

## Resistenza di una bobina nel circuito a corrente alternata

### DETERMINAZIONE DELLA REATTANZA INDUTTIVA IN FUNZIONE DI INDUTTANZA E FREQUENZA

- Determinazione di modulo e fase della reattanza induttiva in funzione dell'induttanza.
- Determinazione di modulo e fase della reattanza induttiva in funzione della frequenza.

UE3050211

04/18 UD

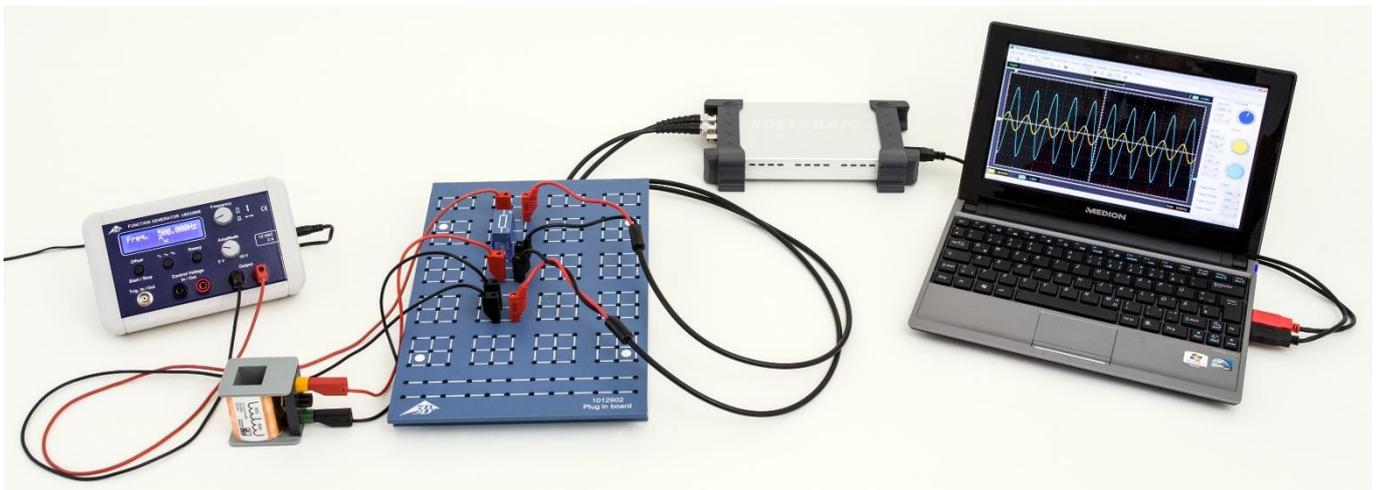


Fig. 1: Disposizione per la misurazione

### BASI GENERALI

Qualsiasi variazione della corrente generata da una bobina induce una forza controelettrica che agisce in direzione opposta alla variazione di corrente. Nei circuiti a corrente alternata, la tensione della bobina precede pertanto la corrente generata dalla bobina. Matematicamente, questa relazione è descrivibile con più semplicità utilizzando corrente, tensione e impedenza come grandezze complesse e osservandone le parti reali.

La relazione corrente-tensione per una bobina è la seguente:

$$(1) \quad U = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$i$ : Corrente,  $U$ : Tensione,  $L$ : Induttanza

Con una tensione

$$(2) \quad U = U_0 \cdot \exp(i\omega t)$$

la corrente è quindi data da

$$(3) \quad i = \frac{U_0}{i \cdot \omega \cdot L} \cdot \exp(i\omega t)$$

È possibile pertanto assegnare all'induttanza  $L$  la "resistenza complessa", o reattanza

$$(4) \quad X_L = \frac{U}{i} = i \cdot \omega \cdot L = i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L$$

Solo la parte reale di queste grandezze è misurabile, quindi

$$(5) \quad U = U_0 \cdot \cos \omega t$$

$$(6) \quad i = \frac{U_0}{\omega \cdot L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = i_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(7) \quad X_L = \frac{U_0}{i_0} = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Nell'esperimento, un generatore di funzione fornisce tensione alternata con frequenze fino a 2 kHz. Un oscilloscopio a due canali registra corrente e tensione, in modo da rilevare ampiezza e fase di entrambe le grandezze. La corrente generata dalla bobina corrisponde alla caduta di tensione di una resistenza di misura  $R$  il cui valore è trascurabile rispetto alla reattanza induttiva.

Come opzione, è possibile registrare la corrente e la tensione anche con il logger di dati VinciLab, il software Coach 7 e i sensori di tensione.

## ELENCO DEGLI STRUMENTI

1	Scheda per componenti	1012902 (U33250)
2	Bobina S con 1200 spire	1001002 (U8498085)
1	Resistenza 10 $\Omega$ , 2 W, P2W19	1012904 (U333012)
1	Generatore di funzione FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
0		
1	Generatore di funzione FG 100 @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, 1 mm <sup>2</sup>	1002840 (U13800)
opzionale		
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, licenza per le scuole 5 anni	1021522 (UCMA-18500)
0		
1	Coach 7, licenza per le università 5 anni	1021524 (UCMA-185U)
2	Sensore di tensione 10 V, differenziale	1021680 (UCMA-0210i)
1	Sensore di tensione 500 mV, differenziale	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Cavo del sensore	1021514 (UCMA-BTsc1)

## MONTAGGIO E ESECUZIONE

- Realizzare la disposizione per la misurazione (Fig. 1) secondo lo schema elettrico (Fig. 2) con la resistenza  $R=10\ \Omega$  e una bobina con 1200 spire ( $L=23\ \text{mH}$ ,  $R_L=19\ \Omega$ ).
- Collegare la linea di misura per rilevare l'andamento della tensione  $U_R(t) = R \cdot I(t)$  attraverso la resistenza di misura sul canale CH1, e collegare la linea di misura per rilevare l'andamento della tensione  $U_C(t)$  attraverso la bobina al canale CH2 dell'oscilloscopio.
- Impostare sull'oscilloscopio PC i seguenti parametri:
 

Orizzontale:	
Base tempo:	500 $\mu\text{s}/\text{div}$
Posizione trigger orizzontale:	0.0 ns
Verticale:	
CH1:	
Divisione scala tensione:	200 mV/div CC
Posizione punto zero:	0,0 divs
CH2:	
Divisione scala tensione:	1 V/div CC
Posizione punto zero:	0,0 divs

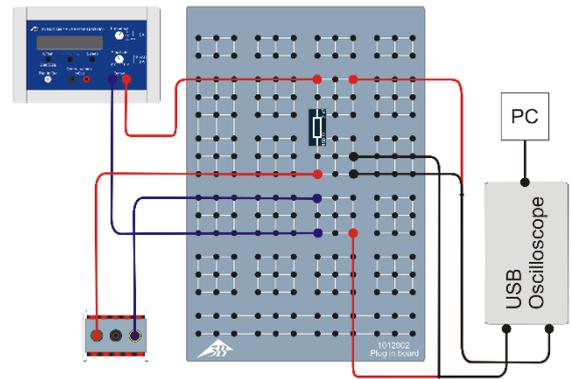
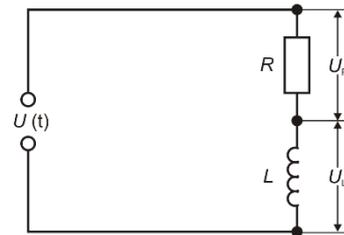


Fig. 2: Schema elettrico (sopra) e schizzo schematico del montaggio (sotto).

Trigger:  
Single (non Alternate)  
Sorgente:  
Modalità:  
Fronte:  
Soglia:  
TrigMode:

CH2  
Edge  
Rise  
0.000 mV  
Auto

Eventualmente, adeguare i parametri Time/DIV e Volts/DIV durante le serie di misurazione, per poter rappresentare i segnali in maniera ottimale.

- Impostare la frequenza  $f = 500\ \text{Hz}$ .
- Selezionare il segnale di forma sinusoidale nel generatore di funzione e impostare l'ampiezza del segnale di ingresso a  $U_0 = 4\ \text{V}$ . Impostare il regolatore di ampiezza in modo che corrisponda al massimo e/o al minimo del segnale sinusoidale sul canale CH2 dell'oscilloscopio (con 1 V / quadrato) 4 quadrati.

Il valore della resistenza di misura  $R$  rispetto alla resistenza induttiva  $X_L$  nelle frequenze osservate è trascurabile, inoltre è necessario considerare esplicitamente la resistenza ohmica  $R_L$  della bobina.

### Spostamento di fase tra corrente e tensione

- Osservare e annotare la posizione relativa degli andamenti della tensione  $U_L(t)$  e  $U_R(t)$  attraverso la bobina e la resistenza di misura.

### Dipendenza della resistenza induttiva dall'induttanza

- Con l'aiuto di entrambe le bobine con 1200 spire ( $L = 23\ \text{mH}$ ,  $R_L = 19\ \Omega$ ) e variando il numero di spire, generare le induttanze della Tabella 1, leggere in entrambi i casi le ampiezze  $U_{L0}$  e  $U_{R0}$  sull'oscilloscopio e inserire i dati nella Tabella 1.

Calcolare le induttanze per  $N = 400$  e  $800$  (prese di una bobina) secondo:

$$(8a) \frac{L}{23 \text{ mH}} = \left(\frac{N}{1200}\right)^2 \Leftrightarrow L = \left(\frac{N}{1200}\right)^2 \cdot 23 \text{ mH},$$

e per  $N = 1600, 2000$  e  $2400$  (collegamento in serie di due bobine) secondo:

$$(8b) L = L_{1200} + L_{N-1200} = 23 \text{ mH} + L_{N-1200}$$

$L_{N-1200}$ : Induttanza della bobina con  $N-1200$  spire:

Calcolare nel modo seguente le resistenze ohmiche  $R_L$  corrispondenti:

$$(9) \frac{R_L}{19 \Omega} = \frac{N}{1200} \Leftrightarrow R_L = \frac{N}{1200} \cdot 19 \Omega.$$

**Dipendenza della resistenza induttiva dalla frequenza**

- Utilizzare una bobina con 1200 spire ( $L = 23 \text{ mH}$ ,  $R_L = 19 \Omega$ ) e la resistenza  $10 \Omega$  come resistenza di misura.
- Nel generatore di funzione, impostare in sequenza le frequenze della Tabella 2, leggere sull'oscilloscopio le ampiezze  $U_{L0}$  e  $U_{R0}$  e inserire i dati nella Tabella 2.

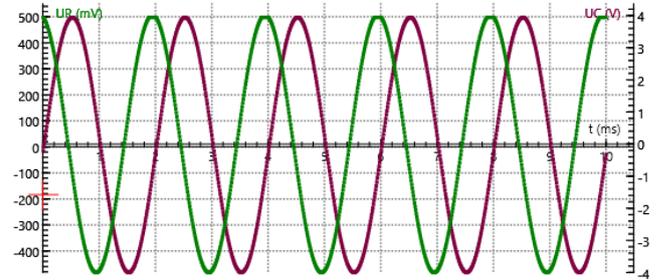
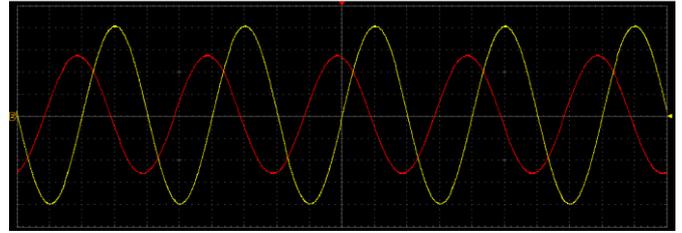


Fig. 3: Bobina nel circuito a corrente alternata: andamento di corrente e tensione. Sopra: Registrazione con oscilloscopio per PC (corrente: rosso, tensione: giallo). Sotto: Registrazione con VinciLab / Coach7 (corrente: verde, tensione: viola).

**ESEMPIO DI MISURAZIONE E ANALISI**

**Spostamento di fase tra corrente e tensione**

Il segnale della corrente è spostato verso sinistra di un quarto di periodo, rispetto al segnale della tensione (Fig. 3).

La corrente generata dalla bobina ritarda la tensione della bobina nella fase di  $90^\circ$ , poiché ogni variazione di corrente induce una forza controelettromotrice.

**Dipendenza della resistenza induttiva dall'induttanza e dalla frequenza**

- Calcolare l'ampiezza della corrente attraverso la bobina secondo

$$(10) I_0 = \frac{U_{R0}}{R} = \frac{U_{R0}}{10 \Omega}$$

e inserire i valori nella Tabella 1.

- Calcolare la resistenza totale della bobina secondo

$$(11) Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \frac{U_{L0}}{I_0}$$

e inserire i valori nella Tabella 1.

- Calcolare la resistenza induttiva secondo

$$(12) X_L = \sqrt{Z^2 - R_L^2}$$

e riportare i valori nella Tabella 1.

- Applicare le resistenze induttive  $X_L$  all'induttanza (Tab. 1, Fig. 4) e alla frequenza (Tab. 2, Fig. 5).

Secondo l'equazione (4), la reattanza induttiva  $X_L$  è proporzionale alla frequenza  $f$  e all'induttanza  $L$ . Nei diagrammi corrispondenti, i valori misurati si trovano pertanto su una retta passante per l'origine nei limiti della precisione di misura.

Tab. 1: Dipendenza della resistenza induttiva dall'induttanza,  $f = 500 \text{ Hz}$ ,  $R = 10 \Omega$ ,  $U_0 = 4 \text{ V}$ .

$N$	$L$ mH	$R_L$ $\Omega$	$U_{L0}$ V	$U_{R0}$ mV	$I_0$ mA	$Z_L$ $\Omega$	$X_L$ $\Omega$
400	2,6	6,3	2,063	2220	222,0	9,3	6,8
800	10,2	12,7	3,475	860	86,0	40,4	38,4
1200	23,0	19,0	3,725	470	47,0	79,3	77,0
1600	25,6	25,3	3,850	453	45,3	85,0	81,1
2000	33,2	31,7	3,750	313	31,3	119,8	115,5
2400	46,0	38,0	3,775	234	23,4	161,3	156,8

Tab. 2: Dipendenza della resistenza induttiva dalla frequenza,  $L = 23 \text{ mH}$ ,  $R_L = 19 \Omega$ ,  $R = 10 \Omega$ ,  $U_0 = 4 \text{ V}$ .

$f$ Hz	$U_{L0}$ V	$U_{R0}$ mV	$I_0$ mA	$Z_L$ $\Omega$	$X_L$ $\Omega$
100	2,850	995	99,5	28,6	21,4
300	3,525	725	72,5	48,6	44,7
500	3,725	488	48,8	76,3	73,9
800	3,800	325	32,5	116,9	115,3
1200	3,825	217	21,7	176,3	175,3
2000	3,875	131	13,1	295,8	295,2

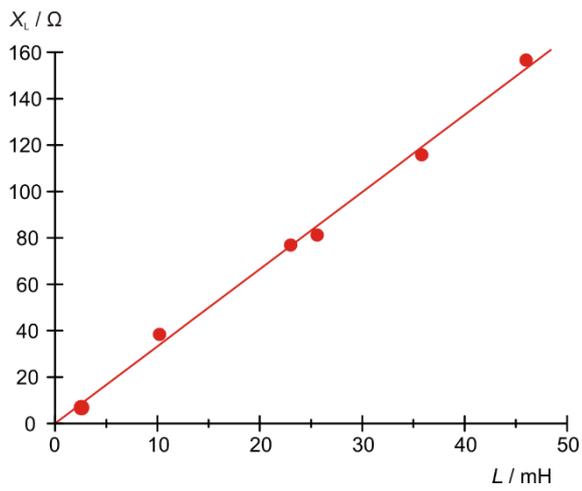


Fig. 4: Reattanza induttiva  $X_L$  come funzione dell'induttanza  $L$ .

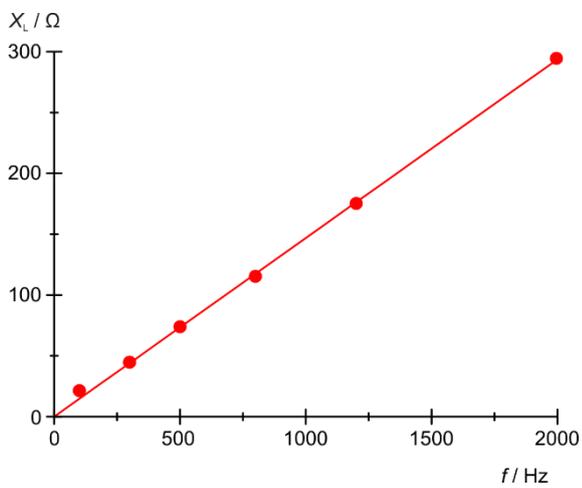


Fig. 5: Reattanza induttiva  $X_L$  come funzione della frequenza  $f$ .