

# Linea Guida Report

## Controlli Automatici - T

### Progetto Tipologia B- Traccia 1

### Controllo di uno scaldatore elettrico

### Gruppo 23

Nobili Giacomo, Raffoni Federico, Roca Marco

Il progetto riguarda il controllo di uno scaldatore elettrico, la cui dinamica viene descritta dalle seguenti equazioni differenziali

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

$$m_A c_A \frac{dT_{out}(t)}{dt} = \dot{m}_A c_A (T_{in} - T_{out}(t)) + h_R A_R (T_R(t) - T_{out}(t)), \quad (1b)$$

dove

- $T_R(t)$  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 [m²];
- $\kappa$  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].

## 1 Espressione del sistema in forma di stato e calcolo del sistema linearizzato intorno ad una coppia di equilibrio

Innanzitutto, esprimiamo il sistema (1) nella seguente forma di stato

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

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

Pertanto, andiamo individuare lo stato  $x$ , l'ingresso  $u$  e l'uscita  $y$  del sistema come segue

$$x := \begin{bmatrix} T_R \\ T_{out} \end{bmatrix}, \quad u := P_E, \quad y := T_{out}$$

Coerentemente con questa scelta, ricaviamo dal sistema (1) la seguente espressione per le funzioni  $f$  ed  $h$

$$f(x, u) := \dots$$

$$h(x, u) := \dots$$

Una volta calcolate  $f$  ed  $h$  esprimiamo (1) nella seguente forma di stato

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dots \end{bmatrix} = \dots \quad (3a)$$

$$y = \dots \quad (3b)$$

Per trovare la coppia di equilibrio  $(x_e, u_e)$  di (3), andiamo a risolvere il seguente sistema di equazioni

$$\dots, \quad (4)$$

dal quale otteniamo

$$x_e := \dots, \quad u_e = \dots \quad (5)$$

Definiamo le variabili alle variazioni  $\delta x$ ,  $\delta u$  e  $\delta y$  come

$$\delta x = \dots, \quad \delta u = \dots, \quad \delta y = \dots$$

L'evoluzione del sistema espressa nelle variabili alle variazioni può essere approssimativamente descritta mediante il seguente sistema lineare

$$\delta \dot{x} = A\delta x + B\delta u \quad (6a)$$

$$\delta y = C\delta x + D\delta u, \quad (6b)$$

dove le matrici  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$  vengono calcolate come

$$A = \begin{bmatrix} -(\frac{h_RA_R}{m_R C_R} + \frac{1}{m_R C_R} \frac{u_e \kappa}{(1 + \kappa x_{1e})^2}) & \frac{h_RA_R}{m_R C_R} \\ \frac{h_RA_R}{m_A C_A} & -\frac{h_RA_R}{m_A C_A} - \frac{\dot{m}_A}{m_A} \end{bmatrix} \quad (7a)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{(m_R C_R)(1 + \kappa x_{1e})} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7b)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7c)$$

$$D = 0. \quad (7d)$$

## 2 Calcolo Funzione di Trasferimento

In questa sezione, andiamo a calcolare la funzione di trasferimento  $G(s)$  dall'ingresso  $\delta u$  all'uscita  $\delta y$  mediante la seguente formula

$$G(s) = \dots = \dots \quad (8)$$

Dunque il sistema linearizzato (6) è caratterizzato dalla funzione di trasferimento (8) con ... poli  $p_1 = \dots, \dots$  e ... zeri  $z_i = \dots$ . In Figura ... mostriamo il corrispondente diagramma di Bode.

...

Inoltre, ...

...

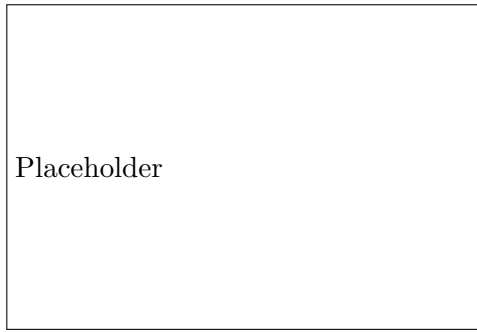


Figura 1: Caption.

### 3 Mappatura specifiche del regolatore

Le specifiche da soddisfare sono

- 1) ...
- 2) ...  
....
- 6) ....

Andiamo ad effettuare la mappatura punto per punto le specifiche richieste. ...

Pertanto, in Figura ..., mostriamo il diagramma di Bode della funzione di trasferimento  $G(s)$  con le zone proibite emerse dalla mappatura delle specifiche.

...

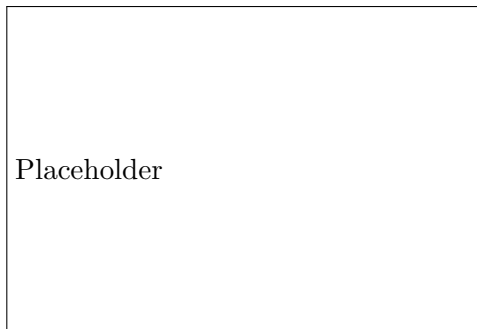


Figura 2: Caption.

...

Si può notare che ...

...

### 4 Sintesi del regolatore statico

In questa sezione progettiamo il regolatore statico  $R_s(s)$  partendo dalle analisi fatte in sezione 3.

...

Dunque, definiamo la funzione estesa  $G_e(s) = R_s(s)G(s)$  e, in Figura ..., mostriamo il suo diagramma di Bode per verificare se e quali zone proibite vengono attraversate.

...

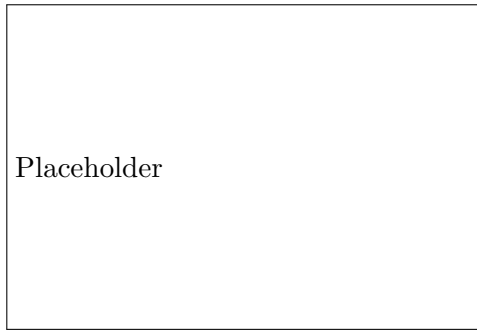


Figura 3: Caption.

...  
Da Figura ..., emerge ...

...  
Inoltre, possiamo notare che ...  
...  
...  
...

## 5 Sintesi del regolatore dinamico

In questa sezione, progettiamo il regolatore dinamico  $R_d(s)$ . Dalle analisi fatte in Sezione 4, notiamo di essere nello Scenario di tipo .... Dunque, progettiamo  $R_d(s)$  ricorrendo a ...

In Figura ..., mostriamo il diagramma di Bode della funzione d'anello  $L(s) = R_d(s)G_e(s)$

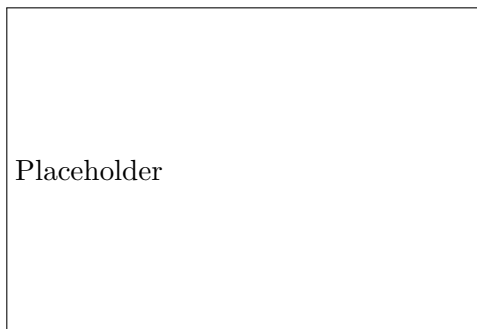


Figura 4: Caption.

...  
Possiamo notare che ...  
...  
...  
...

## 6 Test sul sistema linearizzato

In questa sezione, testiamo l'efficacia del controllore progettato sul sistema linearizzato con ...

In Figura ..., mostriamo lo schema a blocchi del sistema in anello chiuso. ...

...

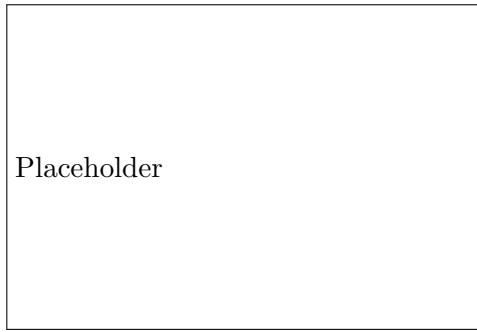


Figura 5: Caption.

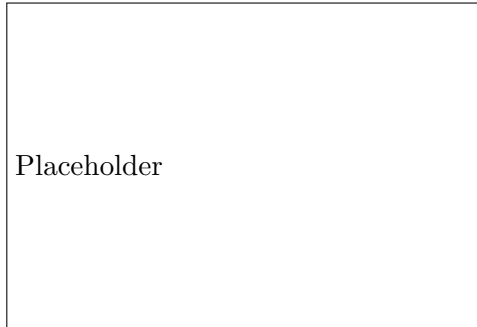


Figura 6: Caption.

Di seguito è riportato ...in merito alla risposta del sistema a fronte di un ingresso ...  
...Si nota che ...

...

Inoltre possiamo notare dalle seguenti figure ...che i disturbi ...

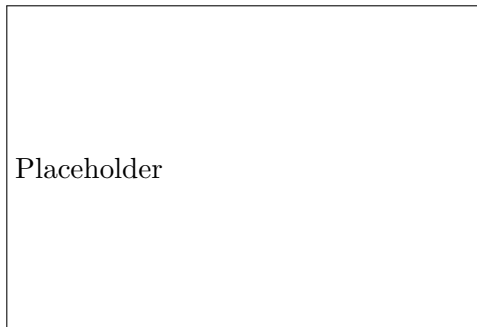


Figura 7: Caption.

In seguito, ...

...

...

...

## 7 Test sul sistema non lineare

In questa sezione, testiamo l'efficacia del controllore progettato sul modello non lineare con ...

In Figura ..., mostriamo lo schema a blocchi del sistema in anello chiuso. ...

...

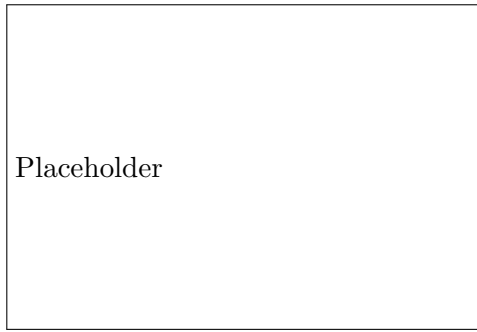


Figura 8: Caption.

Di seguito è riportato ...in merito alla risposta del sistema a fronte di un ingresso ...

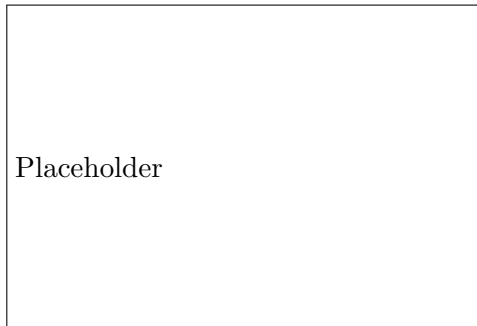


Figura 9: Caption.

...Si nota che ...

...

Rispetto alle simulazioni riguardanti il sistema linearizzato emerge ...

...

Inoltre, è possibile osservare ...

...

...

...

## 8 Punti opzionali

### 8.1 Primo punto

...

### 8.2 Secondo punto

...

### 8.3 Terzo punto

...

# 9 Conclusioni

...