



Sebastiano Goddi (sebago)

ESAMI DI STATO - 2013: SECONDA PROVA DI SISTEMI PER TIE

4 July 2013

Il testo

Questo è il testo della seconda prova d'esame di Sistemi per i tecnici di industrie elettriche

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE

Tema di: SISTEMI – AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE
(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i progetti sperimentali assistiti)

Si desidera automatizzare le operazioni del processo di stagionatura del prosciutto relative alla fase di raffreddamento. All'avvio del ciclo, tramite un pulsante PM, si apre la porta della cella frigorifera e vengono immessi N prosciutti; a questo punto la porta si richiude. I prosciutti rimangono un tempo T1 nella cella per raggiungere la temperatura adeguata per la loro lavorazione. Infatti, dopo un tempo T1, la cella si deve riaprire per estrarre i prosciutti. Nel caso in cui la temperatura all'interno della cella aumentasse e raggiungesse il valore T0, il sistema deve, per un tempo T2, attivare un dispositivo di raffreddamento.

Il sistema di controllo ad anello chiuso della temperatura all'interno della cella il cui modello matematico è $G_c(s) = \frac{3,2}{(1 + 2,5s)}$ comprende:

- un sistema di comando la cui funzione di trasferimento è $G_{com}(s) = 2,5 \frac{(1 + 0,25s)}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-4}s)}$;
- un regolatore proporzionale con $K_P = 1,6$;
- un trasduttore che presenta un coefficiente di temperatura pari a 25 mV/°C e un polo $p = 4 \cdot 10^4$ rad/s;
- un circuito di condizionamento, considerato sistema pronto.

Il candidato, fatte eventuali ipotesi aggiuntive,

- descriva il sistema di controllo, rappresentandolo tramite uno schema a blocchi; ne calcoli la funzione di trasferimento, dopo aver dimensionato il circuito di condizionamento, sapendo che alla temperatura desiderata di 4°C la tensione di riferimento vale $V_R = 5V$;
- analizzi la stabilità del sistema;
- modifichi il valore della costante K_P del regolatore in modo da avere un margine di fase di 45°;
- determini gli effetti dovuti al cambiamento del valore di K_P sulla variazione della temperatura nell'anello chiuso sapendo che ad anello aperto tale variazione è pari al 15%.

Infine il candidato - fatte eventuali ipotesi aggiuntive, scelti di conseguenza i dispositivi necessari - descriva una possibile configurazione dell'automatismo e illustri una soluzione usando un linguaggio a sua scelta.

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.

È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

Svolgimento

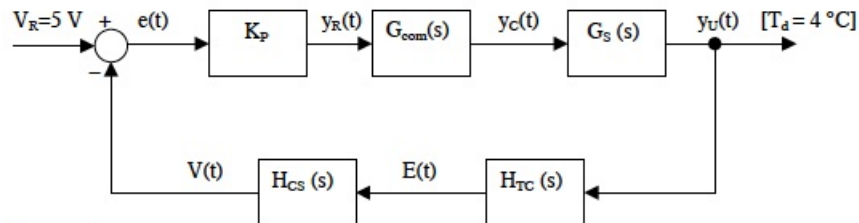
Ecco un possibile svolgimento , che ho portato a termini un po' in fretta (e di notte) per un amico commissario interno.

Ho notato che sul forum l'utente mapi, nella sezione "automazione industriale e azionamenti" è intervenuta con un [post apposito](#) e mi sarebbe piaciuto fare un articolo. In quel thread magari può essere continuata la discussione su quanto da me proposto. Non l'ho scritto utilizzando l'editor wiki ed occorrebbe adattarlo. Per il momento lo pubblico fotocopiando le pagine del file pdf.

ESAME DI STATO 2013 – MATURITA' PROFESSIONALE
TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE
SISTEMI, AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

Soluzione:

a) lo schema a blocchi può essere rappresentato nel modo seguente:



dove risultano:

- K_P : funzione di trasferimento del regolatore ad azione proporzionale
- $G_{oom}(s)$: funzione di trasferimento del blocco di comando
- $G_S(s)$: funzione di trasferimento della cella
- $H_{TC}(s)$: funzione di trasferimento del traduttore di temperatura (termocoppia)
- $H_{CS}(s)$: funzione di trasferimento del circuito di condizionamento (sistema pronto)
- $e(t)$: segnale di errore
- $y_R(t)$: segnale regolante
- $y_C(t)$: segnale di comando
- $y_U(t)$: grandezza di uscita da regolare (temperatura)
- $E(t)$: segnale di uscita dalla termocoppia
- $V(t)$: segnale in uscita dal circuito di condizionamento
- V_R : segnale di riferimento (set-point)

descrizione: nel caso in cui la grandezza di uscita (temperatura desiderata) fosse diversa da 4 °C, il ramo di reazione [insieme di $H_{TC}(s)$ e $H_{CS}(s)$] porterebbe ad avere in uscita un segnale diverso dal valore di riferimento (set-point) di 5 V; pertanto, in uscita dal comparatore il segnale di errore $e(t)$ sarebbe diverso da zero e di conseguenza lo sarebbe anche il segnale regolante e così via fino alla grandezza di uscita che sarebbe indotta a riassumere il valore desiderato. Tuttavia, siccome il sistema è regolato da un regolatore proporzionale non si potrà evitare, come descritto successivamente, di avere un errore a regime costante (off-set).

b) le funzioni di trasferimento dei singoli blocchi risultano:

- regolatore: $K_P = 1,6$
- blocco di comando: $G_{oom}(s) = 2,5 \frac{1+0,25s}{1+2,5 \cdot 10^{-4}s}$
- cella: $G_S(s) = \frac{3,2}{1+2,5 \cdot s}$
- termocoppia: per il trasduttore di temperatura (che si ipotizza sia una termocoppia ma con l'uscita opportunamente già amplificata) i dati del testo sono:
 - coefficiente di temperatura: $K = 25 \text{ mV/}^\circ\text{C}$
 - polo: $p = 4 \cdot 10^4 \text{ rad/s}$

quest'ultimo dato risulta ambiguo se non proprio erroneo in quanto, se il valore fosse effettivamente "del polo", allora bisognerebbe dedurre che la termocoppia è un sistema instabile (avrebbe infatti un polo a parte reale positiva), il che renderebbe probabilmente instabile tutto il sistema di regolazione. La questione, ovviamente, va oltre ogni buon senso (e anche fuori dalla realtà delle cose). Più probabilmente l'estensore del testo ha inteso (maldestramente) indicare il valore della pulsazione di taglio ω_T (vedi infatti l'unità di misura), dalla quale si può ricavare il valore della costante di tempo τ , supponendo per la funzione di trasferimento della termocoppia una forma standard di sistema del primo ordine:

$$H_{TC}(s) = \frac{K}{1+s\tau}$$

ed essendo $\omega_T = \frac{1}{\tau} = 4 \cdot 10^4$ rad/s si ricava che $\tau = \frac{1}{4 \cdot 10^4} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

Sorge il sospetto che il dato abbia una funzione perlopiù "matematica", visto che la nostra termocoppia avrebbe una costante di tempo di appena 25 microsecondi, il che vorrebbe dire che la sua uscita va A REGIME in circa 100 MICROSECONDI, che appare un tempo incredibilmente breve rispetto ai valori usuali dei fenomeni termici.

Ad ogni modo, sotto queste ipotesi correttive, la funzione di trasferimento della termocoppia è:

$$H_{TC}(s) = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1+s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}} \quad (\text{che ha un polo } p = -4 \cdot 10^4, \text{ negativo e dunque stabile})$$

- ▷ circuito di condizionamento (detto anche condizionatore di segnale) $H_{CS}(s)$ è un sistema pronto (dicitura un po' insolita per indicare che non ha zeri né poli), la sua funzione è quella di portare il segnale di uscita del trasduttore di temperatura-termocoppia, generalmente piccolo, al valore di set-point V_R . Per ricavare il valore si ipotizzano condizioni a regime (transitorio esaurito) e pertanto si fa riferimento ai guadagni statici:

Posto $y_U = T_d = 4 \text{ }^\circ\text{C}$, l'uscita del trasduttore a regime varrebbe
 $E = 25 \cdot 10^{-3} \text{ V}/^\circ\text{C} \cdot 4 \text{ }^\circ\text{C} = 0,1 \text{ V}$
 e dovendosi avere $V(t) = V_R = 5 \text{ V}$, risulta:

$$H_{CS}(s) = \frac{5}{0,1} = 50$$

- c) la funzione di trasferimento complessiva del sistema risulta:

$$\begin{aligned} W(s) &= \frac{R_P \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s)}{1 + R_P \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s) \cdot H_{TC}(s) \cdot H_{CS}(s)} = \\ &= \frac{1,6 \cdot 2,5 \frac{1+0,25s}{1+2,5 \cdot 10^{-4}s} \cdot \frac{3,2}{1+2,5s}}{1 + 1,6 \cdot 2,5 \frac{1+0,25s}{1+2,5 \cdot 10^{-4}s} \cdot \frac{3,2}{1+2,5s} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1+s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}} \cdot 50} = \\ &= \frac{12,8(1+0,25s)}{(1+2,5 \cdot 10^{-4}s)(1+2,5s)} \quad (\text{non è utile una ulteriore elaborazione}) \\ &= \frac{16(1+0,25s)}{1 + (1+2,5 \cdot 10^{-4}s)(1+2,5s)(1+0,25 \cdot 10^{-4}s)} \end{aligned}$$

nella quale si individua la funzione di anello $G_A(s)$ (detta anche "di anello aperto"):

$$G_A(s) = R_p \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s) \cdot H_{TC}(s) \cdot H_{CS}(s) = \frac{16(1+0,25s)}{(1+2,5 \cdot 10^{-4}s)(1+2,5s)(1+0,25 \cdot 10^{-4}s)}$$

- d) per tracciare il diagramma semplificato di Bode della funzione di trasferimento di anello (al fine di valutare la stabilità del sistema), ponendo $s = j\omega$, è utile individuare le funzioni elementari di cui essa è costituita:

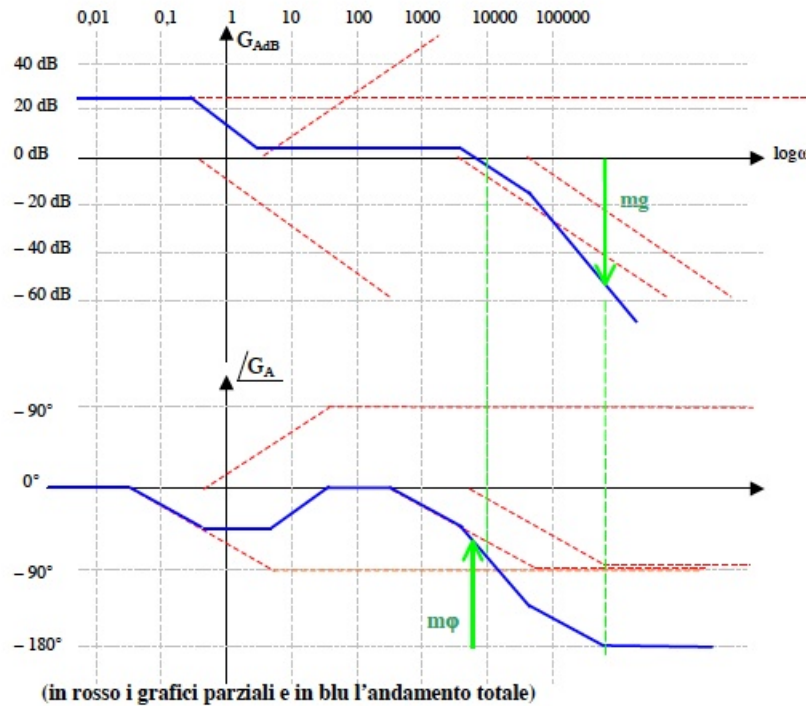
$G_1 = 16$ (costante in modulo e a fase zero); valore in dB: $G_{1dB} = 20 \cdot \log(16) = 24 \text{ dB}$

$G_2 = 1 + j\omega \cdot 0,25$ tipo "spezzata a salire" con pendenza $+20 \text{ dB/dec}$
pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0,25} = 4 \text{ rad/s}$

$G_3 = 1 + j\omega \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}$ tipo "spezzata a scendere" con pendenza -20 dB/dec
pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 4000 \text{ rad/s}$

$G_4 = 1 + j\omega \cdot 2,5$ tipo "spezzata a scendere" con pendenza -20 dB/dec
pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ rad/s}$

$G_5 = 1 + j\omega \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}$ tipo "spezzata a scendere" con pendenza -20 dB/dec
pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0,25 \cdot 10^{-4}} = 40000 \text{ rad/s}$



e) per quanto riguarda la stabilità:

si può osservare che il diagramma dei moduli attraversa l'asse delle ascisse (vicino alla pulsazione di cross-over di circa 6000 rad/s) con una pendenza di -20 dB/dec e dunque, per il **criterio ristretto** di Bode, il sistema è sicuramente stabile; correlando tale diagramma con quello della fase, si ricavano infatti un margine di guadagno m_g di 56 dB e un margine di fase m_ϕ di circa 120° , largamente superiori ai limiti minimi di 20 dB e $30-45^\circ$.

f) la modifica del valore di K_p non influisce sul diagramma delle fasi mentre modifica il diagramma dei moduli. In particolare, aumentando il valore di K_p , il diagramma dei moduli viene innalzato parallelamente all'asse delle ascisse. Al fine di avere un margine di fase di 45° si dovrebbe portare la pulsazione di cross-over dall'attuale 6000 rad/s al valore di 40000 rad/s, ovvero il diagramma dei moduli dovrebbe essere innalzato di 16 dB.

Ciò significa che il valore di K_p dovrebbe essere moltiplicato per un fattore 6,3 passando al valore di 10,08 in luogo degli originari 1,6.

Ciò non solo non pregiudica la stabilità del sistema ma avrebbe effetti positivi anche sul valore dell'errore relativo a regime che – essendo la funzione di anello di tipo 0, poiché non presenta poli all'origine – si può valutare tramite l'espressione

$$e = \frac{1}{1 + K_B}$$

ove K_B è il guadagno statico della funzione di anello.

In assenza di modifiche sul valore di $K_p=1,6$, il valore di K_B sarebbe 16 e dunque si otterrebbe:

$$e = \frac{1}{1 + 16} = 0,0588 = 5,9\%$$

Ponendo invece il nuovo valore di $K_p = 10,08$ il valore di K_B risulterebbe pari a 100,8 e dunque

$$e = \frac{1}{1 + K_B} = \frac{1}{1 + 100,8} = 0,0098 = 1 \%$$

Tuttavia un aumento di K_p comporta per il regolatore una diminuzione della Banda Proporzionale e, in definitiva, un peggioramento delle sue prestazioni che lo faranno assomigliare sempre più ad un regolatore di tipo ON-OFF.

E siccome è l'una di notte non aggiungo altro.

Adiosu.
sebago

Download

Per una migliore lettura potete scaricare il [PDF originale](#) .

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Admin:esami-di-stato-2013>"