

Circuiti di condizionamento

I circuiti di condizionamento possono svolgere le seguenti funzioni non tutte necessariamente presenti nella catena di acquisizione dati:

1. Conversione resistenza – tensione
2. Conversione corrente – tensione
3. Amplificazione di tensione
4. Traslazione di livello
5. Isolamento
6. Filtraggio
7. Linearizzazione

1. Conversione resistenza – tensione

Molti sensori sono assimilabili a resistori il cui valore di resistenza varia al variare della grandezza fisica di cui si vogliono acquisire i valori. Ad esempio le termoresistenze, i termistori, le fotoresistenze sono sensori che modificano il loro valore resistivo al variare della temperatura le prime ed al variare della luminosità incidente le fotoresistenze.

Un banale circuito di conversione resistenza – tensione è l'impiego di un generatore ideale di corrente costante di intensità I . In tal caso si ha, se il sensore in esame è di temperatura T :

$$V(T) = I \cdot R(T)$$

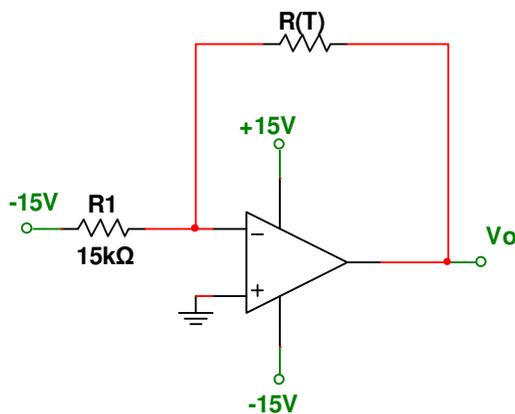
Ove $R(T)$ è la resistenza offerta dal sensore quando la temperatura vale T ;

I è il valore dell'intensità di corrente costante del generatore utilizzato;

$V(T)$ è la tensione ai capi del sensore che, in funzione della temperatura, varia con la stessa legge della $R(T)$.

Spesso si utilizza un amplificatore operazionale in configurazione invertente nel quale la resistenza di reazione R_2 è rappresentata dal sensore $R(T)$.

Inoltre si dovrà utilizzare una sorgente di alimentazione duale per polarizzare l'operazionale.



Dalla figura si ottiene:

$$V_o = -\frac{R(T)}{R_1} \cdot (-15V) = 10^{-3} \cdot R(T)$$

2. Conversione corrente-tensione

Alcuni sensori sono realizzati in modo tale da fornire una corrente elettrica di intensità I che dipende dalla grandezza fisica S rilevata dallo stesso sensore.

Spesso il legame matematico non è di primo grado, ovvero la caratteristica del sensore non è lineare, tuttavia il primo intervento che si effettua quando si è in presenza di corrente elettrica è quello di effettuare la trasformazione corrente-tensione.

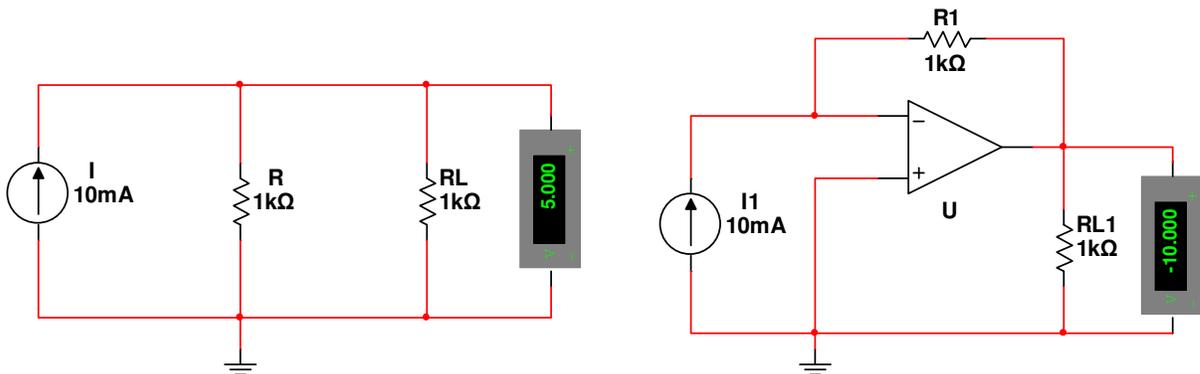
La soluzione più semplice è quella che prevede l'impiego di un resistore di resistenza R nella quale far scorrere tale corrente.

Dalla legge di Ohm, infatti si ricava:

$$V = R \cdot I = R \cdot K \cdot S$$

ove S è il valore della grandezza fisica rilevata dal sensore e K è una costante di proporzionalità. In questo caso si è supposto che la legge di variazione del sensore sia lineare.

Nella figura a sinistra si mostra il circuito equivalente in cui I è il segnale elettrico proveniente dal sensore, R è la resistenza inserita e R_L è la resistenza di ingresso dello stadio circuitale successivo.



Con i valori indicati si osserva che in assenza di carico R_L , la tensione sulla resistenza R sarebbe stata di 10V anziché 5V come mostra il voltmetro.

Per evitare l'effetto di carico dovuto ad R_L si impiega un amplificatore operazionale usato come convertitore corrente-tensione che renderà la tensione di uscita indipendente dagli effetti di carico:

$$V_o = - R_1 \cdot I_1 = - 10V$$

Nella figura a destra il valore -10V riportato dal voltmetro è negativo poiché l'operazionale è in configurazione invertente.

Per ottenere in uscita un valore di tensione positivo è sufficiente capovolgere le polarità del generatore di corrente oppure inserire, in cascata all'operazionale, un amplificatore invertente di guadagno unitario, utilizzando un altro operazionale.

L'impiego dell'operazionale necessita la presenza di un sistema di alimentazione duale spesso già presente nell'intero sistema di acquisizione per poter alimentare gli altri stadi circuitali necessari.

3. Amplificazione di tensione

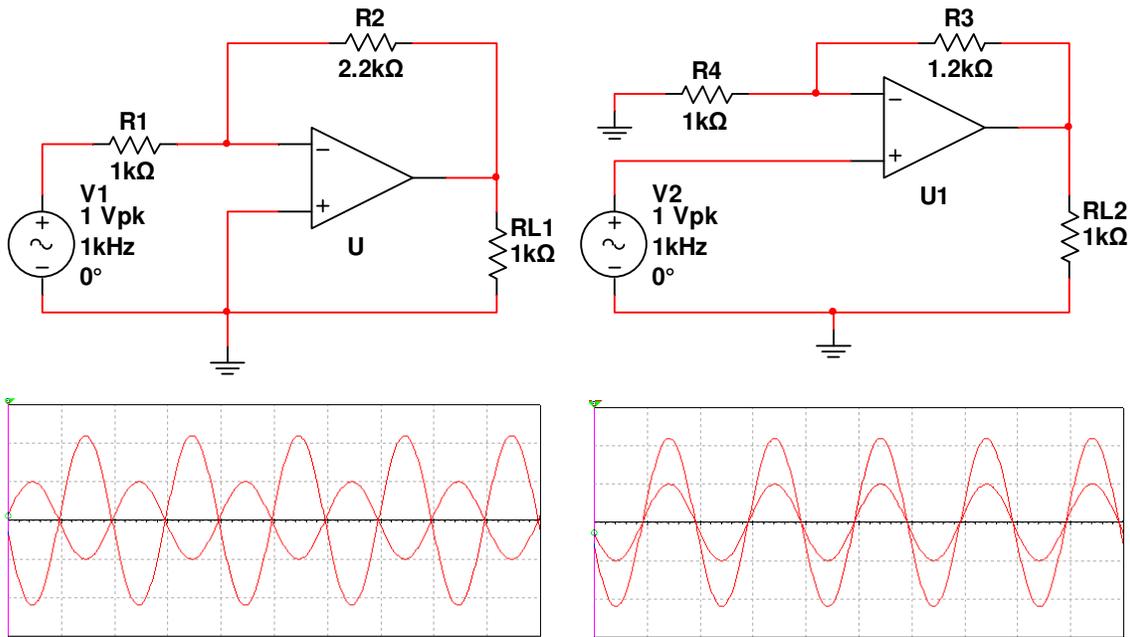
Spesso il segnale fornito dal sensore ha un'ampiezza di piccola intensità rispetto al range di ingresso del convertitore analogico digitale che chiude la catena dei blocchi di un sistema di acquisizione dati.

Per questo motivo è necessario amplificare il debole segnale di tensione in uno adatto alla conversione A-D.

Si può optare per una soluzione invertente oppure per una non invertente con amplificatori operazionali per scopi generali oppure, se le esigenze lo impongono, con amplificatori operazionali per strumentazione.

Esaminiamo il caso di un amplificatore invertente e poi non invertente con un operazionale "general purpose".

In figura si mostrano gli schemi elettrici dei due tipi di amplificatori.



$$\text{Per l'invertente si ha: } V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_1 = -2.2 \cdot V_1$$

Dall'analisi oscilloscopica a sinistra, si osserva che l'ingresso ha valore di picco di 1V mentre contemporaneamente l'uscita ha segno opposto con valore -2.2V. Il guadagno di tensione vale, quindi: -2.2.

$$\text{Per il non invertente si ha: } V_o = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot V_2 = 2.2 \cdot V_2$$

Dall'analisi oscilloscopica a destra, si osserva che l'ingresso ha valore di picco di 1V mentre contemporaneamente l'uscita ha valore 2.2V. Il guadagno di tensione vale, quindi: 2.2.

La tensione di uscita V_o è quella che si preleva, ovviamente, tra R_L e massa.

Per ottenere un guadagno diverso è sufficiente modificare una o entrambe le resistenze per ciascuna configurazione. Conviene limitare il valore delle resistenze tra 1KΩ e 100KΩ.

4. Traslazione di livello

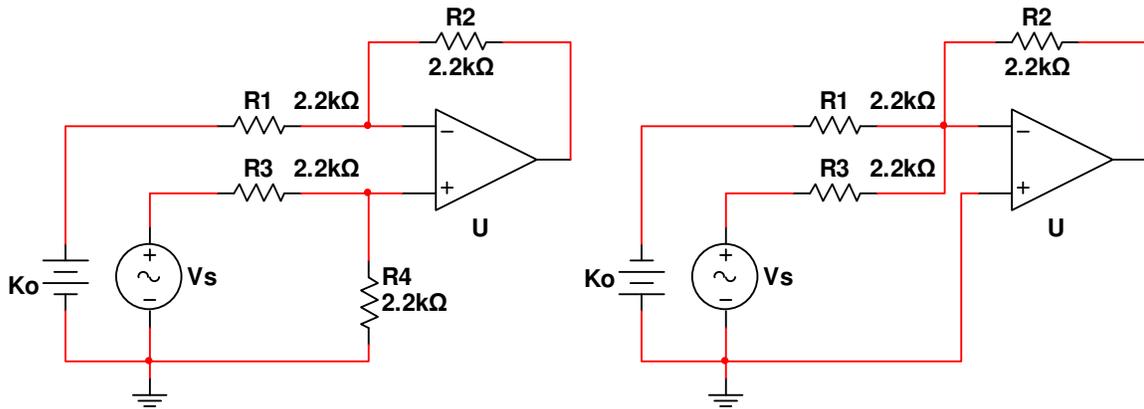
Alle volte un sensore fornisce, per $S=0$, un segnale elettrico diverso da zero pur se la caratteristica di trasduzione è lineare.

Ad esempio: $V_s = K_0 + K_1 \cdot S$

Se volessi ottenere solamente $K_1 \cdot S$ dovrei eliminare l'offset K_0 con una operazione di sottrazione: $V_o = V_s - K_0$

Nelle ipotesi che le costanti K_0 e K_1 siano entrambe positive, il circuito da impiegare è un amplificatore differenziale, in caso contrario sarà possibile impiegare anche un circuito sommatore invertente o non invertente.

Negli schemi seguenti si mostra un amplificatore differenziale a guadagno unitario ed un sommatore invertente.



Nello schema differenziale a sinistra si ha:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_s - K_0) = V_s - K_0 \quad \text{con } R_4/R_3 = R_2/R_1$$

Ovviamente se oltre alla eliminazione dell'offset desideriamo anche amplificare si dovranno dimensionare R_2 ed R_1 in modo da avere l'amplificazione desiderata. In tal caso converrà imporre $R_4 = R_2$ e $R_3 = R_1$.

Nello schema sommatore invertente a destra si ha:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot K_0 - \frac{R_2}{R_3} \cdot V_s = -(V_s - K_0)$$

Anche in questo caso se si vuole conferire un guadagno è sufficiente, ad esempio, rendere uguali R_1 e R_2 e dimensionare opportunamente la resistenza R_3 .

5. Isolamento

Il circuito di isolamento viene utilizzato nei sistemi di processo industriali e in apparecchiature elettromedicali quando nella catena di acquisizione si possono generare valori pericolosi di tensione per le apparecchiature e per le persone.

In genere un circuito di isolamento è costituito da un amplificatore per strumentazione avente lo stadio di ingresso isolato elettricamente ma accoppiato per via ottica o magnetica da quello di uscita e dai circuiti di alimentazione.

Si utilizzano i trasformatori e gli optoaccoppiatori del tipo LED accoppiato ad un fototransistor o ad un fototriac.



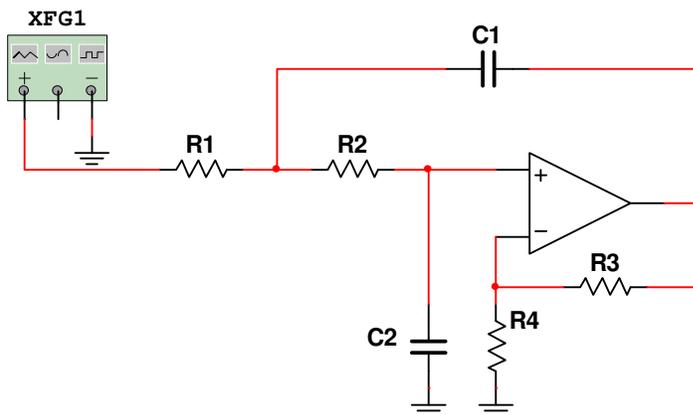
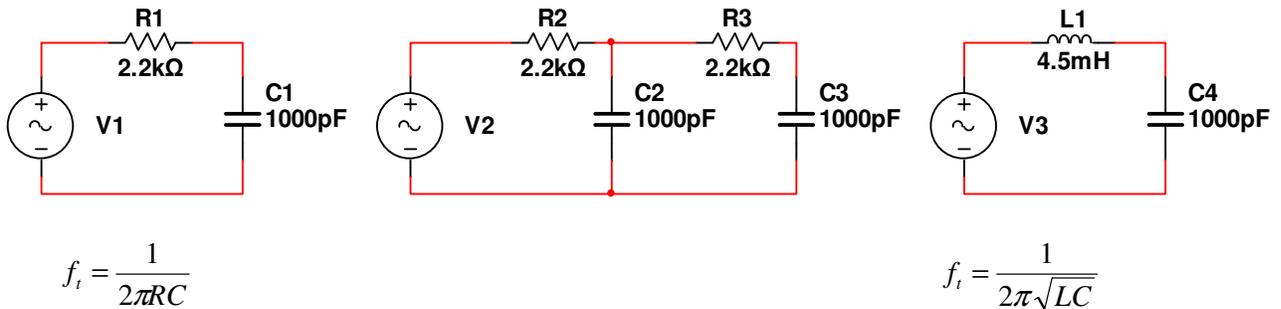
6. Filtraggio

Spesso, sovrapposto al segnale utile, è presente una tensione di rumore a frequenza più elevata rispetto alla massima frequenza contenuta nel segnale.

In tal caso può essere utile inserire un filtro, spesso di tipo passa-basso, avente, come frequenza di taglio, la frequenza massima del segnale proveniente dal sensore.

I tipici filtri sono:

- filtro passivo RC del primo ordine
- filtro passivo RC costituito da più stadi identici per ottenere una curva di risposta più ripida
- filtro passivo LC del secondo ordine
- filtri attivi del primo e di ordine superiore al primo realizzati con amplificatori operazionali invertenti e non invertenti.



Filtro attivo del II ordine Sallen-Key non invertente

Per $R_1 = R_2 = R$ e $C_1 = C_2 = C$

$$f_t = \frac{1}{RC} \quad (\text{frequenza di taglio})$$

$A = 1 + R_3/R_4$ (guadagno di tensione)

$$\xi = \frac{3 - A}{2} \quad (\text{smorzamento})$$

Lo smorzamento deve valere 0.707 nei filtri di Butterworth che sono quelli dalla risposta in frequenza più prossima a quella ideale.

8. Linearizzazione

Alcuni sensori, specie se di tipi resistivo, presentano una caratteristica non lineare. Ad esempio i termistori NTC e PTC sono tipicamente non lineari.

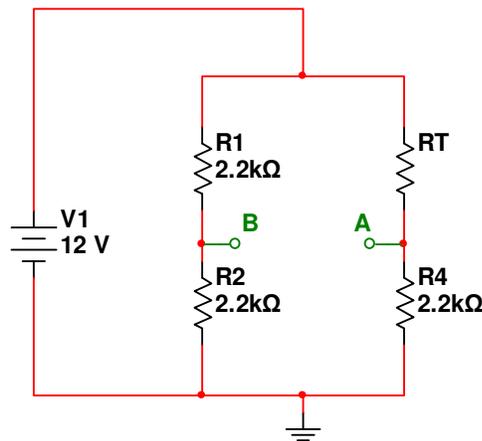
Ciò significa che se la grandezza fisica varia, il segnale elettrico prelevato dal sensore, pur variando, non presenta lo stesso tipo di variabilità. Ad esempio se la temperatura cresce linearmente nel tempo, il segnale elettrico prelevato da un PTC, pur aumentando, non cresce linearmente. Si pone quindi il problema di linearizzare il comportamento del sensore per poter risalire correttamente al valore della grandezza fisica noto che sia il segnale elettrico fornito dal sensore.

Un tipico circuito in grado di linearizzare decentemente il comportamento di un sensore non lineare è un circuito a ponte costituito da 4 resistenze poste sui rami di un rombo delle quali una è rappresentato, ad esempio, da un termistore NTC.

La diagonale verticale è quella di alimentazione mentre quella verticale è quella di misura.

Il ponte è in equilibrio facendo assumere alle 3 resistenze valori tali da ottenere sulla diagonale di misura una tensione pari a 0 quando, ad esempio, la temperatura del sensore è 0°C.

Si mostra nella seguente figura il circuito di linearizzazione.



R_T è il termistore che a 0°C presenta il valore 2.2KΩ

$$V_{AB} = 12 \cdot \left(\frac{R_4}{R_T + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 12 \cdot \frac{2.2}{R_T + 2.2} - 6$$

$V_{AB}=0$ per $T=0^\circ\text{C}$.

All'aumentare della temperatura R_T diminuisce, il primo termine aumenta e quindi $V_{AB}>0$.

Per un limitato campo di variazione della temperatura T si dimostra che la formula che produce V_{AB} cresce proporzionalmente a T .

Molto dipende dalla legge di variabilità della R_T al variare della temperatura.