

# Controlli Automatici - T

## Progetto Tipologia c - Traccia 2

### Controllo del motore di un'automobile

Il progetto riguarda il controllo del motore di un'automobile.

#### Descrizione del problema

Si consideri il motore di un'automobile con una massa d'aria  $m(t)$  nel collettore d'aspirazione ed una velocità angolare  $\omega(t)$  dell'albero di trasmissione. Si supponga che la dinamica del sistema sia descritta dalle seguenti equazioni differenziali

$$\dot{m} = \gamma_1(1 - \cos(\beta\theta - \psi)) - \gamma_2\omega m \quad (1a)$$

$$J\dot{\omega} = \delta_1 m - \delta_2\omega - \delta_3\omega^2, \quad (1b)$$

in cui la variabile d'ingresso  $\theta(t)$  indica l'angolo di accelerazione e il termine  $\gamma_1(1 - \cos(\beta\theta - \psi))$ , con  $\gamma_1 \in \mathbb{R}$  e  $\psi \in \mathbb{R}$ , modella la caratteristica intrinseca della valvola. Il parametro  $J \in \mathbb{R}$  rappresenta il momento d'inerzia equivalente del sistema automobile ed il termine  $\delta_1 m$  descrive la coppia trasmessa all'albero motore, con  $\delta_1 \in \mathbb{R}$ . Il termine  $\delta_2\omega$  modella l'attrito nel motore ed il termine  $\delta_3\omega^2$  descrive la resistenza dell'aria, con  $\delta_2, \delta_3 \in \mathbb{R}$ . Uno schema esplicativo è riportato in Figura 1.

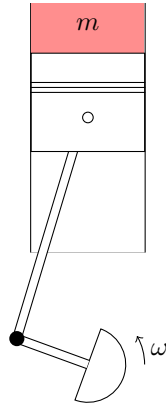


Figura 1: Schema illustrativo della dinamica del motore.

Infine, si suppone di poter misurare la velocità angolare  $\omega(t)$ .

#### Punto 1

Si riporti il sistema (1) nella forma di stato

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (2a)$$

$$y = h(x, u). \quad (2b)$$

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  $\omega_e$  (fornito in tabella), si trovi l'intera coppia di equilibrio

$(x_e, u_e)$  e si linearizzi il sistema non lineare (2) nell'equilibrio, così da ottenere un sistema linearizzato del tipo

$$\delta \dot{x} = A\delta x + B\delta u \quad (3a)$$

$$\delta y = C\delta x + D\delta u, \quad (3b)$$

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

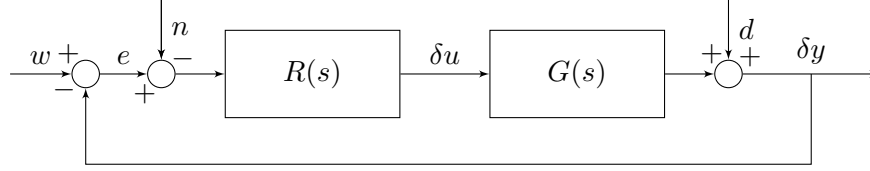


Figura 2: Schema di controllo.

## 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  $|e_\infty| \leq e^* = 0.01$  in risposta a un gradino  $w(t) = 9 \cdot 1(t)$  e  $d(t) = 8 \cdot 1(t)$
- 2) Per garantire una certa robustezza del sistema si deve avere un margine di fase  $M_f \geq 55^\circ$ .
- 3) Il sistema può accettare una sovralongazione percentuale al massimo dell'5% :  $S\% \leq 5\%$ .
- 4) Il tempo di assestamento all' $\epsilon\% = 5\%$  deve essere inferiore al valore fissato:  $T_{a,\epsilon} = 0.08s$ .
- 5) Il disturbo sull'uscita  $d(t)$ , con una banda limitata nel range di pulsazioni  $[0, 0.05]$ , deve essere abbattuto di almeno 55 dB.
- 6) Il rumore di misura  $n(t)$ , con una banda limitata nel range di pulsazioni  $[8 \cdot 10^3, 2 \cdot 10^6]$ , deve essere abbattuto di almeno 45 dB.

## Punto 4

Testare il sistema di controllo sul sistema linearizzato con  $w(t) = 0.75 \cdot 1(t)$ ,  $d(t) = \sum_{k=1}^4 0.05 \cdot \sin(0.01kt)$  e  $n(t) = \sum_{k=1}^4 0.02 \cdot \sin(8 \cdot 10^3 kt)$ .

## 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 dell'albero motore e le variazioni della massa d'aria.
- 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.

$\gamma_1$	0.75
$\gamma_2$	0.15
$\beta$	1.3
$\psi$	0.04
$\delta_1$	$3 \cdot 10^4$
$\delta_2$	0.2
$\delta_3$	0.02
$J$	20
$\omega_e$	30

Tabella 1: Parametri progetto.