ANNO SCOLASTICO 2014-2015
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE
Indirizzo: ITEC – ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA
ARTICOLAZIONE ELETTRONICA

Tema di: SISTEMI AUTOMATICI

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

Una ditta farmaceutica, per testare gli effetti di un farmaco in studio, commissiona la progettazione di uno strumento che effettui diversi controlli di qualità del prodotto in relazione a due diversi reagenti.
Le analisi si effettuano su un campione di 10 ml del prodotto inserendo nel contenitore, in due fasi successive, due reagenti A e B mediante appositi microdosatori e rilevando la risposta alla reazione mediante due sensori caratterizzati dai parametri funzionali di seguito descritti.

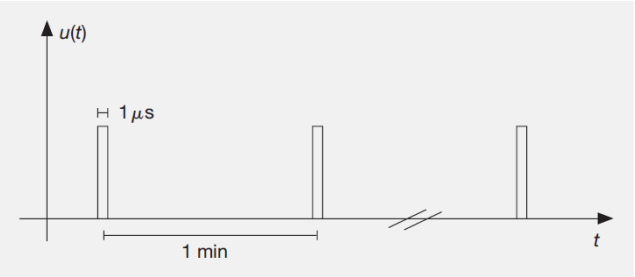
*Sensore SPH di acidità_* fornisce una uscita digitale a 4 bit corrispondente ai valori di PH compresi tra 1 e 14 riportati nella tabella seguente.

Valore in uscita (Hex)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Misura corrispondente	error	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	error

*Biosensore SC_* è in grado di rilevare concentrazioni comprese 100 µg/ml e 2000 µg/ml fornendo in uscita una corrente dipendente dalla misura di concentrazione secondo la relazione seguente:

$$I(C) = -\frac{1}{10 \cdot \ln C}$$

Il sistema si completa con:
- un pulsante di START del tipo relè ad autoritenuta con ritorno alla posizione di riposo dopo 10 secondi;
- due micro erogatori per il rilascio dei reagenti A e B in dosaggi già stabiliti che possono essere assimilati a dispositivi ON/OFF;
- un timer per la scansione dei tempi che fornisce un impulso TTL di durata 1 µs ad intervalli di 1 minuto come riportato nel grafico di figura.



Il processo da controllare viene di seguito descritto.
L'avvio è determinato dall'operatore attraverso il pulsante START che attiva il timer. Al primo impulso utile dopo l'attivazione il sistema deve consentire il rilascio del reagente A mediante l'abilitazione del corrispondente micro erogatore.
Dopo 1 min deve essere acquisito il valore presente sul sensore SPH e contestualmente deve essere consentito il rilascio del reagente B mediante abilitazione del corrispondente micro erogatore.
Trascorso un altro minuto si effettua la seconda acquisizione del valore di PH mediante il medesimo sensore SPH ed entrambi i micro erogatori vengono posti nella posizione OFF.
Dopo una attesa di altri 2 min deve essere acquisito il valore della concentrazione del principio attivo mediante il biosensore SC e il processo ha termine.
Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene più opportune, deve:

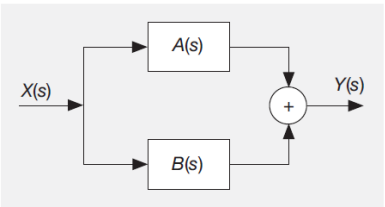
1. rappresentare lo schema a blocchi che realizzi il sistema di controllo utilizzando un dispositivo programmabile di sua conoscenza descrivendo i singoli blocchi dal punto di vista funzionale;
2. descrivere la logica di controllo che si intende utilizzare con riferimento alle specifiche tecniche dei dispositivi scelti;
3. progettare un algoritmo di gestione del processo che consenta l'attuazione delle singole fasi e la memorizzazione dei dati rilevati in apposita area di memoria nell'ipotesi che si vogliano effettuare prove su 100 campioni di prodotto.

Seconda parte

Quesito 1
In relazione allo schema sviluppato nella prima parte si progetti l'interfaccia HW tra il sensore SC e il sistema programmabile scegliendo un dispositivo di conversione A/D che garantisca un errore massimo di misura rilevata pari a 1 µg/ml; inoltre si modifichi il software di gestione in modo da calcolare, al termine del processo, il valore medio di concentrazione ottenuto nelle prove e il numero di prove in cui tale concentrazione è inferiore a 500 µg/ml.

Quesito 2
In relazione allo schema sviluppato nella prima parte si proponga una soluzione atta a rilevare il malfunzionamento del sensore SPH.
In particolare, nel caso in cui tale dispositivo fornisca in uscita i valori 0HEX oppure FHEX il sistema deve provvedere all'accensione di un led di segnalazione, i dati memorizzati fino a quel momento devono essere annullati e il processo deve essere sospeso per riprendere solo dopo il reset di sistema.

Quesito 3
Dalle prove effettuate su un sistema continuo, opportunamente sollecitato, si è ottenuto il modello rappresentato in figura.



Essendo

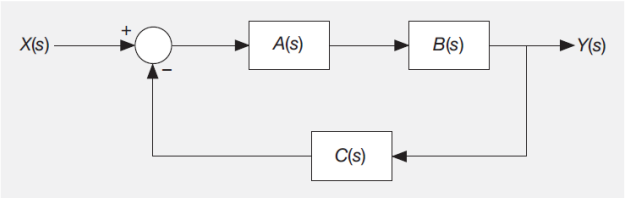
$$A(s) = \frac{5}{s+a} \qquad B(s) = \frac{1}{s+1}$$

dopo aver ricavato la funzione di trasferimento complessiva si determini il valore di a>0 per il quale la risposta a regime *y*(t) del sistema sottoposto a sollecitazione *u*(t) gradino unitario abbia valore 6.
Il candidato inoltre, sulla base delle proprie competenze in materia di controlli analogici, proponga un esempio applicativo di sistema reale cui possa corrispondere il modello dato.

Quesito 4
Per il sistema di figura siano

$$A(s) = \frac{K}{s} \qquad B(s) = \frac{1}{(s+2)^3} \qquad C(s) = \frac{1}{10}$$

con K>0.

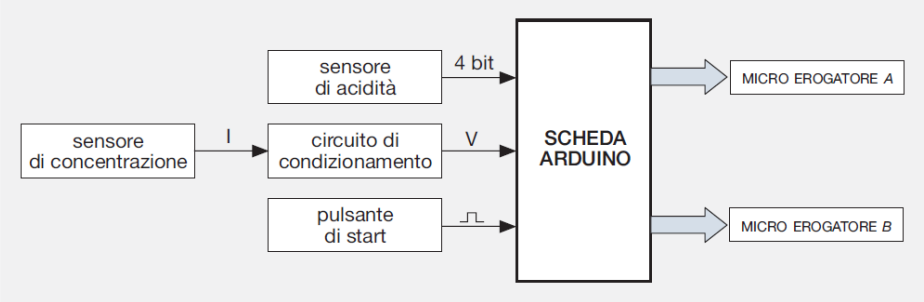


Si determini la funzione di trasferimento complessiva del sistema e si calcoli il margine di fase e di guadagno del sistema ad anello aperto nel caso in cui *K* = 50.
Per quale campo di variazione di *K* il sistema in questione risulta stabile?

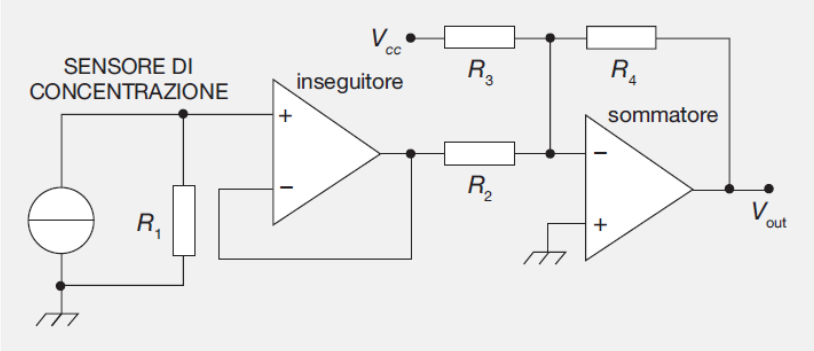
SOLUZIONE

Prima parte
Viene suddivisa in tre sottoquesiti.

Sottoquesito 1
Il sistema di controllo può essere realizzato utilizzando un dispositivo programmabile che può essere un PLC, un microcontrollore PIC o più semplicemente una scheda Arduino.
La scelta del dispositivo programmabile dipende da differenti fattori quali per esempio costo, prestazioni e semplicità d'impiego.
Per semplicità si ipotizza di impiegare una scheda Arduino.
Un possibile schema a blocchi del sistema di controllo viene riportato in figura.



Il circuito di condizionamento del sensore di concentrazione deve provvedere alla conversione I/V in quanto il dispositivo ha l'uscita in corrente mentre la scheda accetta soltanto segnali in tensione; si evidenzia anche la necessità di adattare l'uscita del convertitore I/V al range di ingresso della scheda Arduino compreso tra 0 V e 5 V.
La conversione analogico/digitale avviene all'interno della scheda provvista di un convertitore a 10 bit.
Un esempio standard di circuito di condizionamento viene proposto in figura.



Si evidenzia la presenza di un inseguitore per disaccoppiare il sensore dal circuito a valle che comprende un sommatore utilizzato per adattare il segnale.
Per dimensionare i resistori si devono prendere in considerazione i dati relativi al sensore che non ha una caratteristica lineare.
Con facili calcoli ottiene che:

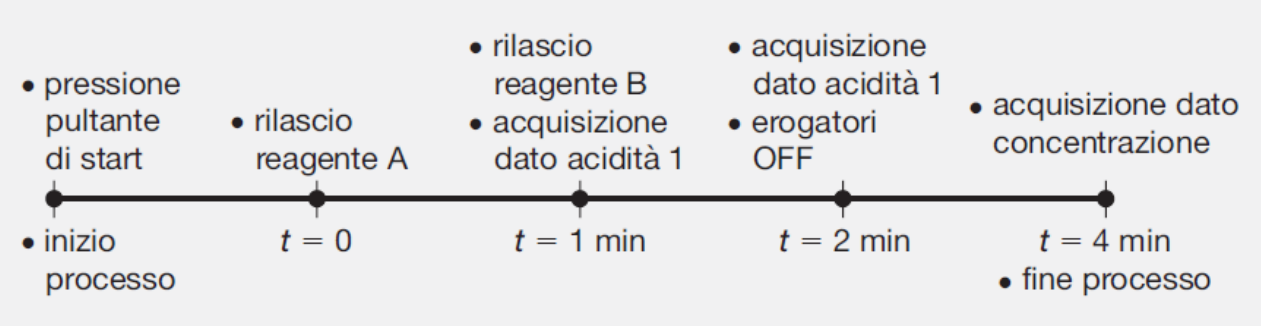
- per la concentrazione minima di 100 µg/ml si ha una corrente di intensità pari a -21,7 mA;
- per una concentrazione massima di 100 µg/ml si ha una corrente di intensità pari a -13,2 mA;
- la differenza tra le due intensità è di 8,5 mA.

Visto che il range di tensione accettato dalla scheda è di 5 V, risulta quindi:

$$R_1 = \frac{5}{8{,}5} = 588\ \Omega$$

All'uscita dell'inseguitore, che ha guadagno unitario, si hanno come tensioni corrispondenti alle concentrazioni minima e massima i valori -7,76 V e -12,76 V; il sommatore, anch'esso invertente, deve quindi operare una traslazione di 7,76 V per rientrare nel range.
Per ottenere il risultato voluto si può porre R_2=R_4=10 kΩ e V_{CC}=15 V; con facili calcoli si ha R_3 =19,33 kΩ.
Con la pressione del pulsante di start ha inizio l'attivazione delle uscite con il rilascio dei componenti da parte dei micro erogatori e la conseguente acquisizione dei dati.
Utilizzando la scheda Arduino non è necessaria la presenza di un timer esterno.
Della scheda vengono occupati cinque ingressi digitali (quattro per il sensore di acidità e uno per il pulsante di start) e uno analogico (utilizzato per il sensore di concentrazione); le due uscite occupate dai micro erogatori sono entrambe digitali.

Sottoquesito 2
La logica di controllo può essere efficacemente descritta utilizzando un diagramma temporale come quello riportato in figura; vengono messi in evidenza i diversi stadi del processo, dalla pressione del pulsante START all'acquisizione del dato di concentrazione.



Sottoquesito 3
Si consideri a disposizione una scheda Arduino Uno con i pin configurati nel modo seguente:

- pin 3_ingresso digitale pulsante;
- pin 4/5/6/7_ingressi digitali sensore acidità;
- pin A0_ingresso analogico sensore concentrazione;
- pin 8_uscita digitale micro erogatore A;
- pin 9_uscita digitale micro erogatore B.

I dati acquisiti nel corso delle singole fasi del processo vengono memorizzati ad uno ad uno in una matrice 3x100 in quanto vengono acquisiti tre dati per ognuno dei 100 campioni sui quali vengono effettuate le prove.
Utilizzando un procedimento ciclico (ad esempio impiegando opportunamente un for che fa ripetere per 100 volte il procedimento di acquisizione) si rilevano i dati relativi ai singoli campioni; in particolare per ogni fase del ciclo si effettuano le seguenti operazioni:

- si attende la pressione del pulsante;

- se il pulsante viene premuto inizia la fase di acquisizione con un ritardo prefissato attraverso un delay;
- si pone a livello alto il pin 8;
- si attende per un minuto utilizzando un ciclo di ritardo;
- si pone a livello alto il pin 9;
- si leggono gli stati dei pin 4/5/6/7;
- si memorizza nella matrice il dato digitale convertito da programma in analogico;
- si attende per un minuto utilizzando un ciclo di ritardo;
- si leggono nuovamente gli stati dei pin 4/5/6/7;
- si memorizza nella matrice il dato digitale convertito da programma in analogico;
- si pongono a livello basso i pin 8 e 9;
- si legge lo stato del pin A0;
- si memorizza nella matrice il dato analogico;
- si torna ad attendere la pressione del pulsante.

Seconda parte

Quesito 1

La prima parte del quesito richiede il rispetto delle specifiche in termini di precisione nella conversione A/D.
Ipotizzando l'impiego di Arduino si ha già a disposizione un convertitore interno a 10 bit.
Se questo non consente di rispettare le specifiche richieste in termini di precisione lo schema del circuito di condizionamento si complica in quanto si rende necessario un convertitore esterno.
La scheda deve avere in questo caso un numero di ingressi digitali sufficienti per potervi collegare le uscite del convertitore; la scheda deve inoltre fornire un comando di *start conversion* al convertitore stesso; anche il software, di conseguenza, si complica.
Viene richiesto in particolare che il dispositivo di conversione garantisca un errore massimo di misura rilevata pari a 1 µg/ml.
Se la caratteristica del sensore, adattata attraverso il circuito di condizionamento, fosse lineare il convertitore a 10 bit della scheda produrrebbe un errore di 1,76 µg/ml; in questo caso occorrerebbe un convertitore con almeno 12 bit per rispettare la specifica.
La caratteristica è evidentemente non lineare; si può verificare in questo caso che l'errore massimo si ha a fondo scala e che occorre un convertitore a 16 bit per rispettare la specifica relativa alla precisione.

La seconda parte del quesito richiede una modifica del software di gestione tale da adattarlo alle richieste; si deve nell'ordine:

- rileggere il contenuto del vettore in cui sono stati salvati i valori di concentrazione delle diverse prove utilizzando un ciclo for (con escursione da 0 a 99 e passo 1);
- ad ogni passo del ciclo for sommare i valori di concentrazione e verificare, utilizzando una struttura condizionale if, se la concentrazione risulta minore di 500 µg/ml (se verificato aumentare il valore di un contatore opportunamente predisposto);
- al termine del ciclo calcolare il valor medio dividendo per il numero delle prove la somma ottenuta.

Quesito 2

Se il sensore di acidità non funziona correttamente sulle uscite digitali da 3 a 7 si rilevano tutti 0 o tutti 1.
Pertanto il programma deve essere leggermente modificato inserendo le istruzioni di seguito riportate che fanno accendere un LED che rileva collegato al pin 2 che rileva il comportamento anomalo (si potrebbe anche introdurre il lampeggio del LED).
Alternativamente, al posto del LED, si può utilizzare un display a 7 segmenti, un display LCD o un segnalatore acustico.
Se si verifica un evento di questo tipo viene effettuato un salto a fine programma che entra in un loop infinito.
Un sottoprogramma opportunamente predisposto deve provvedere alla cancellazione dei dati.

```
if (in0 && in1 && in2 && in3==0)
goto fineprogramma;
if (in0 && in1 && in2 && in3==1)
goto fineprogramma;
.....continua programma.....
fineprogramma:
digitalWrite (2,HIGH);
.....richiamo sottoprogramma cancellazione dei dati.....
loop infinito:
.....segnalazione errore
goto loop infinito;
```

Quesito 3
La f.d.t. del sistema nel suo complesso risulta dalla relazione seguente:

$$G(s) = \frac{5}{s+a} + \frac{1}{s+1} = \frac{6s+5+a}{(s+a)(s+1)}$$

Per l'uscita del sistema si ottiene pertanto

$$Y(s) = \frac{6s+5+a}{s(s+a)(s+1)}$$

essendo 1/s la trasformata del segnale a gradino.
Per determinare il valore che l'uscita assume a regime si utilizza il teorema del valore finale; risulta:

$$y(\infty) = \lim_{s\to 0} s \cdot Y(s) = \lim_{s\to 0} s \cdot \frac{6s+5+a}{s(s+a)(s+1)} = \lim_{s\to 0} \frac{6s+5+a}{(s+a)(s+1)} = \frac{5+a}{a}$$

Poichè l'uscita a regime deve avere valore 6 risulta

$$\frac{5+a}{a} = 6$$

da cui *a*=1.
Un esempio applicativo pratico può essere un circuito sommatore realizzato con amplificatori operazionali.

Quesito 4
Per la f.d.t. del sistema ad anello chiuso risulta la seguente espressione:

$$G(s)_{ac} = \frac{A(s)B(s)}{1 + A(s)B(s)C(s)} = \frac{\frac{K}{s} \cdot \frac{1}{(s+2)^2}}{1 + \frac{1}{10} \cdot \frac{K}{s} \cdot \frac{1}{(s+2)^3}}$$

Per la f.d.t. del sistema ad anello aperto si ottiene:

$$G(s)_{aa} = A(s)B(s)C(s) = \frac{1}{10} \cdot \frac{K}{s} \cdot \frac{1}{(s+2)^3}$$

Ponendo *K*=50 risulta:

$$G(s)_{aa} = A(s)B(s)C(s) = \frac{1}{10} \cdot \frac{K}{s} \cdot \frac{1}{(s+2)^3} = \frac{1}{10} \cdot \frac{50}{s} \cdot \frac{1}{(s+2)^3} = \frac{5}{s \cdot (s+2)^3}$$

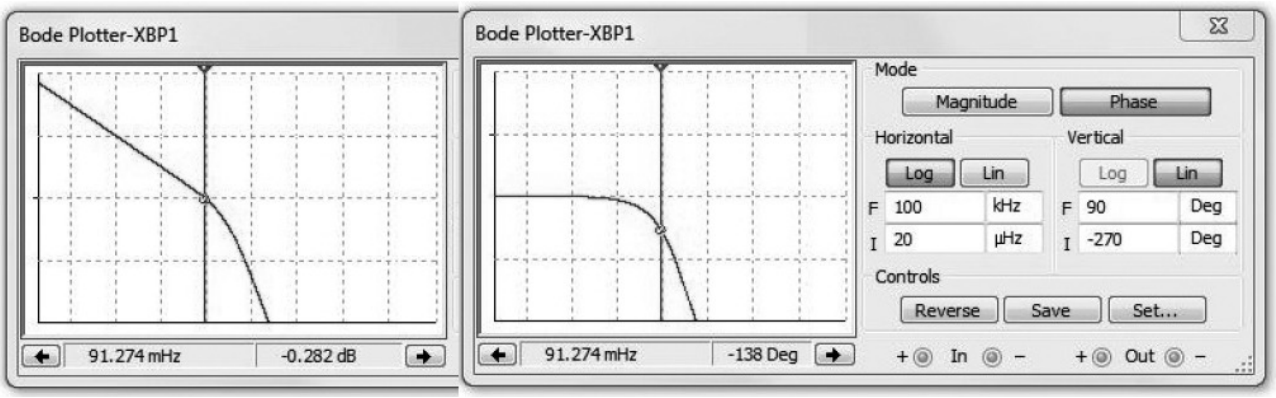
Per poter ricavare i margini di fase e di guadagno tramite software (in questo caso il programma Multisim) si devono esplicitare i coefficienti del polinomio al denominatore; si ottiene la forma seguente:

$$G(s)_{aa} = \frac{5}{s \cdot (s+2)^3} = \frac{5}{s^4 + 6\,s^3 + 12\,s^2 + 8\,s}$$

Per ottenere i diagrammi del modulo e della fase si inseriscono nel *Transfer Function Block* i seguenti coefficienti:

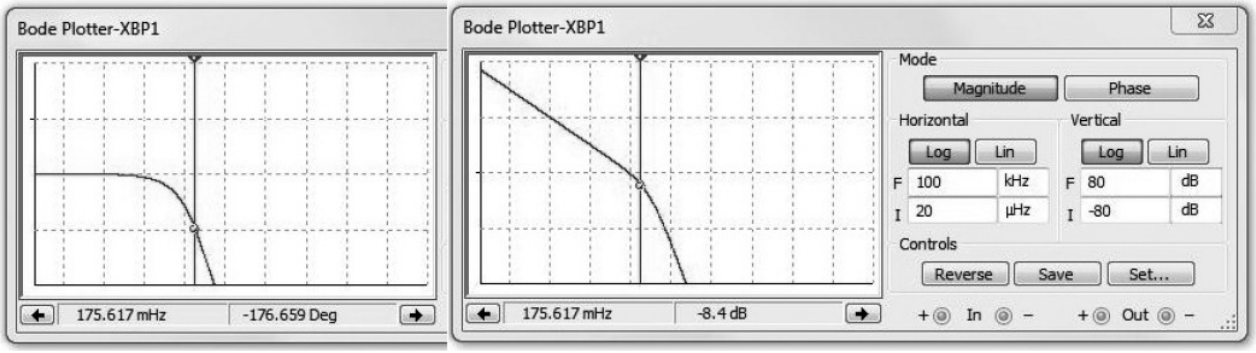
A0=5_B4=1_B3=6_B2=12_B1=8_B0=1e-012

I diagrammi di Bode del modulo e della fase derivanti dal procedimento di simulazione vengono rappresentati in figura.



Si evidenzia una frequenza di attraversamento dell'asse a 0 dB pari a circa 91 mHz.
La fase corrispondente vale 138°; il margine di fase conseguente pari a 42° rappresenta un indice di stabilità sufficiente per la configurazione ad anello chiuso.
Si considerino i diagrammi di Bode riportati nella figura seguente per definire il margine di guadagno.

Osservando il diagramma della fase risulta che una fase di 180° si ottiene a 180 mHz circa.
Osservando il diagramma del modulo risulta che in corrispondenza di questa frequenza il modulo vale circa 9 dB; le considerazioni sulla stabilità ad anello chiuso sono quindi identiche.



Per determinare la stabilità del sistema al variare del parametro *K* occorre individuarne l'equazione caratteristica ed applicare il criterio di Routh-Hurwitz.
Per l'equazione caratteristica risulta:

$$1 + A(s)B(s)C(s) = 1 + \frac{1}{10} \cdot \frac{K}{s} \cdot \frac{1}{(s+2)^3}$$

Eguagliando a zero e svolgendo i calcoli si ottiene:

$$10 \cdot s \cdot (s+2)^3 + K = 0$$

$$10s^4 + 60s^3 + 120s^2 + 80s + K = 0$$

A partire dall'equazione caratteristica si ottiene la tabella seguente.

10	120	K
60	80	0
320/3	K	
$(1280 - 9K)/16$	0	
K	0	
0		

Per la determinazione della stabilità al variare di *K* deve risultare di conseguenza la relazione:

$$\frac{1280 - 9K}{16} > 0$$

Risolvendo si ottiene:

$$0 < K < 142{,}2$$

Il valore determinato in precedenza risulta quindi compreso in questa fascia.