

# Fondamenti di Automatica Ingegneria Industriale

Prof. D.M. Raimondo

Prova scritta - 15 Luglio 2019

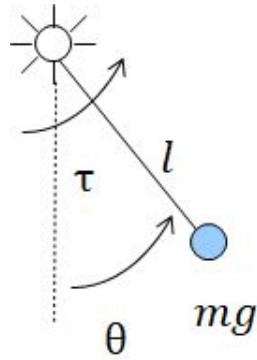
**Cognome**..... **Nome**.....  
**Matricola**..... **Firma**.....

- Compilare a penna questo foglio all'inizio della prova.
- Durante la prova non è consentito uscire dall' aula per nessun motivo se non consegnando il compito o ritirandosi.
- Durante lo svolgimento della prova, non è consentito l'uso di materiale diverso dai comuni strumenti di calcolo, scrittura e disegno. In particolare non è consentito l'uso di calcolatrici **programmabili e/o con display grafico**.
- Le risposte vanno fornite **esclusivamente negli spazi predisposti**. Solo in caso di correzioni o se lo spazio non è risultato sufficiente, utilizzare la seconda facciata del fascicolo.
- Al termine della prova va consegnato **solo il presente fascicolo**. Ogni altro foglio eventualmente consegnato non sarà preso in considerazione.

Utilizzare questa pagina SOLO in caso di correzioni o se lo spazio a disposizione per qualche domanda non è risultato sufficiente

## Esercizio 1 (5 punti)

Si consideri il sistema in figura



con  $m = 1Kg$  e  $l = 0.1m$ . Si noti che l'ingresso del sistema è la tensione  $v(t)$  applicata ad un motore elettrico che fornisce la coppia motrice  $\tau(t)$ . Il legame tra queste due grandezze è dato dal seguente sistema dinamico:

$$\dot{\tau}(t) = -3\tau(t) + 4v(t)$$

Si ricavino le equazioni del sistema dinamico complessivo avente come uscita la posizione angolare del pendolo.

## Esercizio 2 (4 punti)

Si consideri il sistema LTI

$$\dot{x}_1 = -2x_1 - x_2 + u$$

$$\dot{x}_2 = -x_1 - \alpha x_2 + u$$

$$y = 2x_1$$

- (a) Si calcoli la funzione di trasferimento. Si riportino i passaggi (fuori dal riquadro) ed il risultato (nel riquadro).



- (b) Si dica per quali  $\alpha \in \mathbb{R}$  il sistema è raggiungibile. Si riportino i passaggi (fuori dal riquadro) ed il risultato (nel riquadro).



- (c) Per  $\alpha = 0$ , si dica se la risposta allo scalino converge ad un valore costante e, in caso affermativo, a quale. Nel riquadro si riporti SI/NO e in caso affermativo il valore.

### Esercizio 3 (5 punti)

Si consideri il sistema dinamico

$$\dot{x}_1(t) = -0.25x_1^2(t) - x_2(t) + u(t)$$

$$\dot{x}_2(t) = 4x_1(t) - 16x_1(t)x_2(t)$$

$$y(t) = 2x_2(t)$$

- (a) Si determinino lo/gli stati di equilibrio per  $u(t) = 0.5, \forall t \geq 0$ . Riportare lo svolgimento (fuori dal riquadro) ed il risultato (nel riquadro).

Stato/stati di equilibrio:

(b) Si ricavi l'espressione dei sistemi linearizzato nell'intorno dei due equilibrio avente componente  $x_1 \geq 0$ .

Equilibrio 1:  $A = \begin{bmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{bmatrix}$   $B = \begin{bmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{bmatrix}$   $C = [ \phantom{0} ]$   $D = \begin{bmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{bmatrix}$

Equilibrio 2:  $A = \begin{bmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{bmatrix}$   $B = \begin{bmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{bmatrix}$   $C = [ \phantom{0} ]$   $D = \begin{bmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{bmatrix}$

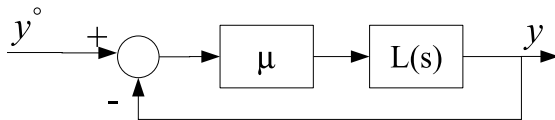
(c) Si analizzi la stabilità degli stati di equilibrio tramite il corrispondente sistema linearizzato. Riportare i passaggi (fuori dal riquadro) ed il risultato (nel riquadro).

Punto di Equilibrio 1: Il sistema linearizzato è:  
Il punto di equilibrio è:

Punto di Equilibrio 2: Il sistema linearizzato è:  
Il punto di equilibrio è:

### Esercizio 4 (5 punti)

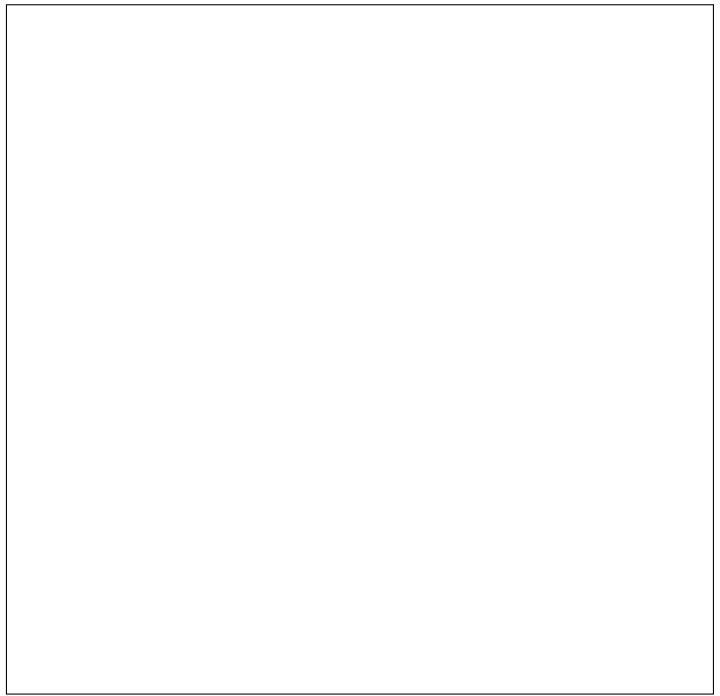
Si consideri il sistema di controllo



$$L(s) = \frac{\left(\frac{s}{5} + 1\right)^2}{\left(-\frac{s}{0.05} + 1\right)^2}$$

Sapendo che  $\angle L(0.632) = 180^\circ$ , si utilizzi il criterio di Nyquist.

- (a) Si disegnino i diagrammi di Bode (fuori dal riquadro) e si tracci il diagramma di Nyquist nel riquadro.



(b) Si determini inoltre per quali valori di  $\mu \neq 0$  il sistema in anello chiuso è asintoticamente stabile.

Caso  $\mu > 0$ :

Caso  $\mu < 0$ :



## Esercizio 5 (5 punti)

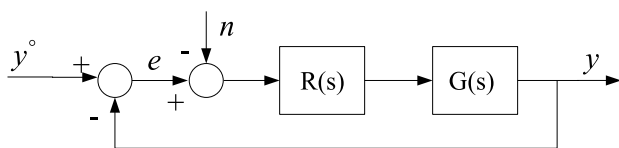
Dire se le seguenti affermazioni sono vere o false. Punteggio: risposta esatta= 1, errore= -0.5, non risponde= 0.

V      F

1. La risposta impulsiva di un sistema asintoticamente stabile tende a zero per  $t \rightarrow \infty$ .
  
2. Si considerino due f.d.t.  $G_1(s)$  e  $G_2(s)$  entrambe asintoticamente stabili. Sia  $L(s) = G_1(s)G_2(s)$ . Allora il sistema in anello chiuso ottenuto tramite retroazione negativa unitaria è sempre asintoticamente stabile.
  
3. Il criterio di Bode non si può applicare se  $G(s)$  ha guadagno negativo.
  
4. Il luogo delle radici non permette di cancellare poli/zeri della  $G(s)$ .
  
5. Un sistema del primo ordine può generare sovraelongazione.

## Esercizio 6 (8 punti)

Si consideri il sistema di controllo in figura:



$$G(s) = 0.5 \frac{(s - 10)}{s}$$

Si determini la funzione di trasferimento del regolatore  $R(s)$  in modo che:

- a) si abbia robusta regolazione a zero dell'errore quando  $y^o(t) = 65\text{sca}(t)$ ;
- b) il margine di fase  $\phi_m$  verifichi  $\phi_m \geq 75^\circ$ ;
- c) la banda passante del sistema di controllo sia almeno pari a  $1 \text{ rad/s}$ ;
- d) il disturbo  $n(t) = \sin(\omega t)$ ,  $\omega \geq 100 \text{ rad/s}$  sia attenuato sull'uscita a regime di almeno  $40\text{db}$ .

**Nota: e' obbligatorio rappresentare i diagrammi di Bode delle funzioni d'anello e le regioni proibite sul foglio di carta semilogaritmica.**

(a) Si determini la componente del regolatore in grado di soddisfare il punto a). Si tracci il diagramma di Bode dei moduli e si calcoli il margine di fase per la  $L(s)$  risultante. **Attenzione al segno del guadagno necessario per soddisfare il criterio di Bode!**

(b) Si calcoli ora il regolatore complessivo in grado di soddisfare tutti i requisiti. Dato tale regolatore, si tracci il diagramma di Bode dei moduli e si calcoli il margine di fase per la  $L(s)$  risultante.

- (c) Utilizzando il regolatore progettato al punto precedente, si stimi tempo di assestamento della risposta allo scalino prodotta dal sistema in anello chiuso.

