

0–10 V e 4–20 mA

I segnali 0–10 V e 4–20 mA sono due standard analogici molto utilizzati nell'automazione industriale.

Servono per trasferire il valore di una grandezza fisica tra dispositivi diversi, per esempio tra:

- un sensore e un PLC;
- un trasmettitore e un regolatore;
- un PLC e un inverter;
- un controllore e un attuatore.

Il valore elettrico rappresenta una grandezza come temperatura, pressione, livello, portata o velocità.

SEGNALE 0–10 V

Nel segnale 0–10 V l'informazione è rappresentata da una tensione.

In un sistema lineare:

0 V → 0%

5 V → 50%

10 V → 100%

La percentuale del campo può essere calcolata con:

$$\text{Percentuale} = (V / 10) \times 100$$

Esempio:

Un sensore di pressione misura da 0 a 6 bar e fornisce un'uscita 0–10 V.

Se vengono misurati:

$$V = 6 \text{ V}$$

la percentuale del campo è:

$$(6 / 10) \times 100 = 60\%$$

La pressione vale quindi:

$$6 \text{ bar} \times 0,60 = 3,6 \text{ bar}$$

Una tensione di 6 V rappresenta quindi una pressione di 3,6 bar.

SEGNALE 4–20 mA

Nel segnale 4–20 mA l'informazione è rappresentata dalla corrente che circola nel circuito.

In un sistema lineare:

4 mA → 0%

12 mA → 50%

20 mA → 100%

La parte utile del campo è quindi:

$$20 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 16 \text{ mA}$$

La percentuale può essere calcolata con:

$$\text{Percentuale} = [(I - 4) / 16] \times 100$$

Esempio:

Lo stesso sensore di pressione 0–6 bar fornisce una corrente di:

$$I = 12 \text{ mA}$$

Si ottiene:

$$(12 - 4) / 16 = 0,50$$

quindi:

$$6 \text{ bar} \times 0,50 = 3 \text{ bar}$$

Una corrente di 12 mA rappresenta quindi una pressione di 3 bar.

PERCHÉ SI PARTE DA 4 mA

Nel sistema 4–20 mA lo zero della misura corrisponde a 4 mA, non a 0 mA.

Questo viene chiamato zero vivo.

Permette di distinguere lo zero della grandezza misurata da alcune condizioni di guasto.

Per esempio:

4 mA → valore minimo valido

0 mA → possibile interruzione del circuito o assenza di alimentazione

La diagnostica reale dipende comunque dal dispositivo utilizzato e dalle specifiche del costruttore.

SCALATURA DI UN SEGNALE ANALOGICO

Quando il campo della grandezza non parte da zero, conviene utilizzare la formula generale di scalatura:

$$Y = Y_{\min} + [(X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})] \times (Y_{\max} - Y_{\min})$$

dove:

X = valore elettrico misurato

Xmin = minimo del segnale elettrico

Xmax = massimo del segnale elettrico

Ymin = minimo della grandezza fisica

Ymax = massimo della grandezza fisica

Esempio:

Sensore di temperatura:

-50 °C → 4 mA

+150 °C → 20 mA

Il PLC misura:

16 mA

La posizione nel campo è:

$$(16 - 4) / (20 - 4) = 12 / 16 = 0,75$$

Il campo di temperatura è:

$$150 - (-50) = 200 \text{ °C}$$

quindi:

$$T = -50 + 0,75 \times 200$$

$$T = 100 \text{ °C}$$

Una corrente di 16 mA corrisponde quindi a 100 °C.

DIFFERENZA TRA 0–10 V E 4–20 mA

Nel sistema 0–10 V viene trasmessa una tensione.

Il ricevitore deve avere un'impedenza sufficientemente elevata per non caricare eccessivamente l'uscita del trasmettitore.

Su collegamenti lunghi possono diventare importanti:

- resistenza dei conduttori;
- disturbi elettrici;
- differenze di potenziale tra le masse;
- cadute di tensione.

Nel sistema 4–20 mA viene invece regolata la corrente del circuito.

La resistenza dei conduttori provoca una caduta di tensione, ma la corrente rimane quella imposta dal trasmettitore finché è disponibile una tensione sufficiente per mantenere il loop in regolazione.

Per questo il 4–20 mA è molto utilizzato nei collegamenti industriali e nella strumentazione di processo.

IL LOOP 4–20 mA

Un circuito 4–20 mA viene spesso chiamato loop di corrente.

Un loop può comprendere:

- alimentatore;
- trasmettitore;
- cavi;
- ingresso analogico del PLC o dello strumento ricevente.

Una tensione di alimentazione molto comune è 24 Vcc, ma deve sempre essere verificata sul datasheet del dispositivo.

Esistono trasmettitori a 2 fili, nei quali alimentazione e segnale utilizzano gli stessi conduttori.

Esistono anche dispositivi a 3 o 4 fili, nei quali alimentazione e segnale possono essere separati.

Prima del collegamento bisogna inoltre verificare se ingresso e uscita sono attivi o passivi.

TENSIONE DISPONIBILE NEL LOOP

Nel circuito 4–20 mA ogni componente provoca una caduta di tensione.

In generale deve risultare:

$$V_{\text{alimentazione}} \geq V_{\text{trasmettitore}} + V_{\text{ingresso}} + V_{\text{cavi}} + \text{altre cadute}$$

Se la tensione disponibile non è sufficiente, il trasmettitore può non riuscire a raggiungere correttamente la corrente richiesta, soprattutto vicino a 20 mA.

CONVERSIONE DA 4–20 mA A TENSIONE

Una corrente 4–20 mA può essere trasformata in una tensione utilizzando una resistenza.

Si applica la legge di Ohm:

$$V = I \times R$$

Con una resistenza da:

$$R = 250 \, \Omega$$

si ottiene:

$$4 \, \text{mA} \times 250 \, \Omega = 1 \, \text{V}$$

e:

$$20 \, \text{mA} \times 250 \, \Omega = 5 \, \text{V}$$

Il segnale 4–20 mA viene quindi trasformato in:

1–5 V

Questo sistema può essere utilizzato per acquisire un segnale di corrente mediante un ingresso che misura tensione.

POTENZA DELLA RESISTENZA

La resistenza utilizzata per convertire la corrente dissipa potenza.

La formula è:

$$P = I^2 \times R$$

Alla corrente massima di 20 mA, con una resistenza da 250 Ω :

$$P = 0,020^2 \times 250$$

$$P = 0,10 \text{ W}$$

Una resistenza da 0,25 W avrebbe quindi un margine sufficiente dal solo punto di vista della potenza nominale.

Per misure accurate bisogna considerare anche tolleranza e deriva termica della resistenza.

COLLEGAMENTO CON UN ADC

Un ADC può misurare soltanto tensioni comprese nel proprio campo di ingresso.

Un ADC con campo:

0–3,3 V

non può quindi ricevere direttamente un segnale 0–10 V.

È necessario ridurre la tensione, per esempio tramite un opportuno circuito di condizionamento.

Anche un segnale 4–20 mA può essere adattato a un ADC utilizzando una resistenza.

Esempio con:

$$R = 165 \Omega$$

si ottiene:

$$4 \text{ mA} \times 165 \Omega = 0,66 \text{ V}$$

$$20 \text{ mA} \times 165 \Omega = 3,30 \text{ V}$$

Il segnale 4–20 mA viene quindi convertito nel campo:

0,66–3,30 V

compatibile, in linea teorica, con un ADC da 0–3,3 V.

Nella realizzazione pratica devono essere considerati anche tolleranze, protezioni e limiti dell'ingresso.

DAL DAC AL SEGNALE 0–10 V

Un DAC può essere utilizzato per generare un comando analogico.

Un DAC alimentato a 3,3 V, però, normalmente non genera direttamente 10 V.

Per trasformare idealmente un campo 0–3,3 V in 0–10 V occorre un guadagno:

$$A = 10 / 3,3$$

$$A \approx 3,03$$

Serve quindi uno stadio di condizionamento, per esempio basato su un amplificatore operazionale adatto.

Il circuito deve inoltre essere in grado di fornire la corrente richiesta dal carico e raggiungere realmente la tensione di uscita prevista.

DAL DAC AL SEGNALE 4–20 mA

Per generare un segnale 4–20 mA non è sufficiente collegare una resistenza all'uscita di un DAC.

È necessario un circuito in grado di trasformare una tensione di comando in una corrente regolata.

Questo circuito viene generalmente indicato come convertitore tensione-corrente.

La corrente deve rimanere corretta anche quando cambia la resistenza complessiva del loop, entro i limiti previsti dal circuito.

CONFRONTO

0–10 V

- trasmette una tensione;
- circuito relativamente semplice;
- molto usato per inverter, attuatori e regolazioni;
- più sensibile alle differenze di massa e alle cadute sui collegamenti;
- richiede un ingresso con impedenza adeguata.

4–20 mA

- trasmette una corrente;
- molto usato nella strumentazione industriale;
- adatto anche a collegamenti relativamente lunghi;
- lo zero vivo facilita la rilevazione di alcune anomalie;
- richiede una tensione di alimentazione sufficiente per tutto il loop.

LIMITI REALI

Un sistema analogico reale non è ideale.

Nel progetto e nel collaudo bisogna considerare almeno:

- accuratezza del trasmettitore;
- accuratezza dell'ingresso analogico;
- risoluzione del convertitore;
- rumore elettrico;
- tolleranze dei componenti;
- deriva termica;
- resistenza dei cavi;
- tensione disponibile;
- corrente massima ammessa;
- eventuali protezioni dell'ingresso.

Una maggiore risoluzione numerica non significa automaticamente una maggiore accuratezza della misura.

CONTROLLI PRIMA DEL COLLEGAMENTO

Prima di collegare due dispositivi bisogna verificare sul datasheet:

- tipo di segnale: 0–10 V, 4–20 mA o altro;
- campo elettrico ammesso;
- alimentazione richiesta;
- polarità;
- ingresso o uscita attiva/passiva;
- impedenza dell'ingresso 0–10 V;
- resistenza massima ammessa nel loop 4–20 mA;
- corrente massima dell'uscita in tensione;
- schema dei morsetti;
- campo della grandezza fisica associata al segnale.

Le indicazioni 0–10 V e 4–20 mA definiscono il campo nominale del segnale, ma non descrivono da sole tutte le caratteristiche elettriche del dispositivo.