

# Controlli Automatici - T

## Progetto Tipologia b - Traccia 1

### Controllo di un riscaldatore elettrico

#### Descrizione del problema

Si consideri il sistema in Figura 1 rappresentante un riscaldatore elettrico che riscalda dell'aria in transito. La dinamica del sistema è descritta dal seguente equazioni differenziali:

$$m_R c_R \frac{dT_R(t)}{dt} = h_R A_R (T_{out}(t) - T_R(t)) + \frac{P_E(t)}{(1 + \kappa T_R)} \quad (1)$$

$$m_A c_A \frac{dT_{out}(t)}{dt} = \dot{m}_A c_A (T_{in} - T_{out}(t)) + h_R A_R (T_R(t) - T_{out}(t)), \quad (2)$$

in cui

- $T_R(t)$  è la temperatura del riscaldatore [C°];
- $T_{out}(t)$  è la temperatura dell'aria in uscita dal riscaldatore [C°];
- $P_E(t)$  è la potenza elettrica fornita [W];
- $T_{in}$  è la temperatura dell'aria in ingresso (ambiente a temperatura costante) [C°];
- $m_R$  è la massa del riscaldatore [kg];
- $c_R$  è il calore specifico del riscaldatore [J/(kg C°)];
- $h_R$  è il coefficiente di convezione tra riscaldatore e aria [W/(m<sup>2</sup> C°)];
- $A_R$  è l'area di scambio termico tra riscaldatore e aria [m<sup>2</sup>];
- $\kappa$  è il coefficiente di variazione della resistenza con la temperatura [1/C°];
- $m_A$  è la massa dell'aria [kg];
- $c_A$  è il calore specifico dell'aria [J/(kg C°)];
- $\dot{m}_A$  è la portata massica dell'aria [kg/s].

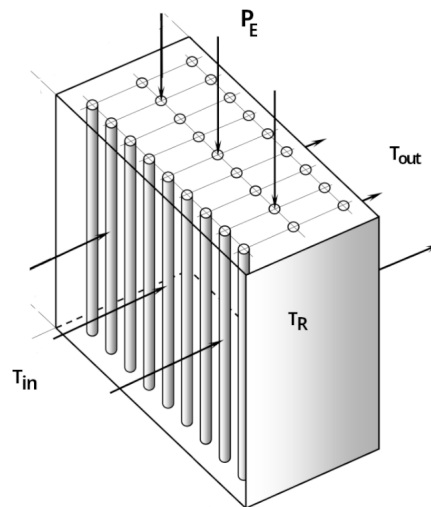


Figura 1: Schema illustrativo del riscaldatore.

Si supponga di poter misurare la temperatura dell'aria in uscita dal riscaldatore  $T_{out}(t)$  e di poter agire sulla potenza elettrica fornita al riscaldatore  $P_E(t)$ .

## 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  $D$ .

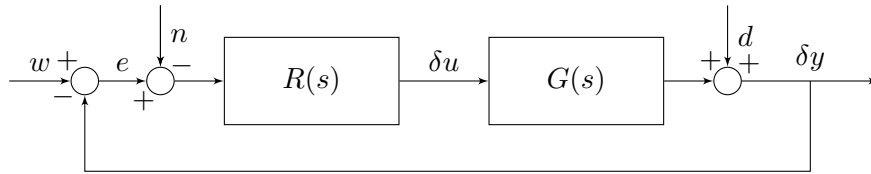


Figura 2: Schema di controllo.

## 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  $|e_\infty| \leq e^* = 0.002$  in risposta a un gradino  $w(t) = W \cdot 1(t)$  e  $d(t) = D \cdot 1(t)$  con ampiezze  $W \leq 4$  e  $D \leq 3.5$ .
- 2) Per garantire una certa robustezza del sistema si deve avere un margine di fase  $M_f \geq 50^\circ$ .
- 3) Il sistema può accettare una sovraelongazione percentuale al massimo del 11%:  $S\% \leq 11\%$ .
- 4) Il tempo di assestamento alla  $\epsilon\% = 5\%$  deve essere inferiore al valore fissato:  $T_{a,\epsilon} = 0.01s$ .
- 5) Il disturbo sull'uscita  $d(t)$ , con una banda limitata nel range di pulsazioni  $[0, 0.4]$ , deve essere abbattuto di almeno 50 dB.
- 6) Il rumore di misura  $n(t)$ , con una banda limitata nel range di pulsazioni  $[8 \cdot 10^4, 9 \cdot 10^6]$ , deve essere abbattuto di almeno 60 dB.

## Punto 4

Testare il sistema di controllo sul sistema linearizzato con  $w(t) = 4 \cdot 1(t)$ ,  $d(t) = 1.5 \sum_{k=1}^4 \sin(0.08kt)$  e  $n(t) = 3 \sum_{k=1}^4 \sin(5 \cdot 10^4 kt)$ .

## Punto 5

- Testare il sistema di controllo sul modello non lineare (ed in presenza di  $d(t)$  ed  $n(t)$ ).
- Supponendo un riferimento  $w(t) = 2 \cdot 1(t)$ , 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.

## Punti opzionali

Sviluppare (in Matlab o Python) un'animazione in cui si mostri la dinamica del sistema.

Parametro	Valore
$h_R$	50
$A_R$	0.07
$c_R$	840.8
$c_A$	1010
$m_R$	2.542
$m_A$	0.1041
$\dot{m}_A$	0.2
$T_{in}$	28
$\kappa$	$3 \cdot 10^{-3}$
$T_{R,e}$	175
$T_{out,e}$	80

Tabella 1: Parametri del sistema.

## Note

1. Ogni gruppo deve essere composto da al massimo 3 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. Drudi, 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. Drudi, 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  $\text{\LaTeX}$  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.