

Impedenza in corrente alternata

DETERMINAZIONE DELL'IMPEDEZA IN CORRENTE ALTERNATA IN UN CIRCUITO CON INDUTTORI E CAPACITORI.

- Determinazione dell'impedenza in corrente alternata nei collegamenti in serie e in parallelo di un resistore e un capacitore in funzione della frequenza.
- Determinazione della frequenza di risonanza in funzione di induttanza e capacità.
- Osservazione del cambiamento dello spostamento di fase tra corrente e tensione alla frequenza di risonanza.

UE3050321

10/16 UD

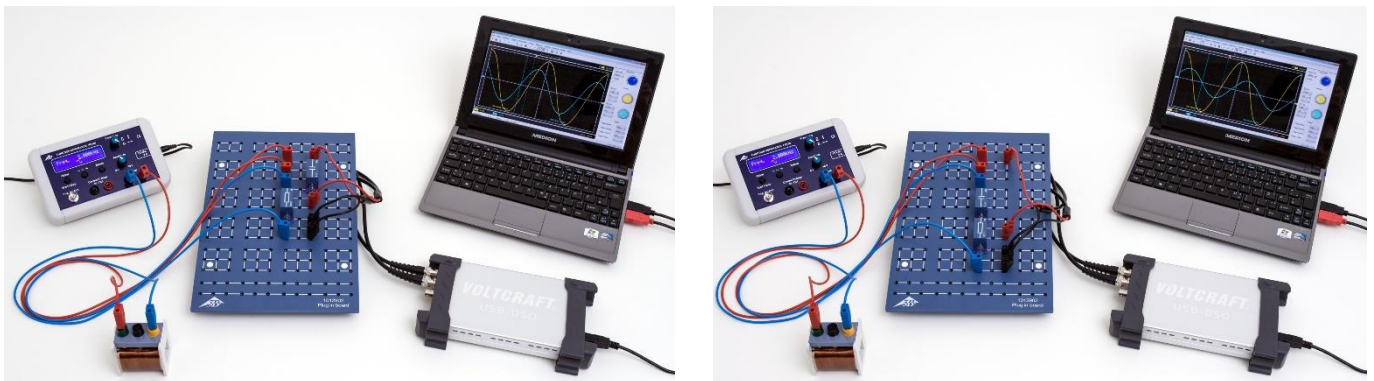


Fig. 1: Disposizione di misurazione per il collegamento in serie (destra) e per il collegamento in parallelo (sinistra).

BASI GENERALI

Le reattanze induttive in circuiti a corrente alternata aumentano con l'aumentare della frequenza della corrente alternata, mentre le reattanze capacitive diminuiscono. Pertanto, i collegamenti in serie o in parallelo di reattanze capacitive e induttive mostrano un comportamento di risonanza. Si parla di circuiti oscillanti in quanto la corrente e la tensione oscillano tra capacità e induttanza. Una resistenza ohmica aggiuntiva smorza questa oscillazione.

Per il calcolo dei collegamenti in serie o in parallelo si attribuisce, per semplicità, ad un'induttanza L la reattanza complessa

$$(1) X_L = i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L$$

f : frequenza della corrente alternata

e ad una capacità C la reattanza complessa

$$(2) X_C = \frac{1}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot C}$$

Per l'impedenza totale in un collegamento in serie senza resistenza ohmica si applica quindi

$$(3) Z_S = i \cdot \left(2\pi \cdot f \cdot L - \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \right),$$

mentre il collegamento in parallelo si calcola come segue.

$$(4) \frac{1}{Z_P} = -i \cdot \left(\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot L} - 2\pi \cdot f \cdot C \right)$$

Alla frequenza di risonanza

$$(5) f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

scompare quindi l'impedenza Z_S del collegamento in serie di reattanza induttiva e capacità; ovvero le tensioni su entrambe le reattanze singole sono uguali ed opposte.

Il valore dell'impedenza Z_P del collegamento in parallelo diventa al contrario infinitamente grande, ovvero le correnti singole sono uguali e opposte. Alla frequenza di risonanza inoltre lo spostamento di fase tra corrente e tensione varia il suo segno.

Nell'esperimento vengono realizzati circuiti oscillanti collegando in serie o in parallelo condensatori e induttori. Un generatore di funzione funge da sorgente di tensione con frequenza e ampiezza regolabile. Con un oscilloscopio si misurano corrente e tensione in funzione della frequenza impostata. La tensione U e la corrente I vengono rappresentate su un oscilloscopio; I corrisponde alla caduta di tensione $U_m(t)$ su una resistenza dinamica R_m (Fig. 2, 3).

ELENCO DEGLI STRUMENTI

1 Scheda per componenti	1012902 (U33250)
1 Condensatore 1 μ F, 100 V, P2W19	1012955 (U333063)
1 Condensatore 4,7 μ F, 63 V, P2W19	1012946 (U333054)
1 Bobina S con 800 spire	1001001 (U8498080)
1 Bobina S con 1200 spire	1001002 (U8498085)
1 Resistenza 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904 (U333012)
1 Generatore di funzione FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
o @115V	1009956 (U8533600-115)
1 Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857 (U11830)
2 Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748 (U11257)
1 Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840 (U13800)

MONTAGGIO ED ESECUZIONE

Collegamento in serie

- Realizzare la disposizione per la misurazione per il collegamento in serie (Fig. 1, destra) come mostrato nello schema elettrico (Fig. 2) con $R_m=10 \Omega$, $C=1 \mu F$ e la bobina con $N=1200$ spire / $L=23,0$ mH.
- Collegare il segnale di uscita $U_m(t) = I(t) \cdot R_m$ al canale CH1 dell'oscilloscopio e il segnale d'ingresso $U(t)$ al canale CH2.
- Impostare sull'oscilloscopio PC i seguenti parametri iniziali:

Time/DIV	10 μ s
Volts/DIV CH1	10.0 mV AC
Volts/DIV CH2	2.00 V AC
Trigger Mode	Auto
Sweep	Edge
Source	CH2
Slope	+
Level	0.00 μ V

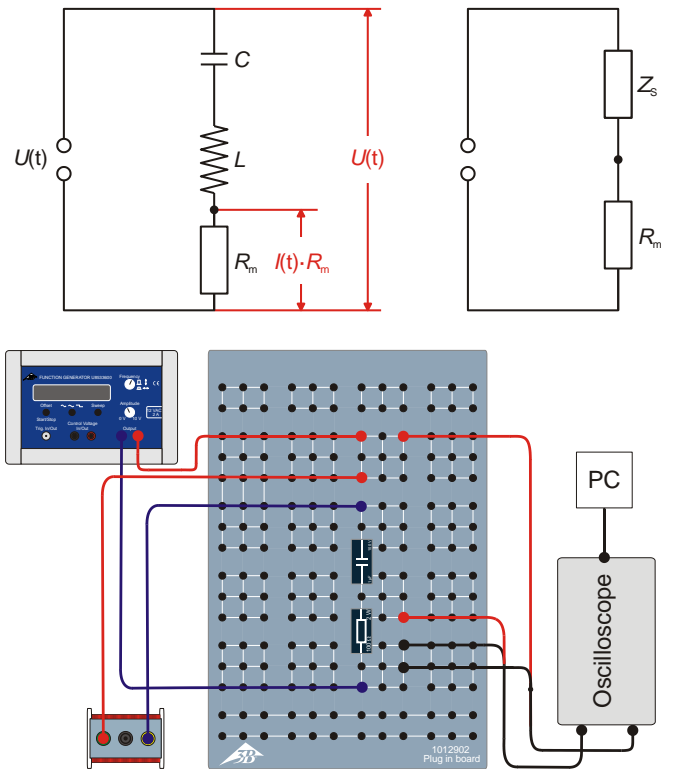


Fig. 2: Schema elettrico (in alto a sinistra), schema del circuito equivalente (in alto a destra) e rappresentazione schematica della struttura (in basso) relativi al collegamento in serie.

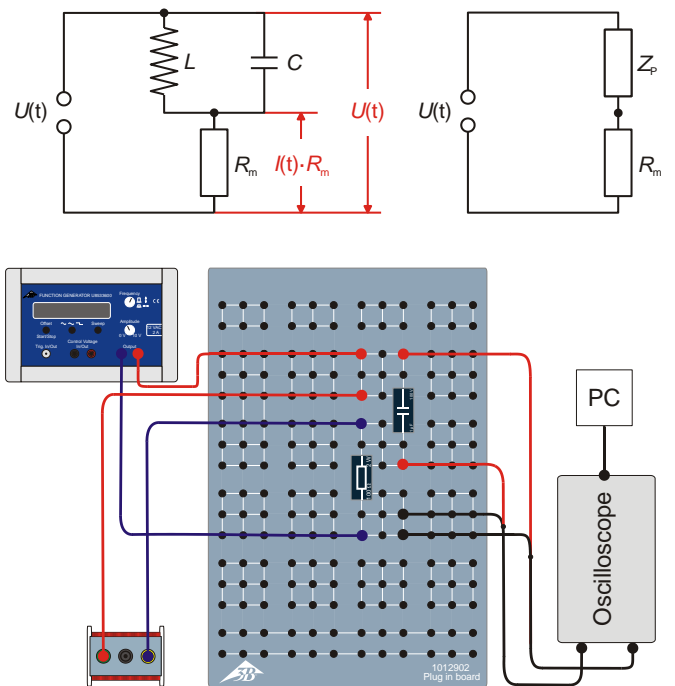


Fig. 3: Schema elettrico (in alto a sinistra), schema del circuito equivalente (in alto a destra) e rappresentazione schematica della struttura (in basso) relativi al collegamento in parallelo.

Nota

Nel corso della serie di misurazione, i parametri Time/DIV e Volts/DIV CH1 devono essere adattati.

- Selezionare sul generatore di funzione la forma del segnale sinusoidale e impostare l'ampiezza del segnale d'ingresso $U_0 = 6 \text{ V}$. A tale scopo, impostare il regolatore di ampiezza in modo tale che il massimo e il minimo del segnale sinusoidale sul canale CH2 dell'oscilloscopio (a 2 V / quadretti) corrisponda a 3 quadretti.
- Sul generatore di funzione impostare la frequenza 20000 Hz, ridurre gradualmente fino a 50 Hz (Tab. 1), leggere ogni volta l'ampiezza U_{m0} del segnale di uscita $U_m(t)$ sull'oscilloscopio e riportare i valori in Tab. 1.
- Rilevare la frequenza di risonanza f_r come frequenza alla quale U_{m0} raggiunge il valore massimo. Riportare i valori per f_r e U_{m0} in Tab. 1 (in grassetto).
- Ripetere la misurazione per la bobina con $N = 800$ spire / $L = 10,4 \text{ mH}$.
- Ripetere la misurazione per il condensatore con $C = 4,7 \mu\text{F}$ ed entrambe le bobine.
- Registrare tutte le frequenze di risonanza nella Tab. 2.

Collegamento in parallelo

- Realizzare la disposizione per la misurazione per il collegamento in parallelo (Fig. 1, sinistra) come mostrato nello schema elettrico (Fig. 3) con $R_m = 10 \Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$ e la bobina con $N = 1200$ spire / $L = 23,0 \text{ mH}$.
- Eseguire le misurazioni in maniera analoga al collegamento in serie. Selezionare sull'oscilloscopio USB i medesimi parametri iniziali, impostando però Volts/DIV CH1 a 2.00 mV CA.
- Rilevare la frequenza di risonanza f_r come frequenza alla quale U_{m0} raggiunge il valore minimo. Riportare i valori per f_r e U_{m0} in Tab. 1 (in grassetto).
- Registrare tutte le frequenze di risonanza nella Tab. 3.

Spostamento di fase

- Realizzare la disposizione per la misurazione per il collegamento in serie (Fig. 1, destra) come mostrato nello schema elettrico (Fig. 2) con $R_m = 10 \Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$ e la bobina con $N = 1200$ spire / $L = 23,0 \text{ mH}$.
- Impostare la frequenza di risonanza f_r riducendo e aumentando leggermente la frequenza e osservando la fase.
- Ripetere la misurazione per la bobina con $N = 800$ spire / $L = 10,4 \text{ mH}$.
- Ripetere la misurazione per il condensatore con $C = 4,7 \mu\text{F}$ ed entrambe le bobine.
- Ripetere la misurazione con il collegamento in parallelo.

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tab. 1: Frequenze impostate f e ampiezze misurate U_{m0} del segnale di uscita $U_m(t)$ per il collegamento in serie e in parallelo, $R_m = 10 \Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$, $N = 1200$ spire / $L = 23,0 \text{ mH}$.

f / Hz	U_{m0} / V	
	Collegamento in serie	Collegamento in parallelo
20000	0,0194	4,5060
10000	0,0397	3,1030
5000	0,0826	1,6900
2000	0,2800	0,5350
1500	0,5080	0,2890
1052	1,9950	0,0487
1000	1,8470	0,0597
800	0,6800	0,2120
500	0,2400	0,5880
200	0,0773	1,4080
50	0,0193	1,9950

Tab. 2: Frequenze di risonanza misurate per il collegamento in serie.

	f_r	
	$C = 1 \mu\text{F}$	$C = 4,7 \mu\text{F}$
$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	1052 Hz	493 Hz
$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$	1471 Hz	690 Hz

Tab. 3: Frequenze di risonanza misurate per il collegamento in parallelo.

	f_r	
	$C = 1 \mu\text{F}$	$C = 4,7 \mu\text{F}$
$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	1052 Hz	496 Hz
$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$	1457 Hz	688 Hz

ANALISI

- Calcolare i valori Z_0 delle resistenze totale per il collegamento in serie e in parallelo a partire dalle tensioni misurate U_{m0} (Tab. 1)

$$(9) \quad I_0 = \frac{U_{m0}}{R_m} = \frac{(U_0 - U_{m0})}{Z_0} \Leftrightarrow Z_0 = \left(\frac{U_0}{U_{m0}} - 1 \right) \cdot R_m,$$

$U_0 = 6 \text{ V}$, $R_m = 10 \text{ } \Omega$, e riportare i valori in Tab. 4.

- Rappresentare graficamente i valori Z_{0S} e Z_{0P} della resistenza totale per il collegamento in serie e in parallelo in funzione della frequenza f (Fig. 4, Fig. 5).
- Calcolare teoricamente i valori Z_{0S} e Z_{0P} delle resistenze totali per il collegamento in serie e in parallelo con l'aiuto delle equazioni (3) e (4) e rappresentare come linee tracciate in Fig. 4 e Fig. 5.
- Calcolare le frequenze di risonanza secondo la formula (5), riportare in Tab. 5 e rappresentare graficamente le frequenze di risonanza misurate (Tab. 2, 3) rispetto a quelle calcolate (Fig. 6).

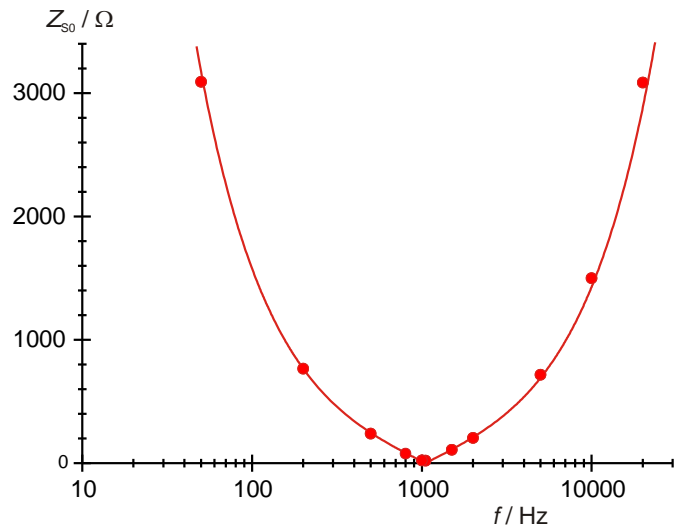


Fig. 4: Impedenza in alternata del collegamento in serie in funzione della frequenza.

Tab. 4: Resistenze totali Z_{0S} e Z_{0P} determinate con la misurazione per il collegamento in serie e in parallelo.

f / Hz	Z_{0S} / Ω	Z_{0P} / Ω
20000	3082,8	3,3
10000	1501,3	9,3
5000	716,4	25,5
2000	204,3	102,1
1500	108,1	197,6
1052	20,1	1222,0
1000	22,5	995,0
800	78,2	273,0
500	240,0	92,0
200	766,2	32,6
50	3098,8	20,1

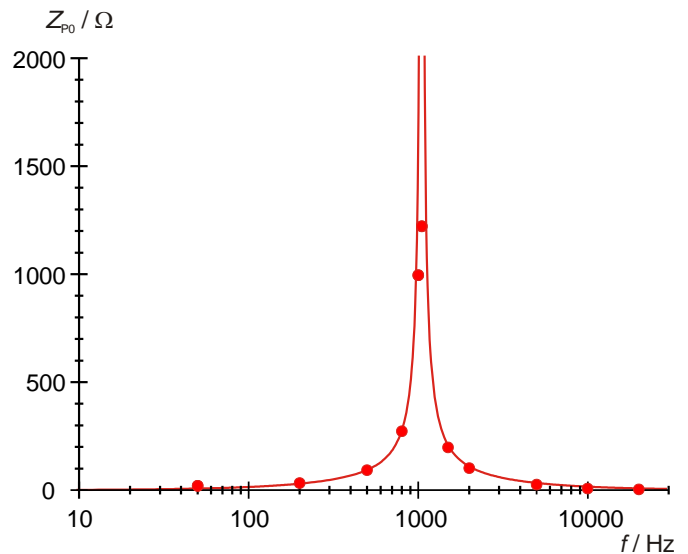


Fig. 5: Impedenza in alternata del collegamento in parallelo in funzione della frequenza.

Tab. 5: Frequenze di risonanza calcolate a partire da induttanza e capacità.

	$f_r = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C})$	
	$C = 1 \text{ } \mu\text{F}$	$C = 4,7 \text{ } \mu\text{F}$
$N = 1200$ $L = 23,0 \text{ mH}$	1049 Hz	484 Hz
$N = 800$ $L = 10,4 \text{ mH}$	1576 Hz	727 Hz

Le curve di risonanza misurate (Fig. 4, Fig. 5) confermano l'andamento teorico atteso (linee tracciate). L'ampio scostamento dei valori relativi alla resistenza totale nell'ambito della frequenza di risonanza si spiega con la quota ohmica della resistenza della bobina.

Le frequenze di risonanza misurate e calcolate coincidono (Fig. 6).

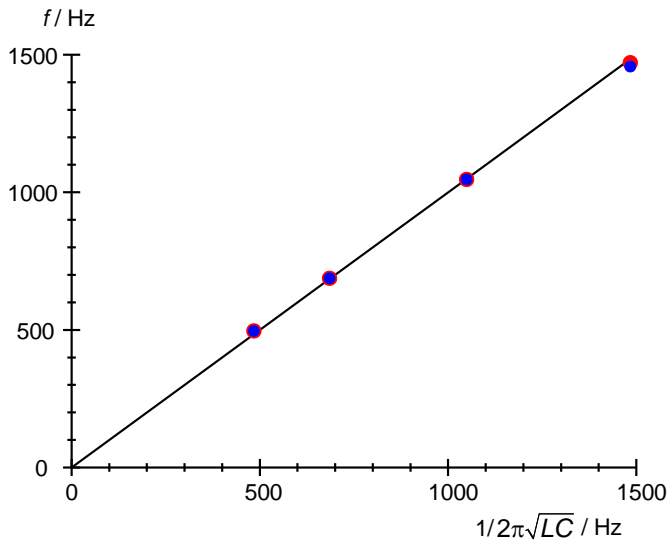


Fig. 6: Confronto tra frequenza di risonanza misurata e calcolata per un collegamento in serie (rosso) e un collegamento in parallelo (blu).

Spostamento di fase

Per il collegamento in serie, alla frequenza di risonanza i massimi, i minimi e i passaggi attraverso lo zero del segnale di uscita $U_m(t) = I(t) \cdot R_m$ e del segnale d'ingresso $U(t)$ si trovano presso le medesime posizioni sull'asse del tempo, ovvero lo spostamento di fase è pari a $\varphi = 0^\circ$. Riducendo o diminuendo la frequenza, il segnale di uscita si sposta rispetto a quello d'ingresso verso sinistra o destra a $|\varphi| = 90^\circ$.

Per il collegamento in parallelo, alla frequenza di risonanza i massimi, i minimi e i passaggi attraverso lo zero del segnale di uscita $U_m(t) = I(t) \cdot R_m$ e del segnale d'ingresso $U(t)$ si trovano presso le medesime posizioni sull'asse del tempo, ovvero lo spostamento di fase è pari a $\varphi = 0^\circ$. Riducendo o diminuendo la frequenza, il segnale di uscita si sposta rispetto a quello d'ingresso verso destra o sinistra a $|\varphi| = 90^\circ$, quindi in maniera esattamente opposta rispetto al collegamento in serie. Sulla base della teoria si prevede che il segnale di uscita alla frequenza di risonanza sia uguale a zero perché la corrente è uguale a zero. Non si osserva poi alcuna fase e dunque nessuno spostamento di fase. Il fatto che ciò nonostante si osservi un segnale di uscita diverso da zero, e dunque una fase e uno spostamento di fase, si spiega con la quota ohmica della resistenza della bobina.

