

Corso di laurea in Ingegneria dell'Informazione
 Prova di laboratorio di Fondamenti di Automatica

Svolgere i seguenti esercizi, facendo uso dei pacchetti MATLAB e SIMULINK. È richiesta una breve relazione, corredata del codice usato e dei grafici prodotti, con un commento dei passi svolti e dei risultati conseguiti. La relazione va spedita tramite posta elettronica in formato pdf all'indirizzo schenato@dei.unipd.it

Si consideri un carrello libero di muoversi lungo una rotaia, a cui viene applicato un pendolo inverso, come mostrato in fig. 2.15 del testo [Franklin et al., Feedback Control of Dynamic Systems - 4th ed.]. I parametri del sistema sono:

- massa del carrello: $M=0.72$ kg
- massa del pendolo: $m=0.33$ kg
- coefficiente di attrito viscoso del carrello: $b=0.15$ N/m/sec
- distanza del centro di massa del pendolo dalla cerniera: $l=0.21$ m

Il carrello e' movimentato da un motore elettrico in c.c. avente le seguenti caratteristiche:

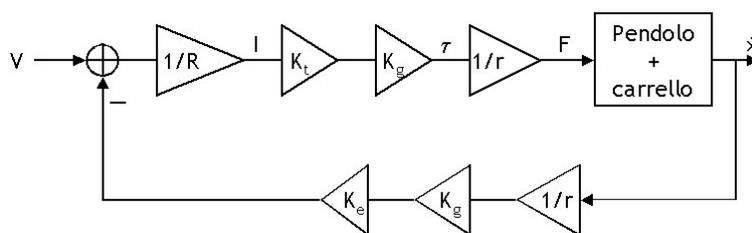
- costante di coppia: $K_t = 0.0063$ Nm/A; costante elettrica: $K_e = 0.0063$ Vs/rad
- resistenza d'armatura: $R = 3\Omega$; induttanza d'armatura: trascurabile

Il sistema di trasmissione ha le seguenti caratteristiche:

- ruota motrice unica, avente raggio $r = 0.71$ cm
- rapporto di riduzione K_g dall'albero motore all'asse ruote pari a 12:1

Due potenziometri misurano rispettivamente l'angolo che forma il pendolo rispetto alla verticale (si assuma la convenzione di fig. 2.15) e lo spostamento angolare dell'asse ruote. Si assuma, per semplicita', che il guadagno di questi trasduttori di posizione sia unitario.

- a. Determinare il modello non lineare per il sistema pendolo e carrello, dove come ingresso si considera la tensione V applicata al motore. Si faccia riferimento allo schema seguente:



Nel ricavare le equazioni, si noti che sussiste la seguente relazione tra la tensione V applicata al motore e la velocita' \dot{x} del carrello:

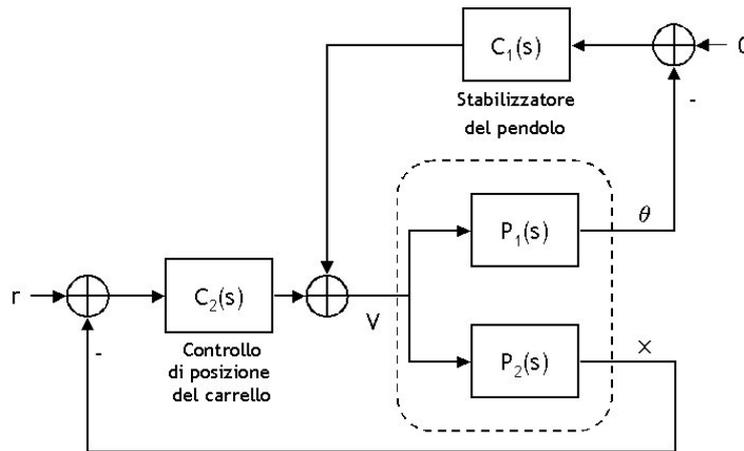
$$V = RI + K_e K_g \frac{\dot{x}}{r}$$

Inoltre, la forza applicata al carrello e' pari a $F = \tau/r$, dove τ e' la coppia generata dal motore elettrico (dopo il riduttore di giri). Si assuma trascurabile il momento di inerzia J del motore

- b. Linearizzare il modello rispetto al punto di equilibrio instabile (pendolo rivolto verso l'alto). Ricavare le funzioni di trasferimento:

- $P_1(s)$: dall'ingresso in tensione del motore all'uscita di posizione angolare θ del pendolo
 - $P_2(s)$: dall'ingresso in tensione del motore all'uscita di posizione x del carrello
- c. simulare il sistema con Simulink. Tracciare gli andamenti della posizione x del carrello e dell'angolo θ del pendolo a partire dalla condizione iniziale $x(0) = 0$, $\theta(0) = \pi/8$. Verificare che il sistema linearizzato approssima correttamente il comportamento del sistema non lineare solo in un opportuno intorno di $\theta(0) = 0$

Si vuole stabilizzare il pendolo in posizione verticale e regolare la posizione del carrello; per fare cio', si progettano due anelli di controllo: il primo e' un anello di stabilizzazione del pendolo inverso; il secondo e' un anello di regolazione di posizione del carrello, che lavora sul sistema stabilizzato dal primo anello. Complessivamente si ottiene la struttura di controllo riportata nella figura seguente:



- a. Progettare il controllore $C_1(s)$ (mediante sintesi in frequenza o luogo delle radici) in modo da soddisfare le seguenti specifiche:

- struttura: PI
- assumendo un impulso unitario applicato all'ingresso in tensione V , il tempo di assestamento di θ a 0 non deve superare 1 s

Durante la progettazione si consideri aperto l'anello di controllo di posizione del carrello (ovvero si ponga $C_2(s) = 0$)

- b. Progettare il controllore $C_2(s)$ (mediante sintesi in frequenza o luogo delle radici) in modo da soddisfare le seguenti specifiche:

- struttura: filtro zero-polo (anche a fase non minima)
- **tempo di assestamento inferiore a 3 s**
- overshoot nella risposta al gradino inferiore al 6%
- errore di inseguimento al gradino unitario nullo a regime

La progettazione deve essere eseguita assumendo che il pendolo sia stabilizzato dal controllore C_1 (ovvero si progetti C_2 sull'impianto che ha come ingresso V , come uscita \dot{x} e in cui l'anello di controllo di stabilizzazione verticale del pendolo e' chiuso usando C_1 come controllore)

Si valutino le prestazioni del controllore progettato nei punti precedenti considerando un riferimento di posizione unitario per il carrello. Successivamente, applicare un disturbo sinusoidale di ampiezza pari a 0.1 e frequenza 2 rad/s alla misura θ dell'inclinazione del pendolo (simulazione di un disturbo dovuto al vento che impatta sul pendolo). Si ripeta la simulazione considerando un disturbo sinusoidale di ampiezza pari a 1 e frequenza 5 rad/s applicato alla misura x dello spostamento del carrello.