

# Prova MATLAB Tipo – B

## Esame di “FONDAMENTI DI AUTOMATICA” (9 CFU)

**Istruzioni per lo svolgimento:** lo studente deve consegnare al termine della prova una cartella nominata **Cognome\_Nome** contenente:

- Un **Matlab script file** (i.e. file di testo con estensione .m o .txt) riportante i comandi eseguiti e la risposta alle eventuali richieste teoriche sotto forma di commento (i.e. riga di testo preceduta dal simbolo %)

**NOTA:** per copiare i comandi dalla Command History, visualizzarla tramite menu “Layout → Command History → Docked”, selezionare in tale finestra le righe di interesse tramite *Ctrl+mouse left-click* e dal menu visualizzato tramite *mouse right-click* selezionare “create script”

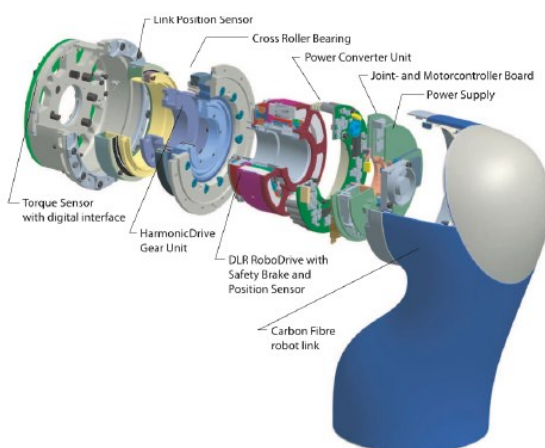
- Le figure rilevanti per la dimostrazione dei risultati ottenuti in **formato JPEG o PNG** avendo cura di salvare i file delle figure quando queste mostrano le caratteristiche di interesse per la verifica del progetto (es. Settling Time, Stability Margins, ecc.).

**NOTA:** per salvare una figura Matlab in formato PNG o JPG, usare il menu “File → Save as” dalla finestra della figura di interesse, assegnarle un nome e selezionare l’estensione \*.PNG o \*.JPG nel menu a tendina “salva come”.

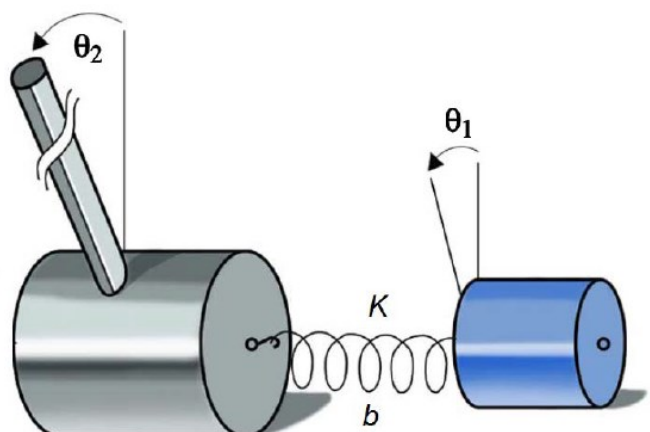
## INTRODUZIONE

Si consideri il meccanismo di trasmissione del moto di un robot collaborativo (i.e. qualificato per eseguire operazione in condivisione dello spazio e con possibile interazione fisica sicura tra umani e robot), dotato di accoppiamento meccanico elastico tra motori e parti in movimento. A titolo di esempio la figura seguente mostra un esploso dettagliato del progetto meccatronico (sinistra) e uno schema semplificato della trasmissione del Light-Weight Robot (LWR) progettato dall’ente di ricerca tedesco DLR:

<https://www.dlr.de/en/rm/research/robotic-systems/arms/lwr-iii>



(figura dal sito DLR – Institute of Robotics and Mechatronics)



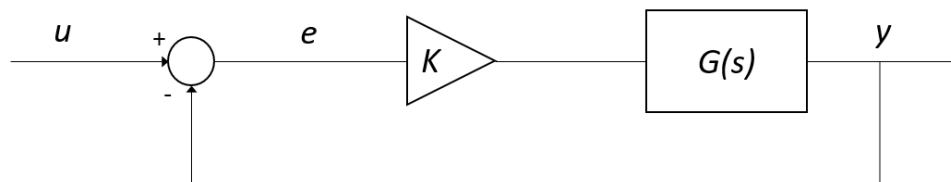
Le matrici A, B, C, D del modello matematico nello spazio degli stati, linearizzato rispetto a piccole variazioni dell’angolo di giunto, del sistema in questione sono inizializzate tramite lo script **InitAutomaticaTipoB.m**.

## ESERCIZIO 1

- Date le matrici inizializzate dallo script `InitAutomaticaTipoB.m`, si ricavi la funzione di trasferimento  $G(s)$  del sistema in esame.
- Si determinino i poli della funzione di trasferimento e si verifichi se coincidono con gli autovalori di  $A$ . Descrivere il motivo di eventuali discrepanze tramite righe di commento (i.e. precedute dal simbolo `%`) sul file `.m`

## ESERCIZIO 2

Si consideri il sistema in retroazione unitaria rappresentato in figura:

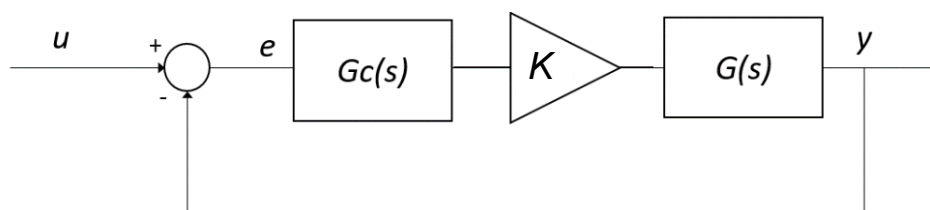


Con  $G(s)$  ricavata al punto a) dell'Esercizio 1.

- Si verifichi se il sistema ad anello chiuso, con guadagno  $K = 1$ , risulti o meno stabile tramite l'analisi della risposta  $y(t)$  al gradino unitario.
- Si determini, se esiste, il valore del guadagno  $K_{lim}$  per il quale il sistema risulta semplicemente stabile, utilizzando il grafico del luogo delle radici della funzione  $G(s)$ .
- Si ponga  $K_1 = 0.8 K_{lim}$ , si visualizzi l'andamento della risposta al gradino  $y(t)$  del sistema chiuso in retroazione con tale guadagno e si determini il tempo d'assestamento al 5%.
- Si determini l'errore a regime motivandone il valore tramite righe di commento (i.e. precedute dal simbolo `%`) sul file `.m`

## ESERCIZIO 3

Si consideri il sistema rappresentato in figura



Con  $G_c(s) = \frac{1+\tau_1 s}{1+\tau_2 s} = \frac{1+\tau s}{1+\alpha \tau s}$  rete anticipatrice ( $\tau_2 < \tau_1$  o  $\alpha < 1$ ),  $G(s)$  ricavata al punto a) dell'Esercizio 1.

Si progetti la rete anticipatrice che garantisca un margine di fase  $M_f = 45^\circ$  utilizzando la procedura empirica riportata nella dispensa FdA-3.1-RetiCorrettrici o in alternativa il metodo delle formule di inversione (riportate in Appendice) con il supporto della funzione `leadNetDesignBode.m`.

In particolare:

- Si determinino i coefficienti  $\tau_1$  e  $\tau_2$  (o equivalentemente  $\alpha$  e  $\tau$ ) della rete anticipatrice;
- Si visualizzino in un'unica figura i diagrammi di Bode del sistema non compensato e del sistema compensato, evidenziando i relativi margini di fase;
- Si verifichi la risposta al gradino del sistema compensato e chiuso in retroazione unitaria negativa e se ne determini la massima sovraelongazione percentuale.

## APPENDICE (formule d'inversione)

$$\tau_1 = \frac{M^* - \cos \varphi^*}{\omega^* \sin \varphi^*} \quad \varphi^* = -180^\circ + \mathbf{M}_F - \arg[G(j\omega^*)]$$

$$\tau_2 = \frac{\cos \varphi^* - \frac{1}{M^*}}{\omega^* \sin \varphi^*} \quad \mathbf{M}^* = 1 / |G(j\omega^*)|$$

**NOTA BENE:** si ricordi che in MATLAB le funzioni trigonometriche da utilizzare con argomento espresso in gradi sono `sind()` / `cosd()`.