

# Controlli Automatici - T

## Progetto Tipologia b - Traccia 2

### Controllo di una tavola rotante motorizzata

#### Descrizione del problema

Si consideri il sistema in Figura 1 rappresentante una tavola rotante motorizzata dove l'accoppiamento tra motore e tavola avviene tramite un giunto cardanico. Si considerino  $\theta(t)$  posizione angolare della tavola e  $\omega(t)$  la sua velocità angolare. Si supponga che la dinamica del sistema sia descritta dalla seguente equazione differenziale

$$J\dot{\omega} = \tau(\theta)C_m - \beta\omega - k\theta, \quad (1)$$

$$\text{dove } \tau(\theta) = \frac{\cos(\alpha)}{1 - (\sin(\alpha)\cos(\theta))^2}, \quad (2)$$

in cui

- $\tau(\theta)$  è il rapporto di trasmissione del giunto cardanico funzione di  $\theta$  e dell'angolo tra i due alberi  $\alpha$ ;
- $J$  è il momento d'inerzia della tavola;
- si considera come input di controllo  $C_m$ , ossia la coppia generata dal motore elettrico;
- si considerano infine anche l'attrito viscoso (coefficiente  $\beta$ ) e l'elasticità del disco (coefficiente  $k$ ).

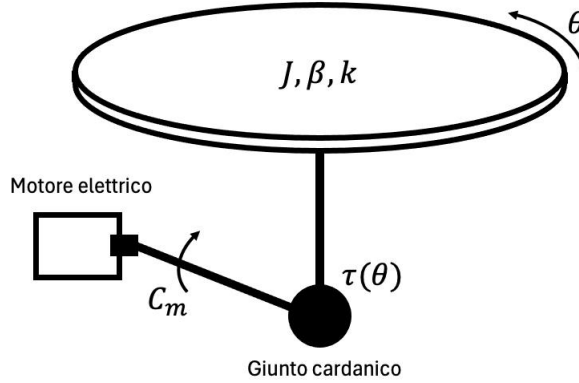


Figura 1: Schema illustrativo della tavola motorizzata.

Si supponga di poter misurare la posizione angolare  $\theta$  della tavola.

#### Punto 1

Si riporti il sistema (1) nella forma di stato

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (3a)$$

$$y = h(x, u). \quad (3b)$$

In particolare, si dettagli la variabile di stato, la variabile d'ingresso, la variabile d'uscita e la forma delle funzioni  $f$  e  $h$ . A partire dal valore di equilibrio  $\theta_e$  (fornito in tabella), si trovi l'intera coppia di equilibrio  $(x_e, u_e)$  e si linearizzi il sistema non lineare (3) nell'equilibrio, così da ottenere un sistema linearizzato del tipo

$$\delta\dot{x} = A\delta x + B\delta u \quad (4a)$$

$$\delta y = C\delta x + D\delta u, \quad (4b)$$

con opportune matrici  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$ .

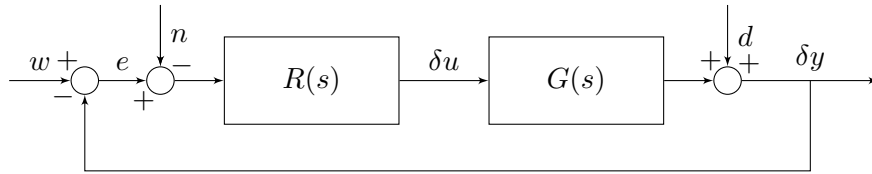


Figura 2: Schema di controllo.

### Punto 2

Si calcoli la funzione di trasferimento da  $\delta u$  a  $\delta y$ , ovvero la funzione  $G(s)$  tale che  $\delta Y(s) = G(s)\delta U(s)$ .

### Punto 3

Si progetti un regolatore (fisicamente realizzabile) considerando le seguenti specifiche:

- 1) Errore a regime  $|e_\infty| \leq e^* = 0.05$  in risposta a un gradino  $w(t) = 2(t)$  e  $d(t) = 1.2(t)$
- 2) Per garantire una certa robustezza del sistema si deve avere un margine di fase  $M_f \geq 35^\circ$ .
- 3) Il sistema può accettare una sovraelongazione percentuale al massimo dell'20% :  $S\% \leq 20\%$ .
- 4) Il tempo di assestamento alla  $\epsilon\% = 5\%$  deve essere inferiore al valore fissato:  $T_{a,\epsilon} = 0.006s$ .
- 5) Il disturbo sull'uscita  $d(t)$ , con una banda limitata nel range di pulsazioni  $[0, 0.7]$ , deve essere abbattuto di almeno 35 dB.
- 6) Il rumore di misura  $n(t)$ , con una banda limitata nel range di pulsazioni  $[2 \cdot 10^5, 5 \cdot 10^6]$ , deve essere abbattuto di almeno 69 dB.

### Punto 4

Testare il sistema di controllo sul sistema linearizzato con  $w(t) = 2(t)$ ,  $d(t) = \sum_{k=1}^4 0.2 \sin(0.1kt)$  e  $n(t) = \sum_{k=1}^4 0.2 \sin(2 \cdot 10^5 kt)$ .

### Punto 5

Testare il sistema di controllo sul modello non lineare (ed in presenza di  $d(t)$  ed  $n(t)$ ).

### Punti opzionali

- Sviluppare (in Matlab) un'interfaccia grafica di animazione in cui si mostri la dinamica del sistema.
- Supponendo un riferimento  $w(t) \equiv 0$ , esplorare il range di condizioni iniziali dello stato del sistema non lineare (nell'intorno del punto di equilibrio) tali per cui l'uscita del sistema in anello chiuso converga a  $h(x_e, u_e)$ .
- Esplorare il range di ampiezza di riferimenti a gradino tali per cui il controllore rimane efficace sul sistema non lineare.

### Note

1. Ogni gruppo deve essere composto da un massimo di 4 studenti (per casi eccezionali contattare il docente).
2. Il report del progetto deve essere scritto in  $\text{\LaTeX}$  e seguire la struttura del template fornito.
3. Ogni email relativa al progetto deve avere il seguente oggetto:

“[CAT]-Gruppo X: resto dell'oggetto”.

4. In tutte le email devono essere messi in cc il professor Notarstefano, il professor Carnevale, il dr. Brumali, il dr. Tramaloni e agli altri membri del gruppo.

## IMPORTANTE: Istruzioni per la consegna finale

1. La scadenza per la consegna finale è una settimana prima della data dell'esame.
2. Un membro di ogni gruppo deve inviare un'email con oggetto:

“[CAT]-Gruppo X: Consegna progetto”,

allegando un link a una cartella OneDrive condivisa con il professor Notarstefano, il professor Carnevale, il dr. Brumali, il dr. Tramaloni e gli altri membri del gruppo.

3. La cartella di consegna finale deve contenere:
  - `report_gruppo_XX.pdf`
  - `report` – una cartella contenente il codice `LATEX` e una cartella `figs` con le figure (se presenti)
  - `code` – una cartella contenente il codice, incluso un file `README.txt` in cui si spiega brevemente quali script eseguire.

$k$	1000
$\beta$	0.77
$\alpha$	25°
$J$	549
$\theta_e$	140°

Tabella 1: Parametri del sistema.