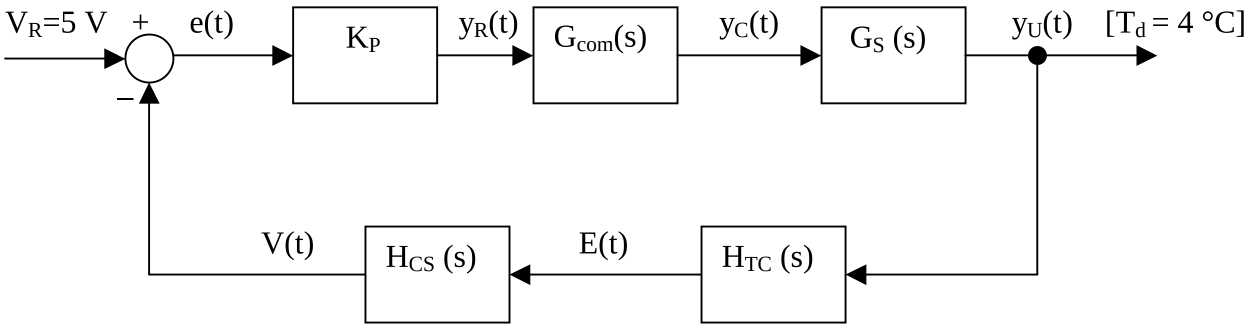
ESAME DI STATO 2013 – MATURITA' PROFESSIONALE
TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE
SISTEMI, AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

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_{com} (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:** $G_{com}(s) = 2{,}5 \dfrac{1+0{,}25s}{1+2{,}5\cdot 10^{-4}\,s}$
- **cella:** $G_S(s) = \dfrac{3{,}2}{1+2{,}5\cdot s}$

- **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 mV/°C
  - polo: p = **$4\cdot 10^4$** rad/s

quest'ultimo dato risulta ambiguo se non proprio erroneo in quanto, se il valore fosse effettivamente **<u>"del polo"</u>**, 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 $\boldsymbol{\tau}$, supponendo per la funzione di trasferimento della termocoppia una forma standard di sistema del primo ordine:

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

ed essendo $\omega_T = \dfrac{1}{\tau} = 4\cdot 10^4$ rad/s si ricava che $\tau = \dfrac{1}{4\cdot 10^4} = 0{,}25\cdot 10^{-4}$ s $= 25\cdot 10^{-6}$ 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 **<u>incredibilmente</u>** breve rispetto ai valori usuali dei fenomeni termici.

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

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

- **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 $y_U = T_d = 4$ °C , l'uscita del trasduttore a regime varrebbe
  $$E = 25\cdot 10^{-3}\ \text{V/°C} \cdot 4\ \text{°C} = 0{,}1\ \text{V}$$
  e dovendosi avere $V(t) = V_R = 5$ V, risulta:
  $$\mathbf{H_{CS}(s) = \frac{5}{0{,}1} = 50}$$

c) la funzione di trasferimento complessiva del sistema risulta:

$$\mathbf{W(s) = \frac{R_P\cdot G_{com}(s)\cdot G_S(s)}{1+R_P\cdot G_{com}(s)\cdot G_S(s)\cdot H_{TC}(s)\cdot H_{CS}(s)}} =$$

$$= \frac{1{,}6\cdot 2{,}5\,\dfrac{1+0{,}25s}{1+2{,}5\cdot 10^{-4}s}\cdot\dfrac{3{,}2}{1+2{,}5\,s}}{1+1{,}6\cdot 2{,}5\,\dfrac{1+0{,}25s}{1+2{,}5\cdot 10^{-4}s}\cdot\dfrac{3{,}2}{1+2{,}5\cdot s}\cdot\dfrac{25\cdot 10^{-3}}{1+s\cdot 0{,}25\cdot 10^{-4}}\cdot 50} =$$

$$= \frac{\dfrac{12{,}8(1+0{,}25s)}{(1+2{,}5\cdot 10^{-4}s)(1+2{,}5\,s)}}{1+\dfrac{16(1+0{,}25s)}{(1+2{,}5\cdot 10^{-4}s)(1+2.5\,s)(1+0{,}25\cdot 10^{-4}\,s)}} \qquad \text{(non è utile una ulteriore elaborazione)}$$

nella quale si individua la **<u>funzione di anello</u>** $\mathbf{G_A(s)}$ (detta anche "di anello aperto"):

$$G_A(s) = R_P \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s) \cdot H_{TC}(s) \cdot H_{CS}(s) = \frac{16(1+0{,}25s)}{(1+2{,}5\cdot10^{-4}s)(1+2.5\,s)(1+0{,}25\cdot10^{-4}\,s)}$$

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: $G_{1dB} = 20\cdot\log(16) = 24$ dB

$G_2 = 1 + j\omega\cdot0{,}25$ tipo "spezzata a salire" con pendenza +20 dB/dec

pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0{,}25} = 4$ rad/s

$G_3 = 1 + j\omega\cdot2{,}5\cdot10^{-4}$ tipo "spezzata a scendere" con pendenza – 20 dB/dec

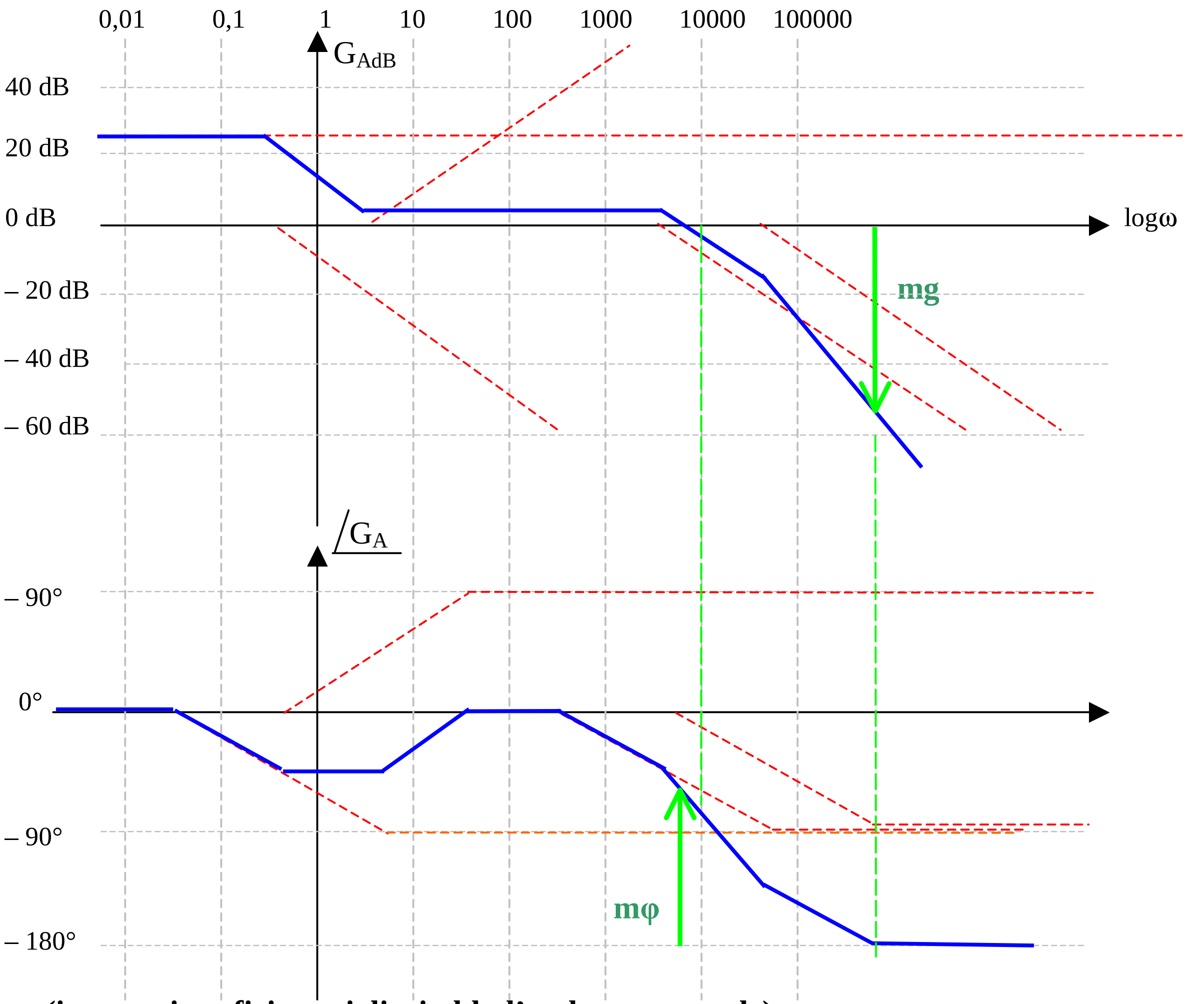
pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2{,}5\cdot10^{-4}} = 4000$ rad/s

$G_4 = 1 + j\omega\cdot2{,}5$ tipo "spezzata a scendere" con pendenza – 20 dB/dec

pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2{,}5} = 0{,}4$ rad/s

$G_5 = 1 + j\omega\cdot0{,}25\cdot10^{-4}$ tipo "spezzata a scendere" con pendenza – 20 dB/dec

pulsazione di taglio: $\omega_T = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0{,}25\cdot10^{-4}} = 40000$ rad/s



(in rosso i grafici parziali e in blu l'andamento totale)

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 mg di 56 dB e un margine di fase mφ di circa 120°, largamente superiori ai limiti minimi di 20 dB e 30-45°).

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

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

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:

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

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

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

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