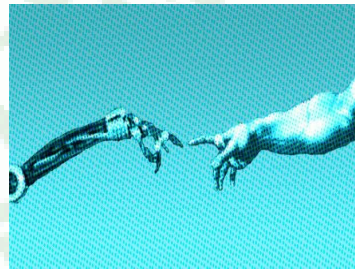




DIE **UNIVERSITA'** DEGLI STUDI DI
TI **NA** POLI FEDERICO II

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA
E DELLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE

Voltmetri in regime AC



DIE **UNIVERSITA'**
TI **NA**

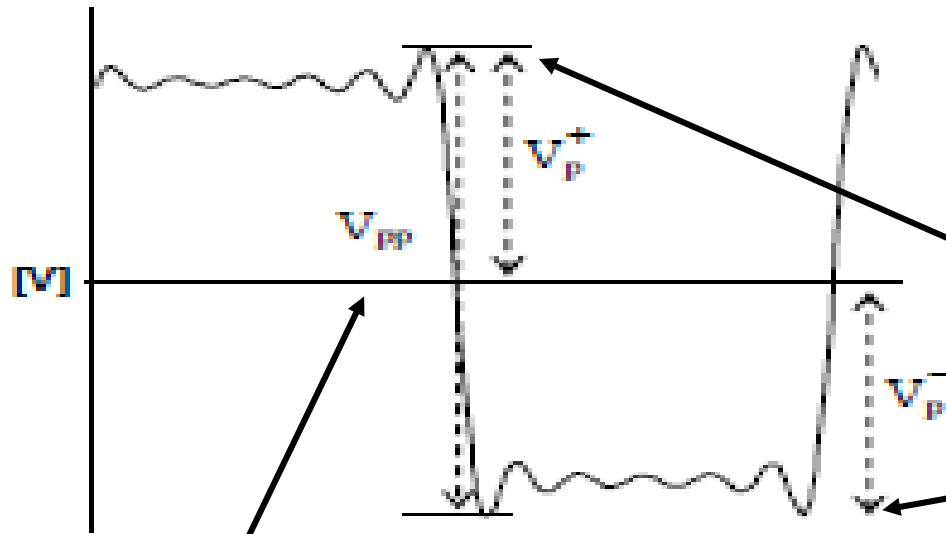
Voltmetri Numerici in regime alternato

Outline

- Definizioni fondamentali
- Termocoppie
- Convertitori AC/DC con montaggio differenziale di termocoppie

Voltmetri Numerici in AC: definizioni

Quando si è in presenza di una grandezza $v_x(t)$ che varia nel tempo, può essere utile concentrare l'attenzione su parametri di tipo puntuale o integrale che contengono informazioni relative al segnale.



I parametri di tipo puntuale sono:

- V_{picco} : è il massimo valore, in modulo, che assume il segnale. Si divide in V_p^+ il quale è il valore di picco positivo e V_p^- il quale è il valore di picco negativo.

- $V_{picco-picco}$: V_{PP} è la differenza tra il valore di picco positivo e il valore di picco negativo.

Voltmetri Numerici in AC: definizioni

I parametri di tipo integrale sono:

- V_{medio} : è il rapporto tra l'integrale del segnale calcolato nel tempo di osservazione T e il tempo di osservazione T .

$$V_{medio} \triangleq \frac{1}{T} \int_{\bar{t}}^{\bar{t}+T} v_x(t) dt = \langle v_x(t) \rangle_T = V_m$$

Se il segnale è periodico, il tempo di osservazione in cui calcolare l'integrale è pari al periodo T_0 (o ad un multiplo del periodo T_0).

Poiché molti segnali con andamento *alternato (sinusoidale)* hanno valor medio nullo quindi non forniscono alcuna informazione (al più informano che le grandezze presentano un andamento alternato), il valor medio V_m talvolta viene sostituito dal valor medio convenzionale V_{mc} . Il valore medio convenzionale è definito come il rapporto tra l'integrale del modulo del segnale calcolato nel tempo di osservazione T e il tempo di osservazione T :

$$V_{medio-convenzionale} \triangleq \frac{1}{T} \int_{\bar{t}}^{\bar{t}+T} |v_x(t)| dt = \langle |v_x(t)| \rangle_T = V_{mc}$$

Tutti i segnali che appartengono quindi alla classe dei segnali alternati avranno $V_m = 0$ ma ognuno potrebbe presentare un V_{mc} diverso dall'altro: ciò implica quindi che, per questi segnali, il valor medio non fornisce alcuna informazione; l'informazione è invece fornita dal valor medio convenzionale.

Voltmetri Numerici in AC: definizioni

I parametri di tipo integrale sono:

- V_{medio} : è il rapporto tra l'integrale del segnale calcolato nel tempo di osservazione T e il tempo di osservazione T .

$$V_{medio} \triangleq \frac{1}{T} \int_{\bar{t}}^{\bar{t}+T} v_x(t) dt = \langle v_x(t) \rangle_T = V_m$$

Se il segnale è periodico, il tempo di osservazione in cui calcolare l'integrale è pari al periodo T_0 (o ad un multiplo del periodo T_0).

Poiché molti segnali con andamento *alternato (sinusoidale)* hanno valor medio nullo quindi non forniscono alcuna informazione (al più informano che le grandezze presentano un andamento alternato), il valor medio V_m talvolta viene sostituito dal **valor medio convenzionale** V_{mc} .

Il valore medio convenzionale è definito come il rapporto tra l'integrale del modulo del segnale calcolato nel tempo di osservazione T e il tempo di osservazione T :

$$V_{medio-convenzionale} \triangleq \frac{1}{T} \int_{\bar{t}}^{\bar{t}+T} |v_x(t)| dt = \langle |v_x(t)| \rangle_T = V_{mc}$$

Tutti i segnali che appartengono quindi alla classe dei segnali alternati avranno $V_m = 0$ ma ognuno potrebbe presentare un V_{mc} diverso dall'altro: ciò implica quindi che, per questi segnali, il valor medio non fornisce alcuna informazione; l'informazione è invece fornita dal valor medio convenzionale.

Voltmetri Numerici in AC: definizioni

- V_{rms} (*root mean square*): è il valore efficace, cioè la radice del valor quadratico medio. Esso è dunque definito come la radice quadrata del rapporto tra l'integrale del modulo al quadrato del segnale, calcolato nel tempo di osservazione T , e il tempo di osservazione T :

$$V_{rms} \triangleq \sqrt{\frac{1}{T} \int_T |v_x(t)|^2 dt}$$

Esso è un parametro che contiene informazioni di carattere energetico.

Se si considera la potenza dissipata da un bipolo resistivo che lavora in regime alternato si potrà osservare che la potenza è direttamente proporzionale al quadrato del valore efficace della corrente/tensione:

$$P_D = R * I_{rms}^2 = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

Voltmetri Numerici in AC: definizioni

In particolare è possibile esprimere la potenza dissipata da un resistore (sia in regime alternato che in regime stazionario) nel seguente modo:

$$\begin{cases} P_D = \frac{V_{rms}^2}{R} & AC \\ P_D = \frac{V_{DC}^2}{R} & DC \end{cases}$$

dove V_{DC} è la tensione in regime continuo.

Il valore V_{rms} è quindi il valore di tensione associato al segnale $v_x(t)$ che **produce gli stessi effetti termici** che vengono prodotti nel resistore se il regime fosse continuo e se la tensione ai morsetti del resistore fosse pari al valore efficace.

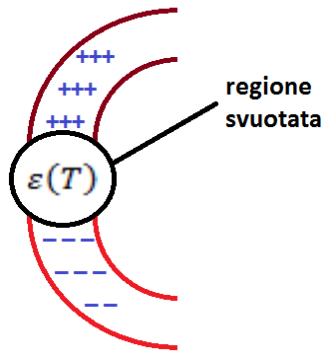
Il valor medio convenzionale V_{mc} di una forma d'onda è direttamente proporzionale al valore efficace V_{rms} .

Termocoppie

Per riuscire a misurare il valore efficace di una tensione alternata tramite gli strumenti visti in precedenza (voltmetri in DC) abbiamo bisogno di opportuni sistemi di condizionamento.

Il principale sistema usato è quello basato sulle termocoppie

La **termocoppia** è un dispositivo formato da due **conduttori di geometria filiforme**, saldati tra loro ad una estremità: il punto in cui avviene la saldatura è detto “**giunzione**”



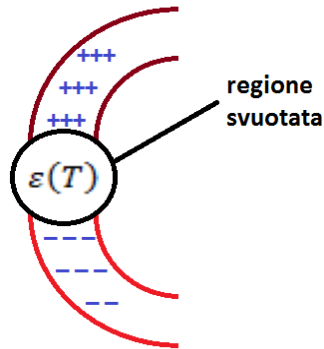
I due conduttori, di natura diversa, hanno diverso potenziale di elettronegatività

A ridosso della giunzione si verifica quindi uno scambio di elettroni: un elettrone si sposta da un corpo a maggior potenziale di elettronegatività verso un corpo a potenziale minore; affinché ciò avvenga è necessario che l'elettrone sia sottoposto ad una certa quantità di energia.

È possibile però che alcuni elettroni, nel passare da un conduttore all'altro, restino intrappolati nel materiale a maggior potenziale di elettronegatività creando un ammasso di carica positiva dall'altro lato della giunzione.

Elettronegatività: energia da fornire al conduttore per strappare un elettrone

Termocoppie: Effetto Seeback



È possibile però che alcuni elettroni, nel passare da un conduttore all'altro, restino intrappolati nel materiale a maggior potenziale di elettronegatività creando un ammasso di carica positiva dall'altro lato della giunzione.

Si crea così a ridosso della giunzione una regione svuotata di carica, cioè una regione con maggiore carica negativa, che ad una certa temperatura T raggiunge un equilibrio con maggiore separazione di carica.

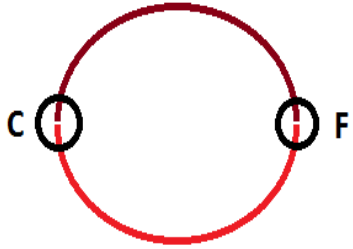
Si genera quindi un campo elettrico, diretto dalla carica positiva verso la carica negativa, e quindi una tensione (come integrale di linea del campo elettrico) la quale non determina nessun flusso di corrente netta (soprattutto se i terminali della termocoppia sono aperti).

Quindi in questo sistema semplice i cui corpi sono a temperatura T esiste una f.e.m. di contatto:

$$\varepsilon(T) = f.e.m. di contatto$$

la quale è funzione della temperatura: infatti se la giunzione è riscaldata aumenta il dinamismo degli elettroni ed è facilitato il passaggio di carica.

Termocoppie



Spesso la termocoppia è studiata pensando un sistema ad anello chiuso e distinguendo due giunzioni: la giunzione calda C e la giunzione fredda F. In questo caso avremo un f.e.m. al giunto caldo eguale ed opposta alla f.e.m. del giunto freddo per cui non c'è circolazione di corrente.

Il termine di giunzione fredda diventa improprio se la termocoppia è aperta per cui si parla di «terminale freddo».

La legge che lega la f.e.m. di contatto alla temperatura è la seguente:

$$\varepsilon(T) = f(T) = a(T - T_{amb}) + b(T - T_{amb})^2 + c(T - T_{amb})^3 + \dots$$

Dove $T - T_{amb}$ rappresenta il salto tra la temperatura della giunzione C e la temperatura ambiente cioè la temperatura della giunzione F, mentre i coefficienti $a, b, c \dots$ sono tabellati così da poter risalire al valore del salto di temperatura.

I coefficienti che vi compaiono sono pubblicati e mantenuti aggiornati dal NIST
NIST= National Institute of Standards and Technology

Termocoppie: norme di riferimento

IEC EN 60584-1 Termocoppie - Parte 1: Tabelle di riferimento

Specifica le funzioni di riferimento e le tolleranze per termocoppie designate da lettere (tipi R, S, B, J, T, E, K, N, C e A). Le temperature sono espresse in gradi Celsius in base alla scala internazionale della temperatura del 1990, ITS-90 (simbolo t_{90}), e l'EMF (simbolo E) è in microvolt. Le funzioni di riferimento sono polinomi che esprimono l'EMF, E in V, in funzione della temperatura t_{90} in °C con le giunzioni di riferimento della termocoppia a 0 °C.

IEC EN 60584-2 Termocoppie - Parte 2: Tolleranze

Contiene le tolleranze di fabbricazione per le termocoppie sia in metallo nobile che in metallo base prodotte in conformità con e.m.f. rapporti di temperatura della Parte 1 dello standard. I valori di tolleranza si riferiscono a una termocoppia prodotta da fili normalmente compresi tra 0,25 mm e 3 mm, forniti all'utente e che non consentono la calibrazione durante l'uso.

IEC EN 60584-3 Termocoppie - Parte 3: Cavi di estensione e di compensazione - Tolleranze e sistemi di identificazione

Specifica le tolleranze di produzione per cavi di estensione e compensazione (diversi dai cavi isolati in minerali) forniti direttamente agli utenti dei processi industriali. Queste tolleranze sono determinate rispetto alla relazione e.m.f.-temperatura della Parte 1 della norma. Inoltre, sono specificati i requisiti per i cavi di estensione e compensazione per l'uso nel controllo di un processo industriale.

Termocoppie

Tipo	E	J	K	R	T
	Nikel-Cromo (+) Costantana (-)	Ferro (+) Costantana (-)	Nikel-Cromo (+) Nikel-Alluminio (-)	Platino-Rodio (+) Platino (-)	Rame (+) Costantana (-)
T_{min}	95 °C	95 °C	95 °C	870 °C	-200 °C
T_{max}	900 °C	760 °C	1260 °C	1450 °C	350 °C
V_{max}	68.78 mV	42.25 mV	50.63 mV	16.74 mV	17.81
Incert.	± 1.7 °C	± 2.2 °C	± 2.2 °C	± 1.4 °C	± 0.8 °C



Giunzione esposta



Giunzione protetta e isolata elettricamente

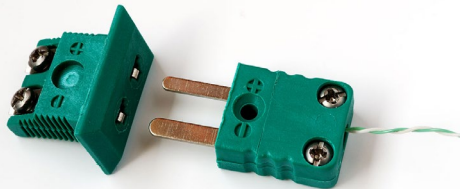


Giunzione protetta e connessa a massa

Esistono con due classi di tolleranza.

La classe 1 ha una tolleranza di 1.5°C nel range -40 375°C e una tolleranza di $0.004 \cdot T$ nel range 375°C-1000°C.

La classe 2 ha invece valori di tolleranza rispettivamente di ± 2.5 °C e $0.0075 \cdot T$ nei due range visti prima.



Termocoppie

Tolleranze secondo la Norma CEI EN 60584-1 Tolerances according to CEI EN 60584-1

Tolleranza Classe 1 (+/- °C) Tolerances Class 1 (+/- °C)					
Temp.	Tipo di termocoppia - Thermocouple type				
°C	J	K	N	S - R	B
-40	1,5	1,5	1,5		
0	1,5	1,5	1,5	1	
50	1,5	1,5	1,5	1	
100	1,5	1,5	1,5	1	
150	1,5	1,5	1,5	1	
200	1,5	1,5	1,5	1	
250	1,5	1,5	1,5	1	
300	1,5	1,5	1,5	1	
350	1,5	1,5	1,5	1	
400	1,6	1,6	1,6	1	
450	1,8	1,8	1,8	1	
500	2	2	2	1	
550	2,2	2,2	2,2	1	
600	2,4	2,4	2,4	1	
650	2,6	2,6	2,6	1	
700	2,8	2,8	2,8	1	
750	3	3	3	1	
800		3,2	3,2	1	
850		3,4	3,4	1	
900		3,6	3,6	1	
950		3,8	3,8	1	
1000		4	4	1	
1050				1	
1100				1	
1150				1,15	
1200				1,3	
1250				1,45	
1300				1,6	
1350				1,75	
1400				1,9	
1450				2,05	
1500				2,2	
1550				2,35	
1600				2,5	
1650					
1700					

Tolleranza Classe 2 (+/- °C) Tolerances Class 2 (+/- °C)					
Temp.	Tipo di termocoppia - Thermocouple type				
°C	J	K	N	S - R	B
-40	2,5	2,5	2,5		
0	2,5	2,5	2,5	1,5	
50	2,5	2,5	2,5	1,5	
100	2,5	2,5	2,5	1,5	
150	2,5	2,5	2,5	1,5	
200	2,5	2,5	2,5	1,5	
250	2,5	2,5	2,5	1,5	
300	2,5	2,5	2,5	1,5	
350	2,625	2,625	2,625	1,5	
400	3	3	3	1,5	
450	3,375	3,375	3,375	1,5	
500	3,75	3,75	3,75	1,5	
550	4,125	4,125	4,125	1,5	
600	4,5	4,5	4,5	1,5	1,5
650	4,875	4,875	4,875	1,625	1,625
700	5,25	5,25	5,25	1,75	1,75
750	5,625	5,625	5,625	1,875	1,875
800		6	6	2	2
850		6,375	6,375	2,125	2,125
900		6,75	6,75	2,25	2,25
950		7,125	7,125	2,375	2,375
1000		7,5	7,5	2,5	2,5
1050		7,875	7,875	2,625	2,625
1100		8,25	8,25	2,75	2,75
1150		8,625	8,625	2,875	2,875
1200		9	9	3	3
1250				3,125	3,125
1300				3,25	3,25
1350				3,375	3,375
1400				3,5	3,5
1450				3,625	3,625
1500				3,75	3,75
1550				3,875	3,875
1600				4	4
1650					4,125
1700					4,25

SETER s.r.l. Data: 31-12-2015 Revisione n°: 01 del 10-01-2017 Disegnato: 001 Approvato: 004

SETER®

SETER s.r.l. Fiorano Modenese Modena Italy
commerciale@seter.it www.seter.it
tel. 0536-843454 fax 0536-927199

Le informazioni contenute nella presente scheda non sono vincolanti. Nell'intento di migliorare costantemente il prodotto, esse possono essere variate da Seter s.r.l. in qualsiasi momento senza obbligo di preavviso.

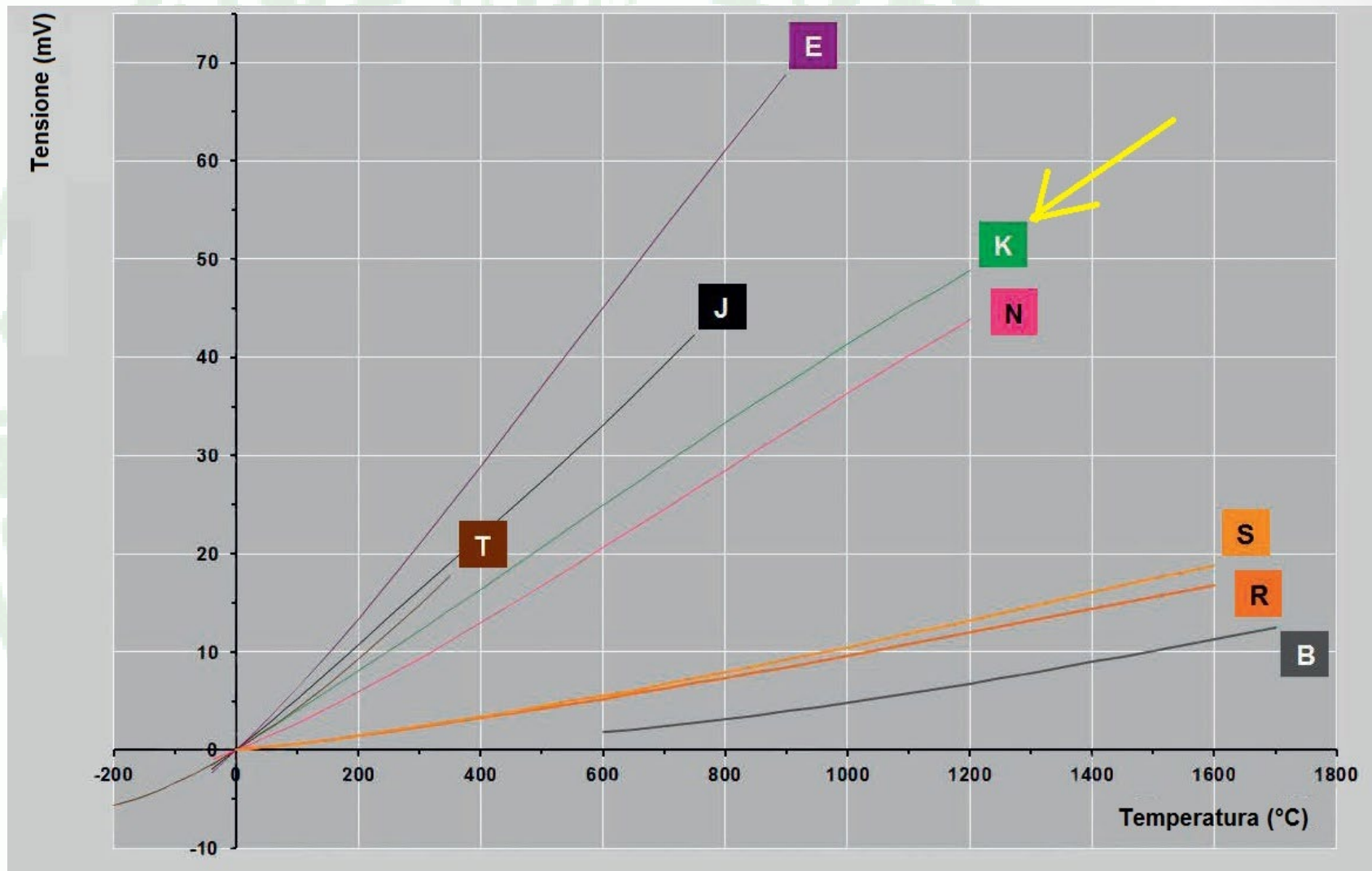
Termocoppie

Tensioni di uscita di 6 termocoppie di uso industriale in mV

Temp(° C)	J	T	K	E	R	S
-190	-7.66	-5.379	-5.60	-8.45		
-100	-4.63	-3.348	-3.49	-5.18		
0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
100	5.27	4.277	4.10	6.32	0.645	0.643
200	10.78	9.288	8.13	13.42	1.465	1.436
300	16.32	14.864	12.21	21.04	2.395	2.316
400	21.85	20.873	16.40	28.95	3.399	3.251
500	27.39		20.65	37.01	4.455	4.221
600	33.11		24.91	45.10	5.563	5.224
700	39.15		29.14	53.14	6.720	6.260
800	45.53		33.30	61.08	7.925	7.329
900			37.36	68.85	9.175	8.432
1000			41.31	76.54	10.471	9.570
1100			45.16		11.817	10.741
1200			48.89		13.193	11.935
1300			52.46		14.583	13.138
1400			54.88		15.969	14.337
1500					17.355	15.530
1600					18.727	16.715
1700					20.090	17.891
1765						18.648

Le termocoppie sono codificate in base ai materiali usati e si classificano con una lettera dell'alfabeto. Vi sono le termocoppie di tipo K, J, C, D, G, T, E, N, P, B, R ed S ognuna con materiale differente viene classificata in modo tale che sia noto il valore della tensione generata sul giunto freddo e quindi compensata.

Termocoppie

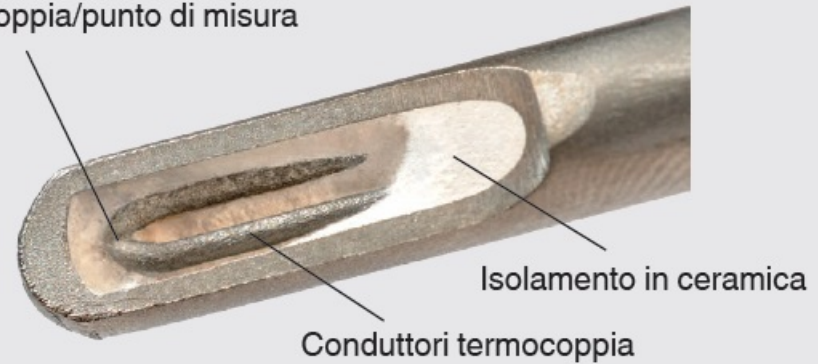


Termocoppie tipo K

Le termocoppie di tipo K sono le più diffuse ed economiche, il range di temperature misurabili va da un massimo di circa 1100°C ad un minimo di -180°C anche se questi valori dipendono da costruttore a costruttore.

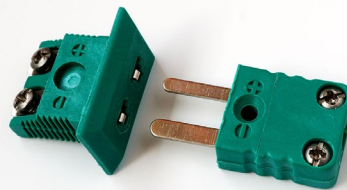
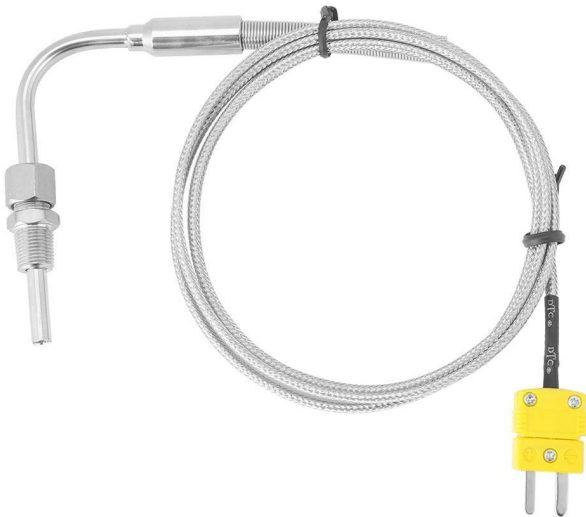
Sono costruite con una giunzione tra Cromo e Alumel.

Termocoppia/punto di misura



È resistente ad ambienti acidi mentre soffre in ambienti basici.

Spesso è racchiusa da una sonda protettiva di acciaio.

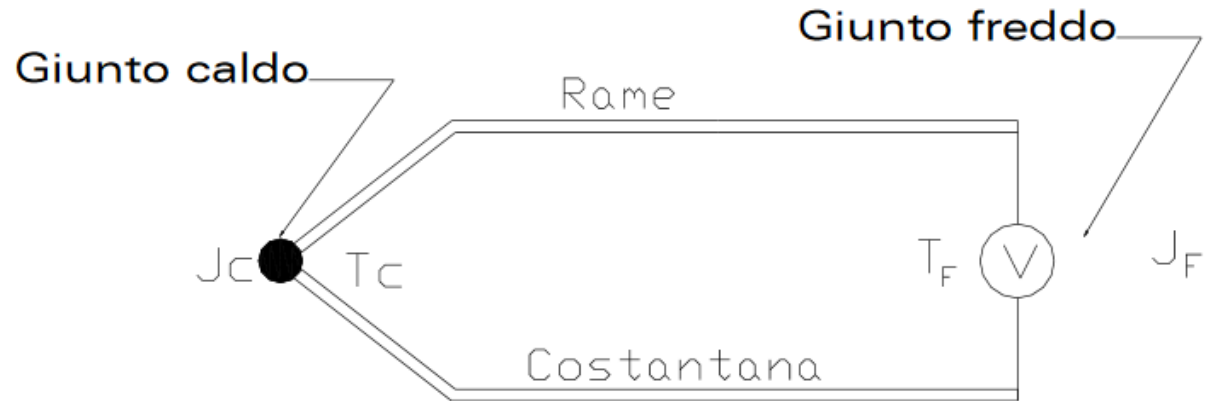


Connettore per termocoppia di tipo K; da notare l'indicazione della polarità per il corretto collegamento

Alumel è una lega composta da 95% Nickel, 2% Alluminio e Manganese e 1% Silicio)

Termocoppie: esempio 1

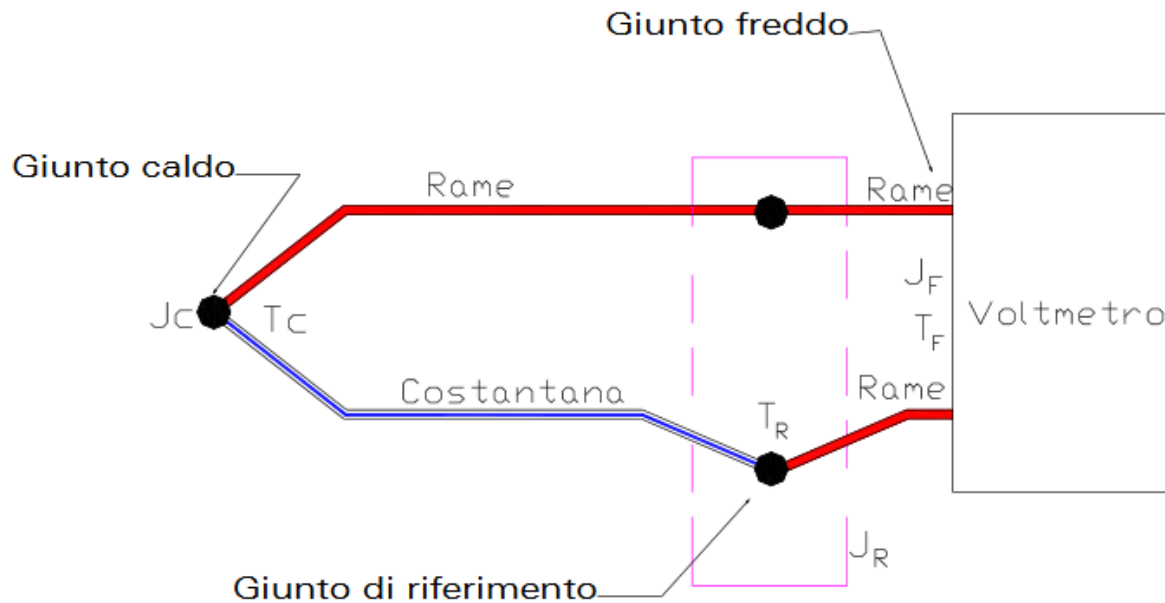
Termocoppia tipo T:
Rame-Constantana



- T_C = Temperatura giunto caldo
- T_F = Temperatura giunto freddo

La costantana è una [lega](#) binaria composta di [rame](#) (60%) e di [nichel](#) (40%) che presenta una [resistività](#) di circa $4,9 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$. Il suo nome è collegato alla proprietà di mantenere pressoché invariata la propria resistività al variare della temperatura

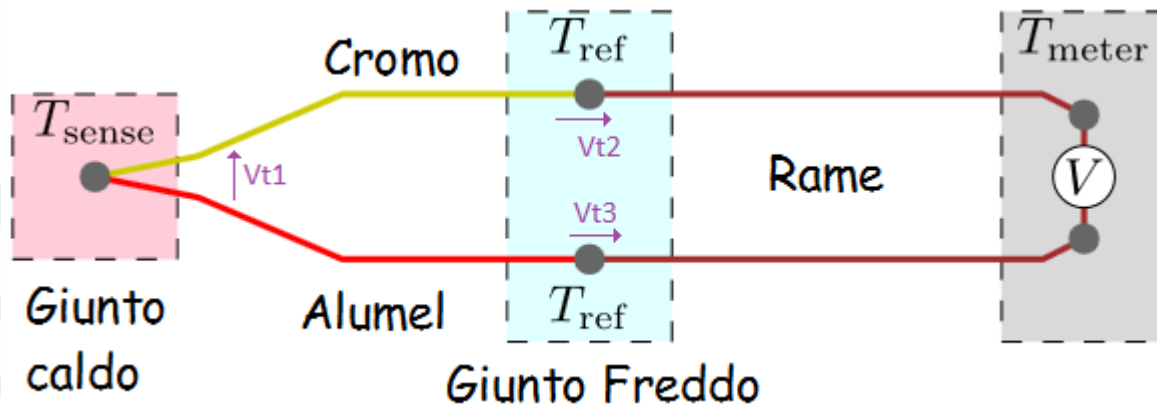
Termocoppie: esempio 1



- La fem dipende sia dalla temperatura delle giunzioni della termocoppia sia dai cavetti di collegamento, pertanto è necessario annullare la fem del giunto J_R .
- Il giunto rame-rame non porta contributo poiché fatto con due materiali uguali.
- Il giunto constantana-rame invece genera una fem V_R che si oppone alla fem V_c generata dalla termocoppia, pertanto la tensione misurata sarà: $V = V_c - V_R = \alpha (T_c - T_R)$.

E' necessario compensare la fem generata dal giunto di riferimento.

Termocoppie: esempio 2

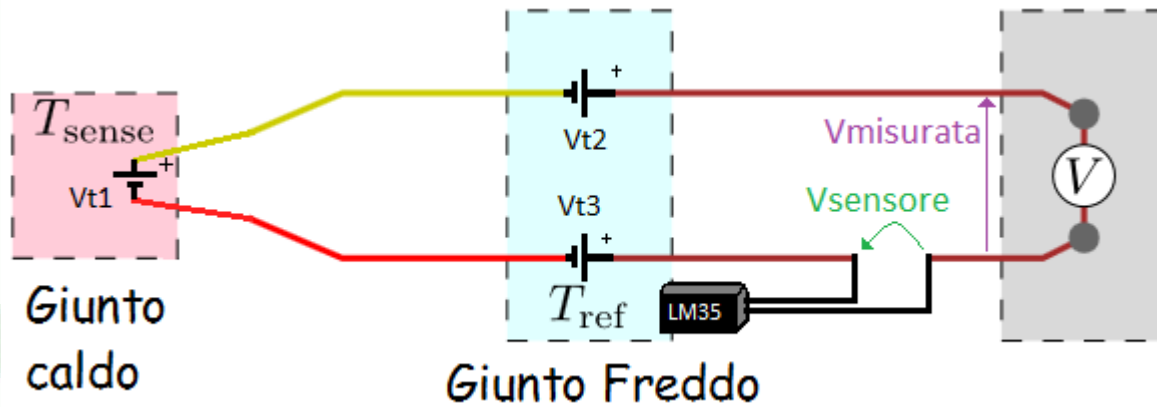


Si ha che la prima giunzione tra il Cromo e l'Alumel (lega di alluminio e Nickel) è la giunzione di misurazione, ovvero il giunto caldo, posizionato in prossimità della temperatura da misurare. Questi due fili si collegheranno in un certo punto del circuito, e solitamente si connettono al rame del circuito.

Sul circuito si crea quindi una coppia di giunzioni tra metalli con differente elettronegatività che formano due termocoppie una tra Cromo e Rame e l'altra tra Alumel e Rame. Queste due giunzioni creano una differenza di potenziale che dipende dai materiali e dalla temperatura del giunto freddo (o meglio terminale freddo)

Lo strumento di misura vedrà quindi una tensione $V_{\text{misurata}} = V_{t1} + V_{t2} - V_{t3}$. Bisogna quindi misurare il giunto freddo per conoscere V_{t2} e V_{t3} per calcolare poi il valore di V_{t1} . Si suppone lavori a temperature prossime a quelle ambiente, quindi è semplice con un sensore di temperatura integrato misurare questa temperatura.

Termocoppie: esempio 2



Supponiamo sul giunto freddo un sensore (nell'immagine è stato usato un LM35 per dare l'idea) montato su un blocco isoterma, questo sensore genera una tensione ($V_{sensore}$) che dipende dalla temperatura. La tensione misurata sarà $V_{misurata} = V_{t1} + V_{t2} - V_{t3} + V_{sensore}$. Se facciamo in modo che $V_{sensore} = -V_{t2} + V_{t3}$ allora quello che si ottiene sarà $V_{misurata} = V_{t1}$, quindi misuro perfettamente la tensione del giunto caldo.

Questa compensazione può essere fatta in diversi modi tra cui l'aggiunta in serie di un sensore come da figura oppure con un amplificatore sommatore, inoltre, può essere eseguita in modo software misurando il valore del sensore sul giunto freddo, il valore sul giunto caldo e sommandoli in via software.

Per ogni tipo di termocoppia vi sarà un'opportuna tensione di compensazione e in commercio esistono diversi integrati che generano tensioni per compensare diversi tipi di termocoppie.

Termocoppie: applicazione nei DMM

La potenza dissipata per effetto joule dalla termocoppia è

$$P_J = \frac{V_{rms}^2}{R_J}$$

Dove R_J è la resistenza della giunzione.

Si consideri un ambiente a temperatura T_{amb} nel quale è posto una termocoppia: la termocoppia fornirà calore all'ambiente circostante tramite meccanismi di trasmissione di calore

Trascurando l'irraggiamento, la potenza termica P_t trasmessa all'ambiente circostante è esprimibile come:

$$P_t = C(T - T_{amb})$$

Dove C è un coefficiente legato ai meccanismi di convezione e conduzione e $T - T_{amb}$ rappresenta il gradiente termico tra la temperatura di lavoro della giunzione e temperatura ambiente.

Dopo un tempo di warm-up (=di riscaldamento) si raggiunge una condizione di regime termico: la potenza dissipata nelle parti resistive per effetto joule è uguale alla potenza trasmessa all'ambiente circostante

$$P_J = P_t$$

Termocoppie: applicazione nei DMM

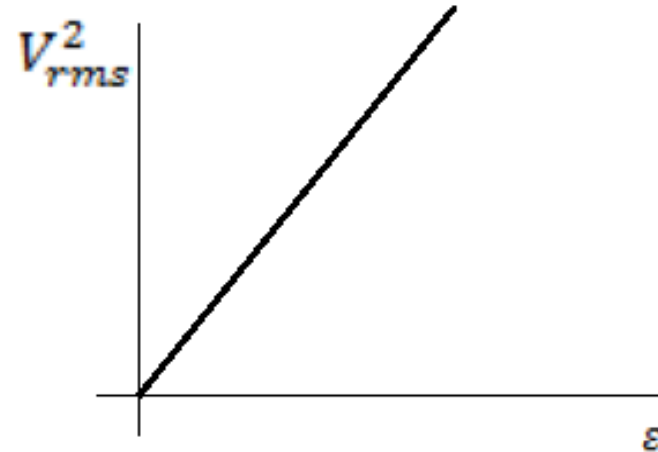
$$P_J = P_t$$

$$P_J = \frac{V_{rms}^2}{R_J} \quad P_t = C(T - T_{amb})$$

$$\frac{V_{rms}^2}{R_J} = C(T - T_{amb})$$

$$V_{rms}^2 = R_J C (T - T_{amb})$$

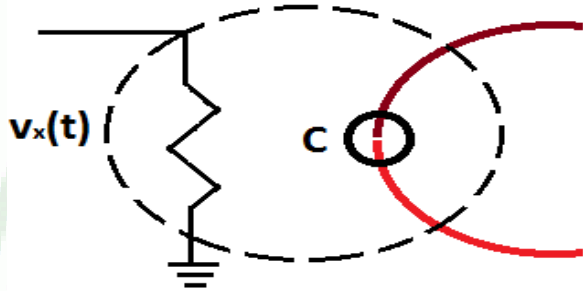
$$V_{rms}^2 = R_J C \frac{\varepsilon(T)}{a}$$



$$\varepsilon(T) = f(T) = a(T - T_{amb}) + b(T - T_{amb})^2 + c(T - T_{amb})^3$$

Rappresentando la relazione ottenuta su un piano cartesiano avente come asse delle ascisse ε e come asse delle ordinate V_{rms}^2 , si può osservare che il coefficiente angolare $\left(\frac{R_J C}{a}\right)$ dipende solo dai parametri di progetto usati nella scelta della termocoppia. Misurando la ε posso risalire alla tensione V_{rms}^2

Termocoppie: applicazione nei DMM



Alla termocoppia è associato un elemento riscaldatore realizzato mediante una resistenza R ai capi del quale si applica la tensione $v_x(t)$ di cui si vuole misurare il valore efficace.

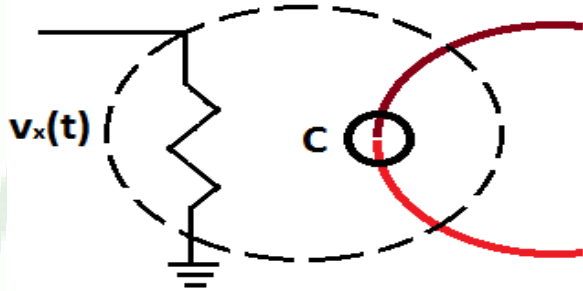
Il resistore viene cementato in un volume che contiene un materiale ad elevata conducibilità termica insieme alla termocoppia; inoltre il materiale deve avere anche elevate proprietà isolanti dal punto di vista elettrico in modo da garantire la separazione galvanica tra termocoppia e resistenza.

Grazie a tali proprietà del materiale si può ritenere uniforme il campo di temperatura T nel volume considerato prima.

In questo modo applicando la tensione incognita nell'elemento riscaldatore, la temperatura nel volume sarà proprio quella di lavoro della termocoppia.

In tal modo misurando la ε trovo il salto di temperatura che, a regime, è responsabile della trasmissione di potenza termica all'ambiente circostanza e che ci permette di trovare il legame con la V_{rms}^2 .

Termocoppie: applicazione nei DMM



Alla termocoppia è associato un elemento riscaldatore realizzato mediante una resistenza R ai capi del quale si applica la tensione $v_x(t)$ di cui si vuole misurare il valore efficace.

Il resistore viene cementato in un volume che contiene un materiale ad elevata conducibilità termica insieme alla termocoppia; inoltre il materiale deve avere anche elevate proprietà isolanti dal punto di vista elettrico in modo da garantire la separazione galvanica tra termocoppia e resistenza.

Grazie a tali proprietà del materiale si può ritenere uniforme il campo di temperatura T nel volume considerato prima.

In questo modo applicando la tensione incognita nell'elemento riscaldatore, la temperatura nel volume sarà proprio quella di lavoro della termocoppia.

In tal modo misurando la ε trovo il salto di temperatura che, a regime, è responsabile della trasmissione di potenza termica all'ambiente circostanza e che ci permette di trovare il legame con la V_{rms}^2 .

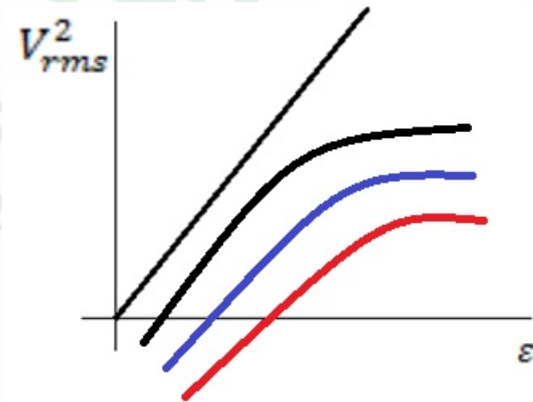
Termocoppie: applicazione nei DMM

Inconvenienti:

- $V_{rms} = k * \sqrt{\varepsilon}$ dove $k = \sqrt{\frac{R_{JC}}{a}}$.

Essendo il modello non lineare si hanno diverse sensibilità in diversi punti della scala.

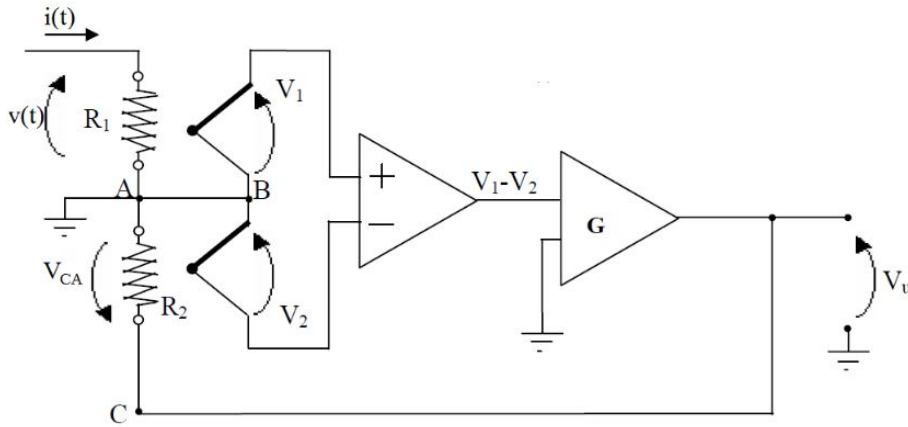
- Le curve di risposta V_{rms} dipendono dalla temperatura dell'ambiente, cioè esiste una famiglia di curve diverse parametrizzate in funzione di T_{amb} .



Accorgimenti:

- La termocoppia, anche se può essere vista come un dipolo elettrico, non viene mai inserita direttamente in un circuito perché gli effetti di una corrente diretta che fluisce in una termocoppia possono influenzare il comportamento del sistema. Ciò implica che la termocoppia deve essere inserita indirettamente nel circuito.
- Il sistema ha una risposta che dipende dalla temperatura T_{amb} dell'ambiente in cui è posto. Ciò implica che devo attendere un certo tempo prima di iniziare la misurazione in modo da evitare transitori termici di assestamento.

Convertitore AC - DC



Esso è realizzato in modo che il suo funzionamento sia indipendente da T_{amb} (montaggio differenziale di termocoppie).

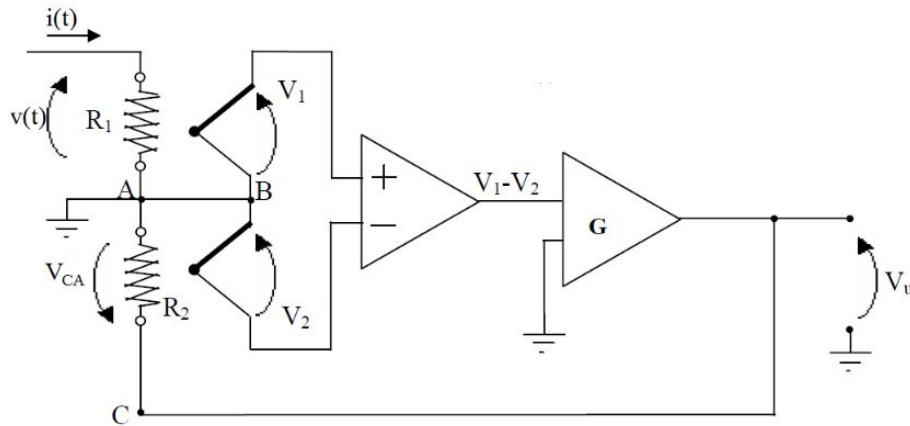
È costituito da due elementi riscaldatori, R_1 e R_2 .

R_1 è l'elemento riscaldatore della grandezza incognita $v_x(t)$, termicamente accoppiata ad una termocoppia T_1 ai cui capi presenta una tensione V_1 .

Notiamo che la seconda termocoppia NON è riscaldata dalla tensione incognita.

Lo squilibrio tra V_1 e V_2 viene dato in ingresso ad un OPAMP (amplificatore operazione) e la sua uscita si pone in ingresso a un amplificatore a transconduttanza (sistema che legge una tensione in ingresso e produce una corrente in uscita proporzionale; quindi G non è adimensionale ma ha le dimensioni di una transconduttanza ossia Ω^{-1}).

Convertitore AC - DC

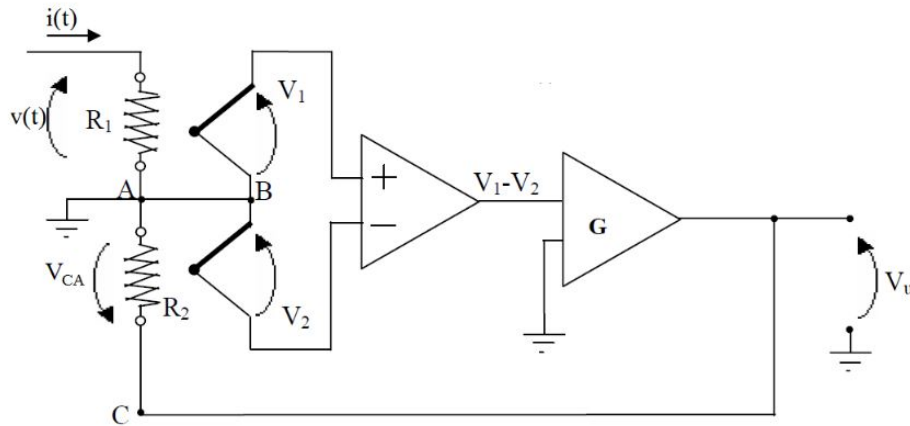


La corrente I in uscita è continua e produce una caduta di tensione ai capi di R_2 anche essa continua (V_{out}). Tale tensione sarà proporzionale al valore efficace della tensione incognita V_{rms} che si vuole misurare.

Applicando la tensione alternata $v_x(t)$, la potenza dell'elemento riscaldatore è dissipata per effetto Joule, determinando un aumento della temperatura di R_1 fino a raggiungere una temperatura di regime pari alla temperatura di lavoro T della termocoppia T_1 (poiché la termocoppia e il riscaldatore sono posti in un volume di materiale con elevata conducibilità termica).

La V_1 aumenta creando uno squilibrio tra V_1 e V_2 il quale viene sentito dall'OPAMP ed elaborato fornendo una tensione in uscita non nulla. Quest'ultima è posta in ingresso all'amplificatore a transconduttanza, la cui uscita è una corrente continua (in un breve transitorio si raggiunge una condizione di regime) che circola in R_2 : la potenza viene dissipata per effetto Joule determinando un aumento della temperatura di R_2 fino a raggiungere una temperatura di regime tale da portare la termocoppia T_2 a rispondere con una V_2 che ripristina l'equilibrio.

Convertitore AC - DC



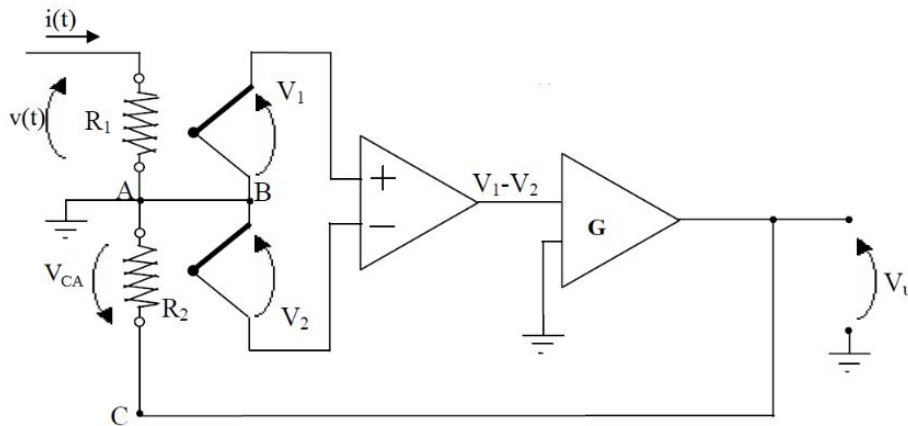
L'uguaglianza tra le tensioni V_1 e V_2 viene raggiunta con una precisione tanto maggiore quanto più elevato è il guadagno dell'amplificatore

La tensione V_u , che per la topologia del circuito è pari alla caduta di tensione V_{CA} sulla resistenza R_2 , è una tensione continua perché, a regime, tali sono V_1 e V_2 e perché l'amplificatore differenziale è progettato per avere una banda passante per la sola componente continua.

All'equilibrio, nell'ipotesi che le due termocoppie siano uguali*, la potenza dissipata nella giunzione 1 è pari alla potenza dissipata nella giunzione 2:

* In realtà ci accontentiamo che appartengano allo stesso lotto di produzione

Convertitore AC - DC



$$T_1 = T_2$$

$$P_{J1} = P_{J2}$$

$$\frac{V_{rms}^2}{R_1} = \frac{V_{out}^2}{R_2}$$

$$V_{rms} = V_{out} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

È quindi associata al parametro di interesse V_{rms} una tensione continua V_{out} (se $R_1 = R_2 \Rightarrow V_{rms} = V_{out}$)

Le cause di incertezza dipendenti dalla temperatura ambiente vengono eliminate perché agiscono su entrambe le termocoppie, elidendosi.

Convertitore AC - DC

Permangono tuttavia altre cause di incertezza, tra le quali:

- il guadagno G è finito,
- le termocoppie non sono perfettamente uguali,
- la seconda termocoppia, a differenza della prima, lavora sempre in continua, mentre la prima lavora in alternata;
ciò significa che, se anche fossero perfettamente uguali, il comportamento delle due termocoppie può essere differente al variare della frequenza del segnale in ingresso.
Per fare in modo che siano il più possibile simili la resistenza R_2 può essere alimentata con una tensione sinusoidale, la cui ampiezza viene modulata dal segnale in uscita all'amplificatore differenziale ad elevato guadagno.

I voltmetri in ac basati su effetto termico hanno il vantaggio di poter operare a larga banda, e con segnali ad elevato fattore di cresta, ma sono in generale più costosi ed hanno delle limitazioni in termini di velocità di misura