

Manometro-Termometro con lettura digitale

(Ricevuta II versione il 25.8.89)

Introduzione

Misure di temperatura e pressione sono essenziali per ogni esperimento di termodinamica. Gli strumenti che tradizionalmente si usano nel laboratorio didattico per tali misure sono rispettivamente: termometro a mercurio e manometro "Bourdon".

Il termometro a mercurio offre raramente precisione migliore dell'uno per cento dell'intervallo utile e inoltre è un oggetto fragile, con notevole inerzia e capacità termica. L'alternativa più comunemente usata è il termometro a termocoppia, che tuttavia non fornisce normalmente lettura diretta, e richiede una certa perizia per ottenere una buona accuratezza (termoregolazione della giunzione di riferimento, lettura di piccole tensioni, uso delle tavole di conversione tensione-temperatura...), a meno che non ci si possa permettere l'acquisto di un costoso termometro a termocoppia prodotto industrialmente.

Anche per il manometro "Bourdon" (a spirale o a soffiutto) la precisione è al meglio di qualche per cento del fondo scala. Una alternativa (nell'intervallo 0-1 atmosfere assolute) è il manometro a mercurio che offre una buona precisione, ma è uno strumento ingombrante, costoso e fragile.

In questo articolo descriviamo uno strumento elettronico, rapido e di costo contenuto che permette di ottenere, una volta tarato, misure con precisione migliore dell'1% dell'intervallo di lettura, sia per la temperatura che per la pressione.

In figura 1 è riportato lo schema a blocchi e in figura 2 il circuito completo.

La scala utile per la temperatura è $-50/+150^{\circ}\text{C}$, e per la pressione 0/2 atm, o 0/10 atm, a seconda del sensore utilizzato.

Descrizione dello strumento

Il manometro impiega un sensore con piccolo volume morto ($< 1\text{ cm}^3$) con attacco metallico ($\Phi = 6\text{ mm}$) che può essere facilmente saldato a stagno all'apparato di misura, o infilato in un opportuno tubo di gomma di raccordo.

Il sensore (Siemens KPY10 o KPY14) è composto di una sottile membrana che separa un ambiente evacuato (vuoto di riferimento) dall'am-

biente di cui si misura la pressione. Su tale membrana sono ricavati quattro elementi piezoresistivi connessi a ponte che variano il loro valore ohmico a seconda delle deformazioni della membrana provocate dalla differenza di pressione Δp tra le due facce. Esistono anche sensori adatti a misure di pressione relativa alla pressione ambiente: KPY12 (0-2 Atm), KPY16 (0-10 Atm) e per sensibilità molto elevata KPY31R (0-20 torr). Sensori di pressione analoghi sono anche prodotti dalla Microswitch (Honeywell) e dalla Sensortech GmbH (distribuiti in Italia dalla MOXEL, Milano).

Se questo ponte resistivo è polarizzato con una tensione continua V_i di pochi volt, la tensione differenziale ΔV segue linearmente la differenza di pressione Δp : $\Delta V = k\Delta p V_i$.

Il valore della sensibilità k (e la sua deriva termica $\partial k/\partial T$) dipendono dal sensore usato. Per KPY10 si ha ad esempio $k \approx 8\text{ mV Atm}^{-1}$ e $\partial k/\partial T \approx -3 \times 10^{-3}\text{ K}^{-1}$. Poiché la sensibilità decresce al crescere della temperatura T , conviene inserire in parallelo al sensore (e fisicamente vicino ad esso) un termistore a coefficiente positivo. Nel dispositivo da noi realizzato si è usato un termistore Siemens KTY 10, con resistenza a $25^{\circ}\text{C} \approx 2\text{ k}\Omega$. Scegliendo in modo opportuno una resistenza R_c posta in serie al sensore si può ottenere una tensione efficace di polarizzazione che cresce con T in modo tale da compensare completamente le variazioni termiche di k . Detta R_s la resistenza di ogni ramo del sensore ($\approx 5\text{ k}\Omega$), e R_t quella del termistore, la tensione di polarizzazione diventa infatti: $V_i = V^+ / (1 + R_c/R_t + R_c/R_s)$.

La lettura della tensione di uscita del ponte richiede un amplificatore differenziale ad alta impedenza di ingresso con "offset" regolabile (così da poter azzerare la lettura in presenza di uno sbilanciamento per ponte a $\Delta p = 0$), e con guadagno variabile (così da poter aggiustare la lettura per un valore noto della pressione applicata). L'amplificatore mostrato in figura 2 è realizzato con un TL084 (Texas: quad operational amplifier). Due degli amplificatori operazionali funzionano come amplificatore differenziale a guadagno variabile ($G \approx 10$) con uscita differenziale; il terzo è usato come "buffer" (guadagno unitario), ed il quarto come differenziale (guadagno $\ll 1$ nel canale invertente e ≈ 1

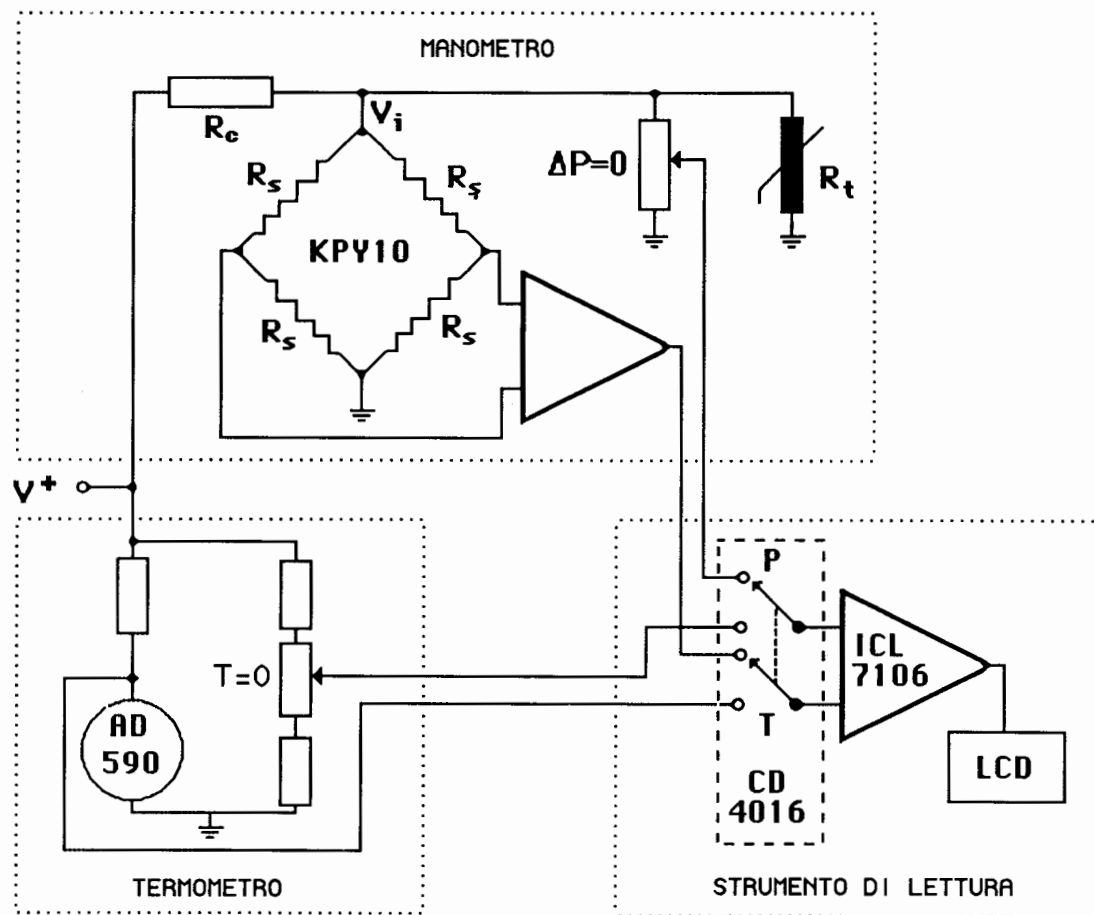


Fig. 1

nel ramo non invertente) per compensare l'offset.

L'uscita dell'amplificatore è letta da un voltmetro digitale realizzato con un "driver" (1) (Maxim o Intersil: ICL7106) per visore a cristalli liquidi a 3 cifre e 1/2 (Fairchild: FLB3513X2, o Philips: LTD222).

Tra amplificatore e voltmetro è interposto un interruttore analogico (RCA quad bilateral switch: CD4016). Questo integrato è costituito da quattro interruttori comandati da un segnale di tensione, e connesso come in figura 2 diventa un doppio deviatore, che permette di usare un solo strumento di lettura per misure di pressione e temperatura.

La tensione, fornita da due batterie da 9V in serie, è stabilizzata a 12V da un comune LM7812 (della National, o equivalente μ A7812 della Texas o Fairchild).

Il montaggio del circuito richiede solo la conoscenza dell'esatta piedinatura dei vari componenti, reperibile nei cataloghi (Texas, Fairchild, Intersil, RCA, Siemens...), e l'uso di un normale saldatore (per ottenere un risultato più affidabile, è infatti

consigliabile adottare un montaggio con *zoccolatura saldata* (2) su una generica basetta piuttosto che con *contatti a pressione* su tavoletta "prova integrati").

Descrizione del termometro

Il sensore di temperatura impiegato nel termometro è un dispositivo a due terminali (Intersil o Analog Device: AD590) (3) che eroga una corrente proporzionale alla temperatura assoluta, con de-

(1) Questo driver è essenzialmente un convertitore analogico/digitale con ingresso differenziale più un oscillatore per pilotare il visore a cristalli liquidi.

(2) Si noti che quasi tutti i circuiti integrati sopportano ai piedini temperature di saldatura non superiori a 260°C per tempi inferiori a 10 secondi.

(3) Per una descrizione dettagliata del principio di funzionamento di questo sensore vedasi M.P. Timko IEEE J. Sol. State Circuits, 11, 784-788 (1976).

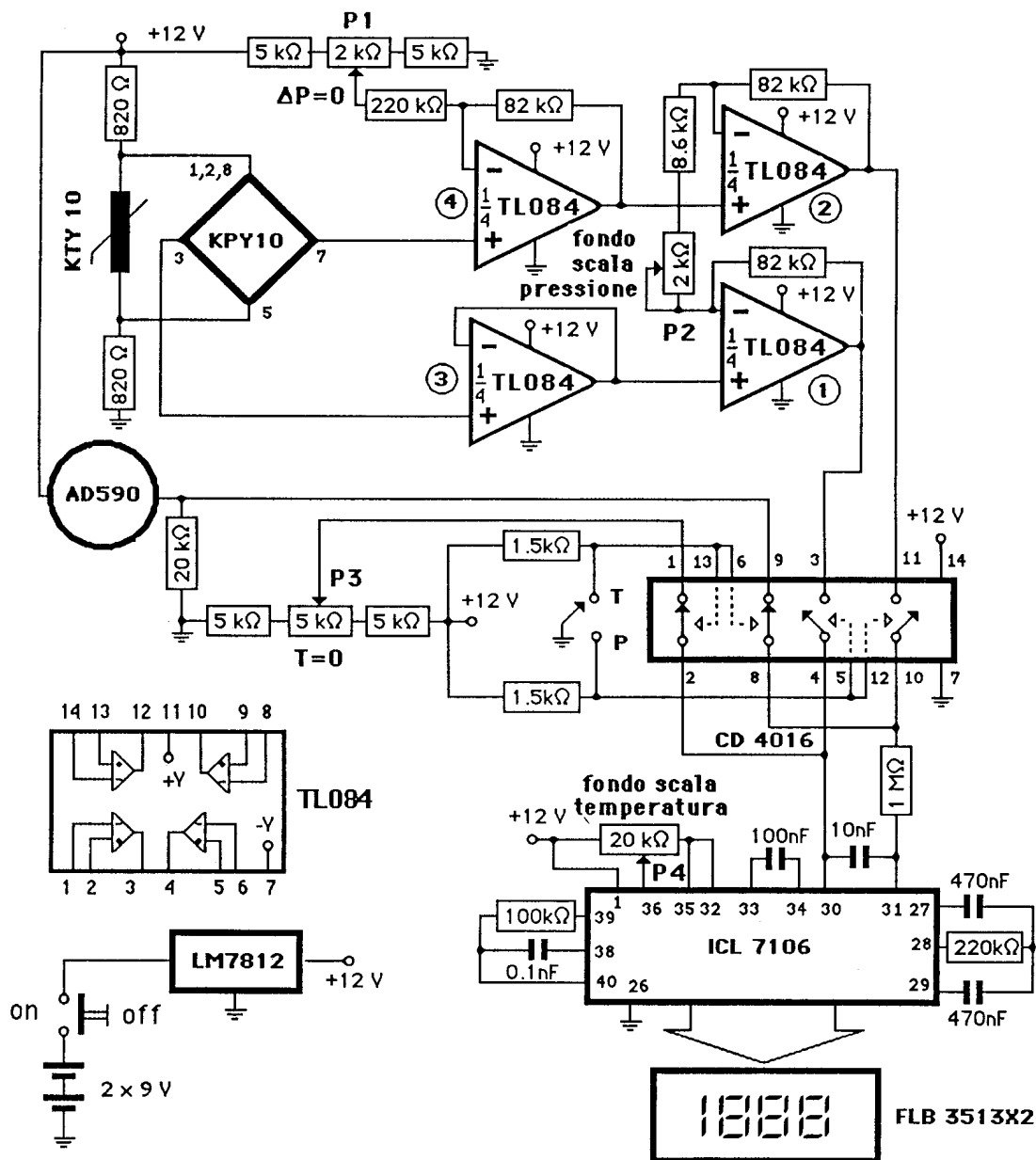


Fig. 2

rivata pari a $1 \mu\text{A/K}$. È quindi sufficiente inserirlo in uno dei quattro rami di un ponte resistivo alimentato a tensione costante, e misurare lo sbilanciamento che sarà proporzionale alla variazione di temperatura (la corrente prelevata dal lettore di tensione è trascurabile). Lo zero della scala va ag-

giustato variando il rapporto delle resistenze del mezzo-ponte in parallelo al sensore, mentre l'unità di misura è scelta aggiustando il guadagno del convertitore analogico-digitale (ICL 7106), una volta che si è fissata la resistenza in serie al sensore.

Taratura

È necessario eseguire per prima la taratura del termometro, con la quale si fissa il guadagno del convertitore.

È sufficiente un bagno di ghiaccio fondente ed uno di acqua bollente; la precisione ottenibile è di $\pm 0.5^\circ\text{C}$ tra -55°C e $+150^\circ\text{C}$. Va innanzitutto agguistato il bilanciamento del ponte per "T=0" con la sonda in ghiaccio fondente ottenuto da acqua distillata (se si vuole il termometro tarato in gradi Celsius) e poi va regolato il potenziometro P4 ("fondo scala temperatura") che controlla la sensibilità dell'ICL 7106 così da leggere 100 con la sonda in acqua bollente.

Per la taratura del manometro nell'intervallo 0-2 atm. ass. si può usare un manometro assoluto a mercurio ed una pompa rotativa, per pressioni più elevate si può estrapolare l'andamento lineare, senza ricorrere a più costose attrezzature di taratura (Deadweight Tester (4)). La pressione necessaria per tarature fino a qualche atmosfera può essere prodotta usando una pompa per gonfiare oggetti di gomma ed un rubinetto a sfera. In mancanza di un manometro a mercurio, se si conosce la pressione atmosferica al momento della taratura, basta la pompa rotativa per ottenere la calibrazione a $P=0$.

Si dovrà innanzitutto azzerare, mediante il potenziometro P1, la tensione di offset con $\Delta P=0$ ($P=0$ per sensore che misura pressione assoluta) e poi, per una pressione nota P_{max} , aggiustare con il potenziometro P2 il guadagno del differenziale per leggere sul visore le cifre corrispondenti all'unità di misura desiderata (Atm, Torr, Pa...). Queste due ultime regolazioni non sono del tutto indipendenti: si dovranno quindi ripetere un paio di volte le tarature a $P=0$ e a $P=P_{\text{max}}$ fino a ottenere la precisione desiderata.

Considerazioni conclusive

Lo strumento qui descritto è facile da costruire e di costo contenuto. Il costo dei componenti essenziali si aggira sulle 70.000 lire (30.000 sensore di pressione, 20.000 driver + LCD, 20.000 sensore di temperatura + i restanti circuiti integrati).

Esso si presta ad essere adattato per diverse esigenze. Ad esempio sostituendo il ponte resistivo contenente il sensore termico con un secondo amplificatore differenziale e utilizzando un KPY10 e un KPY14, si ottiene un manometro a due scale e quindi grande accuratezza in un ampio intervallo di pressioni.

L'uso di trasduttori elettronici permette inoltre di collegare facilmente le letture di temperatura e pressione ad altre grandezze (energia, tempo, spostamento...) che possono a loro volta essere facilmente tradotte in segnali di tensione: ciò può notevolmente semplificare la progettazione e l'esecuzione di esperimenti di termodinamica.

Alcuni esempi sono: la verifica della legge di stato di un "gas perfetto", la misura di isoterme di un "gas reale", l'osservazione dell'effetto Joule-Thomson.

(4) Standard primario per calibrazione ad elevate pressioni che funziona equilibrando la pressione di un gas contenuto in un cilindro con la forza peso esercitata da una massa nota agente su un pistone di diametro noto e a bassissimo attrito: per esempio la costosa serie di strumenti prodotti dalla Ametek, USA.

NUMERI SPECIALI DE LA FISICA NELLA SCUOLA

L'iniziativa di realizzare numeri speciali della nostra rivista è volta alla diffusione di materiali utili per la scuola in accordo con l'art. 1 dello Statuto dell'A.I.F. Di essi ne sono state pertanto realizzate copie in più da distribuire ai richiedenti al solo prezzo di costo.

Invitiamo pertanto tutti gli interessati a richiederli alla Direzione de La Fisica nella Scuola.