

## M045 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE

CORSO DI ORDINAMENTO

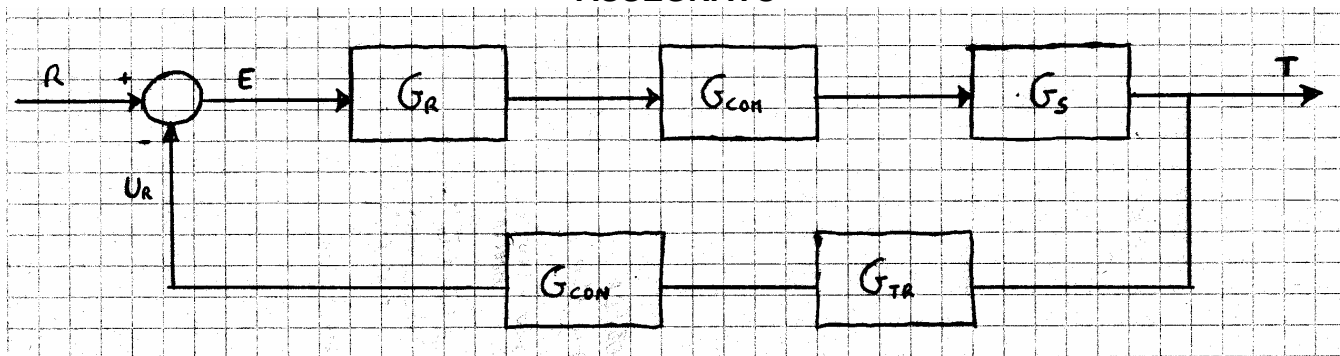
Indirizzo: TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE

Tema di: SISTEMI – AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

Sessione d'esame: 2013

Soluzione della prova  
a cura di Giuseppe Menditto

### SCHEMA A BLOCCHI DEL SISTEMA ASSEGNATO



- **R** è il segnale di riferimento (la temperatura desiderata)
- **U<sub>R</sub>** è il segnale di retroazione, comprensivo del condizionamento in uscita dal trasduttore
- **E** è il segnale di errore da cui dipende il comportamento del sistema di controllo.

Si illustrano di seguito i singoli blocchi:

- **Blocco REGOLATORE (G<sub>R</sub>):** Si tratta di un regolatore standard di tipo proporzionale la cui funzione di trasferimento fdt (assegnata) è data da:

$$G_R = K_P = 1,6$$

- **BLOCCO DI COMANDO (G<sub>com</sub>):** Si tratta del blocco che permette di comandare direttamente il sistema la cui funzione di trasferimento fdt (assegnata) è data da:

$$G_{com}(s) = \frac{2,5 \cdot (1 + 0,25s)}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-4} s)}$$

- **BLOCCO DI SISTEMA (G<sub>S</sub>):** Si tratta del sistema da controllare e la sua funzione di trasferimento fdt (assegnata) è data da:

$$G_s(s) = \frac{3,2}{(1 + 2,5s)}$$

- **BLOCCO TRASDUTTORE ( $G_T$ ):** Si tratta del sistema che permette di misurare la temperatura da controllare e la sua funzione di trasferimento fdt (assegnata) è data da:

$$G_T(s) = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{(1 + s/4 \cdot 10^4)} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-5} s)}$$

- **BLOCCO CONDIZIONATORE ( $G_{con}$ ):** Si tratta del sistema che permette condizionare il segnale in uscita dal trasduttore le cui caratteristiche vanno determinate.

Poiché si richiede  $U_R=5$  V per  $T_F=4$  °C, mentre il trasduttore produce a 4 °C una tensione  $U_T$  pari a:

$$U_T = 4 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,1 \text{ V ,}$$

se ne ricava che il blocco condizionatore dovrà presentare un guadagno  $K_{con}$  pari a:

$$K_{con} = 5/(0,1) = 50$$

In conclusione il blocco di retroazione  $H(s)$  dato dalla cascata tra il blocco trasduttore e quello condizionatore presenta una f.d.t. uguale a:

$$H(s) = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-5} s)} \cdot 50 = \frac{1,25}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-5} s)}$$

### Calcolo della fdt globale del sistema

Trattandosi di un sistema a retroazione negativa, la fdt globale si calcola con la formula:

$$G_{TOT}(s) = \frac{G_1(s)}{1 + H(s) \cdot G_1(s)}$$

dove  $G_1(s)$  è la fdt della catena di andata:

$$G_1(s) = \frac{12,8 \cdot (1 + 0,25s)}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-4} s) \cdot (1 + 2,5s)}$$

e la  $H(s)$  e la fdt globale della catena di reazione precedentemente calcolata.

## Analisi della stabilità del sistema

Per analizzare la stabilità del sistema si può convenientemente utilizzare il “criterio di Bode”; a tal fine si consideri la f.d.t. “in anello aperto ( $G_{AA}$ )” del sistema in oggetto, data da:

$$G_{AA}(s) = H(s) \cdot G_1(s) = \frac{16 \cdot (1 + 0,25s)}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-4}s) \cdot (1 + 2,5s) \cdot (1 + 2,5 \cdot 10^{-5}s)}$$

La funzione presenta uno zero per

$$\omega_{z1} = 1/0,25 = 4 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{Log } \omega_{z1} \cong 0,6$$

La funzione presenta 3 poli per

$$\omega_{p1} = 1/2,5 \cdot 10^{-4} = 4000 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{Log } \omega_{p1} \cong 3,6$$

$$\omega_{p2} = 1/2,5 = 0,4 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{Log } \omega_{p2} \cong -0,4$$

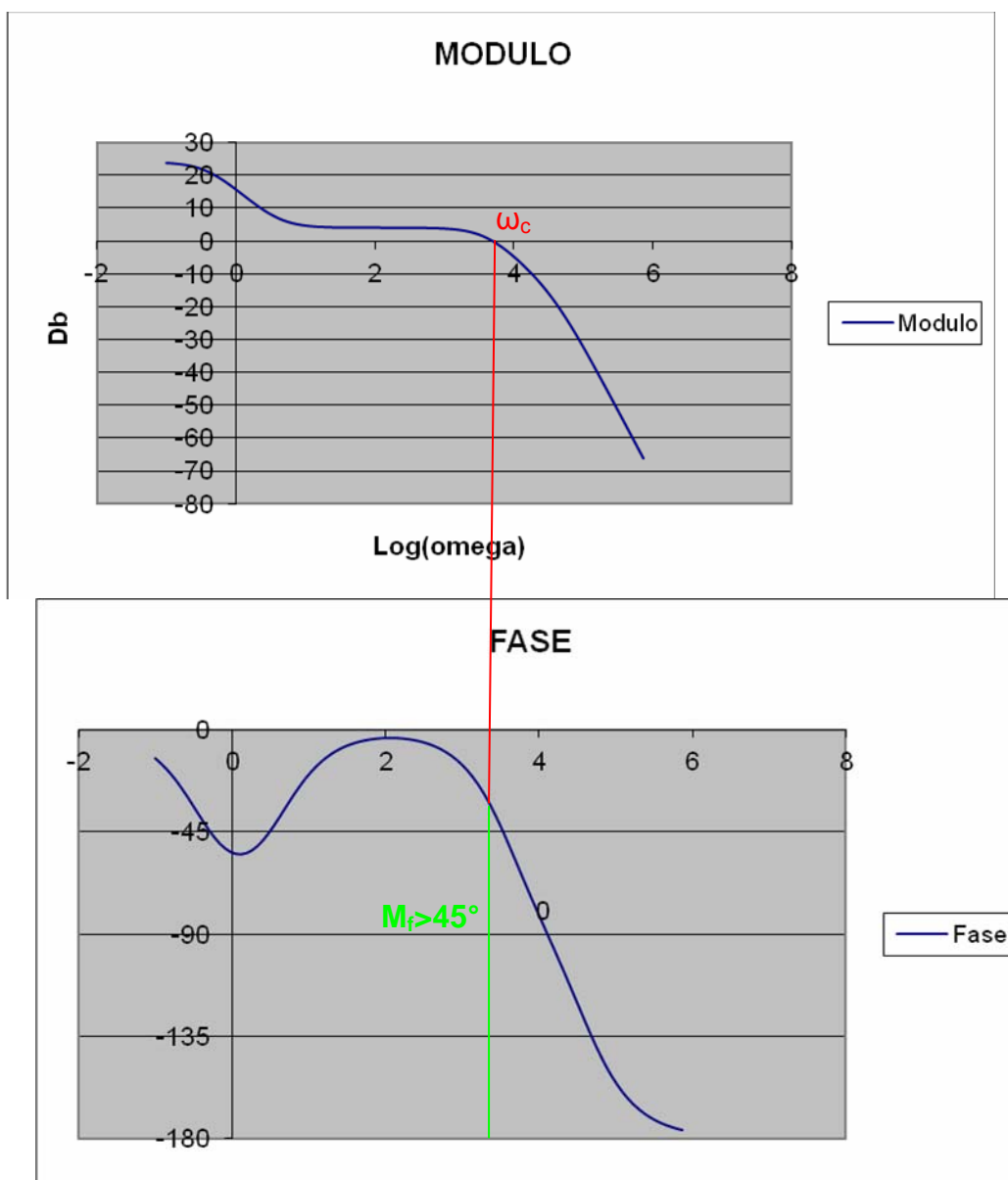
$$\omega_{p3} = 1/2,5 \cdot 10^{-5} = 40000 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{Log } \omega_{p3} \cong 4,6$$

Mentre il guadagno vale:

$$K = 16 \Rightarrow K_{dB} = 20 \text{ Log } 16 = 24 \text{ dB}$$

Di seguito sono riportati i diagrammi di Bode del modulo e della fase di  $G_{AA}$  da cui si evince che in corrispondenza della pulsazione di “cross over”, cioè la pulsazione per la quale il diagramma dei moduli vale zero, il margine di fase risulta decisamente superiore a  $45^\circ$ , in modo che può considerarsi soddisfatto il “criterio”.

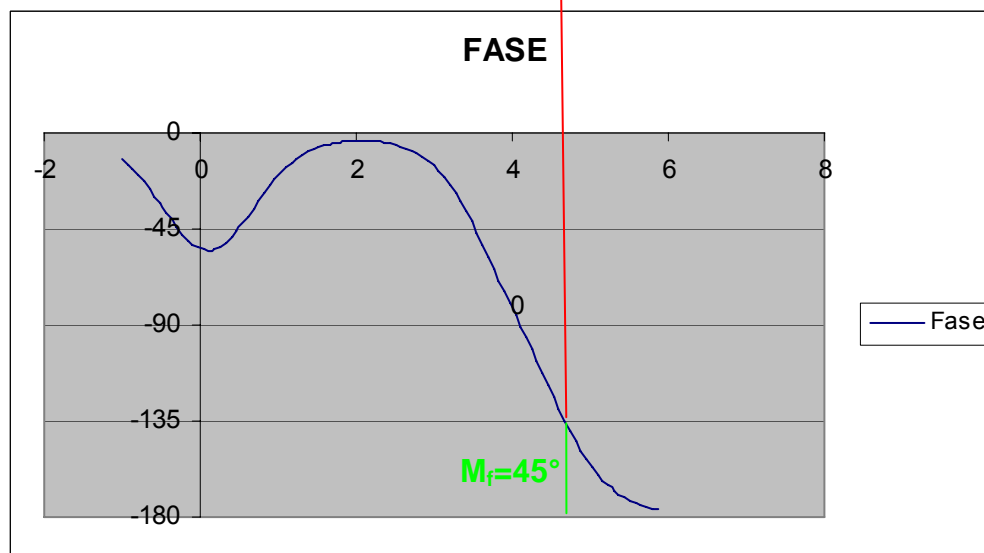
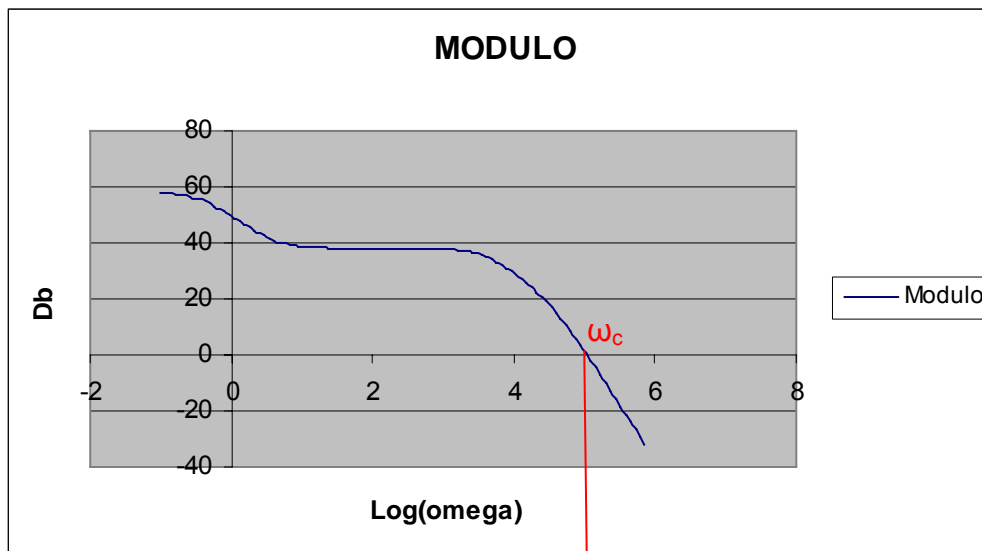
Il sistema risulta dunque fortemente stabile.



### Modifica del valore di $K_P$

La traccia richiede di portare il margine di fase  $M_f$  a  $45^\circ$  intervenendo sul  $K_P$ . Siccome abbiamo un margine di guadagno ampiamente superiore a tale valore (circa  $140^\circ$ ) e visto che per abbassare  $M_f$  agendo su  $K_P$  comporta alzare quest'ultimo, se ne deduce che per ottenere l'effetto desiderato bisogna incrementare notevolmente il  $K_P$  per portare la pulsazione di cross-over molto a destra nel diagramma.

Assegnando a  $K_P$  un valore tale per cui  $G_{AA}(0)$  è pari a circa 800 (per cui  $K_P \cong 100$ ) si ottengono i seguenti nuovi diagrammi di Bode della  $G_{AA}$



### Effetti delle modifiche del valore di $K_p$

La costante di proporzionalità  $K_p$ , per sua natura permette al controllore di agire rapidamente sul sistema sotto controllo. Più precisamente, se si aumenta  $K_p$ , diminuisce il tempo di salita (ossia aumenta la prontezza di risposta del mio sistema). In pratica, nel caso della regolazione della temperatura della cella frigorifero, se si ha un determinato set-point da inseguire con errore di controllo positivo, aumentando la costante  $K_p$  si ha un'azione più incisiva da parte del controllore e così facendo si raggiungerà più rapidamente il set-point.

Aumentando troppo  $K_p$  però si rischia di generare delle oscillazione attorno al set-point (delle sovraelongazioni). In particolare se si aumenta troppo  $K_p$ , diventa troppo incisiva l'azione del controllore e pertanto si corre il rischio che la variabile controllata del sistema (nel nostro caso la temperatura della cella) superi il set-point.

In merito ai dati assegnati, si possono fare le seguenti considerazioni sulla sensibilità del sistema:

$$G_{AA}(0) = \frac{d\% - d_r\%}{d_r\%}$$

dove

- $G_{AA}(0)$  è il guadagno a ciclo aperto del sistema con il nuovo valore di  $K_p$ , cioè 800.
- $d_r\%$  è la variazione percentuale del segnale di uscita con il controllo retroazionato.
- $d\%$  è la variazione percentuale del segnale di uscita in assenza di controllo retroazionato (15)

Sostituendo i valori, si ottiene il seguente risultato:

$$d_r\% = 0,02\%$$

Il valore ottenuto è significativamente basso ma in linea sicuramente con l'incremento dato alla  $K_p$  per ottenere il margine di fase desiderato.

## SISTEMA DI AUTOMAZIONE

La gestione del ciclo automatico avviene secondo le seguenti modalità:

- La pressione del pulsante PM avvia il ciclo e fa aprire la porta del frigorifero.
- Un contatore software C0 conta il numero N di prosciutti immessi nel frigo.
- Al raggiungimento del numero N, la porta si chiude e il temporizzatore T1 inizia a contare il tempo di lavorazione.
- Alla fine del tempo, la porta si riapre e rimane in attesa che i prosciutti lavorati vengano tirati fuori.
- Si prevede la presenza di un pulsante PS di scarico che attesta lo scarico avvenuto, azzerava il contatore, fa richiudere la porta e predispone il sistema per un nuovo ciclo.
- Se la temperatura nel frigo va al di sopra di  $T_0$ , cade un bit di controllo e parte un refrigeratore per un tempo  $T_2$ . In tal caso, con i prosciutti dentro il frigo, il tempo di lavorazione si arresta e riprende solo quando il bit di controllo ritorna a 1. Quindi riprende il ciclo normale esposto precedentemente.

Per gestire l'automazione del processo si decide di utilizzare un PLC Siemens S7-200 con 8 ingressi digitali e 8 uscite digitali.

La programmazione del PLC viene fatta in linguaggio KOP.

La lista I/O e delle risorse software è la seguente:

	Nome	Indirizzo	Commento
1	PM	I0.0	Pulsante inizio ciclo NO
2	PS	I0.1	Pulsante ciclo finito NO
3	SQ1	I0.2	Fincorsa porta aperta NO
4	SQ2	I0.3	Fincorsa porta chiusa NO
5	SQ3	I0.4	Sensore conta prosciutti NO
6	Temp_0	I0.5	Temperatura > T0
7	KM1	Q0.0	Comando apertura porta
8	KM2	Q0.1	Comando chiusura porta
9	KM3	Q0.3	Attiva refrigeratore
10	Cont	C0	Contatore prosciutti
11	Tim1	T37	Tempo lavorazione prosciutti
12	Tim2	T38	Tempo refrigerazione
13	M_Scar	M0.0	Memoria per scarico prosciutti
14			

Il codice di programma in linguaggio KOP è il seguente:

