



*Ministero dell' Istruzione, dell' Università e della Ricerca*

**M045 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE**

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

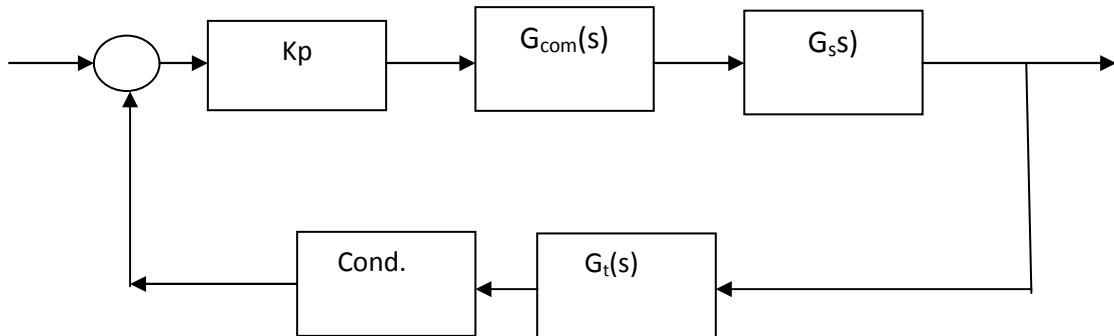
È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana.

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

## Soluzione esami di stato 2013

Sistemi automazione e organizzazione della produzione

Il sistema di controllo può essere rappresentato mediante il seguente schema a blocchi :



Dove :

$K_p = 1,6$  valore del regolatore proporzionale

$G_s(s) = \frac{3,2}{1 + 2,5 \cdot s}$  funzione di trasferimento del sistema da controllare

$G_{com}(s) = 2,5 \cdot \frac{1 + s \cdot 0,25}{1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s}$  funzione di trasferimento del sistema di comando

$G_t(s) = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,25 \cdot 10^{-4} \cdot s}$  funzione di trasferimento del trasduttore, per determinare il valore

della costante di tempo conoscendo il polo si è utilizzata la relazione :

$$\tau = \frac{1}{p} = \frac{1}{4 \cdot 10^4} = 0,25 \cdot 10^{-4}$$

Per determinare la funzione di trasferimento del circuito di condizionamento si procede nel seguente modo : poiché il trasduttore è un sistema pronto la funzione di trasferimento sarà una costante quindi senza poli o zeri, il valore a regime della temperatura deve essere  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , tale valore in ingresso al trasduttore, fornisce a regime un uscita :

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

Essendo  $V_R = 5V$ , dovendo risultare nulla l'uscita al nodo sommatore, perché la temperatura è quella desiderata, deve essere verificata la condizione :

$$0,1 \cdot cond = 5 \Rightarrow cond = \frac{5}{0,1} = 50$$

Per calcolare la funzione di trasferimento ad anello chiuso si applica la relazione :

$$\begin{aligned}
 W(s) &= \frac{G(s)}{1 + H(s) \cdot G(s)} = \frac{k_p \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s)}{1 + G_t(s) \cdot cond \cdot k_p \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s)} = \\
 &= \frac{1,6 \cdot 2,5 \cdot \frac{1 + 0,25 \cdot s}{1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s} \cdot \frac{3,2}{1 + 2,5 \cdot s}}{1 + \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1 + s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}} \cdot 50 \cdot 1,6 \cdot 2,5 \cdot \frac{1 + s \cdot 0,25 \cdot s}{1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s} \cdot \frac{3,2}{1 + 2,5 \cdot s}} = \\
 &= \frac{12,8 \cdot (1 + s \cdot 0,25) \cdot (1 + s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4})}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s) \cdot (1 + 2,5 \cdot s) \cdot (1 + s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}) + 16 \cdot (1 + s \cdot 0,25)}
 \end{aligned}$$

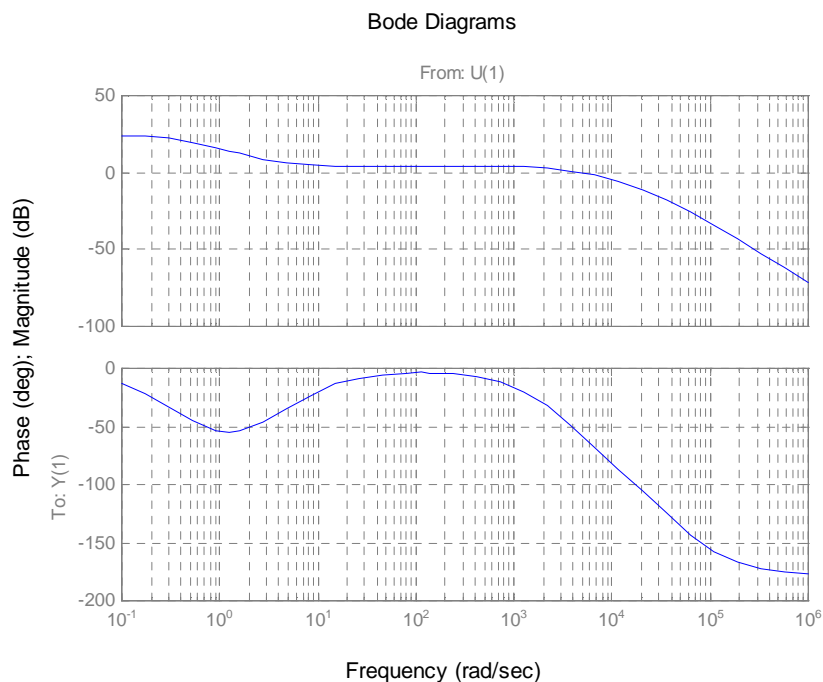
- Per analizzare la stabilità applichiamo il criterio di Bode in quanto sono verificate le condizioni di applicabilità:
  1. Non esistono poli a parte reale positiva, né un polo con molteplicità maggiore di due nell'origine
  2. Non esistono zeri a parte reale positiva cioè il sistema è a fase minima
  3. Il suo modulo non è mai crescente all'aumentare della pulsazione.

Bisogna effettuare i diagrammi di Bode della funzione di trasferimento ad anello aperto:

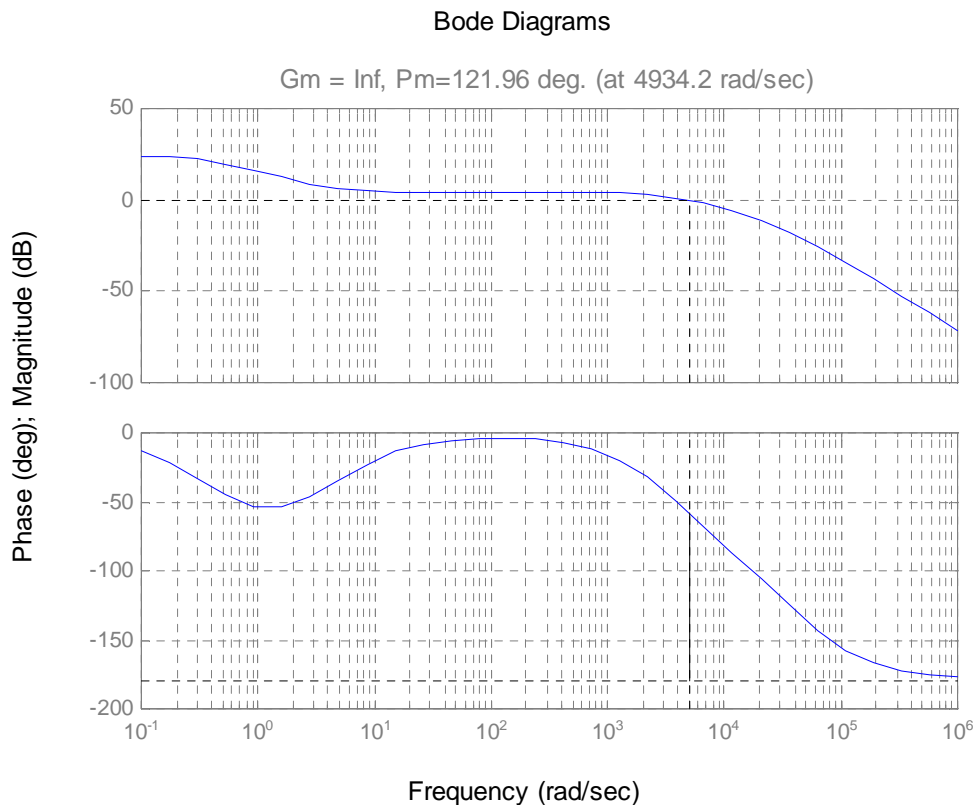
$$\begin{aligned}
 G_a &= k_p \cdot G_{com}(s) \cdot G_S(s) \cdot G_t(s) \cdot cond = 1,6 \cdot 2,5 \cdot \frac{1 + 0,25 \cdot s}{1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s} \cdot \frac{3,2}{1 + 2,5 \cdot s} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1 + s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}} \cdot 50 = \\
 &= 1,6 \cdot 2,5 \cdot \frac{1 + 0,25 \cdot s}{1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s} \cdot \frac{3,2}{1 + 2,5 \cdot s} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1 + s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4}} \cdot 50 = \frac{16 \cdot (1 + 0,25 \cdot s)}{(1 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot s) \cdot (1 + 2,5 \cdot s) \cdot (1 + s \cdot 0,25 \cdot 10^{-4})}
 \end{aligned}$$

La funzione di trasferimento ad anello aperto presenta :  $K_{bode} = 16$ , uno zero = 4 rad/s e tre poli

$$p_1 = 0,4 \text{ rad/s} \quad p_2 = 4000 \text{ rad/s} \quad p_3 = 40000 \text{ rad/s}$$



Dai diagrammi di Bode si nota che il sistema è ampiamente stabile essendo il margine di fase



pari a  $122^\circ$

Possiamo calcolare anche l'errore a regime, essendo il sistema di ordine 0 e considerando come ingresso un gradino di ampiezza 5 V si ha :

$$e = \frac{V_R}{H \cdot (1 + H \cdot k)} = \frac{5}{50 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 50 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 2,5 \cdot 3,2)} = \frac{5}{1,25 \cdot (1 + 16)} = 0,235$$

L'errore, inteso come differenza tra uscita desiderata e uscita reale è di  $0,235^\circ \text{ C}$ .

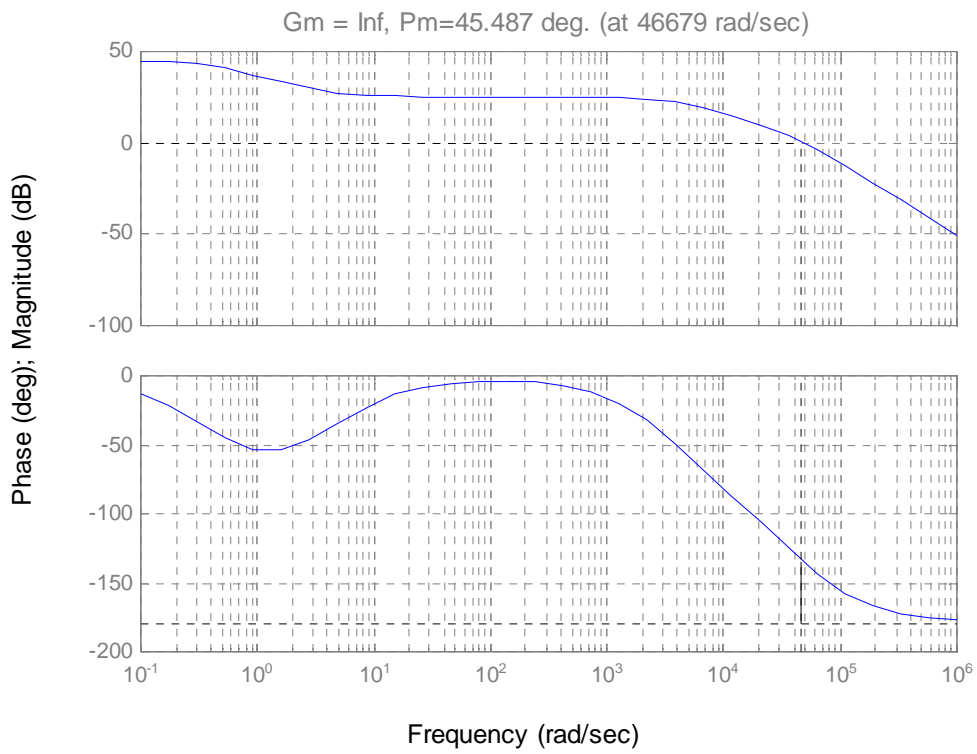
Per ottenere un margine di fase minore bisogna traslare verso l'alto il diagramma di Bode del modulo, esso ha per basse frequenze un valore pari a  $20 \cdot \log 16 = 24 \text{ dB}$ .

- Portando tale valore a circa 45 dB si nota dal grafico che il margine di fase diventa proprio  $45^\circ$ , dunque deve essere verificata la relazione :

$$20 \cdot \log k_p \cdot 3,2 \cdot 2,5 \cdot 1,25 = 45 \text{ dB}$$

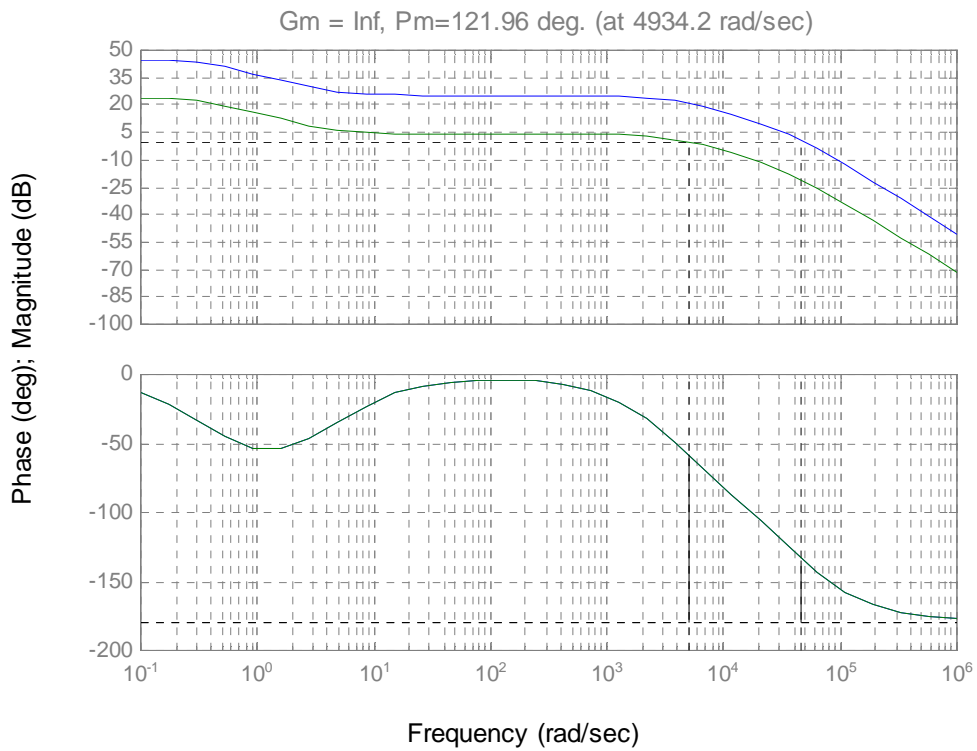
da cui si ricava  $k_p = 18$ .

### Bode Diagrams



- Possiamo confrontare le due situazioni

### Bode Diagrams

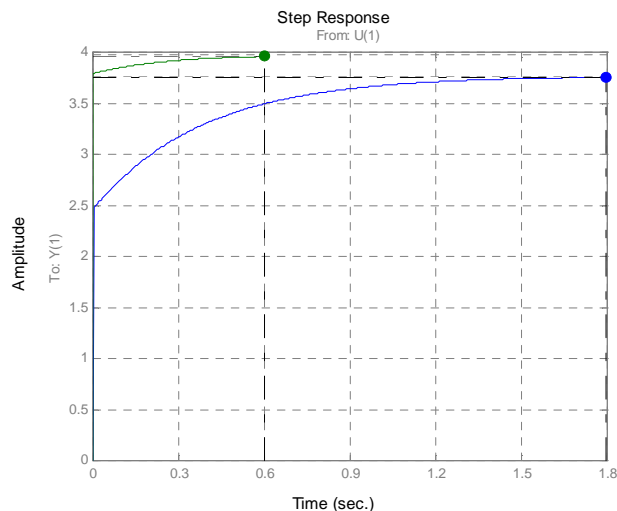


Gli effetti del nuovo valore di  $k_p$  sono :

1. Maggiore velocità del sistema, perché aumenta il valore della pulsazione di cross-over.
2. Diminuisce l'errore a regime :

$$e = \frac{V_R}{H \cdot (1 + H \cdot k)} = \frac{5}{50 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 50 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 2,5 \cdot 3,2)} = \frac{5}{1,25 \cdot (1 + 180)} = 0,022$$

Il grafico delle uscite a confronto eseguito con Matlab, conferma quanto calcolato



Un sistema di controllo ad anello chiuso, rispetto ad un sistema ad anello aperto riduce i disturbi dovuti alle variazioni parametriche. In particolare vale la relazione :

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{1}{1 + H \cdot G} \cdot \frac{\Delta G}{G}$$

cioè la VARIAZIONE RELATIVA AD ANELLO CHIUSO = VARIAZIONE RELATIVA AD ANELLO APERTO PER SENSIBILITÀ AI DISTURBI PARAMETRICI  $S = \frac{1}{1 + H \cdot G}$ .

Nel nostro caso :

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{1}{1 + H \cdot G} \cdot \frac{\Delta G}{G} = \frac{1}{1 + 180} \cdot 0,15 = 0,005525 \cdot 0,15 = 0,000829$$

Quindi la variazione relativa ad anello chiuso diventa 0,829%, mentre quella ad anello aperto era del 15%.

E' ovvio che maggiore è il valore di  $K_p$ , minore sarà il valore S della sensibilità ai disturbi parametrici.

# Bode Diagrams

Gm = Inf, Pm=45.487 deg. (at 46679 rad/sec)

