

scritta

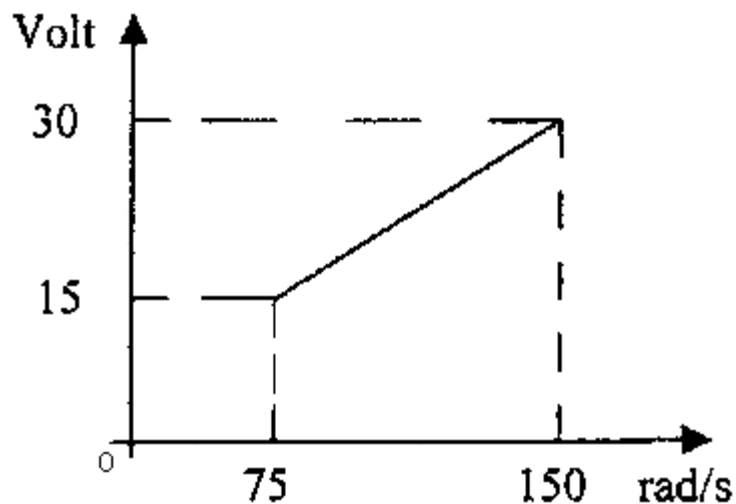
M048 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE

CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo:** TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE

**Tema di:** SISTEMI, AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

L'impianto di automatizzazione di un'azienda vinicola per il riempimento e la chiusura delle bottiglie prevede l'impiego di un nastro trasportatore per convogliare le bottiglie verso le stazioni dove vengono svolte le suindicate operazioni. Sapendo che la durata del riempimento è in funzione della capacità dei contenitori e che il sistema deve provvedere al controllo espellendo le bottiglie non correttamente riempite, il candidato -fatte eventuali ipotesi aggiuntive, scelti di conseguenza i dispositivi necessari - descriva una possibile configurazione del sistema e illustri la soluzione dell'automatismo, usando un metodo di sua conoscenza. Sapendo inoltre che: il motore in corrente continua, preposto al movimento del nastro trasportatore, è inserito in un sistema di controllo ad anello chiuso e ha le seguenti caratteristiche: costante di tempo elettrica = 0,125 ms, costante meccanica = 1,25 ms, costante di macchina = 0,04 Vs/rad; la dinamo tachimetrica presenta la seguente caratteristica:



quando il motore gira ad una velocità di 100 rad/s la tensione rilevata deve valere 5 V e il sistema di comando ha un guadagno statico pari a 1,6 e una costante di tempo di 12,5 ms,

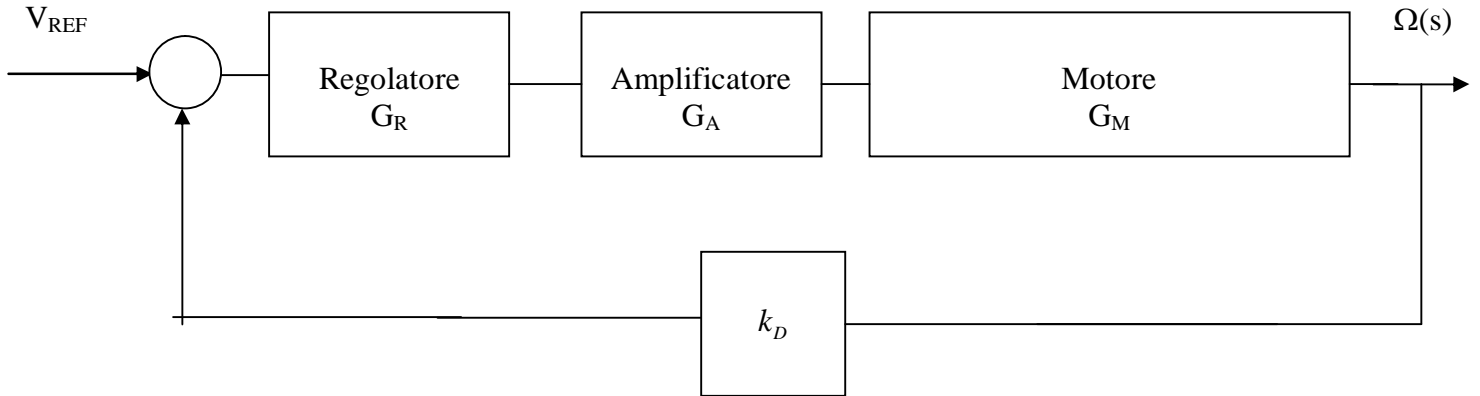
il candidato, fatte eventuali ipotesi aggiuntive:

1. descriva il sistema con uno schema a blocchi, calcolandone la funzione di trasferimento totale;
2. illustri l'utilità dell'introduzione di un regolatore proporzionale e lo dimensioni ipotizzando un opportuno margine di fase.

Durata massima della prova: 6 ore. È consentito soltanto l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici tascabili non programmabili. Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

## Soluzione PARTE SISTEMI

In figura è rappresentato lo schema a blocchi del sistema



La funzione di trasferimento del motore è:

$$G_M = \frac{\omega}{V_a} = \frac{k}{(1 + s \cdot \tau_m) \cdot (1 + s \cdot \tau_e)}$$

Dove  $k = \frac{1}{k_t} = \frac{1}{0,04} = 25 \frac{\text{rad}}{\text{s} \cdot \text{V}}$

Dalla caratteristica grafica della dinamo tachimetrica si ricava che alla velocità nominale di 100 rad/s, la tensione fornita è 20 V, quindi la costante tachimetrica è:

$$K_D = 0,2 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{rad}}$$

per rispettare la richiesta che la tensione rilevata valga  $V_e = 5 \text{ V}$  (segnale errore), occorre che

$$V_{\text{REF}} = 25 \text{ V}$$

La parte di sistema indicata come amplificatore deve avere guadagno statico  $K_A = 1,6$  e costante di tempo  $\tau_A = 12,5 \text{ ms}$  Pertanto è un sistema del primo ordine con F.d.T. :

$$G_A = \frac{k_A}{1 + s \cdot \tau_A} = \frac{1,6}{1 + 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot s}$$

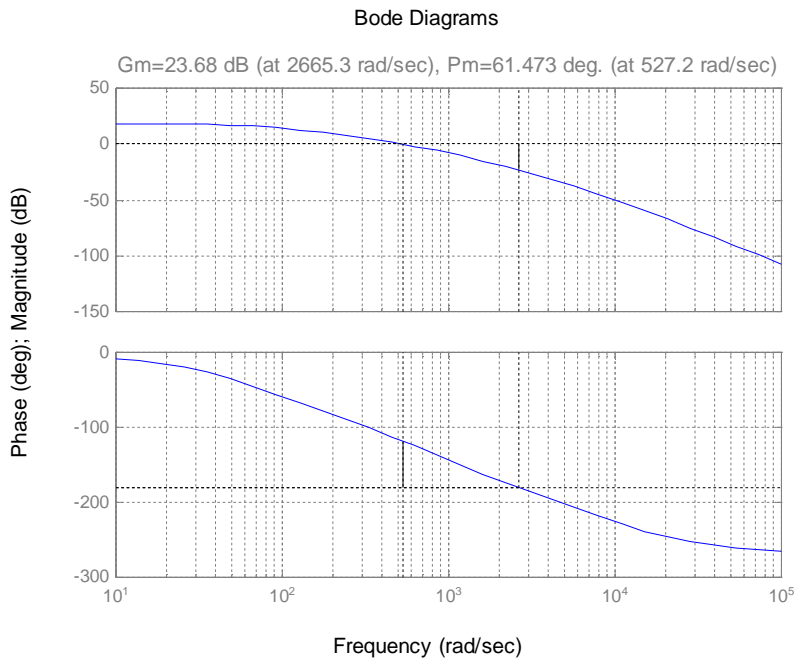
### Ipotizziamo un valore unitario del regolatore

La funzione di trasferimento ad anello aperto vale :

$$G_{AP} = G_R \cdot G_A \cdot G_M \cdot k_D = G_R \cdot \frac{25}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3})} \cdot \frac{1,6}{1 + 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot s} \cdot 0,2 =$$

$$\frac{8}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})}$$

Per valutare la stabilità tracciamo i diagrammi di Bode di tale F.d.T.

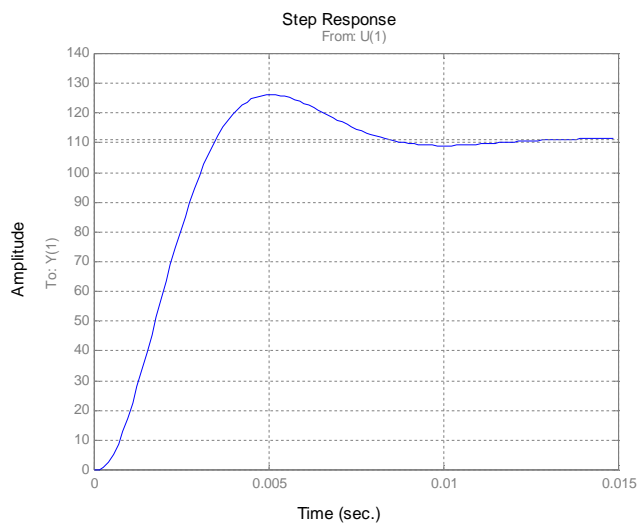


Si nota che i margini sono ampiamente positivi, il sistema è stabile in modo robusto. Il problema di tale sistema è, però, l'errore a regime che può essere valutato con la formula della tabella dell'errore, dopo aver considerato che il sistema in esame è di tipo "0", cioè non ha poli nell'origine.

$$e = \frac{25}{k_D \cdot (1 + k_D \cdot G_R \cdot 1,6 \cdot 25)} = \frac{25}{0,2 \cdot (1 + 8)} = 13,8$$

Dal sistema si evince che la velocità desiderata è 125 rad/s, infatti per tale velocità l'uscita della dinamo vale 25 V e quindi il segnale di errore in uscita al nodo è nullo.

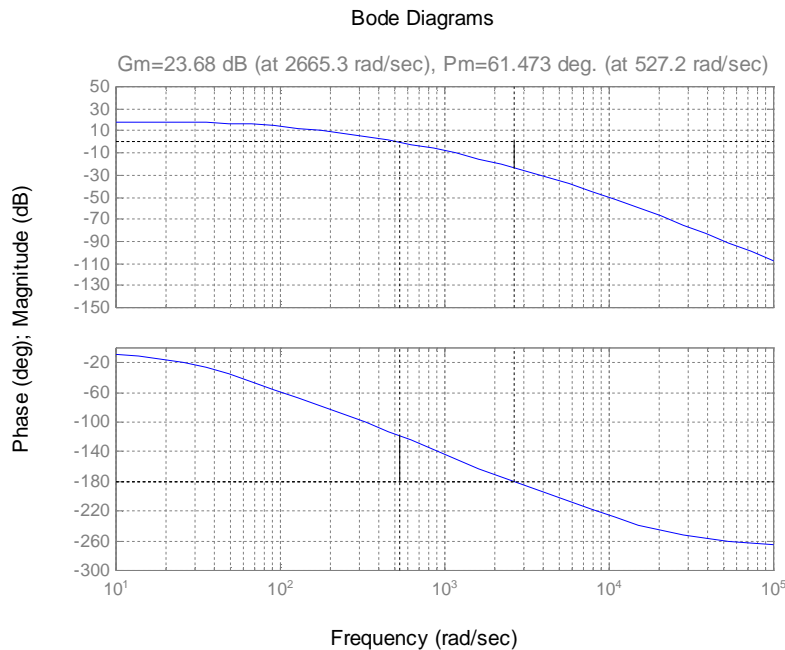
Avere un errore assoluto di 13,8 vuol dire avere un errore percentuale di circa l'11%, abbastanza elevato. Con Matlab è possibile tracciare la risposta al gradino dell'intero sistema retroazionato.



Si nota che l'errore a regime è proprio quello calcolato.

Compito del regolatore è quello di aumentare il guadagno statico in modo da far diminuire l'errore e aumentare la velocità, il rischio è ovviamente la instabilità.

Nel nostro caso il sistema è ampiamente stabile, quindi possiamo pensare di diminuire il margine di fase per ottenere una maggiore velocità del sistema e un errore a regime più piccolo senza rischiare l'instabilità. Osservando il diagramma di Bode della funzione di trasferimento ad anello aperto

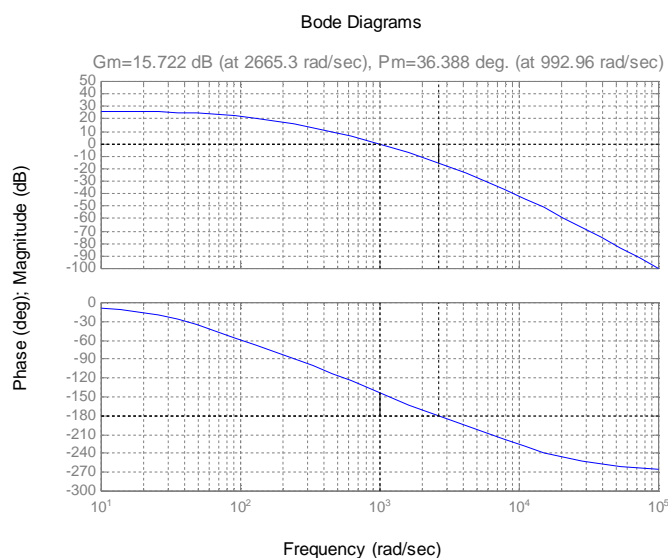


Si nota che per avere un margine di fase di circa 36° è necessario amplificare il sistema di circa 8 dB, cioè il controllore deve avere un  $K = 2,5$ .

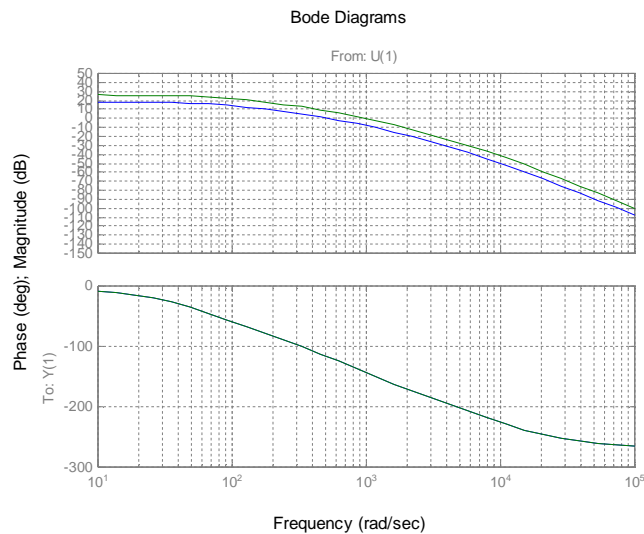
Con tale valore la F.d.T. ad anello aperto diventa:

$$G_{AP} = \frac{20}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})}$$

I nuovi margini si evincono dalla figura.



Si possono confrontare i diagrammi di Bode con e senza regolatore.



Si nota che il diagramma di Bode del modulo è traslato verso l'alto di circa 8 dB, mentre quello della fase è rimasto invariato.

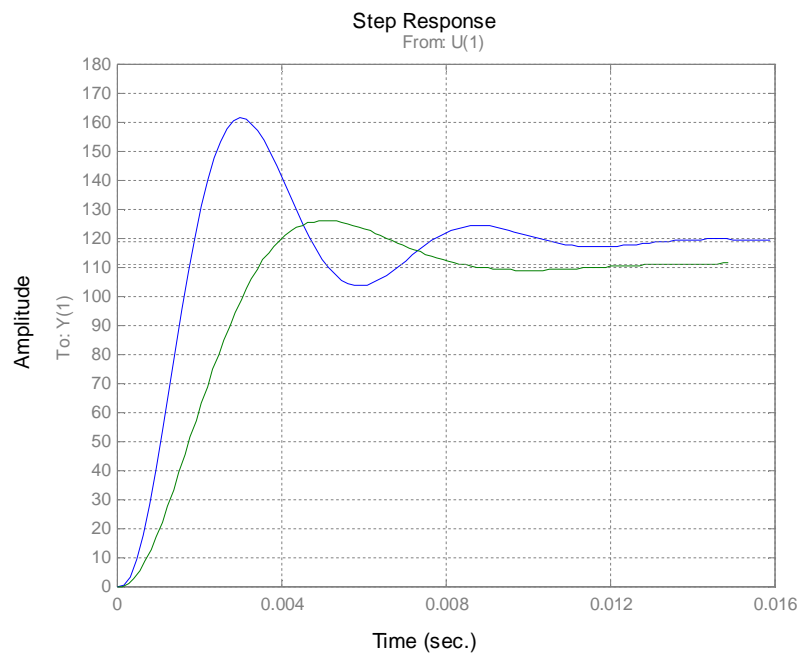
I margini sono diminuiti, ma il sistema è più veloce, essendo aumentata la pulsazione di cross-over.

L'errore è :

$$e = \frac{25}{k_D \cdot (1 + k_D \cdot G_R \cdot 1,6 \cdot 25)} = \frac{25}{0,2 \cdot (1 + 20)} = 6$$

Rispetto al caso precedente si è dunque dimezzato.

Con Matlab è possibile tracciare le risposte al gradino a confronto prima e dopo l'inserzione del regolatore



si nota come la risposta blu (con regolatore) è più veloce, a regime ha un errore ridotto della metà, presenta però una maggiore sovralongazione a causa della riduzione dei margini di stabilità.

## ***Programmazione in MATLAB***

```
EDU» s=tf('s')
```

Transfer function:

s

```
EDU» g=40/((1+s*1.25e-3)*(1+s*0.125e-3)*(1+s*12.5e-3))
```

Transfer function:

40

-----  
1.953e-009 s^3 + 1.734e-005 s^2 + 0.01388 s + 1

```
EDU» h=0.2;
```

```
EDU» gh=g*h
```

Transfer function:

8

-----  
1.953e-009 s^3 + 1.734e-005 s^2 + 0.01388 s + 1

```
EDU» margin(gh)
```

```
EDU» gr=feedback(g,h)
```

Transfer function:

40

-----  
1.953e-009 s^3 + 1.734e-005 s^2 + 0.01388 s + 9

```
EDU» step(gr)
```

```
EDU» step(25*gr)
```

```
EDU» g2=g*2.5
```

Transfer function:

100

-----  
1.953e-009 s^3 + 1.734e-005 s^2 + 0.01388 s + 1

```
EDU» gh2=g2*h
```

Transfer function:

20

-----  
1.953e-009 s^3 + 1.734e-005 s^2 + 0.01388 s + 1

```
EDU» margin(gh2)
```

```
EDU» margin(gh)
```

```
EDU» bode(gh)
```

```
EDU» hold on
```

```
EDU» bode(gh2)
```

```
EDU» gr2=feedback(g2,h)
```

Transfer function:

100

-----  
1.953e-009 s^3 + 1.734e-005 s^2 + 0.01388 s + 21

```
EDU» step(gr2)
```

```
EDU» step(gr2*25)
```

```
EDU» hold on
```

```
EDU» step(gr*25)
```