

SOLUZIONE SISTEMI 2014

IPOTESI AGGIUNTIVE:

Si intende realizzare il sistema di acquisizione mediante microcontrollore che implementerà nel suo software la gestione multiplexer e ADC e la comunicazione seriale con il PC.

Dovendo convertire i quattro segnali il micro dovrà fornire al mux due linee che con la loro combinazione binaria indirizzerà un segnale d'ingresso per volta prima della conversione.

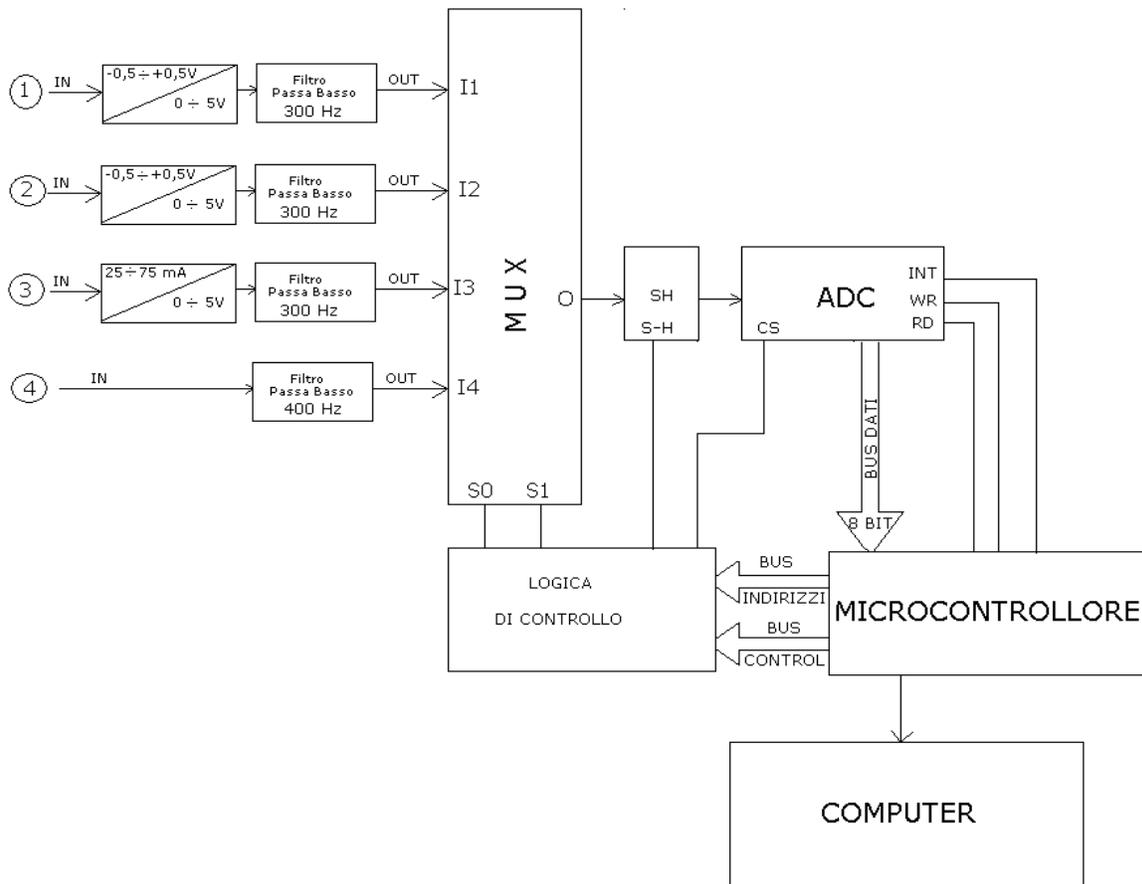
Il micro gestirà pure il sistema orologio per attivare la conversione ADC e l'acquisizione a 8 bit ogni due ore che verrà convertita in modo seriale dal micro durante l'invio al PC.

Sul PC sarà implementato un adeguato software per ricevere ed elaborare i dati rilevati mediante ADC e verificherà i valori relativi alla misurazione della corrente per appurare se per tre volte nell'arco del giorno vanno sotto i 30mA o sopra i 70mA.

SCHEMA A BLOCCHI:

Per i segnali 1 e 2 che possono variare da $-0,5V$ a $+0,5V$ si utilizza un circuito di condizionamento con operazionali tali da portare il range di variazione del segnale prima dell'ADC tra 0 e $+5V$.

Per il segnale 3 relativo alla corrente si utilizza una resistenza shunt da 10 Ohm che al passaggio della corrente di 25mA farà una caduta di tensione del valore di $0,25V$ ($V=$



$R \times I = 10 \times 25\text{mA} = 0,25\text{V}$) e per la corrente di 75mA farà una caduta di tensione del valore di 0,75V ($V = R \times I = 10 \times 75\text{mA} = 0,75\text{V}$).

Anche questo segnale ricondotto in tensione viene condizionato ulteriormente con amplificatori operazionali nel range di 0 e +5V adatti per l'ingresso dell'ADC.

Il quarto segnale invece non ha bisogno di essere condizionato essendo già adeguato nel range tra 0 e +5V.

Il segnale condizionato prima di giungere al mux passa attraverso un filtro Passa basso con frequenza di taglio di 300 Hz per i primi 3 segnali e 400 Hz per il quarto segnale. I filtri tendono a eliminare tutti i segnali indesiderati a frequenza superiore a quella del segnale utile da campionare rendendo la conversione immune da campionamenti di segnali spuri.

I quattro segnali vengono inviati a 4 ingressi del multiplexer che gestito dal micro selezionerà un ingresso per volta tramite le due linee di indirizzamento S0-S1 prima di inviarlo al Sample/Hold e successivamente all'ADC.

Il micro tramite la logica di controllo allo scadere delle 2 ore manda il valore di indirizzo al mux, attiva S-H e abilita l'ADC con CS e aspetta la conferma di dato pronto INT dall'ADC per leggere gli 8 bit della conversione prima di archivarli momentaneamente nella memoria RAM del micro. Per aumentare la precisione di conversione il micro per ogni indirizzamento al mux cioè per ogni segnale leggerà il valore convertito dall'ADC per ben 255 volte procedendo alla somma con riporto mediante l'utilizzo di due byte di RAM così che alla fine della conversione prendendo solo il byte di riporto si ha il valore misurato del segnale in quel momento selezionato mediato su 255 campionamenti che rendono la misura sicuramente più precisa che non valutando un singolo campionamento. A questo punto il byte viene archiviato in memoria prima dell'invio al PC.

Il micro passa al secondo indirizzamento del segnale, effettua le 255 campionature e archivia e così di seguito fino al quarto segnale.

Ora in memoria del micro si hanno 4 byte che rappresentano i 4 valori binari dei 4 segnali da monitorare.

Il micro inizierà la procedura di conversione seriale e comunicazione con il PC.

Il software del PC ricevuti ed archiviati i 4 byte li dovrà elaborare prima convertendoli da valori binari a valori decimali.

Sapendo che l'ADC a 8 bit trasforma le tensioni comprese tra 0 e 5V in un valore binario a 8 bit compreso 00000000 a 11111111 e cioè valore decimale 0 a 255 significa che un singolo bit corrisponde al un valore in tensione pari a $5\text{V} / 256 = 19,53 \text{ mV}$.

Ne consegue che per trovare il valore misurato di ogni segnale si moltiplicherà il valore decimale di ogni byte archiviato per 19,53mV.

Ad esempio se il valore di un byte fosse 128 significa che il segnale misurato e acquisito corrisponde a $128 \times 19,53\text{mV} = 2,5\text{V}$ ma siccome è stato condizionato ora bisogna ritornare al valore reale, cioè il corrispondente valore misurato come V_{in} sarà $-V_{in} = (6 \times 0,4166 - 2,5)/5 = (2,49996 - 2,5)/5 = 0\text{V}$

Infatti riprendendo la formula del caso dei segnali 1 e 2 (come dimostrato più avanti nel relativo circuito di condizionamento) dove $V_{out} = -(-V_{ref}(1+R2/R1) - V_{in}(R2/R1))$ avremo

$V_{out} = -(6 \times -V_{ref} - 5 \times V_{in}) = 6V_{ref} + 5V_{in}$ da cui $V_{out} - 5V_{in} = 6V_{ref}$ e pertanto $-V_{in} = (6V_{ref} - V_{out})/5$

da cui $V_{in} = - (6V_{ref} - V_{out})/5 = - (6 \times 0,4166 - V_{out})/5 = V_{out}/5 - 0,5$

dove V_{out} è il valore contenuto nel byte di conversione come valore binario corrispondente ad un valore decimale reale di tensione pari a Nr byte $\times 19,53$ pertanto nel software del PC dovrà essere implementata questa formula per la ricostruzione reale del valore di V_{in} per i segnali 1 e 2:

$V_{in}(V) = (Nr_{byte} \times 19,53)/5 - 0,5$ dove Nr = valore decimale del byte V_{out}

Facciamo la verifica anche per il valore 0V dove $Nr_{byte}=0$ e pertanto $V_{in} = 0 \times 19,53/5 - 0,5 = -0,5$ V, verifichiamo il caso in cui il valore acquisito sia 5V dove $Nr_{byte} = 255$

$V_{in} = (255 \times 19,53)/5 - 0,5$ V cioè $V_{in} = 5/5 - 0,5 = +0,5$ V come deve essere.

Con lo stesso ragionamento riprendendo la formula del caso dei segnale 3 (come dimostrato più avanti nel relativo circuito di condizionamento) dove $V_{out} = V_{in} \times G$ avremo che il valore reale di V_{in} nel terzo caso sarà valore decimale del byte $\times 19,53$ mV diviso il guadagno $G = R2/R1 = 100/15 = 6,6666$.

Il valore decimale del byte corrispondente ai 75 ma sarà 255 e pertanto il valore reale di V_{in} sarà

$V_{in} = (255 \times 19,53)/6,6666 = 0,75$ V che convertito in corrente sarà $I_{in} = V/R_s = 0,75/10 = 75$ mA

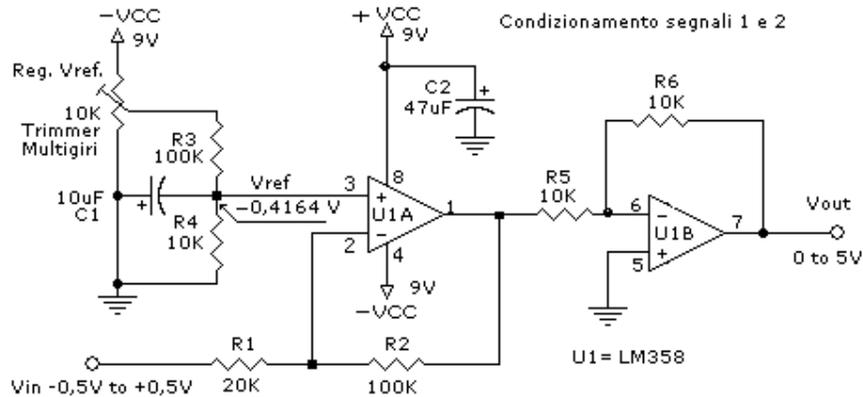
Il valore decimale del byte corrispondente ai 25 ma sarà 85 e pertanto il valore reale di V_{in} sarà

$V_{in} = (85 \times 19,53)/6,6666 = 0,25$ V che convertito in corrente sarà $I_{in} = V/R_s = 0,25/10 = 25$ mA

Nel software del PC dovrà essere implementata questa formula per la ricostruzione reale del valore di I_{in} per i segnale 3:

$I_{in}(mA) = (Nr_{byte} \times 19,53)/66,666$ dove Nr = valore decimale del byte corrente

CIRCUITO DI CONDIZIONAMENTO SEGNALI 1 e 2 DI TENSIONE -0,5 / +0,5V



Con l'amplificatore operazionale U1A configurato come sommatore avremo sul pin 1 una tensione data da $V_{out}(\text{pin1}) = V_{ref}(1+R_2/R_1) - V_{in} (R_2/R_1)$ con R_2/R_1 pari a 5 avremo che con l'ingresso V_{in} minimo di $-0,5V$ l'uscita pin sarà:

$$V_{pin1} = 6 \times (-V_{ref}) - (-0,5V \times 5) = 6 \times (-V_{ref}) + 2,5V$$

U1B è configurato come amplificatore invertente a guadagno unitario dato da $R_6/R_5=1$.

Il condizionamento impone che a V_{in} minimo ci sia $V_{out} = 0V$ pertanto $V_{pin1} = 0$ e dunque

$$-V_{ref} = -2,5V/6 = -0,4166V.$$

Verifichiamo ora se con $V_{in} = +0,5V$ si hanno $+5V$ come V_{out} sul pin 7 di U1B.

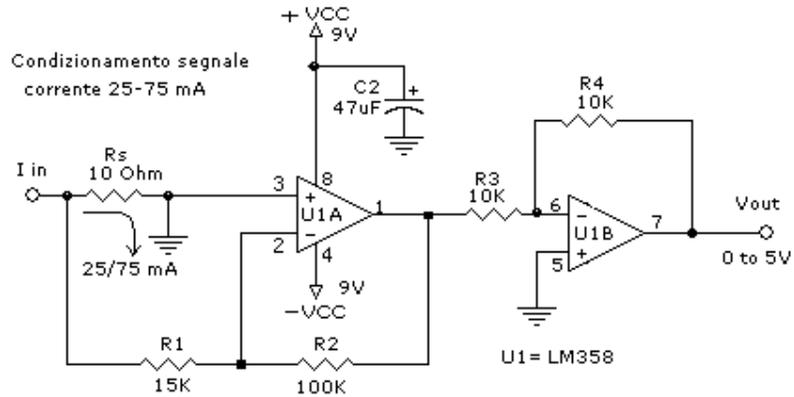
$V_{pin1} = 6 \times -0,4166 - (0,5 \times 5) = -4,9996V$ ma V_{out} è V_{pin1} invertita pertanto $V_{out} = 4,9996V$ cioè $5V$ come si voleva.

La tensione di riferimento viene ottenuta partendo dai $-9V$ dell'alimentazione ritenendola sufficientemente stabile poi mediante trimmer multigiri si alimenta un partitore di tensione resistivo con attenuazione di un fattore 10 così da rendere ulteriormente precisa la regolazione del trimmer.

Si dovrà regolare affinché tra il centrale e massa del trimmer si abbia una tensione di $-4,166$ poi per una più accurata regolazione si simula una V_{in} pari a $0V$ mettendo a massa l'ingresso e si ritocca il trimmer per misurare una V_{out} pari a 2500 mV cioè $2,5V$.

Per una V_{ref} ancora più stabile anche al variare della temperatura si può utilizzare un regolatore di tensione tipo il [TL431](#) o [LM336](#), con il suo trimmer di regolazione, alimentato dal ramo positivo della alimentazione seguito da un operazionale configurato come amplificatore invertente a guadagno unitario per ottenere la V_{ref} negativa come richiesta. Questi dispositivi hanno un coefficiente di temperatura molto basso attorno ai 50 ppm/°C.

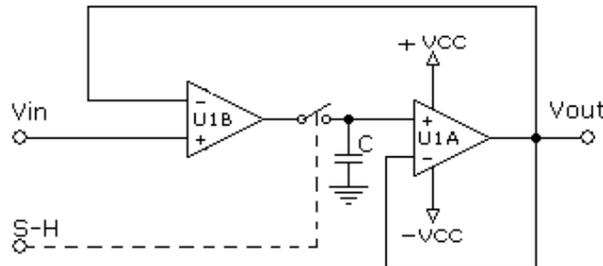
CIRCUITO DI CONDIZIONAMENTO SEGNALE 3 CORRENTE 25-75 mA



I2VIU

Per quanto concerne la misurazione della corrente pur avendo illustrato nel disegno un metodo con operazionali per il condizionamento tra 0 e 5V attribuendo 5 V ai 75mA, si può semplicemente utilizzare la semplice R_s per convertire la corrente in tensione avendo tensioni già nel range adeguati per la conversione, infatti nella R_s da 10 Ohm con 25 mA si avrà una caduta di tensione pari a 0,25V mentre con la corrente di 75mA si avrà una caduta di tensione pari a 0,75V. In ogni caso la soluzione con operazionali consiste in un amplificatore invertente con guadagno G pari a R_2/R_1 , ne consegue che $V_{pin1} = -V_{in} \times G$ e se a 0.75V di ingresso corrispondente ai 75mA devo avere $V_{out} = 5V$ sarà $V_{pin1} = -5V$ pertanto $G = 5/0,75 = 6,6666$, fissando R_2 a 100K si ottiene $G = R_2/R_1$ da cui $R_1 = R_2/A = 100K/6,6666 = 15K$.

CIRCUITO SAMPLE / HOLD



Il circuito S/H è necessario per effettuare una migliore conversione in quanto essendo la banda passante di 300Hz e 400Hz deve avere un tempo di campionamento T_c , per una accuratezza di 1/2 LSB (bit meno significativo pari a $5V/256$)

$$T_c = \frac{1}{2^{n+1} \cdot \tau \cdot F_{max}}$$

dove n = numero di bit dell'ADC nel nostro caso 8 diventa T_c relativamente, piccolo sostituendo ed utilizzando la F di 400 Hz si ottiene 1,55 uS.

I convertitori più comuni hanno bisogno un tempo più lungo per completare la conversione e dunque necessita che il livello del segnale resti stabile per tutto il tempo

ecco allora che il S-H assolve a questa funzione. Quando chiude l'interruttore carica il condensatore al livello del segnale di quel istante e poi una volta aperto l'interruttore C resta carico e la Vout dal S-H resta stabile e l'ADC può effettuare la conversione con una precisione maggiore.

FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO:

Per determinare la minima frequenza di campionamento vanno considerati tutti i tempi che concorrono al completamento della conversione e cioè al tempo per l'attivazione apertura del S-H (Tsh), del tempo per il mantenimento e acquisizione S-H (Tac), del tempo legato all'attivazione del mux (Tm) e in fine il tempo di conversione legato all'ADC (Tc).

$$\text{sar\`a} \quad T_{\text{tot}} = T_{\text{sh}} + T_{\text{ac}} + T_{\text{m}} + T_{\text{c}}$$

Va inoltre tenuto conto del teorema di Shannon che, per una corretta conversione, impone che la Fc sia almeno doppia di quella da campionare possibilmente anche maggiore.

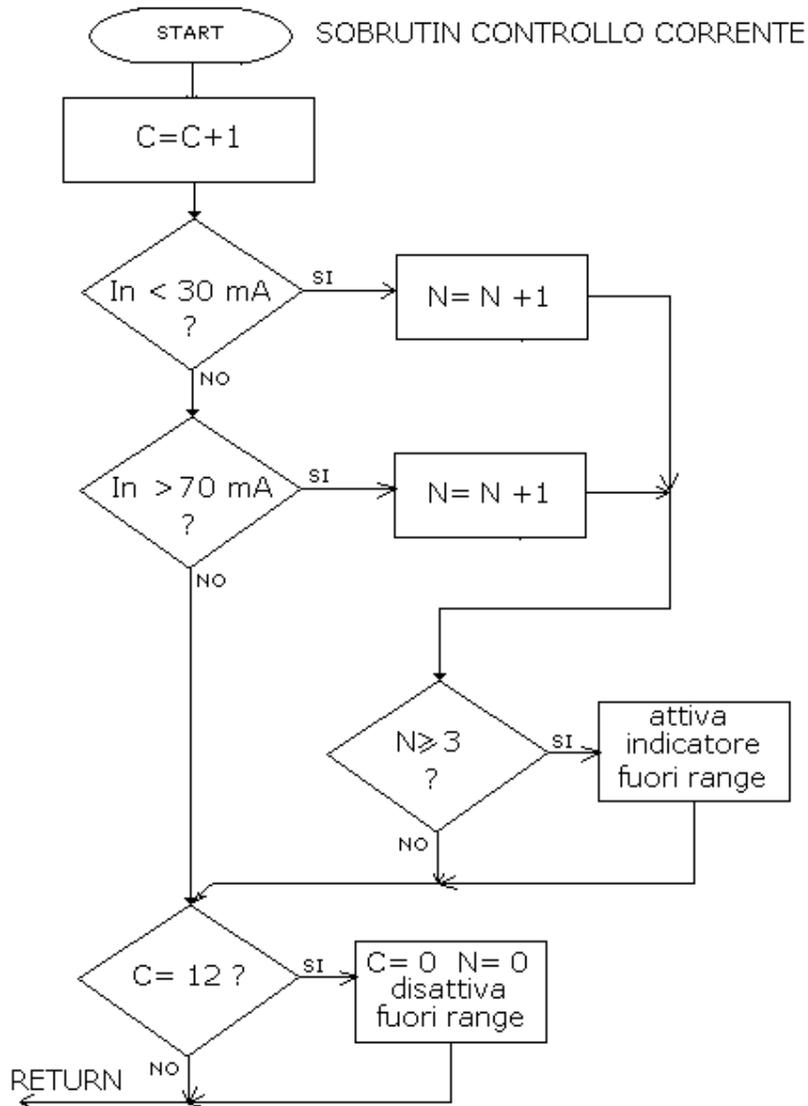
Siccome la conversione che ho descritto precedentemente viene fatta con 255 campionamenti sempre sullo stesso canale il tempo legato la multiplexer non viene considerato perché una volta selezionato resta sino alla fine dei 255 campionamenti. Mentre l'apertura del S-H e il mantenimento per l'acquisizione e il tempo di conversione dell'ADC concorrono alla determinazione della frequenza di campionamento.

$$\mathbf{F_c \geq 2 \times 1 / T_{sh} + T_{ac} + T_c}$$

Indicativamente il tempo Tc di un ADC tipo [ADC0804](#) è di 100 uS per il S-H tipo [LF398](#) che ha circa Tsh = 200 nS e Tac = 5 uS possiamo calcolare:

$$\mathbf{F_c = 2 \times 1 / 200\text{nS} + 5\text{uS} + 100\text{uS} = 2 \times 9,5 \text{ KHz} = 19\text{KHz}}$$

CONTROLLO SEGNALE DI CORRENTE:



Nel programma principale della gestione dati sul PC ogni due ore alla acquisizione dei dati, ci sarà una chiamata alla routine, come indicato nel flow chart, per controllo del range della corrente I_n . Con la variabile C viene tenuto conto del numero delle acquisizioni nell'arco di una giornata in modo che se siamo arrivati a 12 verifiche corrisponde alla fine di quella giornata e dunque viene azzerato le variabili per le valutazioni di una nuova giornata. Con la variabile N si tiene conto di quante volte il parametro della corrente va fuori range sotto i 30mA o sopra i 70mA.

Entrati nella routine si incrementa la variabile C per tenere conto di quante acquisizioni fatte poi si valuta il valore I_n se maggiore o uguale a 30 mA si prosegue altrimenti si incrementa la variabile N del fuori range. Se la I_n è maggiore di 30 mA si verifica se maggiore di 70mA se SI si incrementa N del fuori range altrimenti si prosegue e si valuta solo se $C=12$ cioè fine giornata, se è NO allora si esce dalla routine e si torna al programma principale altrimenti con $C=12$ si inizia una nuova giornata azzerando le variabili C ed N e spegnendo l'indicatore di fuori range che come vedremo sarà attivato solo se N è uguale o maggiore a 3.

Se I_n minore di 30mA si va ad incrementare N come pure se I_n maggiore di 70 mA poi in entrambi i casi si verifica se N ha raggiunto o superato il valore di 3 se è SI allora attiva la segnalazione di fuori range che potrebbe essere una scritta lampeggiante sul monitor del PC.

Se N non ha raggiunto il valore 3 allora si prosegue verificando solo il numero delle acquisizioni per valutare fine giornata.