

# Misure su risonatori

## 1 Misura semplice

Un primo schema di misura del risonatore è quello riportato in figura 1, nel quale  $C_s = 10 \text{ nF}$  e  $L_s = 4.5 \text{ mH}$ . Calcolare, trascurando  $R_s$  e ammettendo che i componenti abbiano il valore nominale, la frequenza di risonanza e l'impedenza caratteristica del risonatore.

Calcolare il  $Q$  del risonatore come coefficiente di sovratensione misurando la tensione a vuoto  $V_0$  del generatore e  $V_C$  alla risonanza. Su quali assunzioni è basata questa misura? Nelle condizioni sperimentali proposte tali assunzioni sono valide? In quali condizioni lo sarebbero?

Suggerimenti: resistenza del generatore e resistenza dell'oscilloscopio (quest'ultima può essere trasformata in una resistenza in serie all'induttore secondo le equivalenze indicate in figura 2); tentare una valutazione degli effetti.

## 2 Risonanza (schema 1)

Con lo schema di figura 1 il risonatore, quando è portato alla risonanza, mette il generatore "in cortocircuito" sulla resistenza interna dell'induttore  $R_s$ . Verificare cosa succede alla tensione  $V_g$  (canale 2 dell'oscilloscopio) mentre si porta il circuito alla risonanza.

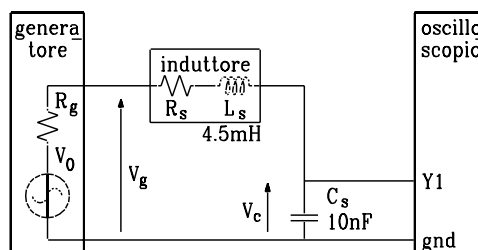


Figure 1: Primo schema di misura della risonanza.

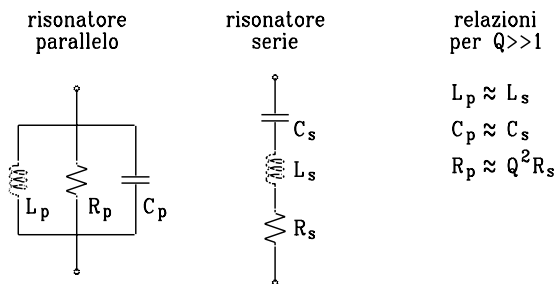


Figure 2: Equivalenze tra risonatori parallelo e serie.

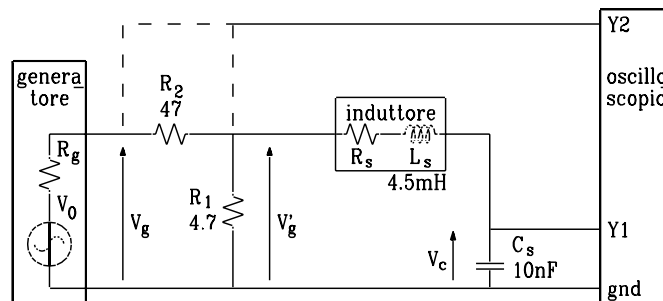


Figure 3: Schema con riduzione dell'impedenza del generatore.

Un primo rimedio (figura 3) consiste nel ridurre l'impedenza di uscita del generatore con un partitore resistivo. Si suggerisce di usare  $R_2 = 47 \Omega$  e  $R_1$  tra 2.2 e 4.7  $\Omega$ . In queste condizioni quale è la resistenza equivalente del generatore visto dal risonatore? Quali sono vantaggi e svantaggi di un basso valore di  $R_1$ ?

Si misuri  $V'_g$  con il risonatore scollegato e  $V_C$  alla risonanza, con il circuito completo. Calcolare il Q del risonatore come coefficiente di sovratensione utilizzando questi risultati. Quale errore si commette usando il valore di  $V'_g$  a vuoto?

Calcolare la variazione di  $V_g$  quando si porta il circuito alla risonanza, e verificare.

Gli errori introdotti trascurando l'impedenza di ingresso dell'oscilloscopio sono significativi? Che valore dovrebbe avere tale impedenza per provocare un errore piccolo, ma chiaramente visibile?

### 3 Risonanza (schema 2)

Quando l'impedenza dello strumento con cui si misura la tensione non può essere considerata infinita, può essere utile uno schema del tipo indicato in figura 4. Che resistenza vede il risonatore?

Per misurare il Q è necessario misurare la corrente alla risonanza tramite la tensione ai capi di  $R_3$ . Tale corrente è legata al totale delle resistenze del circuito. La corrente alla risonanza da la resistenza totale del circuito, dalla quale si ricava  $R_s$

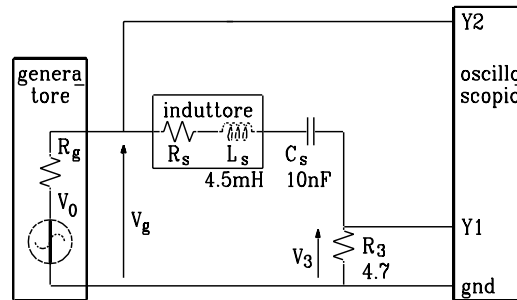


Figure 4: Misura amperometrica.

per differenza sottraendo tutte le resistenze esterne al risonatore. Conoscendo  $R_s$ ,  $L_s$  e la frequenza di risonanza si calcola  $Q$ . Ammettendo di conoscere la resistenza del generatore con un'incertezza del 10%, con che incertezza si misura  $R_s$ ?

Che vantaggio c'è a misurare  $V_g$  sotto carico, quindi alla frequenza di risonanza? È possibile rendere precisione della misura indipendente dalla precisione con cui si conosce  $R_g$ ? Come?

#### 4 Schema del Q-metro

Quale degli schemi visti è concettualmente più simile allo schema del Q-metro?

In che cosa consistono le differenze principali e perché un Q-metro "vero" funziona meglio degli schemi visti?

Perché nel Q-metro si usa un amperometro in serie al generatore non un voltmetro in parallelo?

#### 5 Risonanza (schema 3)

I problemi visti nelle esperienze precedenti portano allo schema di figura 5. Che cosa si dovrebbe fare per usare uno strumento con impedenza di ingresso di  $50 \Omega$  al posto dell'oscilloscopio?

Valendosi delle misure di  $V_g$  e  $V_3$ , calcolare il  $Q$  del risonatore caricato. In questo caso la dissipazione di potenza è dovuta alla resistenza interna dell'induttore e alle resistenze collocate esternamente al risonatore.

Calcolare il  $Q$  intrinseco del risonatore, che si avrebbe se non ci fossero le resistenze esterne all'induttore.

Ammettendo che i componenti reattivi abbiano il valore nominale, che i resistori abbiano un'incertezza del 5% e considerando l'incertezza dell'oscilloscopio, calcolare l'incertezza di misura del  $Q$  intrinseco.

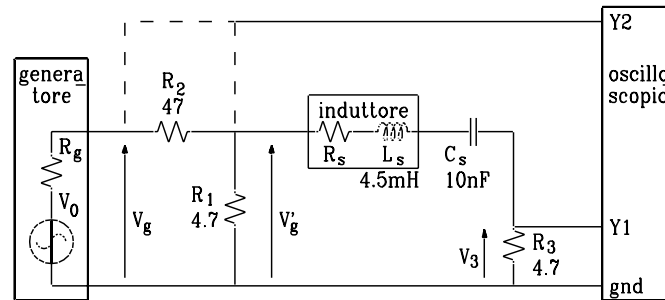


Figure 5: Schema con riduzione dell'impedenza del generatore e misura di tipo amperometrico.

## 6 Larghezza di banda (ampiezza)

Con lo schema di figura 3, misurare la frequenza di risonanza valendosi delle due frequenze alle quali l'ampiezza dell'oscillazione è 3 dB minore della massima. Misurare le frequenze con il contatore e le ampiezze con l'oscilloscopio.

Ricordando che la curva di risposta di ampiezza del risonatore nell'intorno della risonanza è una funzione del tipo  $1/\sqrt{1 + \alpha^2}$ , dove  $\alpha \simeq 2Q\Delta f/f$ , calcolare l'incertezza di misura della frequenza di risonanza. Quale strumento è il principale responsabile dell'incertezza?

Calcolare il Q del risonatore caricato, quindi senza correggere per l'effetto delle resistenze esterne al risonatore, e l'incertezza di misura.

## 7 Larghezza di banda (fase)

Sempre con lo stesso schema di figura 3, misurare il Q del risonatore caricato valendosi delle due frequenze alle quali la fase è  $\pm 45^\circ$ .

Ricordando che la curva di risposta di fase del risonatore nell'intorno della risonanza è una funzione del tipo  $\arctan(\alpha)$ , calcolare l'incertezza di misura della frequenza di risonanza.

## 8 Smorzamento

Una stima del Q del risonatore si può ottenere dalla risposta all'impulso. La risposta è un segnale cisoideale il cui inviluppo decade di 1 np (corrispondente ad un fattore 1/e in tensione) rispetto all'ampiezza iniziale dopo  $Q/\pi$  cicli dell'oscillazione.

In pratica l'impulso può essere sostituito da un'onda quadra a frequenza molto più bassa di quella della risonanza e sottomultipla di ordine dispari. Perché?

Usare lo schema di figura 3 sincronizzando l'oscilloscopio con l'onda quadra del generatore. È opportuno che l'inviluppo della cisoide possa decadere (quasi) completamente durante il semiperiodo dell'onda quadra, in modo che al fronte successivo il

<b>MISURE ELETTRONICHE</b>		<b>Misure su risonatori</b>	5/6
ESERCITAZIONI DI LABORATORIO			
Data 8-4-2000	File 4risonatori		

circuito risonante sia a riposo. (In mancanza di idee su come procedere, si parta da 100–200 Hz).

Le relazioni indicate in figura 2 indicano l'equivalenza tra resistenza serie e parallelo ai fini della dissipazione di potenza, e quindi del  $Q$  del risonatore. Inserire un resistore da  $10\ \Omega$  in serie al risonatore e misurare il  $Q$ . Calcolare il valore di resistenza equivalente che messo in parallelo ad uno dei due elementi reattivi produca lo stesso abbassamento del  $Q$ . Verificare, ovviamente togliendo il resistore da  $10\ \Omega$ .

### 9 Misura di $L$ conoscendo $C$

Calcolare il valore dell'induttanza  $L$  ammettendo che il condensatore abbia il valore nominale, e servendosi della misura della frequenza di risonanza (paragrafo 6). Calcolare l'incertezza del valore di induttanza così ottenuto. Cosa succede se  $C$  ha un'incertezza del 10%?

### 10 Misura di $C$ conoscendo $L$

Calcolare il valore della capacità  $C$  ammettendo che l'induttore abbia il valore nominale, e servendosi della misura della frequenza di risonanza (paragrafo 6). Calcolare l'incertezza del valore di capacità così ottenuto. Cosa succede se  $L$  ha un'incertezza del 10%?

### 11 Misura di $C$ conoscendo $L$ (caso reale)

Nelle misure viste ai due punti precedenti si è tacitamente ammesso che il circuito di prova sia ideale. Si supponga ora che nel circuito vi sia una capacità parassita verso massa di valore incognito, tale da rendere inaffidabile il valore letto sul condensatore.

Come si può misurare l'induttanza servendosi di un condensatore di riferimento ( $1\ \text{nF}$ ), che naturalmente non alteri le capacità parassite del circuito?

Ammettendo ora che il condensatore di riferimento abbia un'incertezza del 10%, con quale incertezza si può misurare l'induttanza? Se è necessario conoscere le incertezze di misura di frequenze di risonanza si ricordi quanto è stato fatto al paragrafo 6).

Chi se la sente provi a misurare con lo stesso metodo la capacità di uno dei cavi coassiali disponibili sul banco. Suggerimento: se la capacità da misurare è troppo piccola si può rimediare alzando la frequenza di risonanza.

## 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  $22 \times 10^4$  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.

## Diodo

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.