

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-56/20 (14. 11. 56)

F. Magistrelli: MISURA DI CAMPI MAGNETICI CON BOBINE DI BISMUTO.

MISURA DI CAMPI MAGNETICI CON BOBINE DI BISMUTO.

La resistenza del filo di bismuto è funzione sia del campo magnetico che della temperatura. La variazione di resistenza provocata da una variazione unitaria di campo magnetico cresce al diminuire della temperatura. Quindi a basse temperature la misura della variazione della resistenza di un filo di bismuto costituisce un metodo notevolmente sensibile per misurare campi magnetici.⁽¹⁾

Si disponeva di circa quindici metri di filo di bismuto da 0.005 pollici di diametro, puro al 99.999% e ricoperto di "analac". Si è pensato quindi di adoperarlo per mettere in funzione un misuratore di campo magnetico.

Per la costruzione e la termostatazione della sonda di bismuto si è deciso di seguire il procedimento di Keller ⁽¹⁹⁾ ~~(1953)~~, cioè di avvolgere antiinduttivamente il filo di bismuto su rocchetti di teflon (altri isolanti si rompono a basse temperature), di fare i contatti con vernice d'argento o con lega di Wood su terminali di rame e di termostatare con azoto liquido per avere una buona sensibilità. Per quanto riguarda il sistema di misura si è deciso di impiegare, almeno in un primo tempo, un ponte di Wheatstone.

Il sistema di termostatazione è costituito, come quello di Keller, da un dewar speciale con appendice laterale (v. fig.1)



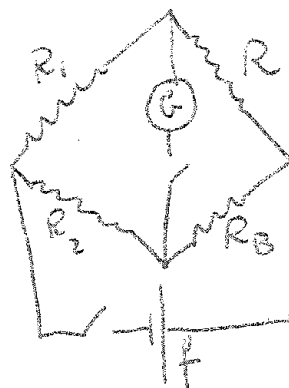
all'estremo della quale va posta la bobina di bismuto in modo da essere sicuri che essa non subisca spostamenti durante la misura; dentro il dewar si introduce l'azoto

liquido.

L'avvolgimento ha un'altezza di ~ 4 mm. e un diametro esterno di ~ 5 mm. Con queste dimensioni si possono realizzare bobine di

una resistenza di circa 200 ohm, cioè di resistenza sufficiente a rendere il metodo convenientemente sensibile.

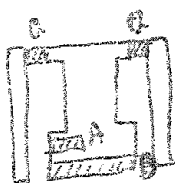
Il ponte di Wheatstone montato corrisponde allo schema di fig. 2. R_1 e R_2 sono due resistenze da 1000ohm ottenute da cassette Galileo a spinotti precise al 0.1%; R_B è la resistenza della bobina di bismuto e R è il ramo variabile del ponte costituito da una cassetta Allocchio-Bacchini anch'essa precisa al 0.1% e la cui resistenza di valore più basso è 0.1ohm.



f è una pila da 4.5 volt, G è un galvanometro Hartmann-Braun a macchia luminosa con un periodo T_g di 2.5 secondi e una sensibilità massima di circa $5 \cdot 10^{-8}$ A. Si sono scelti dei valori elevati di R_1 e R_2 per limitare la corrente che passa nella bobina di bismuto. In pratica in questo modo essa è percorsa da una corrente di ~ 4 mA. Si potrebbe però aumentare ancora questa corrente rendendo il metodo più sensibile senza produrre dei dannosi effetti termici.

Il problema si è quindi ridotto al riuscire a costruire delle bobine con dei buoni contatti, aventi cioè la stabilità in resistenza necessaria per poter rivelare piccole variazioni di campo magnetico.

Si è provato per prima cosa a fare i contatti con una vernice d'argento che era nell'Istituto di Fisica. Si è pensato inoltre di rivestire l'avvolgimento di uno strato di vernice isolante per evitare alla bobina di rompersi una volta costruita, ma si è dovuto constatare che a bassa temperatura l'isolante si sgretola e questo provoca la rottura del filo di bismuto. Si è allora pensato di proteggere da eventuali urti l'avvolgimento di bismuto nel modo indicato in figura 3. Un rivestimento di teflon è tenuto



a una certa distanza (circa 1 mm.) dalla bobina per mezzo della ghiera di ottone G. A e B sono i due terminali di rame della bobina. Sulla ghiera viene fatto il contatto di ritorno; infatti poichè non è possibile ripiegare ^{il filo} l'avvolgimento di bismuto senza spezzarlo, per fare l'avvolgimento antiinduttivo occorre un'ulteriore saldatura.

Si sono costruite con questo sistema due bobine aventi una resistenza di circa 150 ohm. Mentre da misure preventive su avvolgimenti da pochi ohm sembrava che si potesse ottenere una stabilità notevole con i contatti di argento, a lungo andare questi contatti si invecchiano. Ci si accorge inoltre che se i contatti si rompono è impossibile recuperare la bobina perchè, dopo essere stata in azoto liquido per diverso tempo, essa diviene ammassata e non è più possibile svolgere il filo. Sono in questo senso anche inefficaci tentativi di riscaldamento.

Si è deciso allora di provare a fare i contatti con lega di Wood e di termostatare con il Freon 12, anche se quest'ultima soluzione comporta una perdita di sensibilità (la temperatura di ebollizione dell'azoto è -192°C mentre quella del freon 12 è -37°C).

I primi tentativi di realizzare i contatti con lega di Wood non sono andati bene per ragioni di inesperienza. In effetti la realizzazione dei detti contatti è una operazione estremamente delicata. La lega di Wood è una lega a basso punto di fusione (70°C). Ma questa temperatura è già sufficientemente alta perchè introducendo il filo di bismuto nella goccia di lega di Wood esso si rompa; o anche se non si rompe il contatto viene seriamente compromesso poichè il surriscaldamento provoca un aumento della struttura granulare del bismuto. Se d'altra parte si aspetta

troppo tempo la lega di Wood risolidifica e non si riesce più a introdurre il filo in modo da assicurare un buon contatto.

Dopo qualche tentativo si riesce a fare una bobina di pochi ohm che per diversi giorni si mostra estremamente stabile. Si è ricavato da tutte queste prove che gli estremi del filo di bismuto devono arrivare alla saldatura senza piegature e senza essere tesi, altrimenti il filo a causa delle notevoli variazioni di temperatura si strapperebbe ai contatti.

Il lavoro iniziato il 21 maggio è a questo punto alla fine di luglio e viene abbandonato per tutto agosto.

All'inizio del settembre si costruisce una bobina di circa 65 ohm. Si è deciso di fare bobine di resistenza non molto elevata rinunciando così ad una maggiore sensibilità, data la mancanza di bismuto che nel frattempo è stato ordinato in America. È facile comunque prevedere dai risultati ottenuti con una bobina di bassa resistenza, quale sarà la sensibilità raggiungibile con una bobina di resistenza maggiore.

Si è deciso inoltre di semplificare il sistema di protezione della bobina dagli urti riducendolo a due ghiera sufficientemente sporgenti agli estremi del rocchetto.

La bobina da 65 ohm è stata tarata fra 600 e 4000 gauss alla temperatura del freon 12 liquido nel magnete a poli circolari con il metodo della risonanza nucleare di Bologna. I risultati della taratura sono quelli riportati nel grafico allegato.

Nei giorni seguenti si è provato a ripetere le misure corrispondenti ad alcuni punti della curva, ma esse sono risultate riproducibili solo entro quattro o cinque gauss. Questa precisione, che potrebbe essere notevole a campi elevati, è veramente insufficiente a campi bassi.

Nel corso di queste misure è stato controllato il valore dello

"zero", cioè il valore della resistenza della bobina a campo magnetico nullo, che pur variando da un giorno all'altro, era sembrato nel corso delle misure stabile entro un valore che corrispondeva ad una variazione di campo magnetico di un gauss. Il controllo di zero è stato effettuato al principio e alla fine di ogni gruppo di misure e una volta o due nel corso di esso.

Vista la poca riproducibilità delle misure di campo magnetico si è deciso di iniziare dei controlli sistematici dello zero su periodi di diverse ore ripetendo le misure ogni cinque o dieci minuti.

Da queste misure si è concluso: a) Occorre un periodo di più di due ore perchè la resistenza della bobina immersa nel freon raggiunga il suo valore di equilibrio. b) Dopo raggiunto il valore di equilibrio lo zero oscilla nel giro di poche ore di quantità che corrispondono agli scarti rilevati nelle misure di campo magnetico. c) Se il freon finisce e lo si deve rimettere nel dewar (il dewar con cui si lavora attualmente non è molto adiabatico) ciò perturba l'equilibrio per un periodo di tre o quattro minuti se il freon viene direttamente passato dalla bombola al dewar di misura. Le cose vanno invece bene facendo un passaggio intermedio in un normale dewar. Quest'ultima operazione non è stata fatta nel corso della taratura della bobina.

E' quindi estremamente probabile che gli scarti nelle misure di campo magnetico fossero dovuti a variazioni di zero della bobina che non erano venute in luce a causa della scarsità di controlli dello zero stesso.

Si è visto così che è necessario migliorare i contatti se si vuole ridurre l'errore relativo nella misura di campi bassi.

Si è pensato allora ai seguenti tentativi:

1) Rifare i contatti con vernice d'argento. In effetti i contatt/i

d'argento sono stati provati solo con l'azoto e non con il freon. Questo tentativo è stato ostacolato dal fatto che la vernice d'argento dell'Istituto di Fisica è stata persa e che non sembra possibile trovarla in commercio.

2) Fare i contatti con Hg dentro dei capillari. Questa soluzione è stata scartata dopo qualche tentativo dal quale si è visto che l'estremo del filo di bismuto si spezza immergendolo nel Hg.

3) Provare a fare i contatti fuori del freon. A questo scopo serve un piccolo dewar che è ancora in costruzione e quindi questo tentativo non è ancora stato fatto.

Data la difficoltà della realizzazione dei contatti non si può comunque escludere l'idea che non sia possibile migliorarli ancora. Il report di Keller non dà cenno preciso della stabilità in resistenza della bobina; parla della elevata sensibilità del metodo, ma per quanto riguarda la precisione si esprime solo con la seguente frase poco chiara: "We have been able to repeat to better than 1 part in 1000 absolute measurements over an 8-hour period". Si potrebbe anche pensare che a Berkeley il metodo sia stato impiegato essenzialmente per campi alti. Se poi è possibile realizzare meglio i contatti c'è però da osservare che la mancanza di bismuto ha impedito di poter acquistare una conveniente pratica.

In base a queste considerazioni si è cercato di ovviare alla difficoltà offerta dalla realizzazione dei contatti cercando di fare quanto più rapidamente possibile dopo ogni misura di campo magnetico una misura di zero. La possibilità che questo metodo porti a dei risultati positivi è basata sulla constatazione sperimentale che con dei contatti piuttosto ben riusciti le variazioni di resistenza non sono molto rapide.

A questo scopo si è costruito per il dewar un sostegno tale che esso scorrendo su una guida possa essere estratto dal campo

con rapidità e scorrevolezza. Con questo metodo e con una bobina di circa 40 Ohm si è raggiunta una precisione di 0,2 gauss per campi di circa 500 gauss. Con una bobina di resistenza quattro o cinque volte maggiore (anche la precisione diviene, a parità di campo magnetico, quattro o cinque volte maggiore e si può sperare che essa sia ancora dell'ordine del decimo di gauss anche a campi molto più bassi. Ciò si potrebbe verificare tarando la bobina anche fra 0 e 500 gauss.

Con la precisione di 0,1 gauss si può pensare di impiegare il metodo anche per misure di gradienti a campi alti. Infatti risulta da calcoli (v. tabelle di Sanna) che

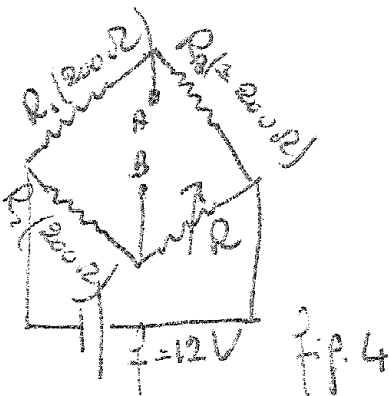
$$\left(\frac{\partial B_z}{\partial z}\right)_z = -|K(z)| B_0 \quad \left(\frac{\text{gauss}}{\text{cm}}\right)$$

dove $K(r)$ è sempre per il sincrotrone circa $=0.002 \text{ cm}^{-1}$. Ne segue che per un campo di 4000 gauss si può misurare il gradiente per un $\Delta r = 0.5 \text{ cm}$. (pari ad un gauss) con un errore del 10%. Per campi maggiori l'errore è sempre minore.

Un'altra possibilità offerta dalla magneto-resistenza del bismuto è quella di misurare campi alternati. Risulta dalla letteratura^(1f) che il bismuto ha una prontezza sufficiente per seguire con la sua resistenza senza ritardi le variazioni di campo magnetico anche fino a frequenze elevate (MHz).

Si può pensare di impiegare il dispositivo di fig.4. Con

i valori dello schema si ha nei vari rami una corrente di 30 mA. Fra A e B si può porre un oscillografo, ad esempio il Tektronix 435 la cui sensibilità può arrivare a $5 \cdot 10^{-4}$ volt/mm. per tarare lo schermo oscillografico direttamente in gauss si equilibra il ponte a campo



magnetico nullo; si fa poi variare il campo con continuità ricavando così la posizione della traccia luminosa dell'oscillografo per ogni valore del campo. Se poi si pone la bobina di bismuto nel campo magnetico alternato, la traccia luminosa descrive sullo schermo una certa curva che può venire fotografata e che rappresenta la funzione $V=V(t)$, con V tensione fra A e B. Per mezzo della precedente taratura è possibile allora disegnare un grafico $B=B(t)$.

In pratica bisognerà azzerare il ponte per vari valori del campo e ricavare sia la taratura che l'andamento del campo a tratti, perchè se si lavora sulla massima sensibilità dell'oscillografo lo schermo di questo copre solo un intervallo di pochi gauss.

Per una bobina di circa 200 ohm una variazione di 0.01ohm corrisponde a circa 0.5gauss. Una variazione di R_B di 0.01ohm produce uno squilibrio di tensione fra A e B di 0.3mV e questo; provoca uno spostamento della traccia di circa un mm. In pratica quindi si può senza preamplificare arrivare ad una sensibilità di circa un gauss.

Franca Maffettoli

~~18 ottobre '56~~

14 novembre '56

BIBLIOGRAFIA

- 1- a) G.S.SMITH, Elec. Engr. 58: Trans. 52-5, 1939
- b) G.S.SMITH, A.I.E.E. Trans. 56, 441, (1937)
- c) T.HEURLINGER, Physicalische Zeitschrift 17, 221, (1916)
- d) G.S.SEMPSON, Phil. Mag. 4, 554, (1902)
- e) Discussion on a new magnetic fluxmeter. A.I.E.E., Trans. 56, 1400, (1937)
- f) W.W.MACALPINE, Phys. Rev. 37, 624, (1931)
- g) O.STIERSTADT, Phys. Rev. 43, 577, (1933)
- h) G.W.SCHNEIDER, Phys. Rev. 31, 251, (1928)
- i) L.F.CURTIS, Phys. Rev. 18, 255, (1921)
- l) C.W.HEAPS, Phys. Rev. 19, 7, (1922)
- m) P.P.KONIG, Annalen der Physik, 25.5, 921, (1908)
- n) R.SEEDLER, Annalen der Physik, 32, 337, (1910)
- o) HENDERSON, Phil. Mag. 5, 488, (1938)
- p) Firtzpatrick Electric Supply Co., Muskegon, Michigan
- q) KELLER, UCRL-2249, giugno 1953
- r) DENIS, CERN-PS/PD 3 , febbraio 1955