

*POLITECNICO DI MILANO*

## **FONDAMENTI DI AUTOMATICA**

**Ingegneria Informatica e Ingegneria delle Telecomunicazioni**

**Allievi da CM (incluso) a IM (escluso)**

**Prof. Maria Prandini**

Anno Accademico 2018/19

Appello del 17 giugno 2019

COGNOME E NOME .....

MATRICOLA .....

FIRMA .....

- Consegnare esclusivamente il presente fascicolo.
- Utilizzare, per la minuta, i fogli bianchi forniti in aggiunta a questo fascicolo.
- Non si possono consultare libri, appunti, dispense, ecc.
- Si raccomandano chiarezza, precisione e concisione nelle risposte.

1. Si consideri il sistema con ingresso  $u$  e uscita  $y$  descritto dalle seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= \alpha(-3x_1(t) + x_2^3(t) + 2u(t)) \\ \dot{x}_2(t) &= -x_2(t) + u(t) \\ y(t) &= x_1(t) \end{aligned} \tag{1}$$

dove  $\alpha$  è un parametro reale non nullo.

1.1 Posto  $\alpha = 1$ ,

- (a) determinare stato e uscita di equilibrio  $((\bar{x}_1, \bar{x}_2)$  e  $\bar{y})$  associati all'ingresso  $u(t) = 1, t \geq 0$ ;
- (b) valutare le proprietà di stabilità dello stato di equilibrio calcolato al punto (a)

1.2 Dire come e se cambiano le risposte al punto precedente al variare di  $\alpha$ , con  $\alpha \neq 0$ .

1.3 Posto  $\alpha = 1$ , tracciare l'andamento del movimento dell'uscita  $y(t)$  del sistema (1) associato alla condizione iniziale  $x_1(0) = 2$  e  $x_2(0) = 1$ , e all'ingresso  $u(t) = 1, t \geq 0$ .

2. Si consideri il sistema interconnesso in Figura 1, dove  $G_1(s)$ ,  $G_2(s)$ , e  $G_3(s)$  sono le funzioni di trasferimento di sistemi lineari senza autovalori nascosti.

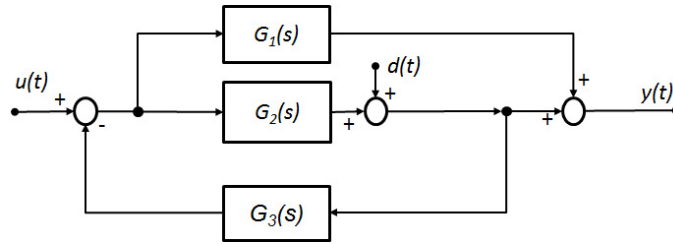


Figure 1: Sistema interconnesso

2.1 Determinare la funzione di trasferimento  $G_d(s)$  del sistema con ingresso  $d$  e uscita  $y$ , e la funzione di trasferimento  $G_u(s)$  del sistema con ingresso  $u$  e uscita  $y$ .

2.2 Si supponga che  $G_2(s)$  sia a fase minima con diagramma polare rappresentato nella Figura 2 e  $G_1(s)$  abbia come diagrammi di Bode della risposta in frequenza quelli in Figura 3.

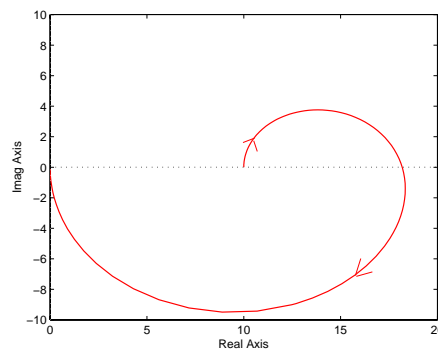


Figure 2: Diagramma polare di  $G_2(s)$

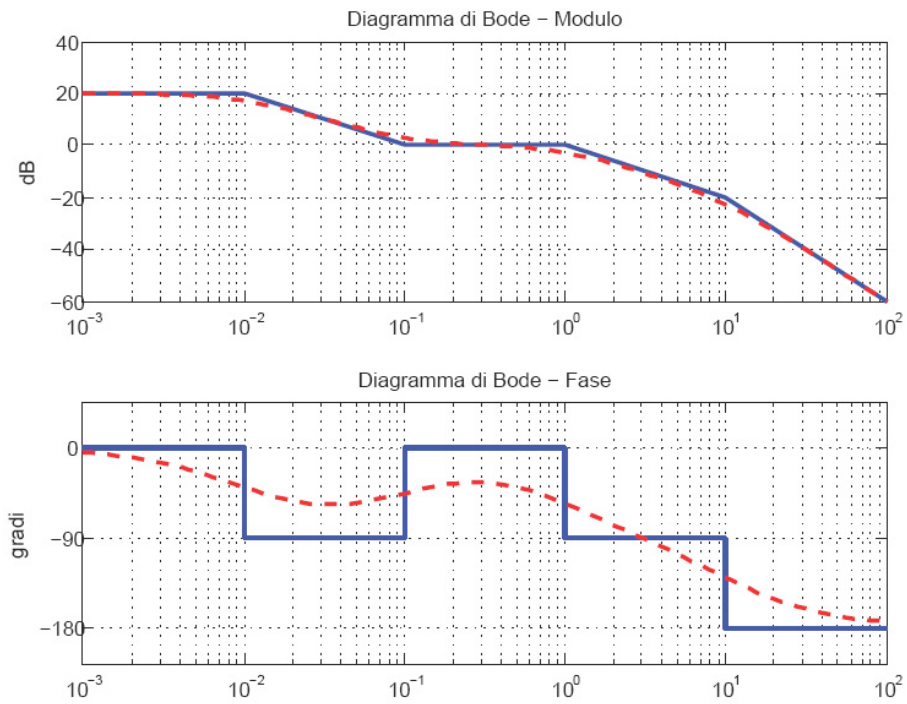


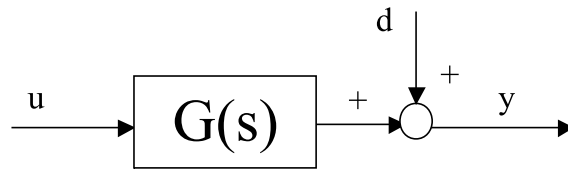
Figure 3: Diagrammi di Bode della risposta in frequenza associata a  $G_1(s)$

Dire, motivando la risposta in modo chiaro, se esiste un valore del parametro reale  $K$  tale che posto  $G_3(s) = K$ :

- (a) il sistema con ingresso  $u$  e uscita  $y$  è asintoticamente stabile;
- (b) il sistema con ingresso  $u$  e uscita  $y$  non è asintoticamente stabile.

2.3 Si dica, motivando la risposta, se è possibile che il sistema con ingresso  $u$  e uscita  $y$  sia asintoticamente stabile, e quello con ingresso  $d$  e uscita  $y$  sia instabile.

3. Si consideri il sistema lineare in figura

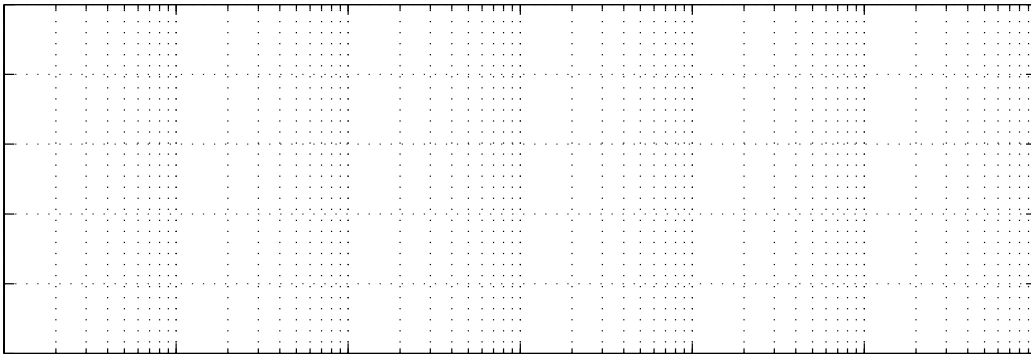
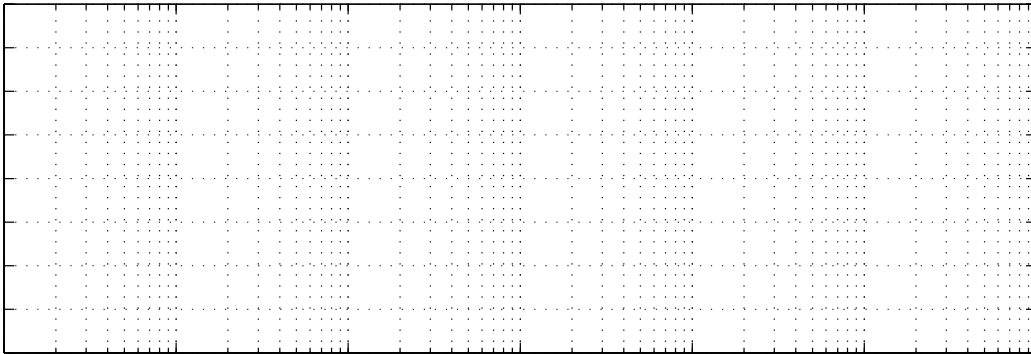


dove  $d$  rappresenta un disturbo additivo sull'uscita e

$$G(s) = 0.01 \frac{(s + 10)}{(s + 1)(s + 0.1)}$$

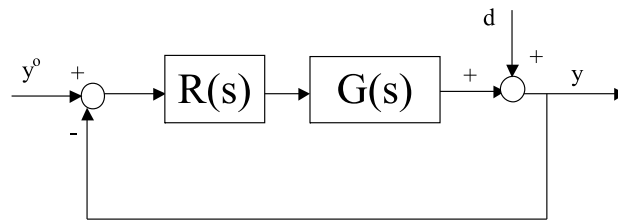
è la funzione di trasferimento di un sistema lineare asintoticamente stabile con ingresso  $u$ .

3.1 Tracciare i diagrammi di bode di modulo e fase della risposta in frequenza associata a  $G(s)$ .



3.2 Tracciare l'andamento del movimento forzato dell'uscita  $y$ , quando  $u(t) = 1, t \geq 0$ , e  $d(t) = 0.1\text{sen}(0.01t), t \geq 0$ .

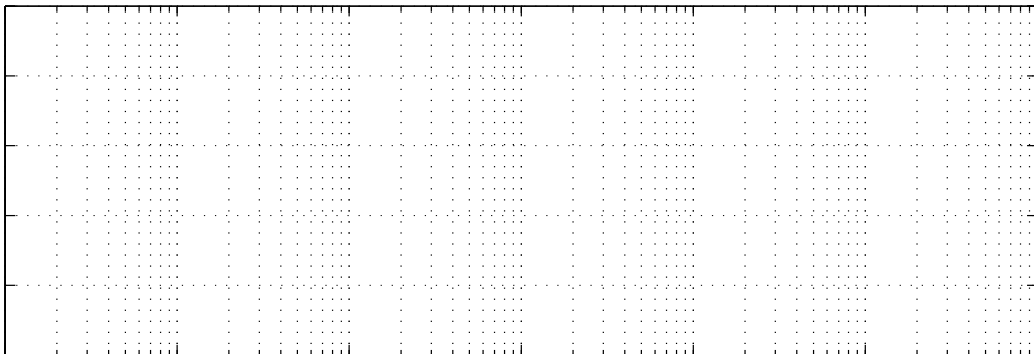
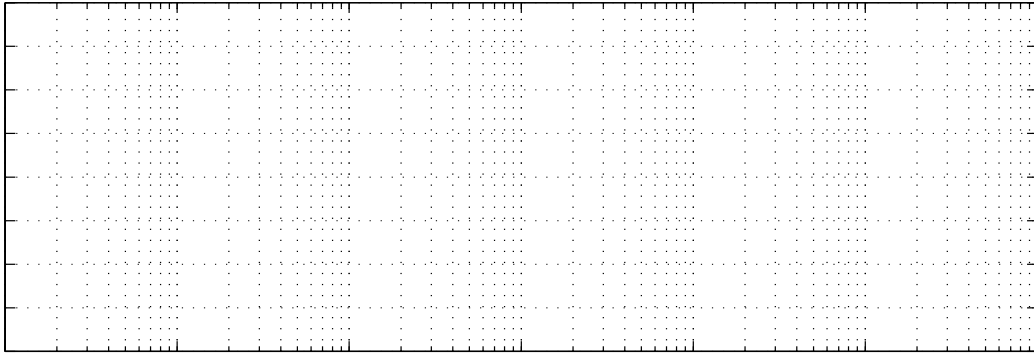
3.3 Determinare la funzione di trasferimento  $R(s) = k(1 + \frac{1}{sT_I})$  di un regolatore PI da inserire nello schema di controllo in figura



in modo che:

- i) l'errore  $e(t) = y^o(t) - y(t)$  a transitorio esaurito sia nullo quando  $y^o(t) = A\text{sen}(t)$ ;
- ii) la pulsazione critica  $\omega_c$  sia circa uguale a 0.1 e il margine di fase  $\phi_m$  sia maggiore di  $70^\circ$ ;
- iii) il disturbo  $d(t) = A\text{sen}(0.01t)$  sia attenuato sull'uscita  $y$  di un fattore maggiore o uguale a 10.





3.4 Tracciare l'andamento della risposta di regime  $y_{\infty}(t)$  del sistema di controllo progettato al punto precedente quando  $y^{\circ}(t) = 1, t \geq 0$ , e  $d(t) = 0.1 \text{sen}(0.01t), t \geq 0$ . In quanto tempo  $y(t)$  si assesta ad  $y_{\infty}(t)$ ?

3.5 Si supponga che l'ingresso di controllo saturi quando raggiunge il valore 10 in modulo. Disegnare lo schema con cui viene realizzata il regolatore PI per evitare il fenomeno del wind-up.

4. Con riferimento all'esperimento svolto in laboratorio, descrivere in modo chiaro e sintetico il problema di controllo affrontato.