

**ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE
INDIRIZZO: TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRONICHE
SESSIONE ORDINARIA 2005
TEMA DI: ELETTRONICA, TELECOMUNICAZIONI ED APPLICAZIONI**

**ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE
INDIRIZZO: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI
SESSIONE ORDINARIA 2005 PROGETTO SPERIMENTALE "SIRIO" - ELETTRONICA
TEMA DI: ELETTRONICA**

Una scuola vuole monitorare la potenza elettrica continua di un pannello fotovoltaico per la generazione d'energia elettrica di cui è dotata.

Il pannello fotovoltaico può produrre una corrente massima di 3,3 Ampere e una tensione massima di 16,5 Volt. Questi valori massimi si riducono notevolmente a seconda della quantità di luce solare che raggiunge gli elementi.

Per monitorare la potenza elettrica prodotta durante la giornata e nelle varie condizioni climatiche, si misurano la tensione prodotta e la corrente prodotta. Questi dati devono essere rilevati ogni 5 minuti e conservati in una memoria di tipo flash. Una volta al giorno devono essere inviati ad un personal computer per produrre una statistica.

Per misurare la corrente si utilizza un sensore ad effetto Hall che ha un'uscita lineare in corrente, secondo la seguente proporzione:

- se la corrente misurata è nulla (0 Ampere), in uscita la corrente vale 0 mA
- se la corrente misurata è 15 Ampere, in uscita la corrente è pari a 15 mA.

Le due grandezze da misurare, devono essere convertite in tensioni comprese tra 0 e 2,5 Volt per essere adattate all'ingresso del convertitore analogico-digitale impiegato.

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute opportune:

1. descriva lo schema a blocchi del sistema d'acquisizione dati per le grandezze elencate;
2. progetti il condizionamento dei segnali in uscita dai sensori;
3. indichi il tipo di convertitore analogico-digitale idoneo per questo impiego;
4. descriva il sistema di memorizzazione dei valori acquisiti;
5. illustri le metodologie di collaudo dei circuiti.

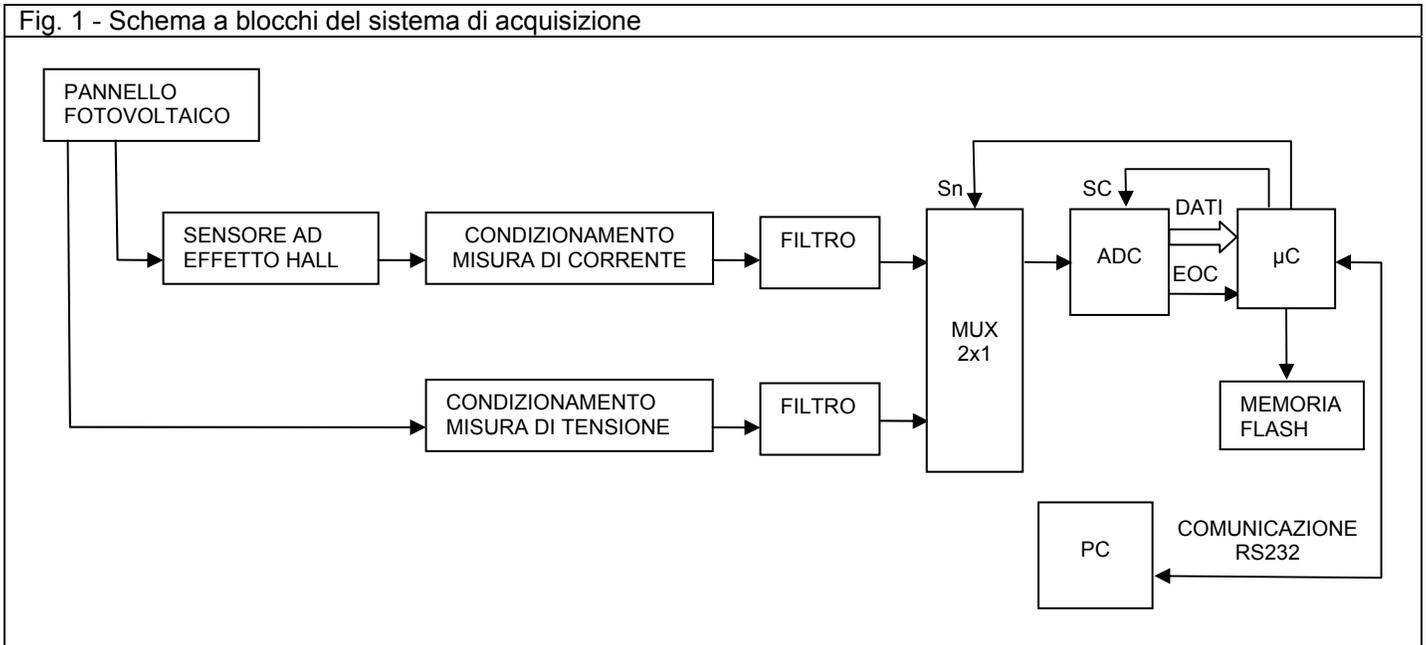
ANALISI DEL TESTO E SOLUZIONE DI FILIPPO SPADARO

Publicata su l'Elettronica Applicazioni – Enrico Ambrosini, Ippolito Perlasca - volume TS734IA - Ed. Tramontana - gennaio 2006. Ad uso esclusivo dei miei alunni.

1° Quesito

In figura è riportato lo schema a blocchi del sistema. Le grandezze da rilevare sul pannello fotovoltaico sono la tensione prodotta $0 \div 16,5$ V e la corrente prodotta $0 \div 3,3$ mA. Per le misure di corrente viene utilizzato un sensore ad effetto Hall che presenta un'uscita lineare in corrente nell'intervallo $0 \div 15$ mA. Inoltre è necessario effettuare un condizionamento per convertire le misurazioni delle due grandezze, tensione e corrente, in tensioni tra $0 \div 2,5$ V per adattarle all'ingresso del convertitore analogico-digitale.

Fig. 1 - Schema a blocchi del sistema di acquisizione



Il progetto non presenta particolari problemi riguardo il contenuto in frequenza. In ogni caso, considerando che le misurazioni avvengono ogni 5 minuti, e che quindi i segnali sono a frequenza molto bassa, potrebbe essere necessario eliminare l'eventuale disturbo a 50 Hz prodotto dalla tensione di rete. In tal caso, per ridurre i disturbi prodotti alle frequenze più alte, si può inserire un filtro passa basso, ad esempio un Butterworth del quarto ordine, con frequenza di taglio 20 Hz.

Successivamente le due misurazioni vanno convertite in digitale mediante l'utilizzo di un convertitore A/D collegato all'elettronica di controllo. Una soluzione efficace è quella di utilizzare un solo convertitore A/D in cascata ad un multiplexer analogico a 2 canali, piuttosto che usare due convertitori A/D indipendenti collegati all'elettronica di controllo. In questo modo, l'elettronica di controllo, realizzata mediante un microcontrollore, comanda il multiplexer, selezionando in successione i due canali e rendendo disponibile al convertitore A/D ora la misura di tensione, ora quella di corrente. In realtà poiché non è necessario utilizzare A/D particolarmente costosi anche la soluzione con due A/D resta valida (si fa osservare che la frequenza di campionamento non è un problema e che la precisione richiesta consente l'utilizzo di un A/D a 8 bit).

Una proposta più efficiente sarebbe quella di utilizzare un microcontrollore (ad esempio un PIC della Microchip o altro) che integra già al suo interno un sistema multi-canale di conversione A/D. Alcuni microcontrollori dispongono inoltre di una flash EEPROM integrata, il che semplifica ulteriormente la memorizzazione dei dati.

Ulteriore vantaggio della soluzione a microcontrollore (anche in termini economici) riguarda l'implementazione della comunicazione seriale (anch'essa integrata nel microcontrollore) che per il sistema in esame può essere una seriale standard di tipo RS232. In alternativa è possibile realizzare una comunicazione seriale tra microcontrollore e PC mediante integrati esterni adatti a tale uso, come il MAX232 prodotto dalla Maxim.

Il microcontrollore infine consente di ridurre i consumi, poiché è possibile mandarlo in modalità basso consumo (sleep o standby) e farlo risvegliare da un interrupt di timer ogni 5 minuti.

Nella trattazione seguente si farà comunque riferimento alla soluzione proposta in figura 1 con una flash memory esterna gestita dal microcontrollore. È preferibile che il firmware del microcontrollore adottato preveda anche la routine

di interrupt, che verrà attivata dal collegamento seriale con il PC, sul quale girerà un applicativo scritto in linguaggio di alto livello (LabView, C++, o altro) che provvederà ad interrogare il microcontrollore ogni 24 ore. In risposta a questa richiesta, seguirà la trasmissione dei dati acquisiti nell'arco dell'intera giornata verso il personal computer.

2° Quesito

Condizionamento della misura di tensione. Le tensioni rilevate sul pannello fotovoltaico cadono nell'intervallo tra 0 ÷ 16,5 V ed è necessario effettuare un condizionamento per convertirle in tensioni tra 0 ÷ 2,5 V per adattarle all'ingresso del convertitore analogico-digitale. È quindi necessario un divisore di tensione che attenui di 6,6 volte:

$$\frac{V_{OUT(MAX)}}{V_{IN(MAX)}} = \frac{2,5V}{16,5V} = \frac{1}{6,6} \quad (1)$$

Lo strumento più semplice adatto allo scopo è un partitore resistivo, come riportato in figura 2, a cui è stato aggiunto un inseguitore di tensione, dal guadagno unitario, per disaccoppiare e non caricare i blocchi successivi. Si determinano i valori da utilizzare per le resistenze del partitore, sapendo che:

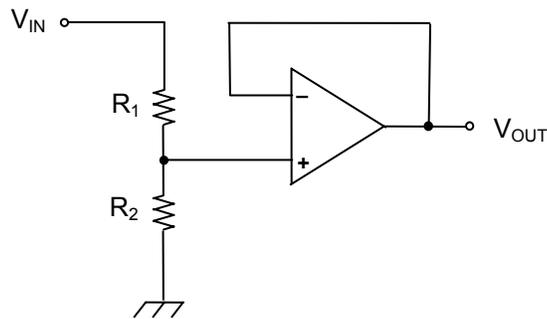
$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Scegliendo $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ e sostituendo la **1** nell'equazione **2** otteniamo $R_1 = 56 \text{ k}\Omega$ (commerciale). Si osservi che con le resistenze scelte la corrente massima assorbita dal carico è

$$I_{MAX} = \frac{16,5V}{66k\Omega} = 0,25mA \quad (3)$$

che rispetto alla corrente massima erogabile richiesta di 3,3A rappresenta lo 0.0075%, ossia non carica per nulla la sorgente.

Fig. 2 – Condizionamento della misura di tensione

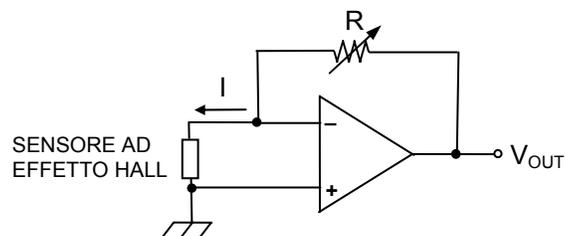


Condizionamento della misura di corrente. Il sensore ad effetto Hall riceve una corrente in ingresso tra 0 ÷ 3,3 A emettendo un'uscita lineare in corrente nell'intervallo 0 ÷ 3,3 mA. Questo segnale va condizionato mediante un convertitore corrente-tensione per portarlo tra 0 ÷ 2,5 V, come mostrato in figura 3 dove è $V_{OUT} = R \cdot I$. Dimensioniamo la resistenza:

$$R = \frac{2,5V}{3,3mA} = 757\Omega \quad (4)$$

È opportuno quindi utilizzare un trimmer da 1kΩ da tarare in fase di collaudo.

Fig. 3 – Condizionamento della misura di corrente



3° Quesito

Le prestazioni richieste al convertitore A/D non sono critiche in quanto le misurazioni avvengono ogni 5 minuti. L'elettronica di controllo deve gestire il convertitore e il multiplexer in modo da effettuare due conversioni in successione. La frequenza di campionamento richiesta è inferiore a 1Hz. Il testo non specifica in merito alla precisione, ma trattandosi della misurazione di un livello di potenza fornita, possiamo considerare una precisione dell'1% più che conservativa. Valutando l'errore di quantizzazione massimo con $n = 8$ bit si ha $\varepsilon_q \% = \frac{100}{2^n} = 0,39\% < 1\%$ lascia anche

un certo margine per le eventuali non linearità. Il convertitore può essere indifferentemente ad approssimazioni successive o ad integrazione.

Una buona scelta può essere anche quella di utilizzare microcontrollore con A/D interno, che sicuramente soddisferà i parametri richiesti. In questo caso normalmente la dinamica della tensione di ingresso va da 0 a 5V, è necessario quindi modificare i valori delle resistenze del blocco di condizionamento per adattare a questo range.

4° Quesito

Il sistema di memorizzazione dei valori acquisiti è gestito dal microcontrollore che esegue la seguente sequenza di operazioni:

- attendere 5 minuti
- selezionare il canale della misura di corrente inviando al selettore canale del multiplexer $S_n = L$
- avviare la conversione della misura di corrente ponendo $SC = H$ (Start Conversion) verso l'ADC
- attendere che l'ADC indichi la fine della conversione EOC (End Of Conversion) subendo la transizione $H \Rightarrow L$: il dato convertito è disponibile per l'acquisizione
- memorizzare in RAM la misura di corrente e porre $SC = L$
- selezionare il canale della misura di tensione inviando al multiplexer $S_n = H$
- avviare la conversione della misura di tensione ponendo $SC = H$ verso l'ADC
- attendere che l'ADC indichi la fine della conversione EOC subendo la transizione $H \Rightarrow L$: il dato convertito è disponibile per l'acquisizione
- memorizzare in RAM la misura di tensione
- memorizzare in EEPROM di tipo flash i due dati presenti nella RAM

Si è preferito convertire entrambi i canali prima di effettuare la memorizzazione nella EEPROM, per fare in modo che le due misure siano il più contemporanee possibile (si ricordi che l'obiettivo è una misura di potenza).

Il firmware del microcontrollore deve prevedere anche la routine di trasmissione dati (preferibilmente in interrupt) verso un personal computer una volta al giorno, attraverso un collegamento seriale. Sul PC girerà un applicativo in linguaggio di alto livello (LABVIEW, C++, o altro) che provvederà ad interrogare il microcontrollore ogni 24 ore o su richiesta dell'utente.

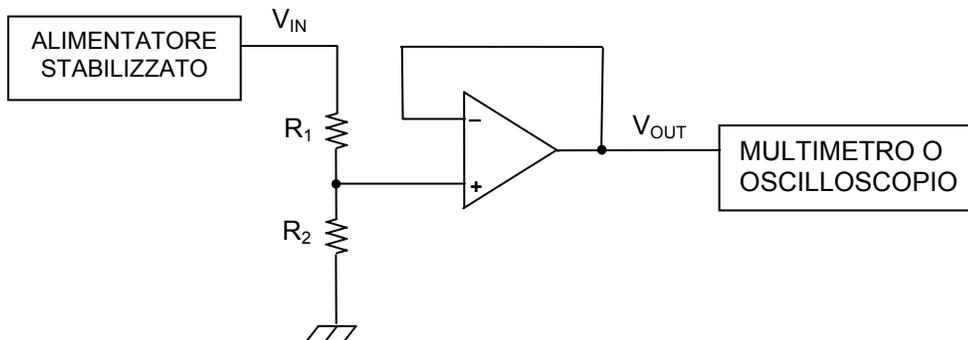
Per quanto riguarda quindi il dimensionamento della memoria flash, questa deve poter contenere i dati acquisiti nell'arco delle 24 ore, cioè 12 conversioni l'ora a 8 bit per 2 canali: $24 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 8\text{bit} = 4608\text{bit}$. È quindi necessaria una EEPROM da 1Kbyte.

Qualora il microcontrollore non disponesse di un quantitativo sufficiente di memoria on board bisogna utilizzare una memoria esterna, con interfaccia I2C o SPI (Serial Peripheral Interface). Tale interfacce sono normalmente disponibili sui microcontrollori e la comunicazione non presenta problemi di implementazione.

5° Quesito

Il collaudo del circuito di condizionamento della misura di tensione avviene in modo molto semplice. Come illustrato in figura 4, variando la tensione fornita da un alimentatore stabilizzato in ingresso tra 0 ÷ 16,5 V è possibile verificare mediante un multimetro in uscita che la tensione vari linearmente tra 0 ÷ 2,5 V.

Fig. 4 – Circuito di collaudo per il condizionamento della misura di tensione



Per il collaudo del convertitore corrente-tensione è spesso necessario costruire un convertitore tensione-corrente. In figura 5 è riportato uno schema, l'operazionale funge da convertitore V/I e determina una corrente:

$$I = \frac{V^+ - (-V_{CC})}{R_2} = \frac{V^+ + V_{CC}}{R_2} \quad (5)$$

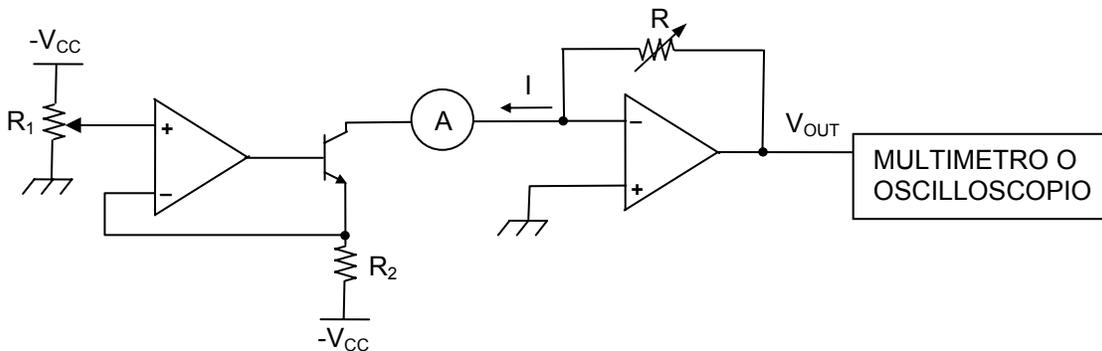
(considerando l'operazionale ideale si può ritenere trascurabile la caduta di tensione tra gli ingressi + e -). La corrente massima erogata si ha quando l'ingresso è a massa; in questo caso dalla (5) si ottiene

$$I_{MAX} = \frac{V_{CC}}{R_2} \quad (6)$$

ipotizzando $V_{CC} = 5 \text{ V}$ e una $I_{MAX} = 5 \text{ mA}$ si ricava $R_2 = 1 \text{ K}\Omega$. Per il trimmer scegliamo $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$.

Agendo sul trimmer R_1 è possibile verificare la corrispondenza tra i valori di I che cadono nell'intervallo tra 0 ÷ 3,3 mA (misurati dall'amperometro A) e il comportamento desiderato per V_{OUT} tra 0 ÷ 2,5 V.

Fig. 5 – Circuito di collaudo per il condizionamento della misura di corrente



Per il collaudo della parte di conversione A/D si procede ponendo un segnale di tensione nota all'ingresso del ADC e, dopo aver abilitato lo start of conversion SC = H, si verifica la corrispondenza del codice binario prodotto in uscita.