

Ponte bolometrico

1 Caratterizzazione del bolometro

In questa esercitazione si utilizzerà una lampadina a filamento — la cui resistenza è funzione della temperatura, e quindi della potenza dissipata — come bolometro.

I parametri di maggiore interesse sono la resistenza apparente ($R_a = V/I$) e la resistenza differenziale ($R_d = dV/dI$) al variare della potenza dissipata.

1.1 Misure in continua

La misura dei parametri verrà fatta secondo lo schema di figura 1, per valori della tensione continua V_{dc} tra 0 e 4 V a passi di 0.5 V. La resistenza in continua può essere misurata direttamente dalle letture del voltmetro e dell'amperometro.

Dalla tabella delle tensioni e correnti misurate si ricavano la resistenza apparente e differenziale, e le si riportino su un grafico.

1.2 Misure in regime dinamico

Si misuri la resistenza dinamica del bolometro seguendo lo schema di fig. 2. La resistenza può essere misurata dalle letture di V_i e V_o , ottenute con l'oscilloscopio. Si consiglia di usare una frequenza di 100 kHz e un'ampiezza di circa 180 mV_{rms} (500 mV_{pp}). In prima approssimazione si può trascurare i contributi dell'induttore e del condensatore, considerandoli rispettivamente un circuito aperto ed un cortocircuito per la corrente alternata.

Il risultato di queste misure avrà la forma di una tabella e di un grafico della resistenza in funzione della potenza dissipata dal bolometro.

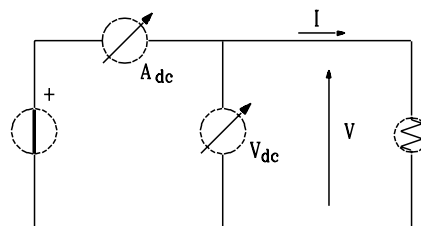


Figure 1: Schema per la caratterizzazione del bolometro in continua.

2 Realizzazione del ponte bolometrico

Il ponte bolometrico (figura 3) è in equilibrio quando $V_d=0$ cosa che avviene se si verifica la condizione

$$V_d = V_1 - V_2 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) V_a = 0$$

che coinvolge la resistenza apparente del bolometro.

Si costruisca il ponte assegnando i valori alle resistenze in modo da raggiungere l'equilibrio in assenza di segnale a radiofrequenza.

Ai fini dell'esercitazione non è importante un progetto ottimo, ma piuttosto un progetto "ragionevole". Come valori orientativi, si può partire da valori di V_1 tra 1.5 e 2–2.5 V, $R_2 = R_4 = 220 \Omega$, e R_3 scelta tra i valori normalizzati per portare il ponte quanto più possibile vicino all'equilibrio; è utile che R_5 sia del valore sufficientemente alto da poter alimentare il ponte con 14–16 V (valore orientativo 1.5 k Ω). Una piccola variazione di V_a , ottenuta regolando l'alimentatore, permetterà di equilibrare il ponte.

C'è un reale vantaggio ad avere un ponte con le quattro resistenze uguali?

Il guadagno g del ponte è definito come

$$g = \frac{dV_d}{dR_1}$$

dove R_1 è il valore della resistenza apparente del bolometro. Il significato di g è capacità del ponte di rivelare una variazione di R_1 con un'indicazione del voltmetro.

Che relazioni devono sussistere tra le resistenze perché il guadagno sia massimo?

Quali sono i vantaggi e gli svantaggi conseguenti al tentativo di rendere massima la tensione V_a ? Suggestimenti: si pensi al guadagno del ponte, alla massima potenza a radiofrequenza che può essere misurata, alla sensibilità del bolometro alla variazione di potenza a radiofrequenza.

3 Misure di potenza

Con i valori dei componenti e dei vari parametri scelti, si calcoli la massima potenza P_{rf} che si può applicare al ponte per il suo funzionamento in condizioni limite e in condizioni "ragionevoli".

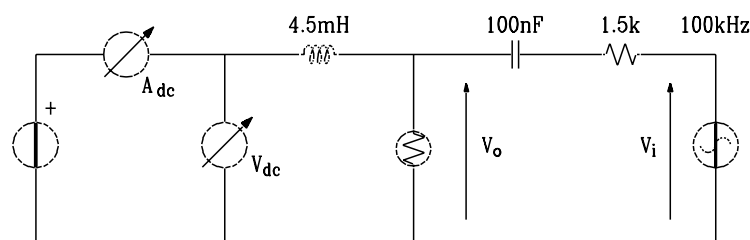


Figure 2: Schema per la caratterizzazione del bolometro in regime dinamico.

In assenza di radiofrequenza, si porti il ponte all'equilibrio agendo sull'alimentatore regolabile. Si applichi ora il segnale alla frequenza di 100 kHz e si riporti il ponte all'equilibrio. Leggendo le correnti di alimentazione I_{dc} con e senza segnale, si calcoli la potenza del segnale alternato dissipata dal bolometro.

La misura deve essere ripetuta per 3 valori di P_{rf} , al centro e verso gli estremi della dinamica.

3.1 Risoluzione e incertezza

Riutilizzando i risultati delle prime misure effettuate, calcolare la sensibilità del bolometro dR_1/dP , dove P è la potenza dissipata complessiva. Dal progetto del ponte è noto il guadagno $g = dV_d/dR_1$. Si combinino i due valori per ottenere la sensibilità s del ponte bolometrico definita come

$$s = \frac{dV_d}{dP_{rf}}$$

Tenendo in conto solo la risoluzione del voltmetro usato per rivelare l'equilibrio, quale è la risoluzione della misura di potenza? Si trovi il risultato numerico per la misura al centro della dinamica. Attenzione, l'equilibrio del ponte deve essere raggiunto due volte, con e senza radiofrequenza.

Con le stesse ipotesi e nelle stesse condizioni, si calcoli la risoluzione dovuta al solo contributo dell'amperometro.

Si sa dare valutazione realistica della risoluzione della misura, considerando anche la stabilità dell'equilibrio $V_d=0$?

Trascurando i problemi di adattamento di impedenza fra la sorgente e il bolometro, e considerando le reattanze come ideali (cortocircuito o circuito aperto, secondo il caso) si valuti la precisione complessiva della misura di potenza.

Le induttanze di bolcco dell'alternata e i condensatori di blocco della continua, per i loro valori, in realtà non rappresentano reattanze ideali. Si sa dare un'ordine di grandezza della loro influenza sulla precisione della misura?

Copyright 2000 di Enrico Rubiola. Tutti i diritti riservati.

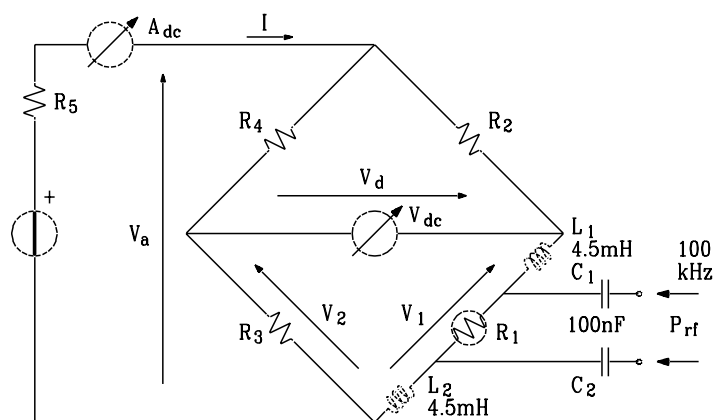


Figure 3: Schema del ponte bolometrico.

4 Ponte bolometrico con riequilibrio in bassa frequenza

Lo schema del ponte bolometrico con riequilibrio in bassa frequenza è riportato in figura 4.

In assenza di radiofrequenza, il ponte è all'equilibrio con una corrente di bassa frequenza $I_{ac}=I_1$. Applicando il segnale a radiofrequenza, si deve riequilibrare il ponte riducendo la corrente di bassa frequenza fino al valore $I_{ac}=I_2$. La potenza a radiofrequenza si ricava per differenza delle dissipazioni prodotte da I_1 e I_2 nel bolometro.

I valori di R_2 , R_3 e R_4 potranno essere gli stessi dell'esperienza precedente. Si dovrà modificare R_5 e la tensione dell'alimentatore in continua per adattare il ponte al nuovo regime di funzionamento, e dimensionare la tensione V_a del generatore a 500 Hz.

Solo per i banchi dotati di alimentatore Philips. Nel calcolare il punto di funzionamento e i valori necessari, si tenga presente che le sezioni regolabili fino a 20 V devono essere usate per la scheda generatore di segnali. Si deve quindi usare la sezione regolabile fino a 7 V per alimentare il ponte.

Solo per i banchi dotati di alimentatore Topward. L'alimentatore Topward deve essere usato per la scheda generatore di segnali. Si deve quindi usare l'alimentatore ausiliario, ad una sola sezione, per alimentare il ponte.

Per tutti i banchi. Per problemi di disponibilità di strumenti, il generatore di funzioni deve essere utilizzato per generare il segnale a 100 kHz da misurare come radiofrequenza. Il generatore a bassa frequenza deve essere realizzato con la schedina generatore di segnali, della quale si utilizzerà il segnale A1, e l'amplificatore di potenza, Marantz o Thema, seguendo lo schema di figura 5. Poiché la potenza degli amplificatori è assai esuberante, si raccomanda di provare lo schema di figura 5 *prima* di collegarlo al ponte. Si faccia attenzione al dimensionamento di R_6 (che può essere scelto tra i valori di 120 Ω e 28 Ω) per avere

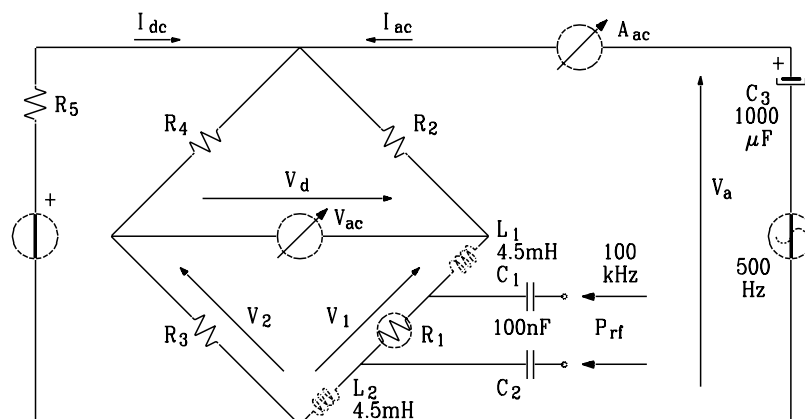


Figure 4: schema del ponte bolometrico con riequilibrio in bassa frequenza.

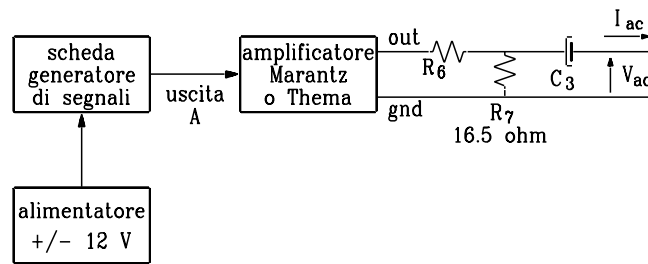


Figure 5: schema generatore di bassa frequenza utilizzato per equilibrare il ponte bolometrico.

un campo di regolazione ragionevole per la V_{ac} . Si raccomanda di misurare il segnale con l'oscilloscopio.

Amplificatore Marantz PM 230. Usare il canale sinistro (Left) e collegare il generatore di segnali all'ingresso CD. Predisporre l'amplificatore, agendo su un apposito comando presente sul pannello frontale, per l'ingresso CD. Escludere i filtri "loudness" ecc., e regolare i controlli di tono a metà corsa.

Dei due morsetti di uscita, il nero è la massa, il rosso è il segnale.

Attenzione alla regolazione della potenza: l'amplificatore può erogare 60 W su $8\ \Omega$, eccessivi per la misura e sufficienti a provocare danni. Con tutti i comandi al centro (inclusi il volume e il bilanciamento) si ottiene la massima potenza con circa $650\text{ mV}_{\text{eff}}$ all'ingresso CD.

Per l'esperienza da svolgere è opportuno regolare il bilanciamento quasi a fondo corsa "dalla parte sbagliata", privilegiando quindi il canale destro (non utilizzato) e riducendo la potenza sul canale sinistro. Si utilizzerà il controllo di volume per regolare l'ampiezza di uscita.

Amplificatore Thema GT 15 Usare l'ingresso "low" e l'uscita "H. Phone". Regolare i controlli di tono a metà corsa.

L'amplificatore ha due controlli di volume in cascata ("gain" e "master") che devono essere regolati in modo opportuno per evitare saturazioni degli stadi intermedi del circuito. Si raccomanda quindi di controllare la forma d'onda del segnale d'uscita con l'oscilloscopio. Regolando il gain a metà corsa e il master a 9/10 si ottiene la massima potenza (12 W su $8\ \Omega$) con $140\text{ mV}_{\text{eff}}$ all'ingresso low.

Per l'esperienza da svolgere è opportuno regolare i controlli dei toni acuti (treble) e bassi (bass) a 0/10 e il controllo dei toni medi (middle) a 5/10. Regolare il controllo di guadagno (gain) a 1/10 e usare come controllo di ampiezza il controllo di volume principale (master).

5 Misure di potenza

Che vantaggi presenta il ponte bolometrico con riequilibrio in bassa frequenza (figura 4) rispetto allo schema visto precedentemente?

La misura di potenza a radiofrequenza è ottenuta per differenza della parte della potenza a bassa frequenza che viene dissipata dal bolometro nelle due condizioni, in presenza e in assenza di segnale a radiofrequenza, ma sempre con il ponte all'equilibrio. Attenzione, la corrente di bassa frequenza, e quindi la potenza, persa attraverso R_5 nel nostro caso non è trascurabile.

Con i valori dei componenti e dei vari parametri scelti, si calcoli la massima potenza P_{rf} che si può applicare al ponte per il suo funzionamento. Che cosa si può "guadagnare" dimensionando opportunamente la tensione del generatore a bassa frequenza?

Regolando il generatore di funzioni per le tensioni di uscita di $100 \text{ mV}_{\text{eff}}$, $300 \text{ mV}_{\text{eff}}$, 1 V_{eff} , sempre a 100 kHz , si misuri la potenza rf dissipata dal bolometro.

5.1 Risoluzione e incertezza

In modo analogo a quanto è stato fatto per il ponte con riequilibrio in continua, si calcoli la sensibilità s del ponte, definita allo stesso modo.

Tenendo in conto solo la risoluzione del voltmetro usato per rivelare l'equilibrio, quale è la risoluzione della misura di potenza?

Si dia il risultato numerico per una misura al centro della dinamica. Attenzione, l'equilibrio del ponte deve essere raggiunto due volte, con e senza radiofrequenza.

Ricordando che anche altri strumenti, oltre al voltmetro in continua, concorrono alla risoluzione della misura, si dia una valutazione realistica della risoluzione della misura, tenendo in conto anche la stabilità dello zero.

Trascurando i problemi di adattamento di impedenza, e considerando le reattanze come ideali (cortocircuito o circuito aperto, secondo il caso) si valuti la precisione complessiva della misura di potenza.

Le induttanze di bocco dell'alternata e i condensatori di blocco della continua, per i loro valori, non sono componenti ideali. Si sa dare un'ordine di grandezza della loro influenza sulla precisione della misura?

Tabelle utili

codice dei colori			
nero	0	10^0	
marrone	1	10^1	1%
rosso	2	10^2	2%
arancio	3	10^3	
giallo	4	10^4	
verde	5	10^5	
blu	6	10^6	
viola	7	10^7	
grigio	8	10^8	
bianco	9	10^9	
oro		10^{-1}	5%
argento			10%

Condensatori

La capacità dei condensatori è spesso indicata in picofarad con un codice a tre cifre del tipo xyz dove

x e y sono le cifre significative della capacità
z è il moltiplicatore, da intendersi come $\times 10^z$.

Esempio: 224 corrisponde a 22×10^4 pF, ovvero 220 nF.

Il suffisso k, talvolta presente, indica che condensatore è ceramico (*non* si tratta di una moltiplicazione per 1000).

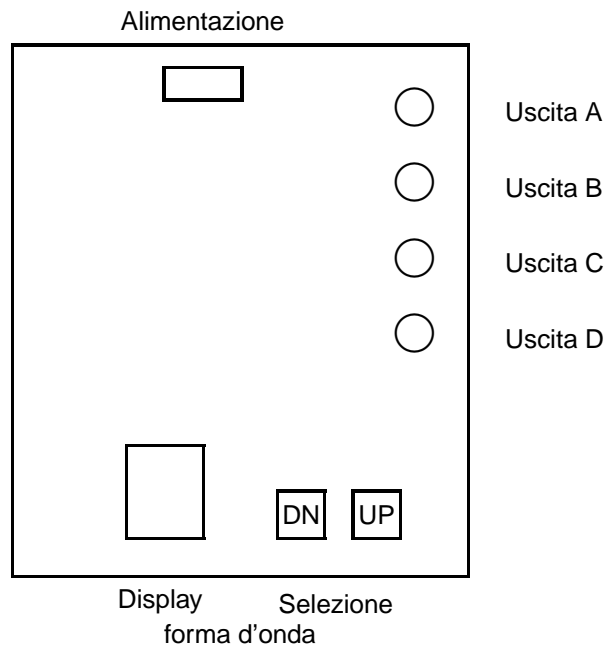
Un altro modo è quello di indicare la capacità in microfarad.

Esempio, .01 indica $0.01 \mu\text{F} = 10$ nF; si noti l'assenza dello zero prima del punto decimale.

Diode

La fascetta solitamente indica il catodo (la corrente fluisce dall'anodo al catodo). Non fidarsi, ma provare il diodo con un multimetro e una tensione di polarità nota, ricavata ad esempio dall'alimentatore.

Generatore di forme d'onda



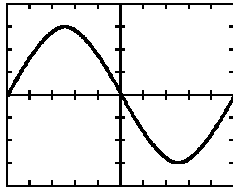
Uso

Il display indica il numero corrispondente alla forma d'onda, rappresentato con una singola cifra esadecimale (da 0 a F). Il numero, e quindi la forma d'onda, può essere cambiato agendo sui pulsanti UP (incrementa) e DN (decrementa); l'azione dei pulsanti è ciclica, a modulo 16.

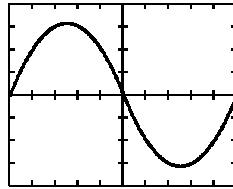
Alimentazione: simmetrica $\pm 12..15$ V (rosso +12, nero -12, verde massa).

Attenzione: regolare l'alimentatore *prima* di collegare il generatore di segnali. Poi assicurarsi che l'alimentatore sia *spento* mentre si collegano i cavi. Le sezioni dell'alimentatore sono completamente indipendenti, e vanno collegate tra loro per formare la *massa* dell'alimentazione simmetrica. Il morsetto di *terra* dell'alimentatore è collegato alla terra dell'impianto elettrico, e *non* è collegato a massa.

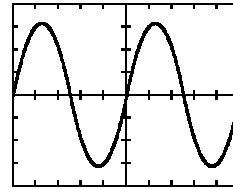
Forme d'onda



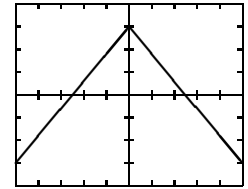
A 0



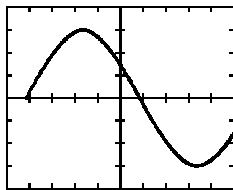
A 1



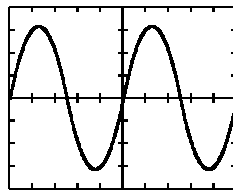
A 2



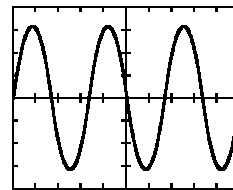
A 3



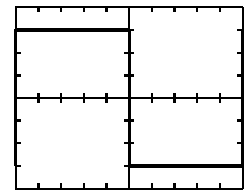
B 0



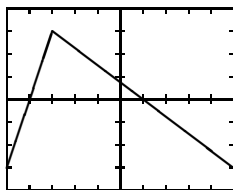
B 1



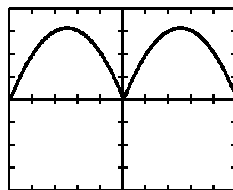
B 2



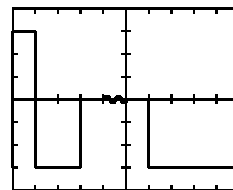
B 3



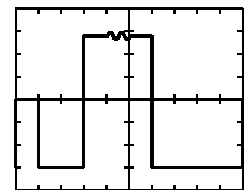
A 4



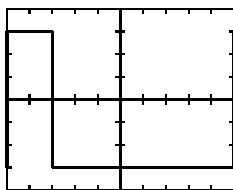
A 5



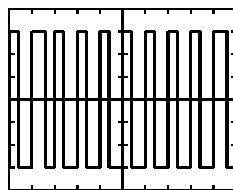
A 6



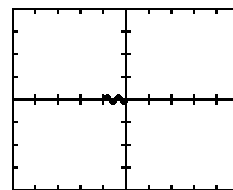
A 7



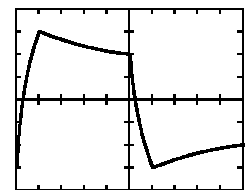
B 4



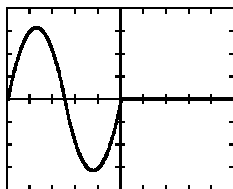
B 5



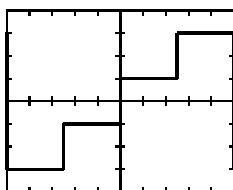
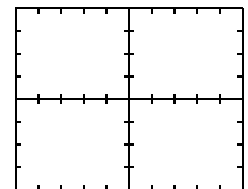
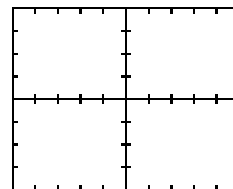
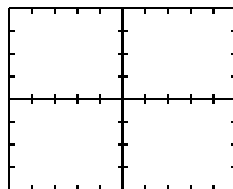
B 6



B 7



A 8



B 8

