



Università degli Studi di Trento

Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Misure Meccaniche e Termiche
Docente: De Cecco Mariolino

Appunti del corso

Matteo Dalle Vedove
matteo.dallevedove@studenti.unitn.it

Anno Accademico 2020-2021
28 gennaio 2021

Indice

1	Introduzione	2
1.1	Teoria generalizzata degli strumenti di misura	2
2	Termocoppie e termoresistenze	3
2.1	Termoresistenze	3
2.2	Noise thermometers	4
2.3	Pirometri ad infrarosso	4

Capitolo 1

Introduzione

Misurare

1.1 Teoria generalizzata degli strumenti di misura

Gli **elementi funzionali** individualibili in un apparato (o sistema) di misura:

1. il **sensore primario**: l'elemento sensibile al misurando. E' l'elemento in diretto contatto con il misurando (o è preceduto da un elemento trasmettitore). Esso riceve energia dal misurando e, a volte, può effettuare una trasformazione di variabile. In generale è importante che questo sensore perturbi il meno possibile il misurando, assorbendo il minimo di energia;
2. l'**elemento di trasmissione**: è un elemento in cui la grandezza di ingresso è pari a quella in uscita ma opera una trasduzione di posizione del segnale utile. In particolare esso deve attenuare, distorcere e ritardare il meno possibile il segnale condotto;
3. l'**elemento di conversione di grandezza o trasformatore di variabile**: è utilizzato per facilitare la trasmissione del segnale a distanza. Può anche essere utilizzato per elaborare il segnale (come amplificarlo o filtrarlo). In generale si ha la trasformazione in questo punto in grandezze elettriche;
4. **elemento di elaborazione dati**: utilizzato per elaborare i dati come la codifica dei segnali per la trasmissione, per amplificare ulteriormente i segnali, estrarre informazioni aggiuntive o ridurre l'effetto degli ingressi di disturbo. Si ha elaborazione anche quando si integra/deriva una variabile per ottenere informazioni ulteriori o convertire segnali da analogico a digitale (e viceversa);
5. **elemento di memorizzazione**: servono a memorizzare (a breve o lungo termine) le informazioni provenienti da un sistema di misura. Essi permettono di cambiare anche la scala dei tempi di riproduzione dei dati;
6. **elemento di presentazione dati**: fornisce l'uscita dei dati in una forma reattiva ai sensi dell'uomo (tendenzialmente segnali visivi).

Capitolo 2

Termocoppie e termoresistenze

La misura di temperatura avviene misurando la differenza di forza elettromotrice (tensione) di una termocoppia

Effetto Peltier Quando una corrente inizia a scorrere nella termocoppia, sui giunti metallici si genera del calore (o esso viene dissipato) in modo da controbilanciare l'effetto Seebeck, anche se spesso questo effetto viene trascurato.

Effetto Thomson L'effetto Thomson rileva la dispersione di calore dovuta al filo che collega le due termocoppie.

In generale

$$fem_{termocoppia} = \underbrace{c_1(T_1 - T_2)}_{\text{Seebeck}} + \underbrace{c_2(T_1^2 - T_2^2)}_{\text{Thomson}}$$

dove c_1, c_2 sono due costanti generalmente fornite dal produttore ma che devono essere tarate per migliorare la precisione di misura. In generale i fili di connessione delle due giunzioni possono essere esposti a temperature ambientali variabili in quanto non influiscono nella misurazione della forza elettromotrice della termocoppia.

Nella pratica le termocoppie sono caratterizzate dal non avere la necessità di avere un ambiente termostato, ma si integra il controllore con un sensore di temperatura con il quale fare il confronto di temperatura; il sistema si comporta come un termometro dunque.

2.1 Termoresistenze

Le termoresistenze si basano sul fatto che la resistenza R di un metallo è funzione della temperatura T cui esso è sottoposto; per esempio è possibile calcolare la resistenza in funzione dell'intervallo di temperatura secondo le leggi

$$R(T_{\circ C}) = \begin{cases} R_0(1 + aT + bT^2 + c(T - 100)^3) & T \in [-200^{\circ}C, 0^{\circ}C] \\ R_0(1 + aT + bT^2) & T \in [0^{\circ}C, 850^{\circ}C] \end{cases}$$

dove la temperatura T è espressa in gradi Celsius, R_0 è la resistenza del conduttore alla temperatura $0^{\circ}C$ e a, b, c sono dei coefficienti del metallo.

Per la realizzazione di termoresistenze in generale si utilizzano nickel, rame e platino; in particolare noi facciamo riferimento alla sonda PT100 realizzata in platino con resistenza $R_0 = 100\Omega$ con classe di accuratezza A (più accurata) e B (meno accurata).

Per disaccoppiare dall'effetto di temperatura quello di deformazione si avvolge il filo a spirale e si immerge il metallo in una polvere di allumina che isola dalle vibrazioni pur conducendo calore (in questo modo si elimina l'effetto *estensimetro*).

Trascurando la resistenza dei fili di collegamento tra termoresistenza e apparato di misurazione, la temperatura viene misurata tramite un ponte di Wheatstone semplice. Il trascurare i cavi può portare a grossi errori in quanto aumentano la resistenza equivalente del circuito e la temperatura dei fili può modificare la temperatura che si vuole misurare. Per ovviare a questo problema, come per gli estensimetri, si effettua un collegamento a tre fili con il ponte di Wheatstone

AGGIUNGERE LE FIGURE

Un altro problema del circuito è dovuto alla bassa resistenza della sonda; in generale dovendo essere pari a $20m\Omega$ la corrente massima che può scorrere sull circuito, considerando le due resistenze $R_1, R_2 = 100\Omega$ la tensione di alimentazione è limitata al valore

$$V = I_{max}R_{eq} = 4V$$

Un modo per ovviare a questo problema è di porre a $25V$ la tensione di alimentazione da modulare con un duty cycle in modo che la tensione media nel tempo è di $4V$.

Un altro metodo di misurazione è quello **volt-amperometrico** con collegamento a due fili; in questo caso il circuito è alimentato da un generatore di corrente e, tramite un multimetro, si misura la differenza di tensione ai capi dei due fili. In questo caso l'uscita non è proporzionale solamente alla resistenza della sonda, ma anche a quella dei fili.

Per ridurre questo problema si utilizza lo stesso metodo ma a 4 fili

2.2 Noise thermometers

I **noise thermometers** fa parte dei metodi alternativi di misurazione della temperatura. Questi strumenti si basano sulla stima del rumore (dovuto alla temperatura) correlato alla temperatura del misurando tramite stima della deviazione standard. Questo strumento si basa sul fatto che il *rumore* è detto *bianco* in quanto ogni componente in frequenza è presente con un modulo pressoché equivalente.

Misurando la tensione media dovuto a questo rumore si evince che essa è nulla in quanto $V_m = \frac{1}{t} \int_0^t V(\xi) d\xi = 0$, mentre lo scarto quadratico medio si può osservare non essere nullo $\sigma^2 = \frac{1}{t} \int_0^t V^2(\xi) d\xi \neq 0$.

2.3 Pirometri ad infrarosso

I **pirometri ad infrarosso** si basano sulla misura pirometrica, ossia sul rilevare la radiazione elettromagnetica propria emessa dal corpo misurando; questo è dunque un sistema di misura senza contatto tra misurando e sistema di misura.

In particolare tramite la legge di Planck è possibile misurare la potenza W trasmessa da un corpo nero in funzione della lunghezza d'onda λ (in μm) e della temperatura T (in gradi Kelvin) secondo l'equazione

$$W(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}$$

Per integrazione della potenza per unità di lunghezza rispetto allo spettro di frequenza è possibile calcolare la potenza totale irradiata dal corpo: $P = \int_{\lambda} W(\lambda, T) d\lambda$. Osservando che la lunghezza d'onda di picco segue un'equazione del tipo $\lambda_{picco} = 2891/T$, per integrazione si ricava che la potenza è una potenza quarta della temperatura:

$$P = \int_{\lambda} W(\lambda, T) d\lambda = 5.67 \cdot 10^{-12} T^4$$

Per i **corpi reali** il comportamento risulta essere leggermente diverso rispetto a quello ideale del corpo nero: si parla di *corpo grigio* se lo spettro è attenuato di un valore costante (inferiore al valore unitario), mentre un *corpo* è detto *colorato* se l'attenuazione dipende dalla lunghezza d'onda che si vuole rilevare. In generale la relazione è espressa dalla funzione

$$W_a(\lambda, T) = \frac{\varepsilon(\lambda, T)c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}$$

dove $\varepsilon(\lambda, T) \in [0, 1]$ è l'**emissività** del corpo. Tale fattore dipende, oltre che da λ e T , anche dalla rugosità della superficie, dall'angolo rispetto al quale si effettua la rilevazione...

Un problema legato a questo tipo di misuratore è che lo stesso rileva anche le radiazioni riflesse da altri corpi sul corpo oggetto di misura.