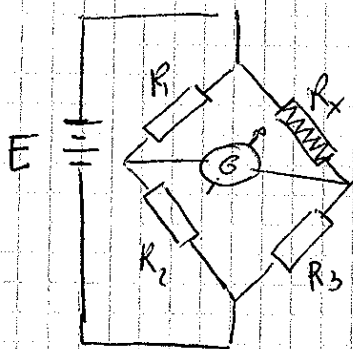


MISURE D'IMPEDENZA con METODI a PONTE

• Metodi di zero: creare circuito e ottenere mediante variazione di parametri comprare un equilibrio (una tensione o una corrente diventa nulla). Anche una bilancia e il piatti è un metodo di zero. Le caratteristiche di questo sistema sono quasi tutte addebitabili ai componenti. (In generale lo strumento di zero non partecipa all'equazione risolvente). Il rivelatore di zero deve ^{essere} essere in grado di rivelare lo zero con elevate sensibilità (deve avere alta risoluzione). Normalmente è bene che gli strumenti di zero abbiano lo zero centrale e che in caso se non tanto lontano o vicino allo zero. Frequenze: dalle continue all'ordine del GHz. Il segnale d'ingresso usato è sinusoidale. Un problema sono i parametri parassiti che si presentano in alternata. Aumentando la frequenza questi diventano sempre più grandi.

PONTE di Weetstone



All'equilibrio

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

Normalmente si prendono 2 resistenze variabili e grossi scatti ed un'altra variabile finemente. Volendo si può mettere una resistenza in parallelo a E - l'elaborazione e l'eventuale resistenza non influenzano le misure in piena analisi. Quindi non ci interviene

La loro invarianza. La misura delle resistenze nel ponte di Wheatstone è una misura istantanea. Possiamo scegliere il valore di E che vogliamo (sempre in modo da non fondere le resistenze). Le resistenze R_1, R_2, R_3 sono campioni e hanno un valore di taratura e rispettiva invarianza.

La maggiore gradiente d'influenza è la temperatura. R_1, R_2, R_3 sono resistenti e $M\Omega$, sono avvolte in bobine con fili lunghi e sufficienti per avere resistenze $R = \rho \frac{l}{s}$. Molto importante è la resistenza nei confronti delle temperature (Coeff. var. $\approx 4\%$ al $^{\circ}C$).

Vole le pere di usare il ponte per misure accurate. Quindi non va bene un 4% al $^{\circ}C$. I resistor quindi non sono fatti in rame, ma in lega (es. manganese: coeff. temperatura 10^{-5} ; 10^{-6} - le manganese appena). Sono le dell'intero delle tensioni di tipo meccanico, col tempo queste si risolvono. Galvanometro: deve essere rivelatore di zero molto sensibile. Oggi si tende a studiare strumenti elettronici (microamperometri o nano amperometri).

Valutazione dell'incertezza:

$$\frac{\Delta m_x}{m_x} = \frac{\Delta m_a}{m_a} + \frac{\Delta m_b}{m_b} + \frac{\Delta m_c}{m_c} + \dots$$

A noi non interessa in valore assoluto di A e B , ma a noi interessa l'incertezza del rapporto A/B . Ci sono dei resistor venduti accoppiati in modo che l'incertezza sul rapporto sia del 1% o del per mille. Dobbiamo tenere presente la sensibilità del galvanometro e del ponte.

$$\sigma_x = \frac{\Delta x/x}{\Delta e/e} : \text{incertezza di sensibilità}$$

risoluzioni del galvanometro.

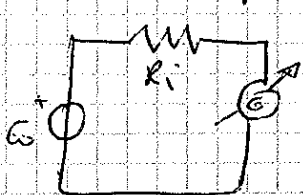
Δx : variazione di x quando all'equilibrio

Δe : variazione di e prodotta da Δx .

In prima appross $\sigma_x = \sigma_A = \sigma_B = \sigma_C$.

La variazione deve essere piccola!!

Da cosa dipende la sensibilità?



$$E_0 = E \left(\frac{c}{a+x} - \frac{b}{a+b} \right)$$

$$R_i = \frac{x c}{x+c} + \frac{a b}{a+b}$$

All'equilibrio $\frac{c}{a+x} = \frac{b}{a+b}$

Equilibrio

$$E_0 \approx E \frac{\pi/c}{(1+x/c)^2} \cdot \frac{Dc}{c} \quad \text{A parte di } \frac{\Delta c}{c} \text{ conviene utilizzare}$$

una grade E . Nel ponte dobbiamo usare tensioni alte. Le volare di E è limitato dal fatto che la resistenza si scaldano. Bisogna trovare il compromesso tra E e la sovra temperatura dovuta al riscaldamento.

Inoltre nel rapporto $\frac{x}{c}$ l'espressione non è lineare. (Nell'autom. industriale si utilizzano ponti di Wheatstone in questi equilibri e si consiglia il valore di c sulle basi della formula scritta sopra).

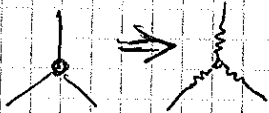
Per avere E_0 max devo avere $\frac{x}{c} = 1$ perché $\frac{\pi/c}{(1+x/c)^2}$ ha il max per $\frac{x}{c} = 1$.

R_i deve essere il più piccolo possibile. Quindi il valore di A e B deve essere il più piccolo possibile ($\sim 10-100 \Omega$).

Ma la resistenza interna del galvanometro sarebbe bene $R_g = R_i$. Questo è la condizione che non si riesce quasi mai ad avere.

Le sensibilità come parabole più giuste l'incertezza nel preciso rispetto dell'incertezza.

Resistenza di contatto:



Se i contatti sono saldati la resistenza di contatto sono dell'ordine del $\mu\Omega$ e quindi trascurabili. Se invece non sono saldati si ha resist. contatto dell'ordine del $m\Omega$. Per questo le resistenze A, B e C sono dell'ordine di $10-50-100 \Omega$.

Per ridurre si possono usare:

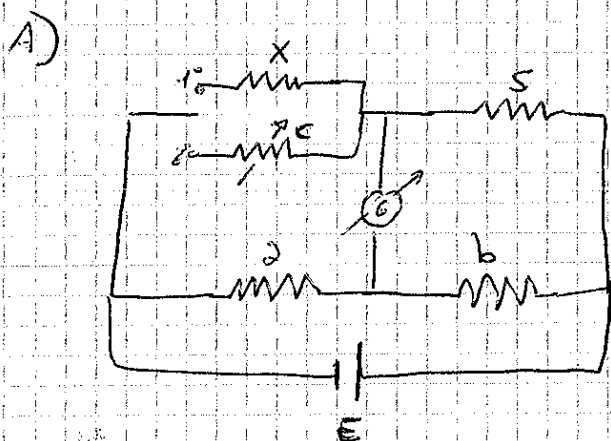
- materiali pregiati con basse resistenze di contatto
- resistenze a 4 nastri (nel ponte di Wheatstone si possono usare solo 2 resistenze a 4 nastri: marcate R e X).

Si possono usare versioni del ponte di Wheatstone come il ponte di Thomson (o Kelvin).

Inoltre si ha l'effetto seebeck. Questo può essere parato e valori piccoli invertito l'elementazione. e facendo le misure dei valori ottenuti. Un metodo è anche cercare di avere tutto il ponte alle stesse temperatura. Il metodo di invertire l'elementazione è efficace,

ma rende le misure non istantanee. Questo implica che E deve rimanere costante per il tempo sufficiente a fare le due misure.

VARIANTI PONTE di Wheatstone



$$\left. \begin{aligned} 1^{\circ} \text{ eq. } & x = \frac{a}{b} \cdot s \\ 2^{\circ} \text{ eq. } & c = \frac{a}{b} \cdot s \end{aligned} \right\} \Rightarrow c = x$$

$$m_x = m_c \pm \delta m_x$$

a, b, s devono essere stabili tra il 1° ed il 2° periodo.

Ci sono 2 equilibri nel metodo (più 2 eventuali per eliminare effetto seebeck).

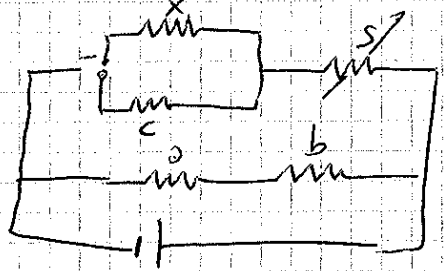
$$\frac{\delta m_x}{m_x} = \frac{\delta m_c}{m_c} + 2\sigma + E_{\text{stabilita}} + \dots$$

) instabilità di A, B, S

↑ come nel caso normale

$E_{\text{stabilita}}$: se il tempo è breve è possibile supporre la variazione lineare. Possibile fare equilibrio su x , poi su c , poi di nuovo su x . Questi equilibri sono equidistanti nel tempo. Tiro una rete, ripeto tutto all'istante in cui ho fatto le misure su c e ho eliminato l'instabilità. (Solo se si considera Estabilita lineare).

B) Se c non è generato variabile



Si richiede cal s di essere costante.

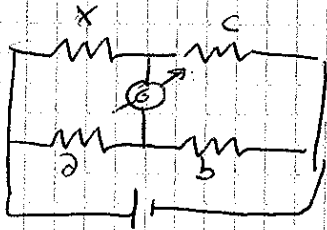
$$x = \frac{a}{b} p_x$$

$$c = \frac{a}{b} p_x \left(1 + \frac{\Delta s}{s_x} \right)$$

$$m_x = \frac{m_c}{1 + \frac{\Delta s}{s_x}} \pm \delta m$$

$$\frac{\delta m_x}{m_x} = \frac{\delta m_c}{m_c} + 2\sigma + E_{\text{steb.}} + E \left(1 + \frac{\Delta s}{s_x} \right)$$

c) $x \approx c$ e c generatore variabile



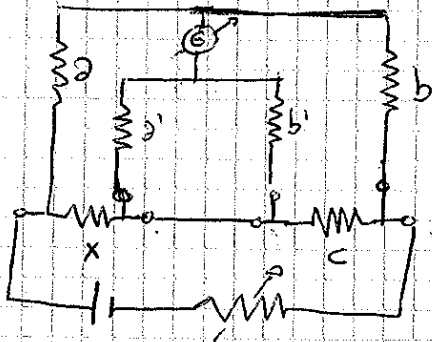
$$x = \frac{a}{b} \cdot c$$

Al 7° equilibrio $x = \frac{a}{b} (c + \Delta c)$

$$m_x = m_c \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta c}{c} \right) \pm \delta m_x$$

$$\frac{\delta m_x}{m_x} = \frac{\delta m_c}{m_c} + \sigma + \frac{1}{2} \epsilon_{stab} + \epsilon_{(1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta c}{c})} + \dots$$

PONTE di THOMSON (o di Kelvin)



a' e b' valore elevato

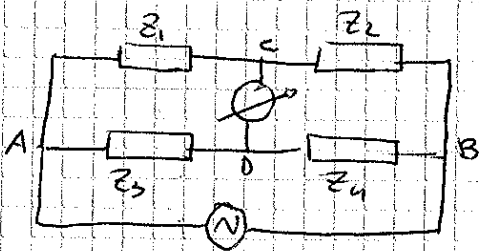
x e c e le morsetti

$$x = \frac{a}{b} \cdot c + \frac{a a'}{a' + b' + r} \left(\frac{a b'}{b a'} - 1 \right)$$

$$= 0 \text{ se } \frac{a'}{a} = \frac{b'}{b}$$

Se i valori di resistenza sono elevati si hanno problemi delle resistenze di dispersione che sono messe in parallelo. A vogliono delle schemature.

PONTI IN ALTERNATA



$$\dot{z}_3 = \frac{\dot{z}_1}{\dot{z}_2} \dot{z}_4$$

Il generatore fornisce un segnale sinusoidale.

Il galvanometro è in alternata.

L'equazione all'equilibrio è vettoriale.

- Ponti a rapporto (\dot{z}_1 e \dot{z}_2 puri). \dot{z}_1 e \dot{z}_2 sono resistenze e induttanze o capacità. In questo caso $\frac{\dot{z}_1}{\dot{z}_2}$ è puro.

$$\dot{z}_3 = \left(\frac{\dot{z}_1}{\dot{z}_2} \right) \dot{z}_4$$

- Ponti a prodotto (\dot{z}_1 e \dot{z}_4 puri). Se \dot{z}_1 e \dot{z}_4 sono puri allora

$$\dot{z}_1 \cdot \dot{z}_4 \text{ è puro. } \dot{z}_3 = \left(\dot{z}_1 \cdot \dot{z}_4 \right) \frac{1}{\dot{z}_2}$$

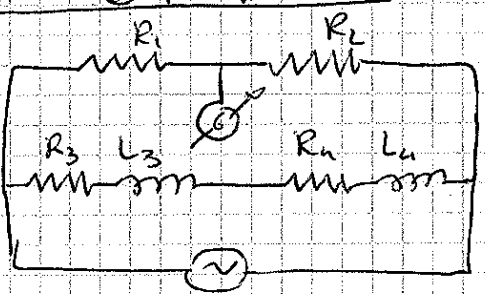
in
annullante di
 \dot{z}_2

Componenti:

- generatori: ~~collaborare~~, non deve avere armoniche, o altro piccolo aspetto alle fondamentali in modo da non influiscano sull'interferenza.
- Z_3 è un oggetto da modellizzare con l'impedente. Impari come sono fatte Z_1, Z_2, Z_4 .
- Resistori per alternata - Per eliminare gli effetti parassiti, i fili sono twistati (avvolti). Il costruttore dichiara l'induttanza parassita. Ad alta frequenza ωL è alto. L'effetto capacitivo invece, si risolve con una schematica.
- Le induttanze per alternata sono bobine in aria (sono molto grosse). Se si può si cerca di eliminare le induttanze parassite.
- Capacità parassite: dielettrico: aria. Il valore è molto basso - con più piatti si possono raggiungere in $\mu F, pF$. Sono anche queste molto grosse, ne hanno resistenza parassite basse.
- Galvanometro in alternata: si possono usare voltmetri in alternata, devono essere estremamente sensibili per la frequenza e un sistema costante e non per la alta. Si possono usare gli integratori. Ce ne è per vere frequenze.

Questo si usava frequente acustico si usava delle cuffie e l'operatore sente un fischio. L'orecchio discrimina bene lo zero. La pressione in 10^{-3} .

PONTE A RAPPORTO (WIEN)

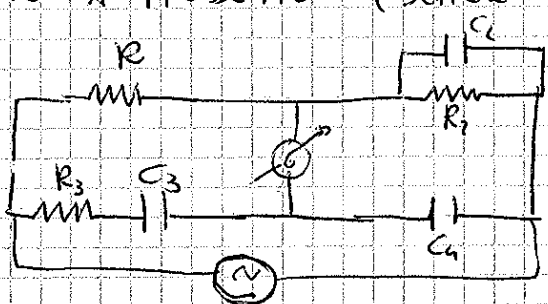


$$Z_3 = \frac{R_1}{R_2} Z_4$$

$$\begin{cases} R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_4 \\ L_3 = \frac{R_1}{R_2} L_4 \end{cases}$$

Questo ponte è indipendente della frequenza.

PONTE A PRODOTTO (SCHERING)



$$Z_3 = Z_1 Z_4 Y_2$$

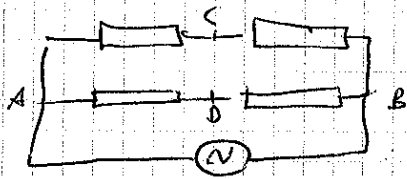
$$R_3 = R_1 / C_4 \cdot C_2$$

$$C_3 = \frac{C_4 \cdot R_2}{R_1}$$

$\theta_3 \theta_3 = \omega R_3$ angolo di perdita.

Abbiamo 4 parametri che sono variabili - l'equilibrio è vettoriale - l'equilibrio non si ottiene ottenendo solo una tensione, ma bisogna ottenere anche una fase.

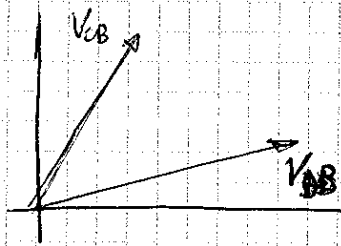
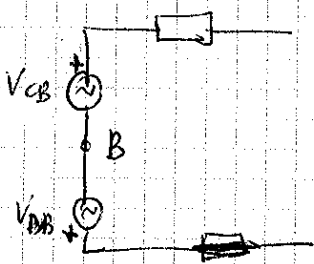
Esmp. o



Dobbiamo ottenere V_{CB}

$$\bar{V}_{CB} = \bar{V}_{CS} + \bar{V}_{SD}$$

fascio e circuito equiv. di Thevenin



1) Cerchiamo di ~~avere~~ ^{trovare} null il valore minimo $V_{CB} - V_{DB}$ - si logora su parte reale, poi su parte immaginaria e così via.

2) Altro metodo: agire su modulo e fase.

Evidentemente muoviamo uno solo dei 2 vettori! Il problema è: quale fascio muovere? Qui si ha la distinzione tra ben fatto e mal fatto. Muoviamo un parametro che ci permette di far venire solo quello che vogliamo.

Ma questo ci sono i punti e μP alcuni punti che sono molto complicati da usare solo tenuti in cuog. pochi permette di muovere più parametri contemporaneamente.

RIVELATORI di ZERO

- 3 frequenze:
- industriali
 - acustiche
 - radiofrequente.

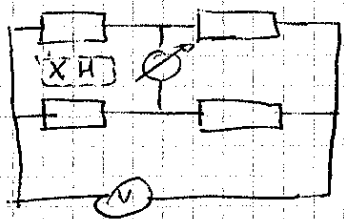
- Caratteristiche:
- sensibilità
 - selettività

cause d'incertezza:

- 1) Errori di modello:
- non lineari dei parametri (esempio nonlineari del generatore).
 - parametri parassiti

il rimedio è la relatività del rivelatore di zero. Altrimenti si rilevano tutte le anomalie.

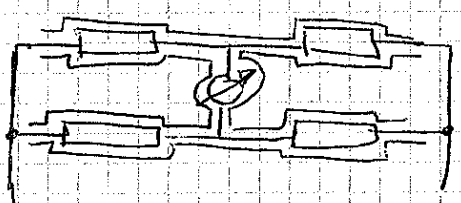
• Campi magnetici



Al'interno è meglio che fanno circolare corrente all'interno del rivelatore. Il campo magnetico crea una corrente che passa attraverso il rivelatore. Possiamo schermare il ponte (esempio ponte nrao

al ponte una scatola di ferro dolce o di μ metal). Possiamo mettere i componenti il più vicini possibili e fare collegamenti con cavi twisted. Tuttavia non immerse in un campo magnetico 50 Hz + armoniche. Il metodo è far girare l'oscillatore ad una frequenza superiore a 50 Hz, poi metterlo un filtro per i 50 Hz.

• Campi elettrici: possono essere modellizzati con capacità parassite tra conduttori e verso masse esterne. Per eliminare l'effetto delle capacità parassite possiamo schermare. Si generano delle capacità note tra



componente e schermo (ce lo dice il costruttore).

Lo schermo può essere collegato in diversi modi. Il più potenziale ne scelto nel modo miphore. Le capacità parassite non cambiano sui fili e potenziali zero. ogni testo si collega le diagonali di rivelazione e massa. Però con questo collegamento è difficile. Si può usare questo schermo

