

# Condensatori

I condensatori commerciali si dividono in 3 principali tipologie:

- 1) Plastici
- 2) Ceramiche
- 3) Elettrolitici

Si differenziano per le caratteristiche costruttive e per la tipologia di utilizzo.

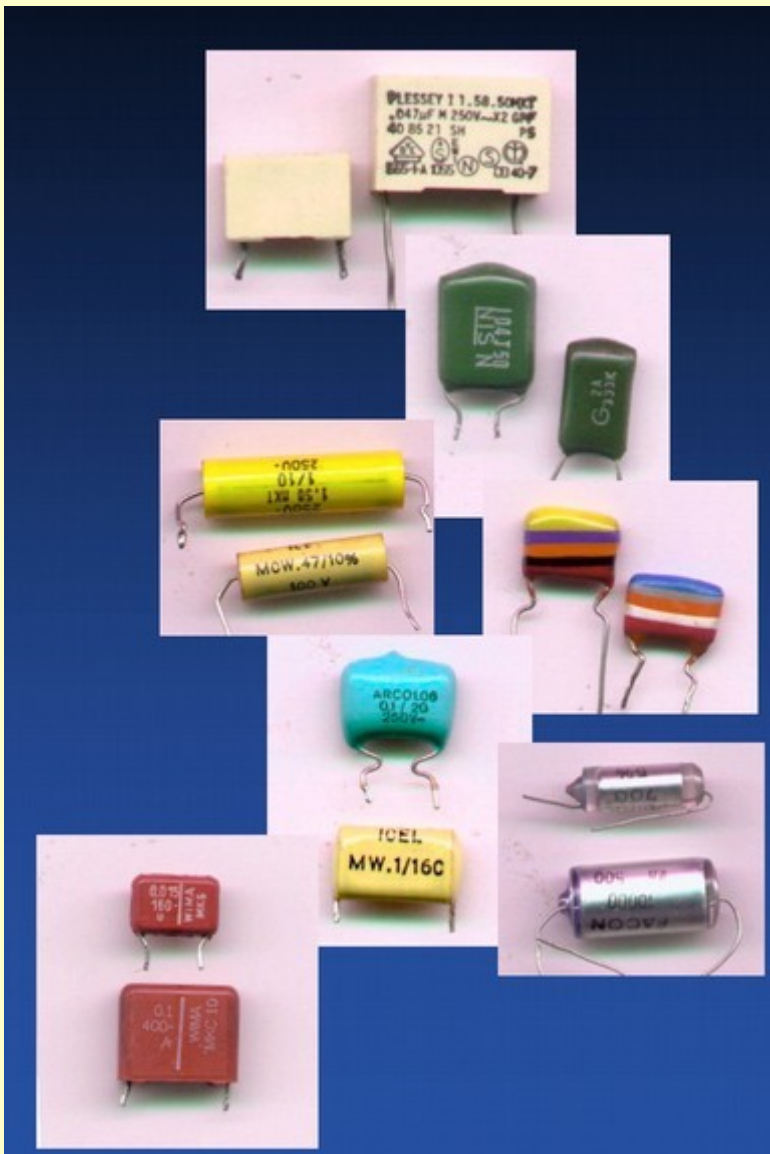
Codifica dei valori di capacità → purtroppo non univoca

- 1) Sigla americana: valore in  $\mu\text{F}$  con virgola rappresentata da punto (.033)
- 2) Sigla europea: valore è scritto sostituendo alla virgola il simbolo del sottomultiplo di F (ex: 2p2 = 2.2 pF)
- 3) Sigla asiatica: valore in pF ma con codice di colori ( 1° e 2° colore = valore, 3° colore = numero zeri )

Sul corpo del condensatore sono inoltre riportate:

- a) tolleranza (J < 5%, K < 10%, M < 20%)
- b) tensione massima di funzionamento (in V)

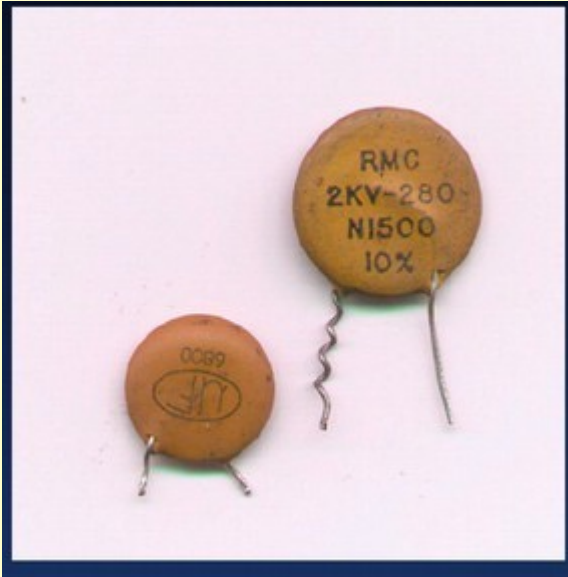
# Condensatori plastici



- poliestere
- mylar
- policarbonato
- teflon
- polisulfone
- polipropilene
- polistirolo

- Capacità da 10 pF a 10  $\mu$ F
- Tensione max fino a 2 kV
- Resistenza di isolamento da  $10^4$  a  $10^8 \Omega$
- Perdite =  $10^{-3}$
- Presenza di componente induttiva

# Condensatori ceramici



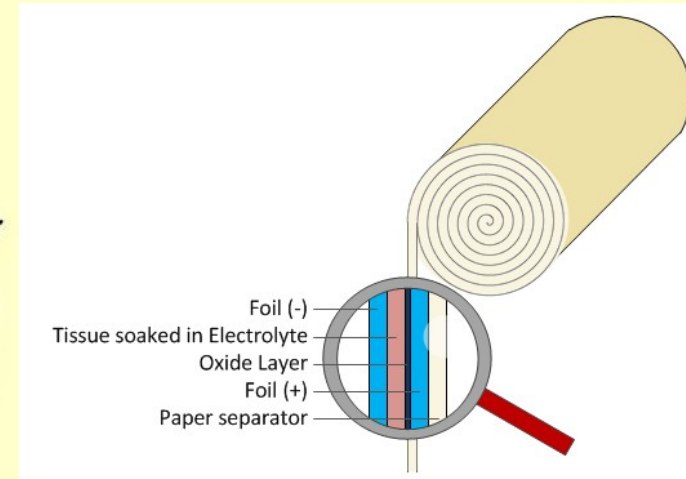
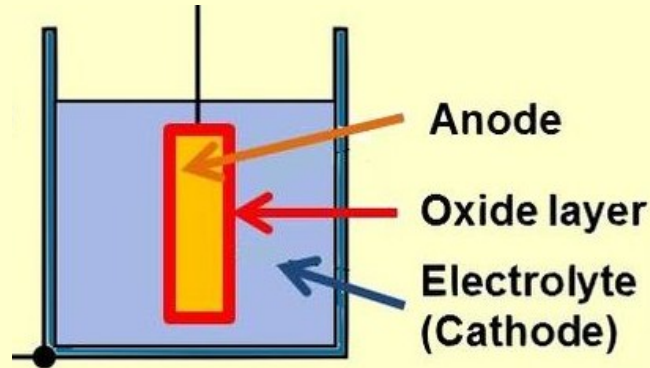
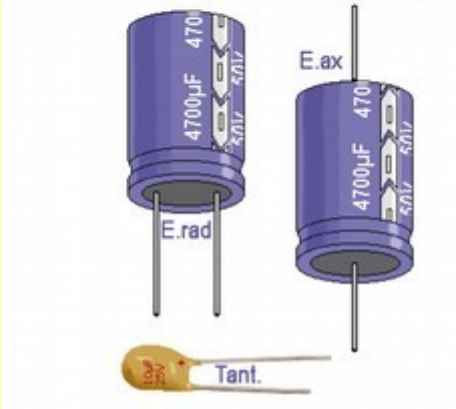
Il dielettrico è costituito da una massa (disco metallizzato sulle due facce) ceramica la cui  $\epsilon_r$  può essere variata tra  $10^1$  e  $10^4$  mediante opportune composizioni

- Quelli a bassa  $\epsilon_r$  hanno alta stabilità e perdite molto basse

- Quelli ad alta  $\epsilon_r$  permettono di ottenere alte capacità in dimensioni ridotte



# Condensatori elettrolitici



Capacità elevata per grande superficie armature (anodo e elettrolita) e sottile strato del dielettrico (strato ossido)  
Anodo e ossido possono essere di Alluminio, Tantalio o Niobio

Valori tipici:  $1 \mu\text{F}$  – 50 mF

Condensatore polarizzato: funziona solo con polo positivo all'anodo e negativo al catodo (pena esplosione) – Da utilizzare solo in c.c. (anche in c.a. ma di ampiezza minore della continua sovrapposta)

# Induttori

Gli induttori sono costituiti da un avvolgimento di materiale conduttivo, generalmente filo di rame, ricoperto da una sottile pellicola isolante



Induttori avvolti su supporto plastico, ceramico o aria

Ampio ambito di valori in funzione del numero di spire per avvolgimento e del numero di strati di avvolgimento

## Vantaggi

- L indipendente dalla corrente che scorre
- esente da perdite che si presentano in alta frequenza per quelli a nucleo ferromagnetico

## Svantaggi

- bassi valori se si vogliono contenere le dimensioni
- maggiori campi dispersi e pickup di disturbi

# Induttori

Induttori a nucleo ferromagnetico

Vantaggi

L alcune migliaia rispetto a quelli air core (dimensioni ridotte a parità di L)

Svantaggi

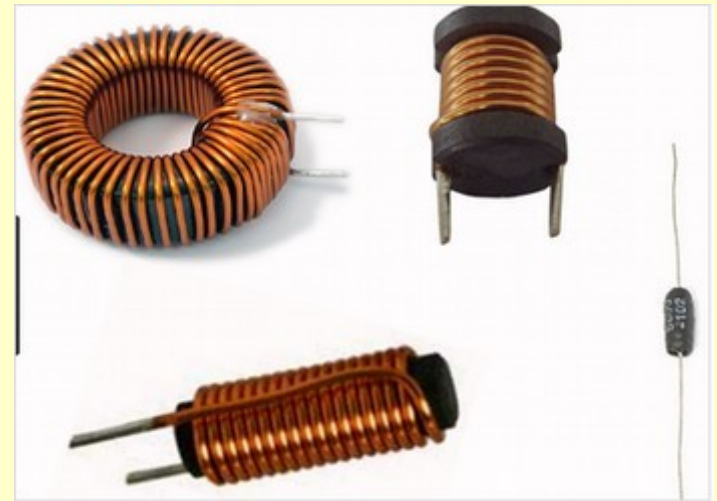
- perdite dovute a correnti indotte nei nuclei ferromagnetici particolarmente in alta frequenza (riducibili con laminazioni o nucleo ferrite  $x\text{Fe}_2\text{O}_4$  non conduttore)
- non linearità per alte correnti a causa della saturazione del nucleo

4 bande codice colori



induttore assiale

Colore	Valore 1° cifra	Valore 2° cifra	Moltiplicatore	Tolleranza
Argento	-	-	0.01 uH	10%
Oro	-	-	0.1 uH	5%
Nero	0	0	1 uH	20%
Marrone	1	1	10 uH	1%
Rosso	2	2	100 uH	2%
Arancio	3	3	1000 uH	3%
Giallo	4	4	10000 uH	4%
Verde	5	5	100000 uH	-
Celeste	6	6	-	-
Viola	7	7	-	-
Grigio	8	8	-	-
Bianco	9	9	-	-
-----	-	-	-	20%





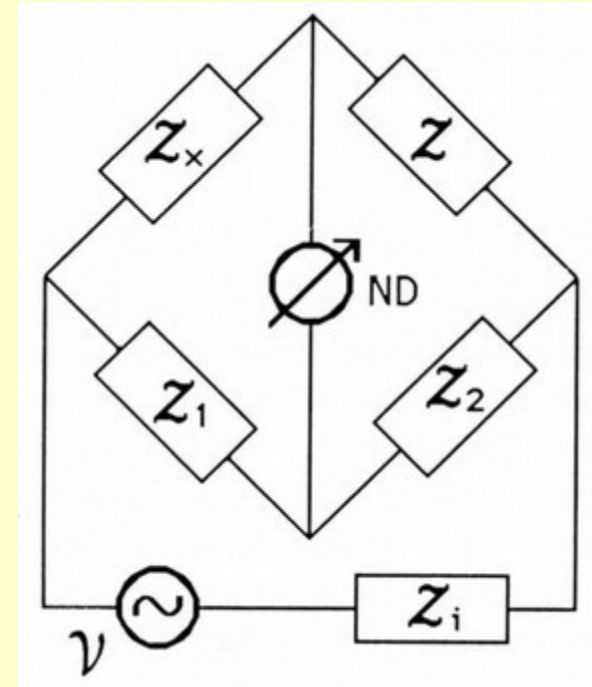
# Ponti in alternata

Nel ponte in figura ND è un voltmetro in alternata: quando indica una ddp nulla (entro la sua sensibilità), vale (analogia ponte di Wheatstone)

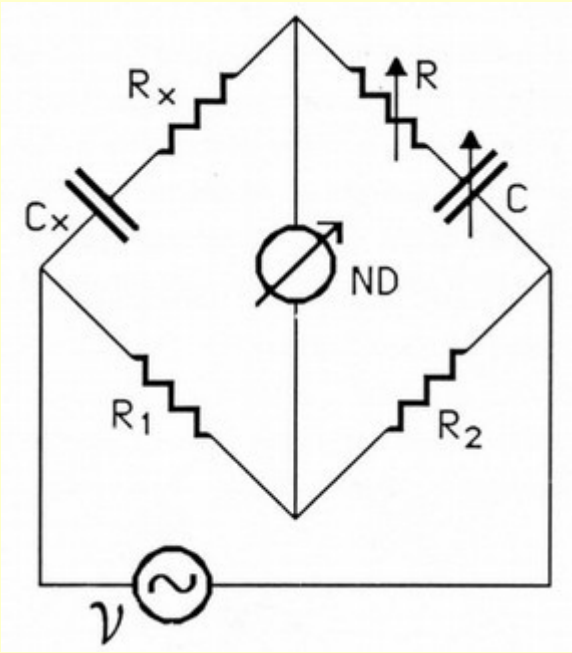
$$Z Z_1 = Z_2 Z_x \quad \text{ovvero} \quad Z_x = Z \frac{Z_1}{Z_2}$$

relazione complessa corrispondente ad un sistema di due equazioni reali.

Il sistema può anche non aver soluzione per il fatto che il coefficiente dell'immaginario può essere positivo o negativo (ad esempio se  $Z_x = C$ ,  $Z = L$ ,  $Z_1 = R_1$ ,  $Z_2 = R_2$ )



# Ponte De Sauty serie e parallelo



In condizioni di equilibrio

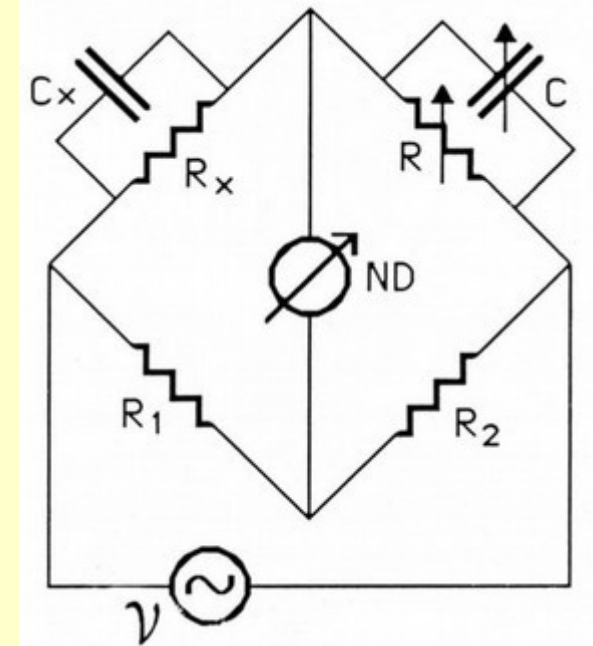
$$\begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} C \end{cases}$$

o anche

$$R_x C_x = \tau_x$$

$$\tau_x = \tau$$

$$RC = \tau$$



Le equazioni non dipendono dalla frequenza (equilibrio per tutte le armoniche per generatore non sinusoidale) se i singoli componenti sono costanti (non realistico)

Incertezza relativa

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R}{R}$$

e analoga per  $\frac{\Delta C_x}{C_x}$



# Ponte di Wien

In condizioni di equilibrio

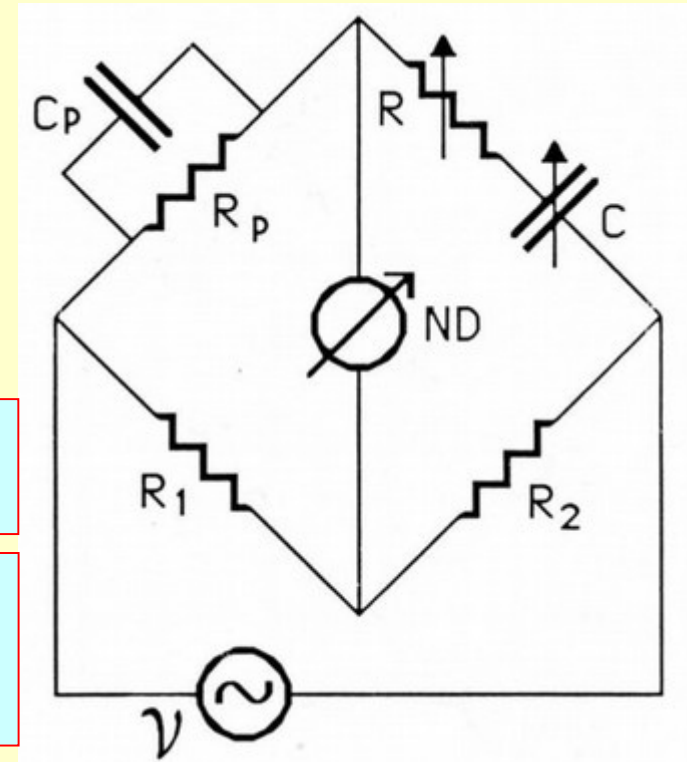
$$\left( \frac{1}{R_p} + j\omega C_p \right)^{-1} = \frac{R_1}{R_2} \left( R + \frac{1}{j\omega C} \right)$$

o anche

$$\begin{cases} \frac{R_2}{R_1} = \frac{R}{R_p} + \frac{C_p}{C} \\ \omega^2 = \frac{1}{R_p C_p R C} \end{cases}$$

parte  
reale

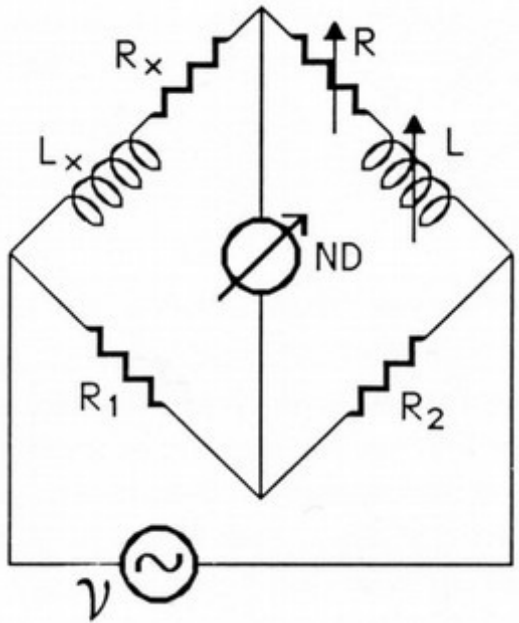
parte  
immagi-  
naria



Le equazioni dipendono ora dalla frequenza e talvolta il ponte è utilizzato per misurare  $\omega$  una volta noti i valori dei componenti.

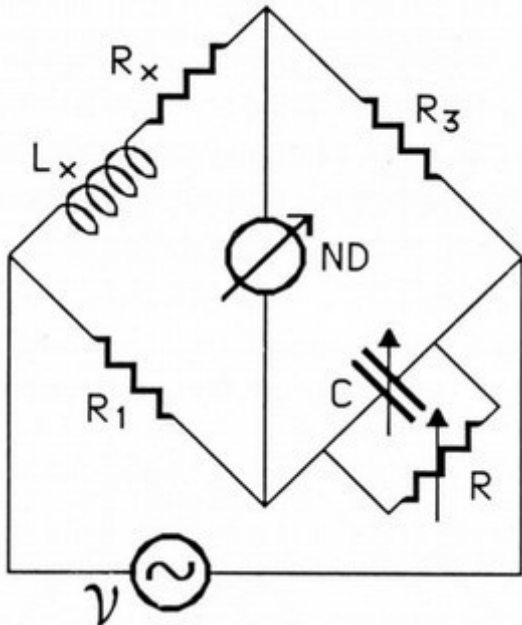
Se il generatore non è sinusoidale si otterranno vari minimi (e nessun zero) sul ND in corrispondenza delle varie armoniche.

# Ponti Maxwell LL, Maxwell LC e Hay



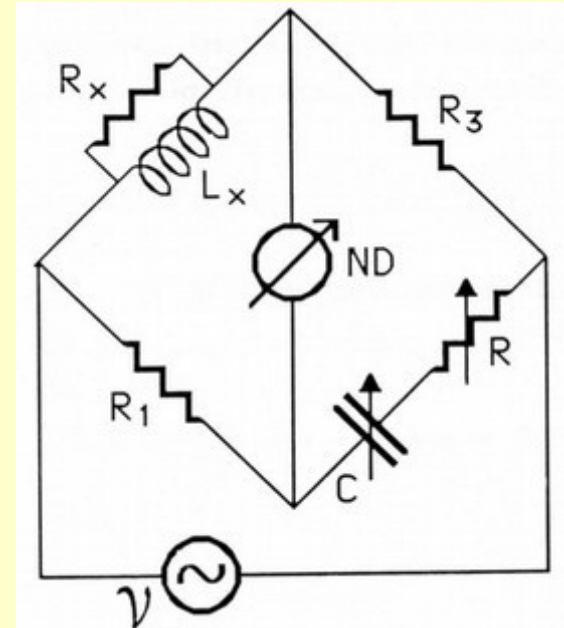
$$\begin{cases} L_x = L \frac{R_1}{R_2} \\ R_x = R \frac{R_1}{R_2} \end{cases}$$

Attenzione a ridurre l'accoppiamento induttivo tra  $L_x$  e  $L$ , allontanandole e ponendo ortogonali i loro assi



$$\begin{cases} R_x = R_3 \frac{R_1}{R} \\ L_x = R_1 R_3 C \end{cases}$$

Non hanno problemi di accoppiamento induttivo

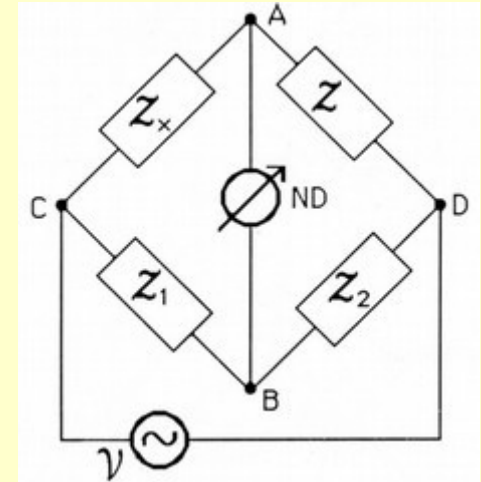


# Ponti in alternata

Scelta del ponte da usare sarà dettata dalla massimizzazione della sensibilità nella misura della grandezza in esame

Notiamo poi che le impedenze campione sono sempre montate tutte sullo stesso ramo. Con tale scelta la minimizzazione può essere molto più rapida.

Infatti, supponendo che l'impedenza d'ingresso del ND  $\gg$  di tutte le altre del ponte si ha



$$V_{AB} = V_{CD} \left( \frac{Z}{Z_x + Z} - \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) = V_{CD} \frac{Z Z_1 - Z_x Z_2}{(Z_x + Z)(Z_1 + Z_2)}$$

Detto  $Z^*$  il valore di  $Z$  all'equilibrio si ha

$$Z^* Z_1 - Z_x Z_2 = 0$$

$$\mathcal{F} = \frac{Z_x}{Z^*} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

In una condizione generica,  $Z = Z^* + z$  con  $z = r + jx$  e avremo

$$V_{AB} = V_{CD} \frac{\mathcal{F} \cdot \frac{z}{Z^*}}{(1 + \mathcal{F}) \left[ 1 + \mathcal{F} + \frac{z}{Z^*} \right]}$$

# Scelta del ponte in alternata

Il ND dà un'indicazione proporzionale al modulo di  $v_{AB}$

$$|V_{AB}| = |V_{CD}| \frac{|\mathcal{F}| \left| \frac{z}{Z^*} \right|}{\left| 1 + \mathcal{F} \right| \left| 1 + \mathcal{F} + \frac{z}{Z^*} \right|}$$

In pratica è auspicabile che l'azzeramento del ponte operando su  $Z = R + j X$  avvenga agendo in maniera indipendente su  $R$  e  $X$ . Questo comporta che

$$\begin{cases} \frac{\partial |V_{AB}|}{\partial r} = 0 & \text{per } r = 0 \\ \frac{\partial |V_{AB}|}{\partial x} = 0 & \text{per } x = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Se l'impedenza del generatore è  $\ll$  di tutte le altre, allora  $v_{CD} (= v)$ ,  $F$  e  $Z^*$  sono indipendenti da  $r$  e  $x$ . Quindi la minimizzazione di  $|v_{AB}|$  equivale a cercare il minimo di

$$\frac{\left| \frac{z}{Z^*} \right|}{\left| 1 + \mathcal{F} + \frac{z}{Z^*} \right|} \rightarrow \frac{r^2 + x^2}{(A + r)^2 + (B + x)^2} \quad \begin{cases} A = \text{Re} [(1 + \mathcal{F}) Z^*] \\ B = \text{Im} [(1 + \mathcal{F}) Z^*] \end{cases}$$

Nell'intorno delle condizioni di equilibrio  $r \ll A$  e  $x \ll B$  e quindi si possono trascurare  $r$  e  $x$  a denominatore; la condizione (1) è quindi soddisfatta e la ricerca dello zero procede senza interazioni tra  $R$  e  $X$

# Il rivelatore di zero

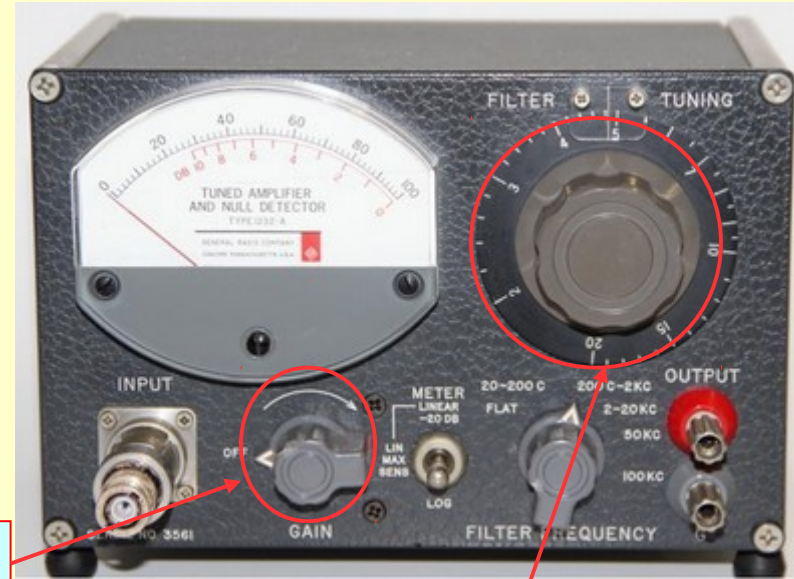
Microvoltmetro in alternata accordabile in frequenza (amplificatore molto sensibile la cui uscita raddrizzata viene misurata da uno strumento in continua, galvanometro).

Sensibilità massima  $\rightarrow < 0.1 \mu\text{V}$

Guadagno amplificatore regolabile con continuità

Impedenza di ingresso: da  $50 \text{ k}\Omega$  a  $1 \text{ M}\Omega$  a seconda del guadagno

Strumento sintonizzabile tramite la massimizzazione della risposta dell'amplificatore in corrispondenza di una certa frequenza (ex.  $1 \text{ kHz}$ )



In condizioni di non equilibrio massimizzare l'indicazione dello strumento agendo sulla manopola "sintonia" (tuning)

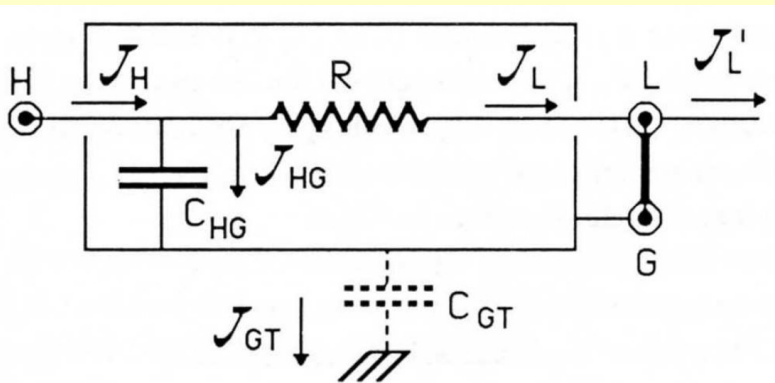
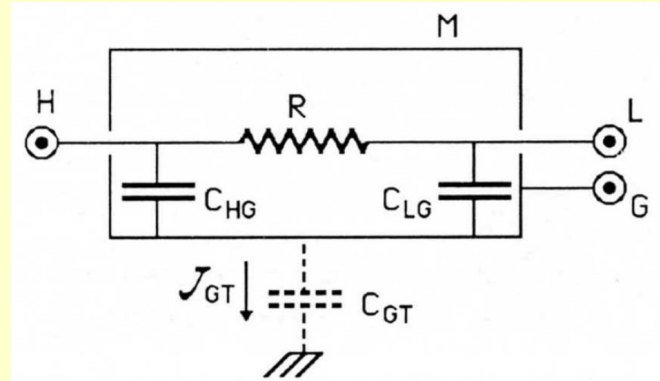
Con tale sintonizzazione il guadagno alla seconda armonica è ridotto al 2%, alla terza al 1%

# Resistenze campione

3 terminali: L, H e G (connesso a scatola)  
 $C_{HG}$ ,  $C_{LG}$  capacità verso scatola ( $C_{HG} < C_{LG}$ )  
 $C_{GT}$  capacità tra scatola e potenziale di terra (potenziale dei conduttori circostanti)



Le correnti che attraversano i vari componenti dipendono dalle tensioni dei terminali e dalla posizione della scatola rispetto all'esterno



Per ridurre tali effetti si usa cortocircuitare L con G (fatta eccezione per il caso in cui abbiano due resistenze in serie)  
 Nell'ambito di frequenze consigliato si ha che  $1 / \omega C_{HG} \ll R$



# Resistenze campione

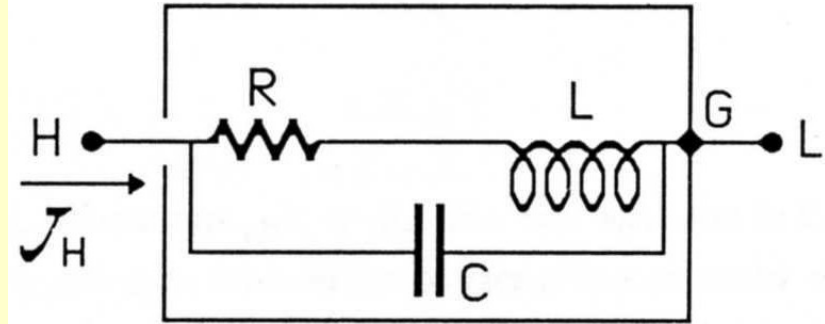
Decadi:

- resistori a filo avvolti in maniera antiinduttiva

- circuito equivalente con

L induttanza residua

C capacità tra i terminali H e G (cortocircuitato con L)



Valori tipici

$C = 20 - 30 \text{ pF}$

$L = 0.03 \text{ } \mu\text{H}$  per  $R = 0.1 \text{ } \Omega$

$= 10 \text{ } \mu\text{H}$  per  $R = 10^5 \text{ } \Omega$

Costruttore:  $Z = R_s + j X_s$

- $R_s$  valore nominale a 1 kHz

- $\Delta R_s / R_s$  in funzione frequenza

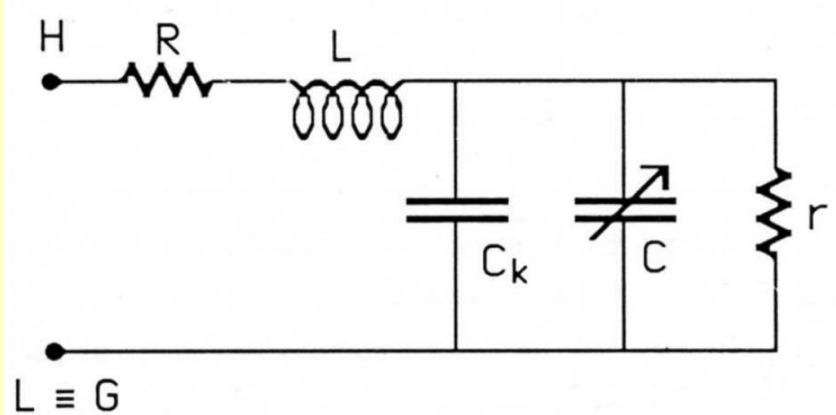
(positivo per  $R_s < 100 \text{ } \Omega$ ,

negativo per  $R_s > 10 \text{ k}\Omega$ )

# Condensatore campione

$C < 1 \text{ nF} \rightarrow$  dielettrico aria  
precisione  $10^{-5}$

$C = 1 \text{ nF} - 1 \mu\text{F} \rightarrow$  dielettico  
solido (mica, polistirene)  
precisione  $10^{-4}$



Circuito equivalente con

- C valore del campione
- R e L dovuti alle armature
- r dovuta a perdite dielettrico
- $C_k$  capacità tra H e scatola ( $G=L$ )  $\approx 1\text{pF}$

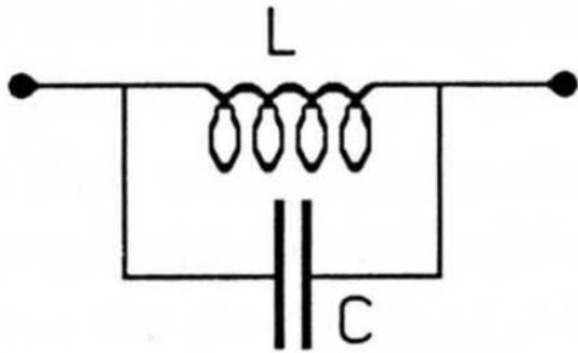
In pratica

$$Z_C = \left( j\omega C_p + \frac{1}{R_p} \right)^{-1}$$

con  $C_p$  che tiene conto di tutti gli effetti (dipendenza da frequenza a causa di L)

# Induttanza campione

Campioni con avvolgimento in aria hanno basso Q  
Campioni con nucleo ferromagnetico toroidale hanno Q elevato (a spese di dipendenza di L da i)



Circuito equivalente con C capacità tra H e scatola (G=L) + capacità distribuita su avvolgimento



In pratica

$$Z = \left( j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \right)^{-1} = j\omega L \left( \frac{1}{1 - \omega^2 LC} \right) = j\omega L'$$

aumento di  $L' = 100 \text{ mH} \rightarrow 1 \%$  passando da 1 a 10 kHz

Infine, a L è associato un contributo resistivo ad essa proporzionale

# Ottimizzazione misure

Cause che non permettono di sfruttare al massimo l'alta sensibilità del ND

1) campioni a 5 o 6 decadi hanno errori relativi di taratura di circa  $10^{-3}$  (ben maggiore di quello di sensibilità)

2) comportamenti anomali dipendenti dalla posizione relativa dei cavetti o delle scatole di impedenze usate. Essi sono dovuti a

- a) capacità parassite dipendenti da posizione mutua dei conduttori
- b) accoppiamenti induttivi tra rami in cui scorre una corrente non piccola

In alta frequenza gli effetti capacitivi risultano importanti e può essere utile ridurre le impedenze dei resistori  $R_1$  e  $R_2$

Per  $\nu = 1$  kHz è sufficiente collegare tra loro i terminali L e G delle impedenze campione e nell'operazione di inversione di  $R_1$  e  $R_2$  ridurre al minimo la modifica delle posizioni relative delle impedenze.

# Ponti De Sauty

## TABULATO

MISURE IN TENSIONE ALTERNATA

GRUPPO

MISURE PRELIMINARI CON MISURATORE RLC

DATA

POSTO

Misuratore utilizzato

Misura Rx	Rx=		$\Delta$ Rx=	
Misura Cx	Cx=		$\Delta$ Cx=	
Misura Lx	Lx =		$\Delta$ Lx=	

STRUMENTI UTILIZZATI

GENERATORE TENSIONE

Frequenza f

Ampiezza V

RIVELATORE DI ZERO

RESISTORE R  
 RESISTORE R1  
 RESISTORE R2  
 CONDENSATORE C  
 INDUTTORE L1  
 INDUTTORE L2

DE SAUTY PARALLELO

R1	
R2	

SCHEMA  
CIRCUITO

diretto	R'min		R'max	
	C'min		C'max	

invertito	R''min		R''max	
	C''min		C''max	

DE SAUTY SERIE

R1	
R2	

SCHEMA  
CIRCUITO

diretto	R'min		R'max	
	C'min		C'max	

invertito	R''min		R''max	
	C''min		C''max	

MAXWELL LL

R1	
R2	

SCHEMA CIRCUITO	
--------------------	--

Rmin		Rmax	
Lmin		Lmax	

MAXWELL LC

R1	
R3	

SCHEMA CIRCUITO	
--------------------	--

Rmin		Rmax	
Cmin		Cmax	

# Ponti Maxwell

TABULATO