

Istituto Tecnico Tecnologico “M. PANETTI” – B A R I
Compito di Sistemi Elettronici Automatici – Fila 1
Classe 5 ET sez. A – gennaio 2011

- 1) Descrivi dettagliatamente tutte le funzioni svolte dal blocco di condizionamento di un sistema di acquisizione dati. (Punti 3)
- 2) (Punti 2) Un convertitore analogico-digitale (ADC) a 12 bit con $V_{FS} = 12V$ è pilotato in ingresso con una tensione di valore: $v_i = 7,5V$. Determinare:
 - a. La risoluzione;
 - b. Il codice binario di uscita;
 - c. La tensione di ingresso per ottenere in uscita il codice binario: 0010 1000 0101.
- 3) L'ADC del punto 2) è preceduto da un modulo Sample-Hold con tempo di apertura $t_a=250ns$. Determinare la massima frequenza che deve avere il segnale di ingresso per ottenere una conversione A/D con precisione entro 1 LSB. Quanto dovrebbe essere il tempo di conversione affinché si possa applicare direttamente all'ADC un segnale sinusoidale con frequenza $f=500Hz$ con precisione della conversione entro $\frac{1}{2}LSB$. (Punti 2)
- 4) Un sensore di temperatura segue la legge: $R_t=100*(1+0,00385*t)$ con t temperatura in $^{\circ}C$. Disegnare l'andamento della resistenza al variare della temperatura da $-50^{\circ}C$ a $+50^{\circ}C$. Indichi i circuiti essenziali di condizionamento affinché si possa ottenere un segnale di tensione compreso tra $-1V$ e $+1V$ in tale range di temperatura. (Punti 3)

Istituto Tecnico Tecnologico “M. PANETTI” – B A R I
Compito di Sistemi Elettronici Automatici - Fila 2
Classe 5 ET sez. A – gennaio 2011

- 1) Descrivi dettagliatamente le funzioni svolte dal blocco Sample-Hold e dal convertitore analogico digitale di un sistema di acquisizione dati. (Punti 3)
- 2) (Punti 2) Un convertitore analogico-digitale (ADC) a 10 bit con $V_{FS} = 10V$ e tempo di conversione $t_c = 20\mu s$ è pilotato in ingresso con una tensione di valore: $v_i = 7,5V$. Determinare:
 - a. La risoluzione;
 - b. Il codice binario di uscita;
 - c. La tensione di ingresso per ottenere in uscita il codice binario: 10 1000 0101.
- 3) L'ADC del punto 2) è preceduto da un modulo Sample-Hold con tempo di apertura $t_a=200ns$ e tempo di acquisizione $t_{ac}=2\mu s$. Quali sono i valori minimo e massimo teorici della frequenza di campionamento per l'acquisizione di un'onda sinusoidale con $f=200Hz$ con precisione della conversione A/D entro 1LSB? (Punti 2)
- 4) Un sensore di temperatura segue la legge: $v_t = 2,73+0,01*t$ con t temperatura in $^{\circ}C$. Disegnare l'andamento della tensione v_t al variare della temperatura da $-50^{\circ}C$ a $+150^{\circ}C$. Indichi i circuiti essenziali di condizionamento affinché si possa ottenere un segnale di tensione compreso tra $0V$ e $+5V$ in tale range di temperatura. (Punti 3)

Risoluzione fila 1

- 1) Descrivi dettagliatamente tutte le funzioni svolte dal blocco di condizionamento di un sistema di acquisizione dati.

Il blocco di condizionamento deve poter fornire al convertitore A/D un segnale elettrico, generalmente sotto forma di tensione, che copra il range di ingresso dello stesso ADC nel campo di lavoro del sensore. Spesso il sensore fornisce un segnale elettrico sotto forma di tensione, corrente e variazione di un parametro caratteristico come la resistenza, induttanza o capacità di un condensatore.

Conversione resistenza/tensione, capacità/tensione.

Nelle termoresistenze, termistori, fotoresistenze, ecc. la variazione della grandezza fisica determina una variazione della resistenza. Se nel sensore resistivo si fa circolare una corrente costante si potrà prelevare, ai capi del sensore, una d.d.p. proporzionale alla resistenza e quindi legata alla variabilità della grandezza fisica. Vi sono alcuni sensori di tipo capacitivo come, ad esempio, l'igrometro in grado di comportarsi come la capacità di un condensatore che varia al variare del tasso di umidità dell'ambiente in cui è sottoposto sfruttando la diversa costante dielettrica dell'aria secca e dell'aria umida. In tali circostanze si inserisce il sensore in un circuito del quale una grandezza elettrica dipende direttamente dalla capacità di un condensatore, ad esempio il periodo T di un oscillatore ad onde quadre, sinusoidali, triangolari, ecc.

Linearizzazione.

Spesso la grandezza elettrica prelevata dal trasduttore ha un comportamento non lineare rispetto alla grandezza fisica da acquisire. In alcune applicazioni questo problema è trascurabile perché serve determinare la presenza o assenza della grandezza fisica ma in altre applicazioni ciò determina un problema per cui conviene elaborare il segnale elettrico attraverso un circuito di linearizzazione che, intuitivamente, si comporti in modo da compensare la non linearità. Una delle soluzioni adottate è il ponte di Wheatstone del quale una delle 4 resistenze è costituita dal sensore, se di tipo resistivo.

Conversione corrente/tensione.

Alcuni trasduttori forniscono un segnale elettrico, legato alla grandezza fisica, sotto forma di corrente per cui è necessario eseguire la trasformazione I/V . Si può impiegare una resistenza R di valore costante che non influenzi la corrente prelevata dal sensore. La conversione I/V è ottimale se si utilizza un amplificatore operazionale in tale configurazione.

Amplificazione.

Il segnale elettrico in tensione che proviene dal trasduttore spesso ha ampiezza insufficiente per coprire l'intero range dell'ADC. Occorre, pertanto, un amplificatore di tensione di guadagno opportuno. Spesso si utilizza un amplificatore operazionale meglio se di tipo "per strumentazione".

Traslazione di livello.

Spesso il segnale del trasduttore $v(0)$ non è nullo quando il valore della grandezza fisica è zero. E' necessario, pertanto, sottrarre al valore v del trasduttore la quantità costante $v(0)$. Questo si realizza con un circuito differenziale preferibilmente con amplificatore operazionale per strumentazione.

Isolamento.

Necessario nei sistemi con valori di tensione pericolosi per le apparecchiature e per le persone. L'isolamento galvanico è realizzato con accoppiamento a trasformatore o con optoaccoppiatori (led e fototransistor o fototriac).

2)

a. La risoluzione è il rapporto tra il range di ingresso dell'ADC e le possibili combinazioni dei bit di uscita:

$$R = \frac{V_{FS}}{2^n} = \frac{12}{2^{12}} = \frac{12}{4096} = 2,929687mV$$

b. Prima di ricavare il codice binario di uscita, determiniamo il numero decimale proporzionale all'ingresso applicato:

$$N = \frac{V_i}{R} = \frac{7,5}{2,929687 \cdot 10^{-3}} = 2560$$

Se N fosse stato non intero avremmo dovuto approssimare il valore all'intero più vicino con un errore di quantizzazione che è sempre compreso tra 0 e la risoluzione 2,929687mV.

Svolgendo la conversione dal decimale al binario (divisione intera per due con raccolta dei resti in senso inverso) si ottiene:

dec.	2560	1280	640	320	160	80	40	20	10	5	2	1
resto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

$$N_2 = 1010\ 0000\ 0000$$

c. Questo punto richiede una procedura esattamente contraria rispetto al punto precedente. Convertiamo il numero binario assegnato in decimale e poi ricaviamo la V_i che lo determina.

$$N = 0010\ 1000\ 0101 = 2^9 + 2^7 + 2^2 + 2^0 = 512 + 128 + 4 + 1 = 645_{10}$$

$$V_i = R \cdot N = 2,93 \cdot 10^{-3} \cdot 645 = 1889,85\ mV \sim 1,89mV$$

3) Durante la conversione A/D la tensione di ingresso deve essere costante. Per tollerare una imprecisione non superiore a 1LSB, cioè inferiore o uguale a 2,93mV la frequenza del segnale di ingresso deve essere non superiore a:

$$f \leq \frac{1}{2^n \cdot \pi \cdot t_a} = \frac{1}{4096 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 10^{-9}} = 311Hz$$

Per rispondere al secondo quesito si deve applicare la formula inversa per calcolare il nuovo tempo di conversione supponendo di non utilizzare il modulo S-H:

$$f \leq \frac{1}{2^{n+1} \cdot \pi \cdot t_c} \Rightarrow t_c \leq \frac{1}{2^{n+1} \cdot \pi \cdot f} = \frac{1}{8192 \cdot 3,14 \cdot 500} = 77,75ns$$

4) Il sensore di temperatura segue la legge lineare, perché di primo grado:

$$R_t = 100 \cdot (1 + 0,00385 \cdot t)$$

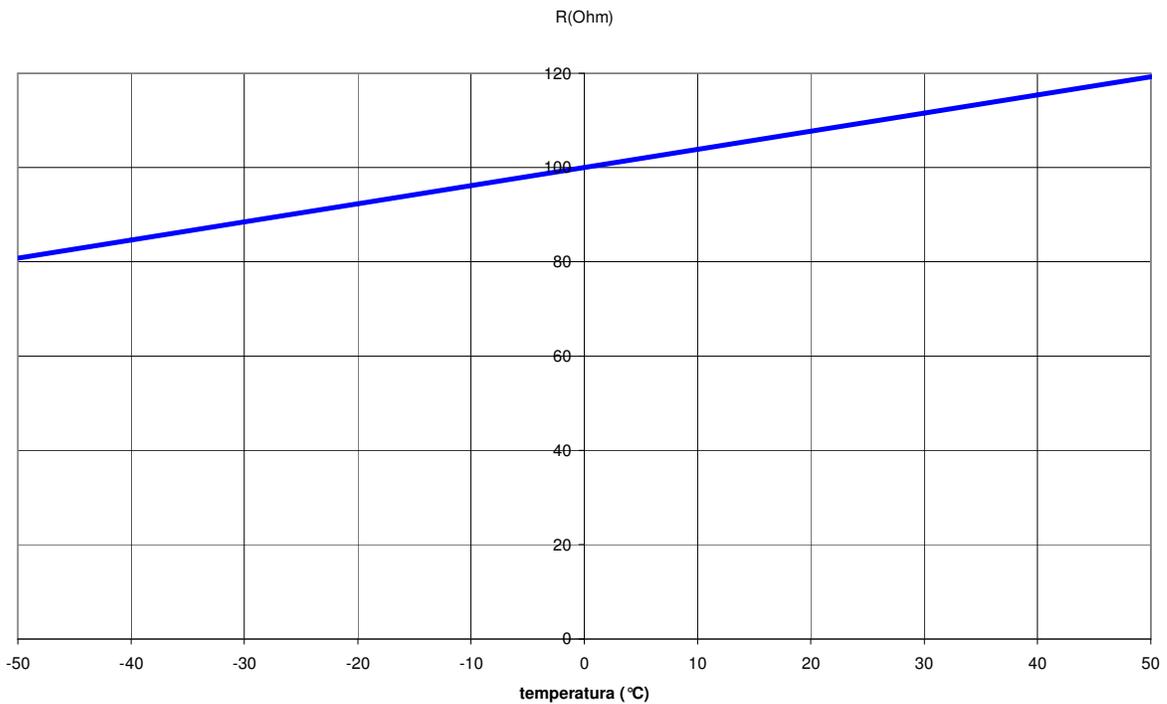
$$\text{Per } t = -50^\circ C \text{ si ottiene: } R_{-50} = 100 \cdot (1 - 0,00385 \cdot 50) = 100 \cdot (1 - 0,1925) = 80,75\Omega$$

$$\text{Per } t = +50^\circ C \text{ si ottiene: } R_{+50} = 100 \cdot (1 + 0,00385 \cdot 50) = 100 \cdot (1 + 0,1925) = 119,25\Omega$$

Con Excel mettiamo a punto la seguente tabella:

t (°C)	R(Ohm)
-50	80,75
-40	84,60
-30	88,45
-20	92,30
-10	96,15
0	100,00
10	103,85
20	107,70
30	111,55
40	115,40
50	119,25

da cui si ricava il grafico:

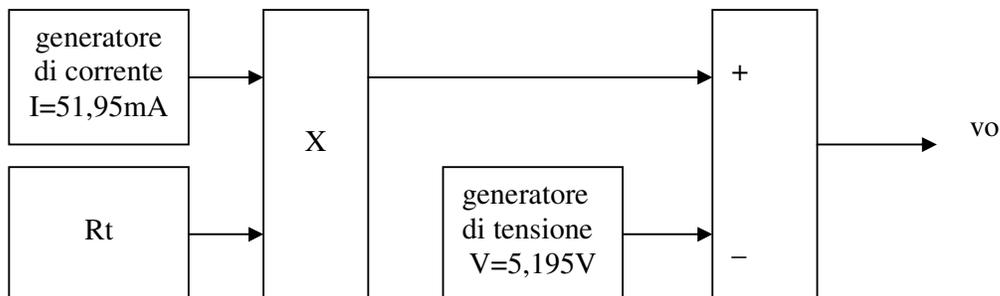


Considerando la simmetria del campo di azione e la linearità di funzionamento della termo resistenza è sufficiente valutare la corrente costante che deve circolare nel sensore:

$$I = \frac{\Delta V}{\Delta R} = \frac{2}{38,5} = 51,95mA$$

Per $t=0$ si ha: $v = R_0 \cdot I = 100 \cdot 0,05195 = 5,195V$

Poiché per $t=0$ si vuole una tensione nulla, si dovrà impiegare un traslatore di livello che esegua la sottrazione tra v e $5,195V$. Si mostra lo schema a blocchi:



Questa soluzione, valida teoricamente, non è conveniente in pratica perché la corrente che attraversa R_t è di elevato valore e ciò, per effetto Joule, provoca un surriscaldamento del sensore che falsifica il comportamento del circuito.

Conviene fissare una corrente a piacere di piccolo valore, ad esempio $I = 1\text{mA}$ per cui:
 a -50°C si ha: $V = -80,75\text{mV}$, a 0°C si ha: $V = 100\text{mV}$ e a $+50^\circ\text{C}$ si ha: $V = 119,25\text{mV}$.

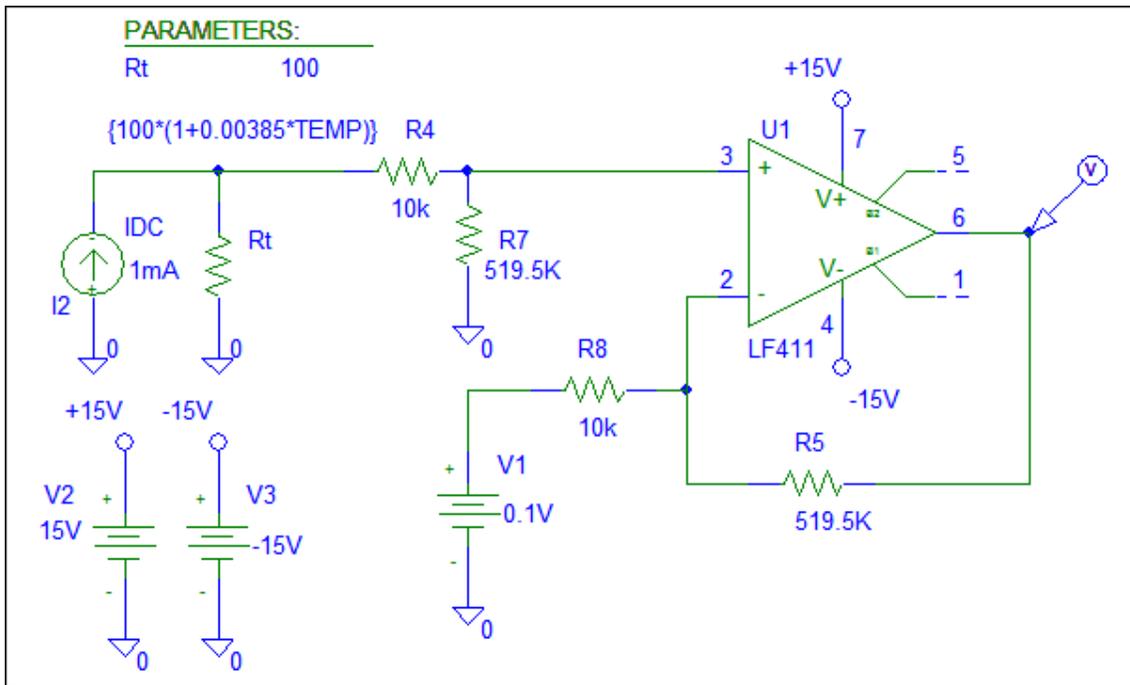
Introducendo tale tensione in un circuito differenziale che trasla di 100mV si ha:

a -50°C si ha: $V_1 = -19,25\text{mV}$, a 0°C si ha: $V_1 = 0$ e a $+50^\circ\text{C}$ si ha: $V_1 = +19,25\text{mV}$.

Introducendo V_1 in un amplificatore con guadagno opportuno, si dovrà ottenere $V_2 = 1\text{V}$ a 50°C per cui il guadagno G dell'amplificatore, calcolato per $t=50^\circ\text{C}$, dovrà essere:

$$G = V_2/V_1 = 1/0,01925 = 51,95$$

Si può utilizzare l'amplificatore operazione per strumentazione INA111 in grado di traslare di 100mV (differenziale) ed amplificare tale differenza per $51,95$ o la soluzione in figura.



Risoluzione fila 2

5) Descrivi dettagliatamente le funzioni svolte dal blocco Sample-Hold e dal convertitore analogico digitale di un sistema di acquisizione dati.

Lo schema a blocchi di un circuito Sample-Hold (S-H) presenta 3 terminali: un ingresso al quale applicare una tensione variabile v_1 , una uscita dalla quale si preleva una tensione elaborata v_2 ed un terminale di controllo al quale si applica una linea digitale di abilitazione in grado di portare il dispositivo nello stato di "sample" o di "hold" in funzione del suo stato logico (alto: sample, basso: hold). Quando il circuito S-H è portato nello stato di sample si ha: $v_2(t) = v_1(t)$ istante per istante; in pratica la tensione di uscita è identica a quella di entrata.

Se nell'istante t_1 si commuta la linea di abilitazione da alto a basso si ha: $v_2(t) = v_1(t_1)$; in questa situazione l'uscita è costante ed assume il valore dell'entrata nell'istante t_1 . In pratica il circuito S-H ha "congelato" il valore analogico dell'entrata e lo mantiene costante in uscita.

Il circuito S-H è schematizzabile con un interruttore analogico chiuso nello stato di sample (uscita uguale all'ingresso) che si apre durante lo stato di hold. Nello stadio di uscita è presente un condensatore, che funge da memoria analogica, che ha il compito di mantenere costante la tensione di uscita. Questo è vero finché tale condensatore non si scarica. Nella pratica il condensatore è collegato all'ingresso non invertente di un A.O. montato ad inseguitore avente, quindi impedenza di ingresso infinita in modo che il condensatore non si scarichi nello stato di hold.

Il circuito S-H è utile per il pilotaggio di un convertitore A/D perché consente di mantenere costante la tensione da convertire in digitale per tutto il tempo di conversione. Questa è una condizione essenziale affinché la conversione A/D avvenga correttamente.

Il convertitore ADC trasforma un segnale analogico in digitale sotto forma di una parola binaria a più bit. Normalmente il numero di bit di uscita sono 8, 10, 12, 16 e tale numero sarà indicato con n . La configurazione binaria convertita in decimale si indicherà con N .

A titolo di esempio: se $n=8$ i possibili valori di uscita andranno da 0000 0000 a 1111 1111 cioè da $N=0$ a $N=255$ per un totale di 256 configurazioni possibili, quindi: $2^n = 2^8 = 256$.

Si definisce tensione di fondo scala V_{FS} l'intervallo di valori analogici della tensione di ingresso.

I valori consentiti in ingresso, a seconda dell'ADC utilizzato, possono essere unipolari (tutti positivi) o bipolari (positivi e negativi). Esempio unipolare: da 0 a 5V. Esempio bipolare: da -2,5V a +2,5V. In entrambi i casi l'intervallo di valori è sempre 5 V e quindi $V_{FS} = 5V$.

Il codice di uscita può essere il binario naturale o un altro tipo di codifica, ad esempio Gray, BCD.

Dicesi risoluzione o quanto la porzione elementare di fondo scala: $R = V_{FS}/2^n$. Facciamo un'analogia: se ho una torta da 1Kg. da dividere tra 8 persone ciascuna di esse avrà una fetta, di dimensioni identiche a quella degli altri, dal peso pari a $1000g./8 = 125g$.

Ciascuna delle 8 persone saranno codificate in binario con 3 bit: da 000 (0) a 111 (7).

Per ricavare il legame tra l'ingresso v_i applicato e il numero decimale N ottenuto dagli n bit di uscita è intuitivo applicare la proporzione: $V_{FS} : 2^n = v_i : N$

Il rapporto a sinistra rappresenta la risoluzione $R: v_i = R \cdot N$; formula inversa: $N = v_i/R$.

Poiché l'ADC è un circuito sequenziale complesso la conversione A/D non avviene istantaneamente ma dopo un tempo indicato con t_c detto "tempo di conversione" che può variare da pochi ns nei cosiddetti flash-ADC (convertitori veloci) ad alcune decine di ms nei convertitori ad integrazione (convertitori lenti ma precisi e ad un numero di bit elevato). Le linee di controllo di un ADC sono:

SC = Start Conversion che decreta l'avvio della conversione A/D;

EOC = End Of Conversion che indica la fine della conversione.

OE = Output Enable per abilitare/disabilitare le linee di uscita. Quando OE assume lo stato logico per la disabilitazione, le linee di uscita sono in tri-state.

In genere un ADC è l'ultimo stadio della catena di acquisizione dati al PC ed ha il compito di trasformare in digitale un dato analogico da presentare al un sistema di elaborazione basato su un microprocessore o microcontrollore.

2)

a. $R = V_{FS}/2^n = 10/2^{10} = 10/1024 = 9,766mV$

b. $N = v_i/R = 7,5/0,009766 = 768$, in binario: 11 0000 0000

c. 10 1000 0101 corrisponde a: $N = 2^9 + 2^7 + 2^2 + 2^0 = 645$ quindi:
 $v_i = R \cdot N = 9,766mV \cdot 645 = 6,299V$

3) Per il teorema di Shannon la frequenza di campionamento deve essere maggiore o uguale al doppio della f: $f_c > 2 \cdot 200 = 400$.

D'altro canto prima di iniziare una nuova conversione occorre attendere il tempo di apertura del SH, il tempo di conversione t_c dell'ADC ed il tempo di acquisizione t_{ac} del SH, per cui:

$$f_c \leq \frac{1}{t_a + t_c + t_{ac}} = \frac{1}{0,2 + 20 + 2} = \frac{1}{22,2} = 45KHz$$

Si conclude dicendo che la frequenza minima di acquisizione è 400Hz e quella massima di 45KHz. Si suggerisce di campionare almeno a 1KHz poiché il limite teorico dei 400Hz non porta a ricostruzioni perfette in quanto servirebbero dei filtri passa basso ideali con pendenze elevatissime impossibili a realizzarsi.

4)

Il sensore segue la legge: $V_t = 2,73 + 0,01 \cdot t$

Se la temperatura $t = -50^\circ C$ si ottiene: $V_{-50} = 2,23V$

Se la temperatura $t = +150^\circ C$ si ottiene: $V_{150} = 4,23V$

Eliminando l'offset di 2,23V con un amplificatore differenziale si determina un range tra 0 e 2V. Per ottenere un range 0..5V è sufficiente un amplificatore con guadagno 2,5 in grado di trasformare un segnale di 2V in uno di 5V. Si mostra il grafico ottenuto dalla tabella impostata con Excel.

