione: l'equazione caratteristica del sistema retroazionato è

$$1 + \frac{K(s+2)}{s(s+6)(s^2+2s+16)} = 0 \quad \rightarrow \quad s^4 + 8s^3 + 28s^2 + (96+K)s + 2K = 0$$

La corrispondente tabella di Routh è la seguente

4	1	28	$2K$
3	8	$96+K$	
2	$128-K$	$16K$	
1	$-K^2 - 96K + 12288$		
0	$16K$		

Dalla riga 1 e dalla riga 0 si ricavano i seguenti vincoli:

$$K > 0, \quad K < 72.8$$

La pulsazione  $\omega^*$  corrispondente al valore limite  $K^* = 72.8$  è:

$$\omega^* = \sqrt{\frac{96 + K^*}{8}} = 4.6$$

a.2) Posto  $K = 20$ , disegnare qualitativamente il diagramma di Nyquist "completo" del guadagno d'anello  $K G(s)$ . Calcolare esattamente la posizione  $\sigma_a$  dell'asintoto verticale, le eventuali intersezioni  $\sigma_i^*$  con l'asse reale e i corrispondenti valori delle pulsazioni  $\omega_i^*$ . Determinare inoltre il margine di ampiezza  $M_a$  e indicare sul diagramma il margine di fase di  $K G(s)$ .

Soluzione: Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s)$  per  $\omega \in [0, \infty]$  è mostrato in Fig. 3.

Il sistema è di tipo 1 per cui esiste un asintoto verticale in  $K_r \Delta_a = 0.087$ .

Esiste un'unica intersezione  $\sigma^*$  con l'asse reale. Tale intersezione si determina facilmente dall'analisi di Routh svolta al punto d.1:

$$\sigma^* = -\frac{1}{K^*} = -0.27$$

Il corrispondente valore di  $\omega^*$  è 4.594 mentre il margine di ampiezza è  $M_a = \frac{1}{|\sigma^*|} = 3.64$ .

b) Si faccia riferimento al sistema retroazionato dell'esercizio precedente e si ponga  $K = 20$ :

b.1) Tracciare i diagrammi di Bode asintotici delle ampiezze e della fasi del guadagno di anello  $K G(s)$ ;

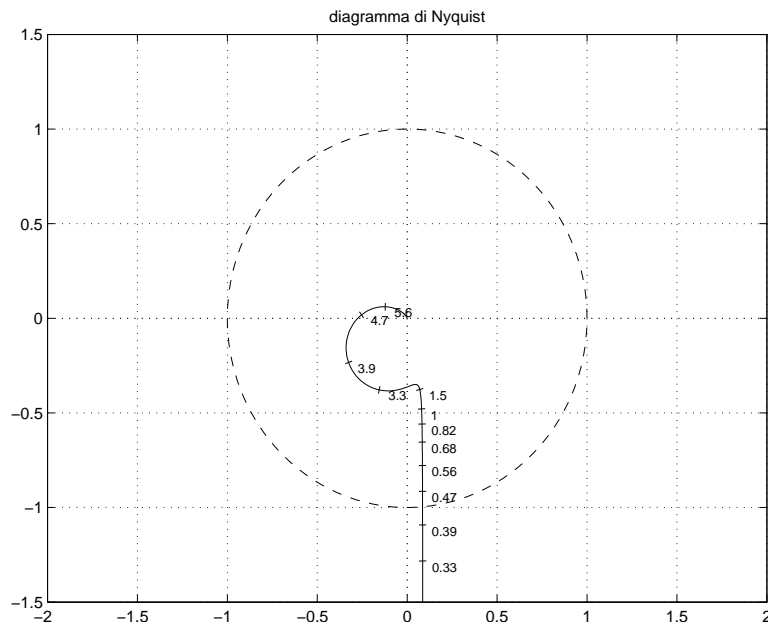


Figura 3: Diagramma di Nyquist della funzione  $G(s)$  per  $\omega \in [0, \infty]$ .

b.2) Fornire una stima della larghezza di banda del sistema retroazionato;

Soluzione: La banda passante del sistema può essere determinata dal punto di incrocio del diagramma di Bode delle ampiezze con l'asse 0 db. Una stima della banda passante del sistema è quindi  $\omega_T = 0.43 \text{ rad/s}$ .

b.3) Fornire una stima della risposta "a regime"  $y_\infty(t)$  del sistema retroazionato quando il disturbo  $d(t) = 3$  e in ingresso è presente il segnale  $r(t) = 2 + 5 \cos(0.043t + \pi/4)$ .

Soluzione: Il sistema è di tipo 1, quindi un disturbo costante in uscita viene completamente annullato. Essendo il sistema retroazionato di tipo passa-basso ed essendo la pulsazione del segnale di ingresso  $\omega_r \ll \omega_T$ , con buona approssimazione l'uscita risulta uguale al segnale d'ingresso, perciò  $y(t) = 2 + 5 \cos(0.043t + \pi/4)$ .

c) **Non è richiesto lo svolgimento di questo esercizio agli iscritti ad Ingegneria Ambientale.**

Si faccia riferimento al sistema descritto nell'esercizio a):

c.1) Tracciare qualitativamente il luogo delle radici del sistema retroazionato per valori positivi del parametro  $K$ . Determinare l'angolo con cui rami entrano o escono dalle radici e la posizione qualitativa dei punti di diramazione. Soluzione: vedi figura 4.

c.2) Determinare il centro degli asintoti, gli angoli che gli asintoti formano rispetto all'asse reale positivo, le intersezioni del luogo delle radici con l'asse immaginario e i corrispondenti valori del parametro  $K$ .

Soluzione:

$$\begin{aligned} \sigma &= -2 \\ \phi &= 60, 180, 300 \\ s^* &= 4.594 i \\ K^* &= 72.8 \end{aligned}$$

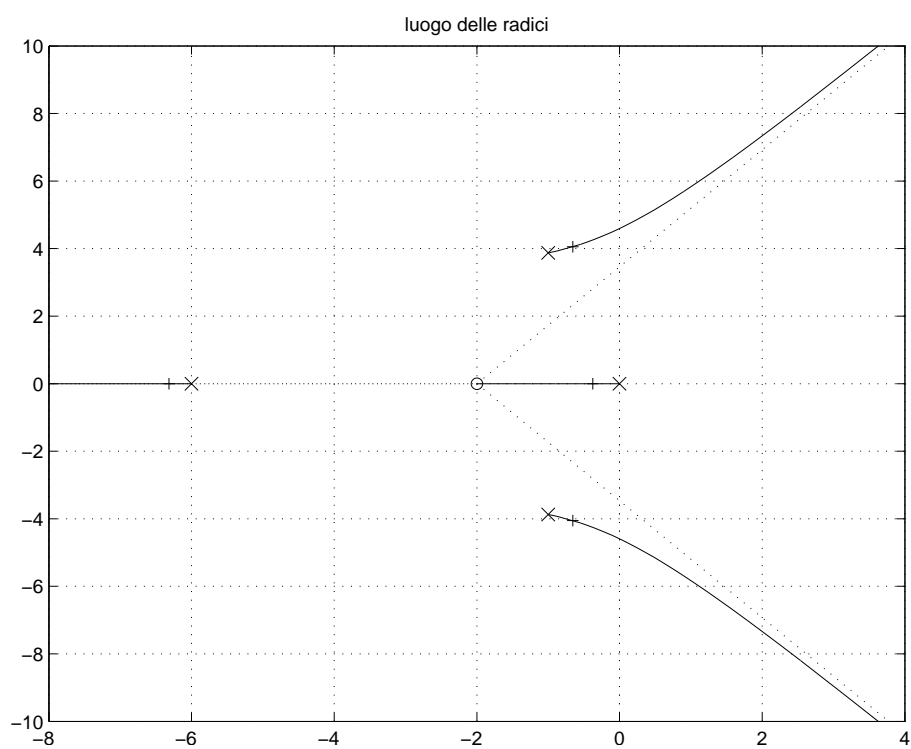


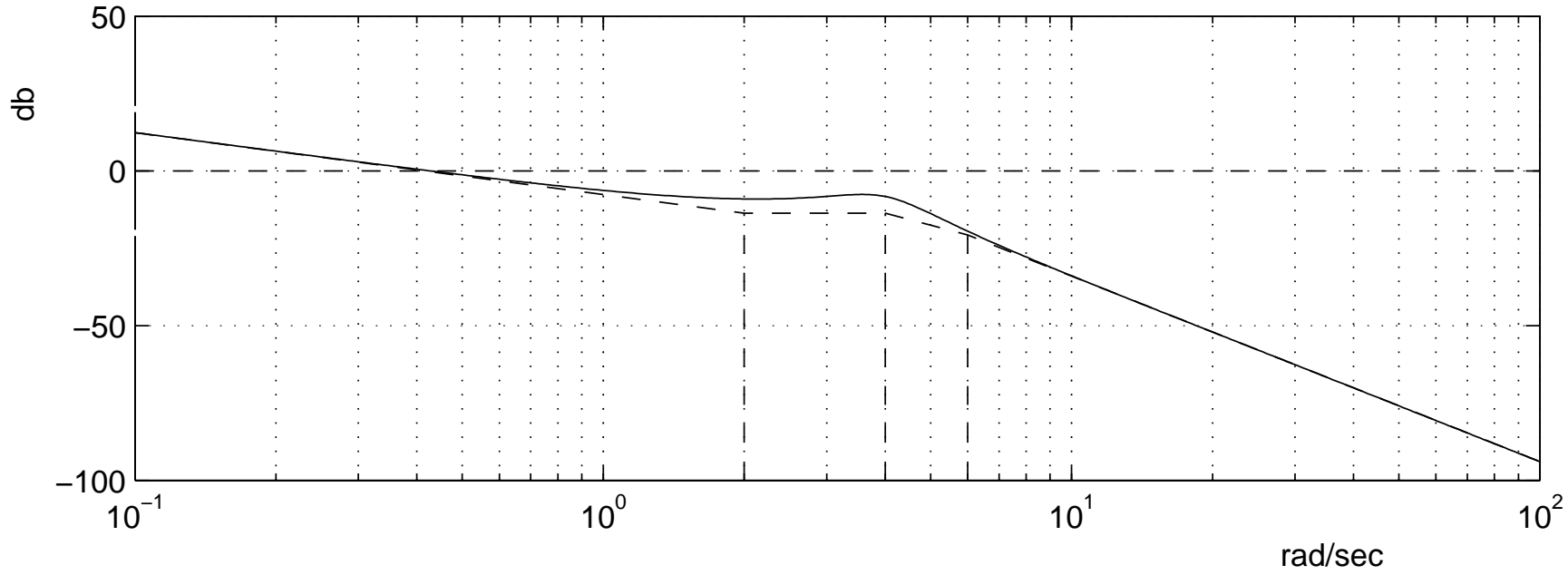
Figura 4: Luogo delle radici di  $G(s)$ .

1. La funzione di risposta armonica permette di determinare:
  - la risposta libera di un sistema;
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso sinusoidale;
  - l'uscita a regime con segnale di ingresso non periodico.
2. Quale delle seguenti affermazioni sulla funzione di risposta armonica è vera:
  - per sistemi lineari stabili, è determinata univocamente dalla risposta al gradino unitario;
  - per sistemi lineari stabili, determina univocamente la sua risposta alla rampa unitaria;
  - può essere definita solo per sistemi lineari stabili.
3. Se gli elementi della prima colonna della tabella di Routh di una equazione caratteristica di 4° grado ha due elementi negativi e i rimanenti positivi, ne segue che l'equazione caratteristica:
  - ha solo una radice a parte reale positiva;
  - ha almeno una radice a parte reale positiva;
  - può avere tutte le radici a parte reale positiva.
4. Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s) = \frac{(s+2)(s+8)}{s^2+4s}$  per  $\omega \in [0, \infty[$ :
  - si evolve tutto nel quarto quadrante;
  - presenta un asintoto verticale;
  - termina nell'origine.
5. Il sistema  $G(s) = \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s(s+p_1)(s+p_2)}$  con  $0 < z_1 < z_2 < p_1 < p_2$  presenta:
  - con pendenza di  $-60 \text{ db/decade}$  per  $\omega \rightarrow \infty$ ;
  - con pendenza di  $-40 \text{ db/decade}$  per  $\omega \rightarrow 0$ ;
  - con pendenza di  $-20 \text{ db/decade}$  per  $\omega \rightarrow \infty$ .
6. Si consideri un'equazione caratteristica nella quale compaiono solamente le potenze pari di  $s$ . Utilizzando la tabella di Routh è possibile affermare che l'equazione caratteristica:
  - ha soluzioni simmetriche rispetto all'origine;
  - ha lo stesso numero di radici a parte reale strettamente positiva e strettamente negativa;
  - ha un polo nell'origine.
7. La funzione di risposta armonica di un sistema lineare può essere determinata sperimentalmente:
  - se il sistema  $G(s)$  è asintoticamente stabile;
  - se il sistema  $G(s)$  è semplicemente stabile;
  - anche se il sistema è instabile.
8. Il margine di fase del sistema  $G(s) = 1/s^2$ :
  - è nullo;
  - è  $\pi$ ;
  - non è definibile.

**Gli studenti di Ingegneria Ambientale non rispondano alle seguenti domande**

9. Nella graficazione del contorno delle radici al variare del parametro  $\tau$ , un asintoto può essere percorso dall'infinito al finito:
  - solo se il grado relativo è positivo;
  - solo se il grado relativo è negativo;
  - anche se il grado relativo è nullo.
10. Il luogo delle radici presenta almeno un asintoto orizzontale se:
  - $K < 0$  e il grado relativo è pari;
  - $K > 0$  e il grado relativo è dispari;
  - $K > 0$  e il grado relativo è pari.

ampiezza



fase

