

L. BRUSCHI, R. STORTI e G. TORZO

Dipartimento di Fisica dell'Università
Padova

NOTE DI LABORATORIO

a cura di GIULIO CALVELLI

(Per eventuali contributi indirizzare al
curatore - Dipartimento di Fisica dell'Uni-
versità - Via Marzolo 8 - 35100 Padova)

Termometro a termistore con scala lineare 0-100 °C

RIASSUNTO

Si è realizzato un termometro di semplice costruzione, basso costo, buona linearità e facile taratura.

Introduzione

In laboratorio didattico di fisica si presenta spesso la necessità di compiere misure di temperatura nell'intervallo 0-100 °C con una precisione dell'ordine del grado.

I termometri a mercurio sono lo strumento più economico adatto allo scopo ma hanno caratteristiche che ne limitano notevolmente l'uso: fragilità, inerzia, scomodità di lettura, cattivo contatto termico con campioni non liquidi.

Caratteristiche di robustezza, prontezza, e buon contatto termico sono offerte invece essenzialmente da tre tipi di sensori: termocoppie, resistenze a filo metallico (rame, platino, nichel...) e termistori NTC (resistenze a semiconduttore con coefficiente termico negativo).

Nell'intervallo di temperature qui considerato, termocoppie e resistenze metalliche hanno risposta lineare ma richiedono un apparato di misura piuttosto accurato, data la loro bassa sensibilità (per le resistenze metalliche si ha $dR/RdT \approx 4 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, mentre per le termocoppie $dV/dT \approx 0.05 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, ed è necessario disporre di una temperatura di riferimento).

Il termistore ha viceversa una sensibilità intrinseca elevata ma la dipendenza dalla temperatura non è lineare: $R(T) = A \exp(B/T)$, dove $T = 273 + t$ è la temperatura assoluta, ed A e B sono coefficienti che caratterizzano il particolare NTC.

Il più semplice termometro ad NTC è costituito da un generatore di corrente costante che alimenta il termistore, ai capi del quale viene prelevato il segnale di tensione proporzionale a $R(T)$. Ne risulta una scala non lineare con grande risoluzione a basse T e piccola risoluzione ad alte T (figura 1).

Nel termometro qui descritto, sfruttando le caratteristiche tensione-corrente di un comune transistor ad effetto di campo (JFET), si ottiene una risposta lineare con una configurazione estremamente semplice.

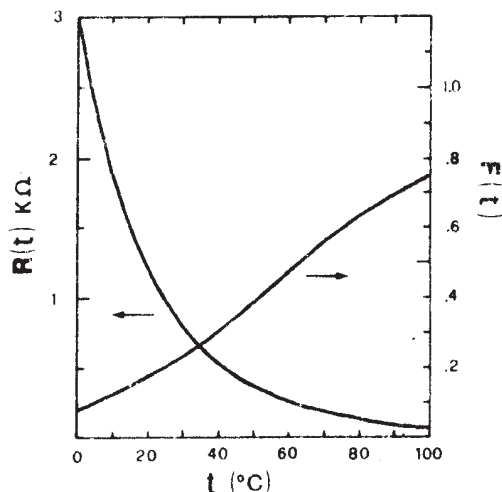


FIG. 1

Schema a blocchi

La figura 2 riporta lo schema essenziale del circuito. Il JFET è alimentato con tensione stabilizzata e lavora in zona di "pinch-off". Esso è controreazionato tramite il termistore e fornisce alla resistenza di carico R_c una corrente lineare con la temperatura. La tensione $V_c(t)$ ai capi di R_c viene confrontata con la tensione V_e , prodotta ai capi della resistenza R_e di carico di un normale transistor che lavora come "emitter-follower". Il rivelatore è un microamperometro che legge la corrente $I(t) = (V_c - V_e)/P$, ove P è la resistenza del potenziometro che regola la sensibilità. L'origine della scala viene fissata polarizzando opportunamente il transistor mediante il potenziometro P1.

* Con zona di "pinch-off" si intende la regione di polarizzazione del FET in cui esso esibisce la massima resistenza tra "source" e "drain". Il terminale "drain" è analogo all'anodo di una valvola termoionica, il "source" al catodo ed il "gate" alla griglia.

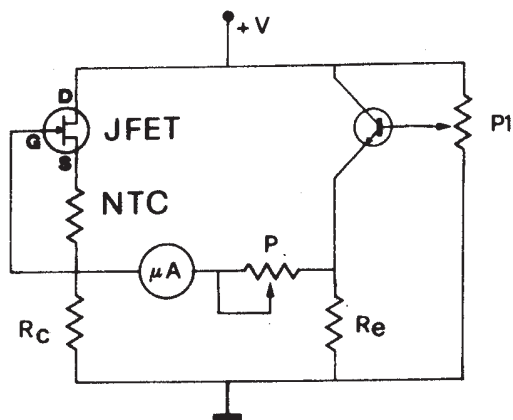


FIG. 2

Linearità

Una spiegazione approssimata per la linearità di $V_c(t)$ si ottiene considerando la relazione che lega la corrente di "drain" I_d alla tensione "gate-source" V_{gs} nel JFET: $I_d \approx I_{dss} - G V_{gs}$, dove G è la transconduttanza diretta.

Nella configurazione adottata si ha $V_{gs} = R(t) I_d = A \exp(B/T) I_d$. Esplicitando I_d si ottiene $I_d/I_{dss} = 1/[1 + A \exp(B/T)] = F(t)$. La funzione $F(t)$, per opportuni valori di G , A e B ha un andamento lineare in un limitato intervallo di temperature $t = T - 273$.

In figura 1 è riportata la $F(t)$ calcolata tra 0°C e 100°C per i valori di A e B indicati dalla Philips per il termistore 2322-642-21102 e per il valore medio di $G = 4 \text{ mhos}$ fornito dalla Texas per il JFET 2N3819. Il confronto con l'andamento della $R(t)$ dà un'idea dell'effetto di linearizzazione del dispositivo.

In figura 4 sono riportati i valori di temperatura letti sul prototipo realizzato verso quelli misurati con termometro a mercurio (al decimo di grado) immerso insieme al sensore NTC in un bagno di acqua.

La buona linearità nell'intervallo $0^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$ è ottenuta grazie anche alla doppia calibrazione sulle due scale.

Il risultato più interessante è l'ampia intercambiabilità per il JFET 2N3819 e la possibilità di sostituire il termistor. Ogni sonda NTC richiede ovviamente una separata taratura dello strumento, operazione peraltro agevole in quanto consiste soltanto nell'aggiustamento di $P1$ per avere segnale nullo all'estremo inferiore e di P per avere segnale massimo all'estremo superiore.

Schema completo e particolari costruttivi

In figura 3 è riportato lo schema dettagliato dello strumento. La tensione di alimentazione è fornita da una coppia di batterie da 9 volt collegate in serie, e stabilizzata a 12 V con un L123 della SGS selezionato per basso consumo (corrente $< 3 \text{ mA}$).

Il termistore è inserito in una sonda ermetica (tubetto di acciaio inossidabile a pareti sottili) adatta anche per misure in immersione.

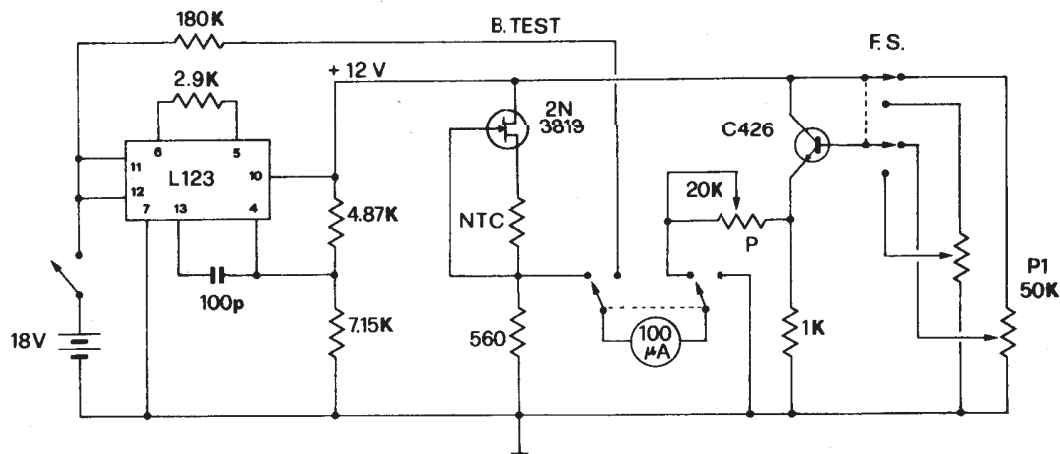


FIG. 3

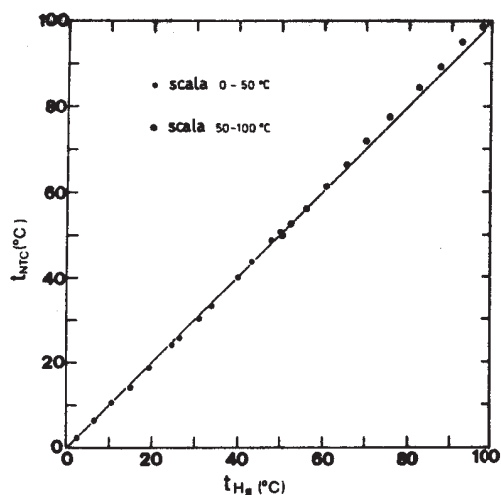


FIG. 4

Il dispositivo è corredato da un commutatore per verificare lo stato di carica delle batterie, e di un doppio circuito di polarizzazione per le due scale (0°C-50°C e 50°C-100°C).

L'errore massimo nella prima scala è inferiore a 1°C, e nella seconda scala è inferiore a 2.5°C, essenzialmente per difetto di linearità.

Questo risultato può dirsi senz'altro soddisfacente data la semplicità del circuito, il cui costo (~ 20.000 lire) è confrontabile a quello di un termometro a mercurio di pari accuratezza, e se si tien conto del fatto che i termometri a mercurio commerciali scartano, lontano dai punti fissi 0°C e 100°C, di oltre 0,5°C.

XXVI Congresso Nazionale A.I.F.

28-31 Ottobre 1987

Bellaria (FO)

Per informazioni vedere nel Notiziario allegato