



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

Indirizzo: ELETTRONICA INDUSTRIALE

Seconda prova scritta 2011

Si vuole progettare una piccola stazione meteorologica impiegando un microcontrollore o un microprocessore. Il sistema deve essere in grado di acquisire la temperatura, l'umidità relativa e la pressione atmosferica. Questi dati devono essere inviati ad un personal computer ogni 5 minuti.

- Il trasduttore di temperatura è costituito da una termoresistenza al platino (Pt100) il cui coefficiente di temperatura è $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$;
- il trasduttore di umidità relativa è di tipo capacitivo e la caratteristica di trasferimento è da considerare quasi lineare: con umidità del 10% la capacità vale 112 pF; con umidità del 90% la capacità vale 145 pF;
- il trasduttore di pressione fornisce in uscita una tensione di 3,84 V alla pressione di 960 hPa e 4,20 V alla pressione di 1040 hPa.

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute opportune:

1. descriva lo schema a blocchi del sistema di acquisizione dati;
2. disegni gli schemi elettrici relativi ai tre blocchi di condizionamento del segnale e ne dimostri le dimensioni i componenti;
3. determini il tipo e la risoluzione del convertitore A-D;
4. disegni il diagramma di flusso relativo al programma di gestione dell'acquisizione;
5. illustri le metodologie di collaudo;
6. effettui un'analisi di massima dei costi.

Durata della prova: 8 ore

Durante la prova sono consentiti l'uso di strumenti di calcolo non programmabili e non stampanti e la consultazione di manuali tecnici e di raccolte di leggi e norme non commentate.

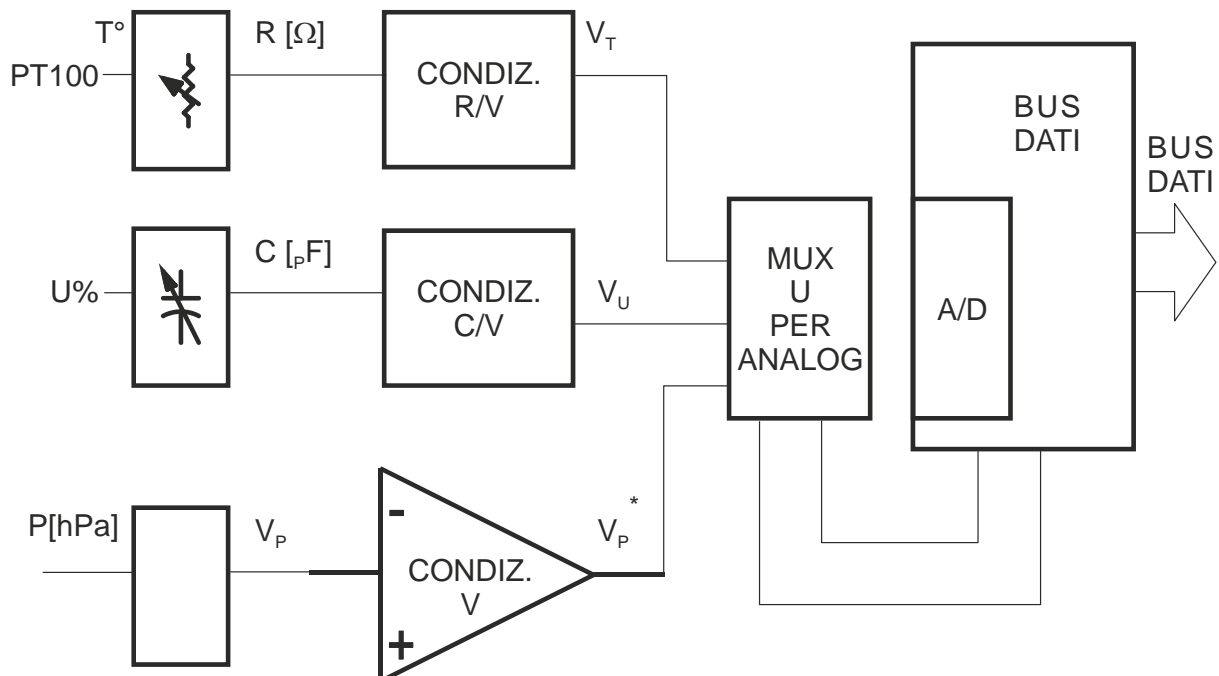
1) si ipotizza di utilizzare il microprocessore/microcontrollore a breve distanza (< 20 metri) dai traduttori e di inviare poi in forma digitale i dati al PC remoto.

Si ipotizza inoltre di non dover inserire filtri a causa di disturbi e di non necessitare per le variabili fisiche in gioco di circuiti samples and hold.

si ipotizza infine, di condizionare in forma analogica tutti i segnali incluso il valore capacitivo del trasduttore di umidità.

Si effettuerà una conversione multicanale con mux analogico, non essendo richiesto alcun specifico requisito di affidabilità del sistema.

Lo schema a blocchi risulta pertanto:



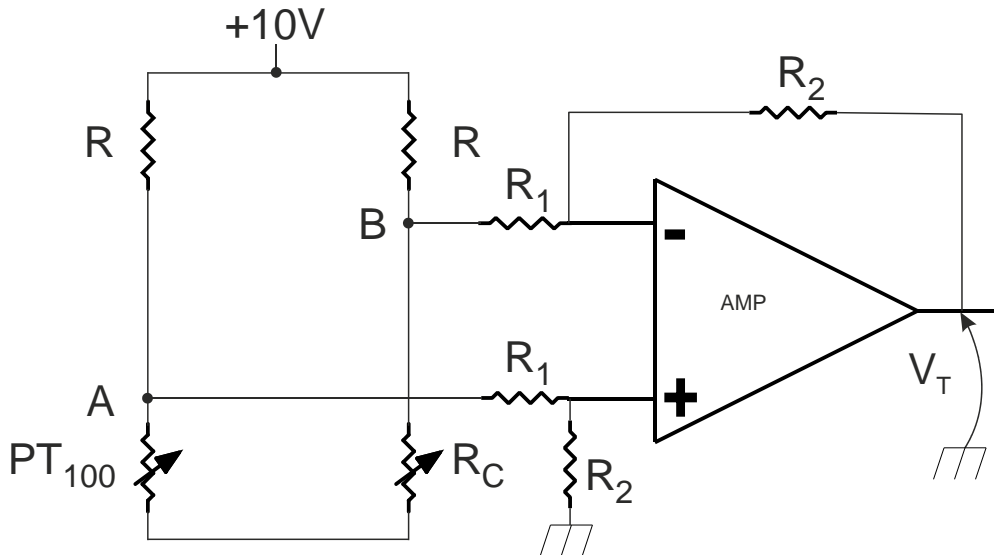
2. Il trasduttore di temperatura viene progettato per funzionare tra -50°C e $+50^{\circ}\text{C}$ e pertanto il valore della resistenza che varia secondo la relazione

$$R(T^{\circ}) = 100(1 + 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot T[^{\circ}\text{C}]) \quad \text{Pertanto risulta essere:}$$

$$R_{MIN}(-50^{\circ}\text{C}) = 100(1 - 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot 50) = 80,75\Omega$$

$$R_{MAX}(+50^{\circ}\text{C}) = 100(1 + 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot 50) = 119,25\Omega$$

Il circuito di condizionamento viene realizzato con un circuito resistivo a Ponte di Wheatstone e un amplificatore operazionale in configurazione differenziale.



Si ipotizza che il convertitore analogico/digitale interno al microprocessore richieda tensioni in ingresso variabili tra 0 e 5V.

Si scelgono le resistenze $R = 100 \Omega$ e $R_C = R_{\text{Min}} = 80,75 \Omega$ e si ricava pertanto V_B :

$$V_B = \frac{R_C}{R_C + R} \cdot V_{REF} = \frac{80,75}{180,75} \cdot 10 = 4,4675V$$

E VA quando R è max $\rightarrow R_{\text{MAX}} =$

$$V_{A_{\text{MAX}}} = \frac{R_{\text{MAX}}}{R_{\text{MAX}} + R} = \frac{119,25}{219,25} \cdot 10 = 5,439V$$

Pertanto

$$V_T = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_A - V_B)$$

Nel caso in cui V_A sia $V_{A_{\text{max}}}$ si deve ottenere in uscita $V_T = 5V$ e pertanto si dimensiona R_2 scegliendo $R_1 = 2,2K\Omega$.

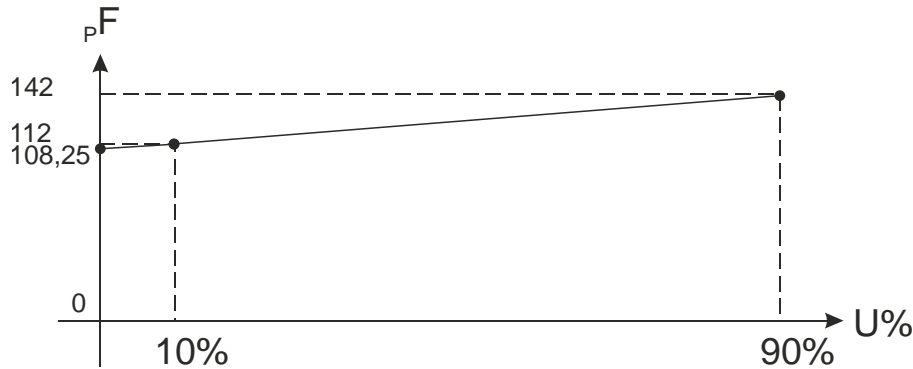
$$V_{T_{\text{MAX}}} = 5 = \frac{R_2}{R_1} (5,439 - 4,4675) = \frac{R_2}{2,2 \cdot 10^3} \cdot 0,9715$$

$$R_2 = \frac{5 \cdot 2,2 \cdot 10^3}{0,9715} = 11.322\Omega = 11,322K\Omega$$

Riguardo al secondo circuito di condizionamento si ipotizza di utilizzare un Timer 555 convertendo il valore capacitivo in un segnale frequenza variabile. il segnale di frequenza viene poi convertito in tensione mediante LM331.

Il trasduttore varia la capacità secondo la seguente legge:

$$C = C_0 + A \cdot U\%$$



$$A = \frac{142-112}{90-10} = \frac{30}{80} = 0,375 [pF/U\%]$$

$$C = C_0 + 0,375 \cdot U\%$$

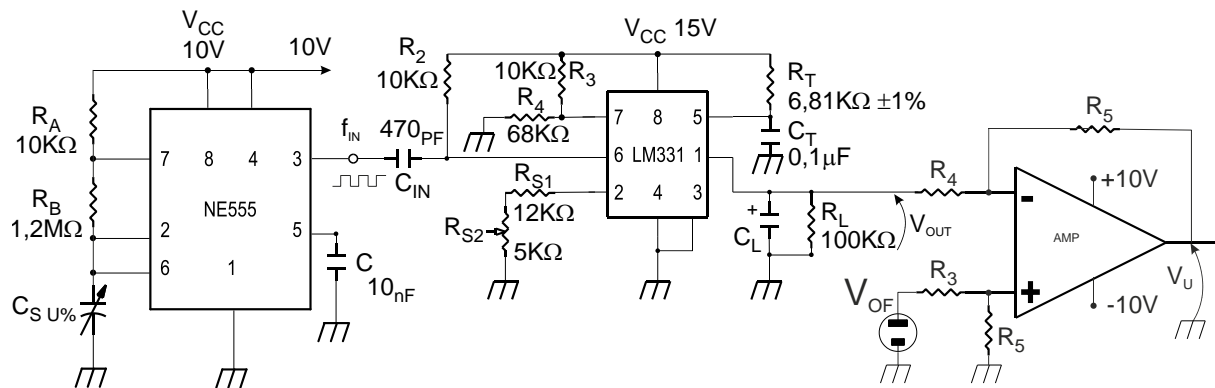
$$C_{0MIN} = 112 - 0,375 \cdot 10 = 112 - 0,375 = 108,25 [pF]$$

$$C_{MIN} = 108,25 + 0,375 \cdot 10 = 112[pF]$$

$$C_{0MAX} = 142 - 0,375 \cdot 90 = 108,25[pF]$$

$$C_{MIN} = 108,25 + 0,375 \cdot 90 = 142[pF]$$

Il circuito di condizionamento è realizzato come di seguito.



La frequenza in uscita al timer 555 viene calcolata con la relazione:

$$f_{IN} = \frac{1}{0,7 \cdot (R_A + 2 \cdot R_B) \cdot C_U \%}$$

E ponendo $R_A=100K\Omega$ e $R_B=1,2M\Omega$ si ottiene in uscita (pin 3) un' onda quadra a duty cycle circa 50% con:

$$f_U = \frac{1}{0,7 \cdot (10 + 2 \cdot 1200) \cdot 10^3 \cdot C_U \%} \quad \text{Dove:}$$

$$f_U(10\%) = \frac{1}{0,7 \cdot (2410) \cdot 10^3 \cdot 112 \cdot 10^{-12}} = 5292,5 H_Z$$

$$f_U(90\%) = \frac{1}{0,7 \cdot (2410) \cdot 10^3 \cdot 142 \cdot 10^{-12}} = 4088 H_Z$$

Si noti che all'aumentare dell'umidità aumenta la capacità e pertanto la frequenza diminuisce.

Una tensione proporzionale alla frequenza viene prodotta al pin1 del LM331 secondo la seguente relazione:

$$V_{OUT} = 2,09 \cdot \frac{R_L}{R_S} \cdot R_T \cdot C_T \cdot f(U\%)$$

Scegliendo:

$$R_{OUT}=10K\Omega \quad C_{OUT}=1\mu F$$

$$R_i=6,8K\Omega \quad C_i=0,01\mu F$$

$$R_1=10K\Omega \quad R_2=68K\Omega$$

$$R_3=10K\Omega \quad R_S=17K\Omega$$

Si ha:

$$V_{OUT}(10\%) = 2,09 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{17 \cdot 10^3} \cdot 6,8 \cdot 10^3 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot (5.292,5) = 4,42[V]$$

$$V_{OUT}(90\%) = 2,09 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{17 \cdot 10^3} \cdot 6,8 \cdot 10^3 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot (4088) = 3,41[V]$$

Pertanto:

10% Umidità relativa 90%

112pF Capacità Trasd. 142pF

5292,5Hz Frequenza f_u 4088 Hz

4,42V V_{OUT} (LM331) 3,41V

Occorre quindi condizionare tali valori di tensione in uscita al PIN1 eliminando l'Offset pari a 4,42V e la scala in modo che:

$V_{OUT}(10\%)$ passi da 4,42V a $V_u=0V$

$V_{OUT}(90\%)$ passi da 3,41V a $V_u=5V$

Si utilizza una configurazione differenziale con amplificatore operazionale $\mu A741$ e $V_{RIF}=4,42V$

Pertanto:

$$V_U = \frac{R_5}{R_4} \cdot [V_{RIF} - V_{OUT}] \rightarrow G = \frac{R_5}{R_4} \cdot [4,42 - 3,41]$$

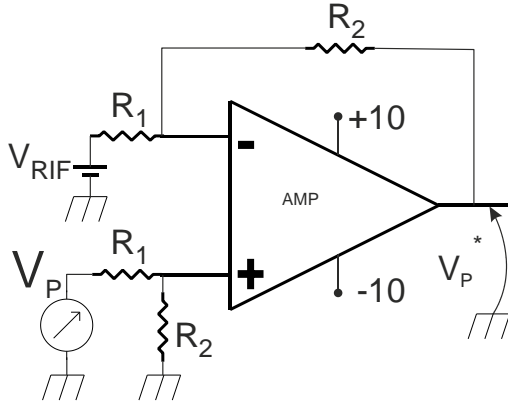
$$\text{Per } U=10\% \rightarrow V_{OUT} = 4,42V \rightarrow V_U(10\%) = \frac{R_5}{R_4} \cdot [4,42 - 4,42] = \frac{R_5}{R_4} \cdot [0] = 0V$$

$$\text{Per } U=90\% \rightarrow V_{OUT} = 3,41V \rightarrow V_U(90\%) = \frac{R_5}{R_4} \cdot [4,42 - 3,41] = \frac{R_5}{R_4} \cdot [1,01] \cong \frac{R_5}{R_4}$$

[N.B.] $\rightarrow \frac{R_5}{R_4}$ deve valere 5V per cui scegliendo $R_4=10K\Omega$ si ha:

$$\frac{R_5}{10 \cdot 10^3} = 5 \rightarrow R_5 = 50K\Omega$$

Per quanto riguarda l'ultimo traduttore relativo alla pressione, poiché il segnale in uscita è già di tensione è sufficiente eliminare l'Offset ed effettuare un cambio scala. Si utilizza pertanto un amplificatore operazionale $\mu A741$ in configurazione differenziale.



Si sceglie $V_{RIF} = V_p(960hPa) = 3,84$

E pertanto $V_{p^*} = \frac{R_2}{R_1} (V_p - 3,84)$

Per $P=960hPa$ si ha dunque: $V_{p^*} = 0V$

Per $P=1040hPa$ si ha dunque:

$$V_{p^*}(1040hPa) = \frac{R_2}{R_1} \cdot (4,2 - 3,84) = \frac{R_2}{R_1} \cdot (0,36)$$

che deve essere = 5V

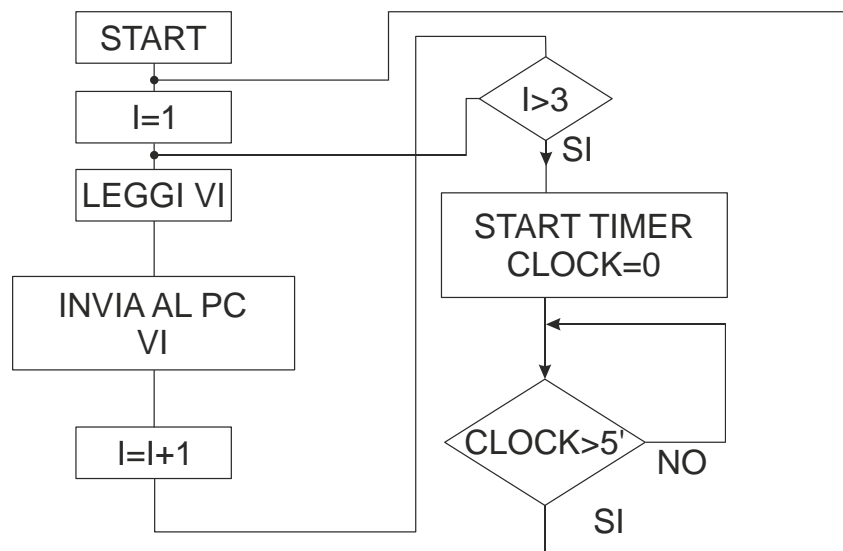
Scegliendo poi $R_1=10K\Omega$ si ha $R_2 = \frac{5 \cdot R_1}{0,36} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^3}{0,36} = 138,8K\Omega$

3. il convertitore analogico/digitale utilizzato è quello interno al microprocessore e pertanto pensando di utilizzare un Pic modello 16F87x sarà del tipo SAR (approssimazioni successive) a 10 bit.

Si ritiene che sia sufficientemente rapido per l'acquisizione e l'elaborazione ogni 5 minuti di ciascuna variabile e che la risoluzione pari a:

$$Q = \frac{V_{REF}}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4,88 [m.V.] \text{ sia sufficiente per l'applicazione richiesta.}$$

4. Un diagramma di flusso esemplificato è il seguente:



Il collaudo della scheda e del microprocessore è il processo che garantisce che, una volta assemblato e installato, l'intero sistema di acquisizione funzioni in accordo con le specifiche tecniche.

Per valutare il corretto funzionamento occorre pertanto effettuare una serie di test che riguardano in questo caso sia la componente software che la componente hardware e la completa e corretta integrazione.

Per quanto riguarda la componente hardware occorre prevedere una fase di analisi e testing volta a controllare ed escludere i possibili guasti di cui sono affetti i singoli componenti discreti assiemati, i difetti di saldatura o di fabbricazione della scheda medesima. Risulta pertanto necessario attuare delle strategie di test e screening che consentano di avere un ottimo prestazionale della fase di collaudo senza trascurare il fattore costo. Pertanto da livelli di integrazione inferiore cioè a livello di sottosistemi (peraltro ben definiti e identificabili dallo schema a blocchi) e pianificando tali verifiche durante la fase di progettazione è possibile contenere il costo di testing che spesso per applicazioni non di largo consumo come il caso in esame è anche il 20% del costo totale del prodotto. Occorre perciò scegliere la strategia migliore per eliminare guasti sistematici e precoci che innalzano il tasso di mortalità infantile e intaccano pertanto la garanzia del prodotto.

Pertanto prima del collaudo in sito, cioè nella stazione meteorologica, si effettua:

1. ISPEZIONE OTTICA
2. IN CIRCUIT TESTING
3. COLLAUDO FUNZIONALE

1. L'ispezione ottica può essere a seconda della complessità della scheda di tipo manuale o automatico. L'ispezione ottica manuale, meno costosa, ha dei limiti se le schede sono costituite da più di 100-150 elementi.

Nel caso di ispezione ottica automatica si utilizzano macchinari in grado di fornire una ispezione ottica tridimensionale con un sistema di visione multi camera a cui è associata anche una stazione di riparazione con puntatore laser. Ovviamente l'ispezione automatica è preferibile a quella manuale per i seguenti motivi:

- Ripetibilità prove
- Costanza nei criteri di accettazione
- Copertura costante
- Riduzione dei tempi di ispezione

ma richiede un investimento iniziale non indifferente.

Dopo l'ispezione ottica si passa al collaudo vero e proprio. Il testing in circuit è quello di sottoporre i singoli blocchi (schede) e poi tutto il sistema a prove di continuità, resistenza, capacità e tutte quelle prove alimentate che consentono di capire se le singole schede e il sistema di acquisizione funzionano correttamente come (progettato).

Le tecniche utilizzate maggiormente sono di due tipi una utilizza il letto d'aghi, l'altro un macchinario detto a sonde mobili che tocca il maggior numero di punti che potrebbero risultare critici.

Entrambe le tecniche forniscono una buona copertura e diagnostica e quando si hanno poche componenti sono equivalenti.

A conclusione il collaudo finale che prova il funzionamento nella stazione meteorologica dell'intero sistema di acquisizione e verifica con strumenti di misura indipendenti i dati misurati e acquisiti dal PC nei Range di funzionamento previsti, i tempi di acquisizione, la precisione e il rispetto di tutti i requisiti tecnici identificati nella fase di progettazione.

Un collaudo a parte merita il software elaborato per il microprocessore che verrà testato sul microprocessore stesso per eliminare tutti i possibili errori di programmazione e successivamente sul campo nell'integrazione completa del sistema di acquisizione dati.