

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:

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

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

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 [$\text{J}/(\text{kg C}^\circ)$];
- h_R è il coefficiente di convezione tra riscaldatore e aria [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ C}^\circ)$];
- A_R è l'area di scambio termico tra riscaldatore e aria [m^2];
- κ è il coefficiente di variazione della resistenza con la temperatura [$1/\text{C}^\circ$];
- m_A è la massa dell'aria [kg];
- c_A è il calore specifico dell'aria [$\text{J}/(\text{kg C}^\circ)$];
- \dot{m}_A è la portata massica dell'aria [kg/s].

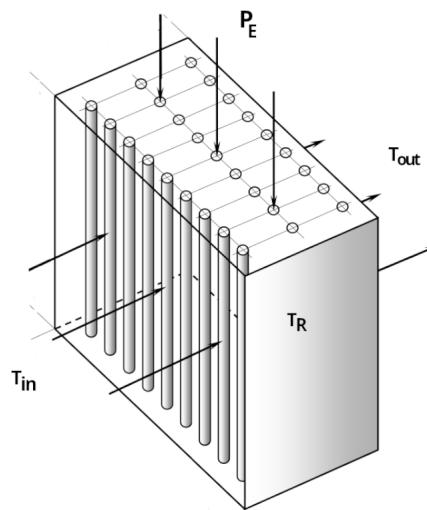


Figura 1: Schema illustrativo del riscaldatore.

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 dai valori di equilibrio $T_{R,e}, T_{out,e}$ (forniti 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 .

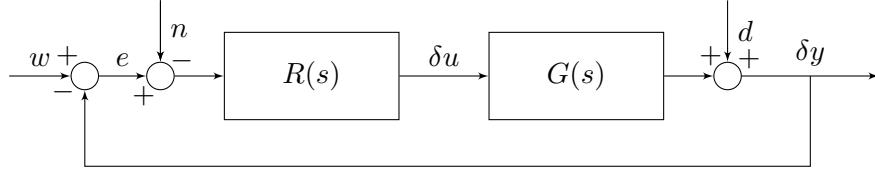


Figura 2: Schema di controllo.

Punto 2

Si calcoli la funzione di trasferimento da δu a δy , 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
κ	$3 \cdot 10^{-3}$
$T_{R,e}$	175
$T_{out,e}$	30.5036

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 L^AT_EX 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: Consegnare 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 L^AT_EX 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.