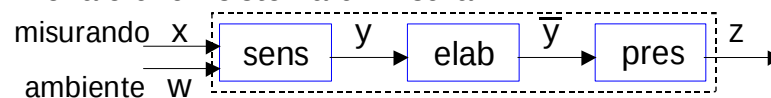


Elettronica analogica: cenni

Luca Mari, Strumentazione Elettronica di Misura

A valle del componente di acquisizione dati

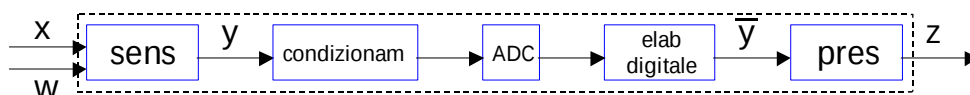
... nella struttura funzionale di un sistema di misura:



abbiamo già considerato il ruolo fondamentale del sensore, componente che acquisisce dal campo l'informazione sul misurando e la rende disponibile nella forma di segnale elettrico

Un problema fondamentale a questo proposito riguarda l'*adattamento* dell'uscita del sensore all'ingresso dell'unità di elaborazione: occorre, in generale, *condizionare il segnale*, in modo da renderlo adatto a pilotare i componenti che compiono l'elaborazione

Nell'ipotesi che il sensore operi su grandezze analogiche e l'elaborazione venga effettuata (almeno in parte) in modo digitale, l'adattamento tra sensore e unità di elaborazione comporta in particolare l'introduzione di un *convertitore analogico-digitale* (analog-to-digital converter, ADC):



e l'unità di condizionamento del segnale opera quindi *su segnali analogici*

Elettronica lineare attiva

Poiché del caso analogico l'informazione è generalmente portata nella *forma* dei segnali, un tipico requisito è che i componenti di cui l'unità di condizionamento è costituita operino

* *in modo lineare*, cioè in modo tale che la relazione tra input $x(t)$ e output $y(t)$ sia della forma $y(t)=kx(t)$, essendo k un valore che idealmente si dovrebbe mantenere costante sia in frequenza (linearità della risposta in frequenza del componente) sia nel tempo (stabilità del componente nel tempo)

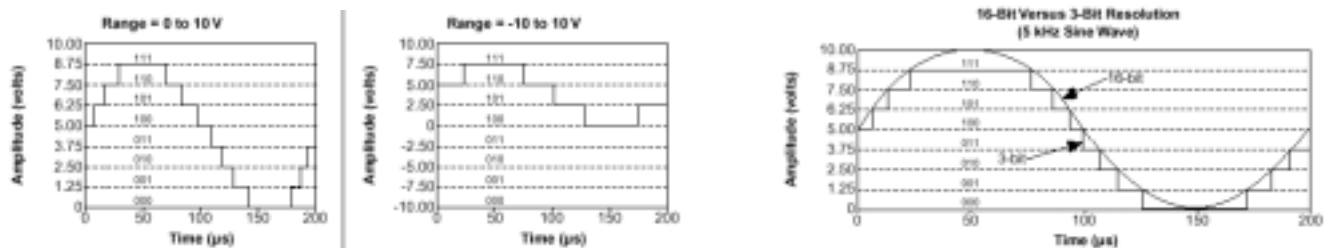
* *in modo attivo*, cioè essendo in grado di produrre segnali in uscita con una potenza maggiore di quella dei corrispondenti segnali di ingresso

ADC

Nella catena di misura, per adattare la sezione, analogica, di acquisizione con la sezione digitale, di elaborazione, si impiega un ADC

Un ADC è caratterizzato in particolare dal suo range di input R_{ADC} e dal numero di bit di quantizzazione n_q , in questo caso chiamato *risoluzione del quantizzatore*

Il rapporto $cw=R_{ADC}/2^{n_q}$ (detto *code width*) stabilisce dunque l'ampiezza del più piccolo cambiamento del segnale a cui l'ADC è sensibile (p.es. $R_{ADC}=10\text{ V}$ e $n_q=12\text{ bit}$, $cw=2,4\text{ mV}$)



Sia R_{ADC} sia n_q sono dunque fattori critici per determinare l'accuratezza dell'uscita dell'ADC, e quindi ridurre il cosiddetto *errore di quantizzazione*, per cui segnali in input diversi ma con ampiezze separate meno di cw potrebbero non essere distinti

Range del segnale e range di input dell'ADC

Nel caso in cui il segnale in input all'ADC ha un range R_s significativamente inferiore a R_{ADC} , l'ADC viene sottoutilizzato a causa della ridotta dinamica del segnale

Se, p.es., $R_{ADC}=10\text{ V}$ e $n_q=12\text{ bit}$ ma $R_s=1\text{ V}$, in effetti solo circa 400 dei 4096 canali possibili risultano usati, con l'effetto di una riduzione dell'accuratezza del segnale prodotto

Se potessimo amplificare il segnale di un fattore 10, portandolo a un range di 10 V, otterremmo un miglioramento corrispondente di accuratezza!

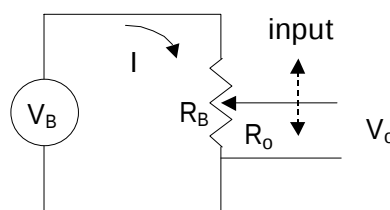
In questa prospettiva, consideriamo tre tipici esempi di accoppiamento tra sensore e ADC:

1. il sensore fornisce un segnale in tensione con un range già sufficientemente ampio:
→ nessun adattamento è necessario
2. il sensore fornisce come segnale un parametro circuitale, da convertire in una tensione
→ ?
3. il sensore fornisce un segnale in tensione con un range non sufficiente
→ ?

Il problema 2: un esempio

Un potenziometro (cioè un resistore a resistenza variabile) può essere usato come un sensore di posizione angolare (p.es. di direzione), a uscita in resistenza, R_o

Alimentandolo con una tensione costante, V_B , si converte il segnale in resistenza in un segnale in tensione. Lo schema di impiego:



$$I = V_B / R_B \quad V_o = R_o I \quad \text{e quindi } V_o = R_o V_B / R_B$$

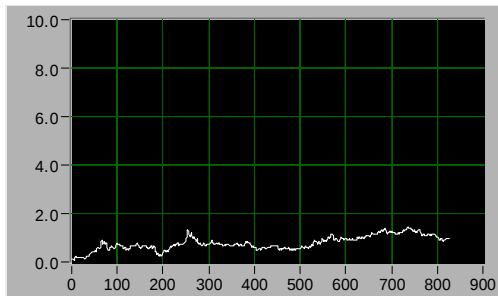
Poiché R_o varia in $[0, R_B]$, il range di V_o (e quindi di uscita del sensore) è corrispondentemente $[0, V_B]$

Per ottimizzare l'accoppiamento con l'ADC è sufficiente scegliere opportunamente la tensione di alimentazione del potenziometro (nota che, in effetti, dovremmo assicurarci anche che l'impedenza di input dell'ADC sia sufficientemente alta!)

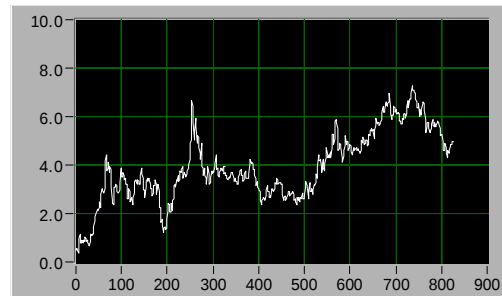
(nota inoltre che in questo caso la taratura è particolarmente semplice da realizzare ...)

Il problema 3: amplificazione

Se il sensore fornisce un segnale con un range non sufficiente, occorre amplificare tale segnale, cioè moltiplicarlo per un fattore >1 (e auspicabilmente costante), detto *guadagno*

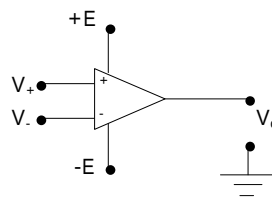


segnale originario



segnale amplificato con un guadagno = 5

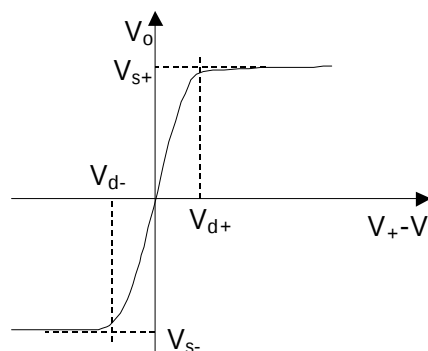
Un componente assai impiegato nei sistemi elettronici analogici è l'amplificatore operazionale:



$\pm E$: alimentazione
(V_+ , V_-): segnale di input
 V_0 : segnale di output

L'amplificatore operazionale

La caratteristica (statica):



tale che nel tratto (V_{d-} , V_{d+}) la relazione ingresso-uscita è approssimabile con una retta

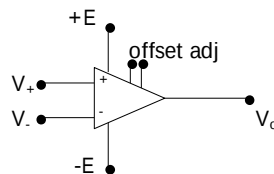
Il rapporto V_{s+}/V_{d+} , pendenza di tale retta, è dunque il guadagno A dell'amplificatore

Valori tipici: $A=10^6$ V $V_{s+}=10$ V da cui segue che $V_{d+}=10^{-5}$ V

un valore molto piccolo, che mette in evidenza quanto è critico il problema della stabilità di tali dispositivi: piccoli offset di tensione (per esempio dovuti a effetti termici: un tipico valore per il coefficiente di temperatura per l'offset di tensione è proprio 10^{-5} V/°C) rendono inutilizzabile l'amplificatore, che opererebbe in saturazione

Amplificatori operazionali “reali”

Un esempio dei problemi che un amplificatore operazionale non ideale pone: alimentato, ma senza alcun segnale di input, potrebbe comunque generare un segnale di output non nullo; diventa necessario correggere l'offset, cioè “spostare” lo zero di input: per questo è prevista una coppia di morsetti di “offset adjustment”:

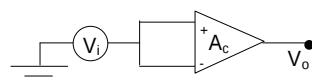


a cui connettere un opportuno circuito

Se definiamo:



A_d = guadagno differenziale



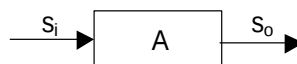
A_c = guadagno di modo comune

allora A_d/A_c (“rapporto di reiezione di modo comune”, *common mode rejection ratio*, CMRR) è un fattore di qualità dell'amplificatore:

idealmente $=\infty$, tipicamente $CMRR_{dB} = 20\log_{10}(A_d/A_c) = 90$ dB

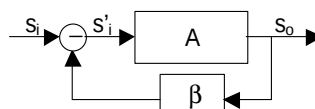
Guadagno in retroazione

Funzionalmente, dunque:



con $s_o = A s_i$ con $A = s_o/s_i$ guadagno dell'amplificatore

Introduciamo un anello di retroazione (naturalmente in feedback negativo!):



con β : guadagno della sezione di retroazione

In questo modo, parte dell'output s_o viene reintrodotta nell'amplificatore come input:

$$s'_i = s_i - \beta s_o$$

Il *guadagno in retroazione* A_r dell'amplificatore (in cui perciò $A = s_o / s'_i$) è:

$A_r = s_o/s_i = s_o/(s'_i + \beta s_o)$ e sostituendo a s'_i il valore s_o/A : $A_r = s_o/(s_o/A + \beta s_o)$

e quindi:

$$A_r = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Il trade-off tra guadagno e stabilità

Supponiamo, per esempio: $A=10^3$ e $\beta=10^{-2}$

Dunque: $A_r=1000/11=90,9$ un valore assai minore di A !

D'altra parte, supponiamo per esempio che nel punto di lavoro il guadagno A possa variare tra $A_1=1000$ e $A_2=1100$, cioè con uno scarto relativo $\Delta A/A$ del 10%

Nel caso della configurazione ad anello chiuso, questa variabilità diventa:

$A'_1=90,9$; $A'_2=91,7$ e quindi $\Delta A'/A'=0,9\%$

e quindi si riduce significativamente, garantendo la maggiore stabilità del sistema:

si accetta di perdere in guadagno per migliorare in stabilità

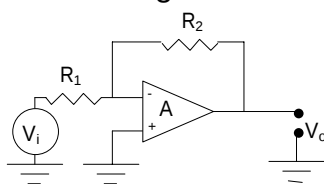
Da notare che per β è stato scelto un valore positivo ma minore di 1; dunque:

* se $\beta A \gg 1$, allora $A_r \approx 1/\beta$: il guadagno in retroazione non dipende più dal guadagno A dell'amplificatore operazionale!

* un componente a guadagno <1 si comporta da "attenuatore" (come fosse un "amplificatore al contrario" ...) e quindi dissipa, invece di fornire, potenza: proprio quello che fa, per esempio, un resistore!

Qualche esempio circuitale di impiego

Amplificatore "in configurazione invertente" (senza visualizzare l'alimentazione):

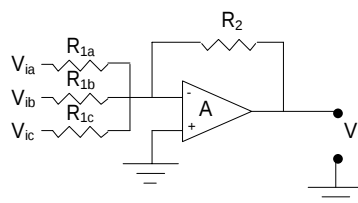


Si può dimostrare che, in prima approssimazione:

$$A_r \approx -R_2/R_1$$

(e dunque in particolare è indipendente da A)

Per esempio:



$$\text{e quindi } V_o = -R_2 \left(\frac{V_{ia}}{R_{1a}} + \frac{V_{ib}}{R_{1b}} + \frac{V_{ic}}{R_{1c}} \right)$$

* se $R_2=R_{1a}=R_{1b}=R_{1c}$ allora $V_o=-(V_{ia}+V_{ib}+V_{ic})$: genera un segnale *somma*

* se $R_2/R_{1a}=R_2/R_{1b}=R_2/R_{1c}=1/3$ allora $V_o=-(V_{ia}+V_{ib}+V_{ic})/3$: genera un segnale *media*

... esempi di elaborazione analogica ...