

Resistência de uma bobina no circuito de corrente alternada

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA INDUTIVA EM DEPENDÊNCIA DA INDUTIVIDADE E DA FREQUÊNCIA

- Determinação da amplitude e da fase da resistência indutiva em dependência da indutividade.
- Determinação da amplitude e da fase da resistência indutiva em dependência da frequência.

UE3050211

04/18 UD

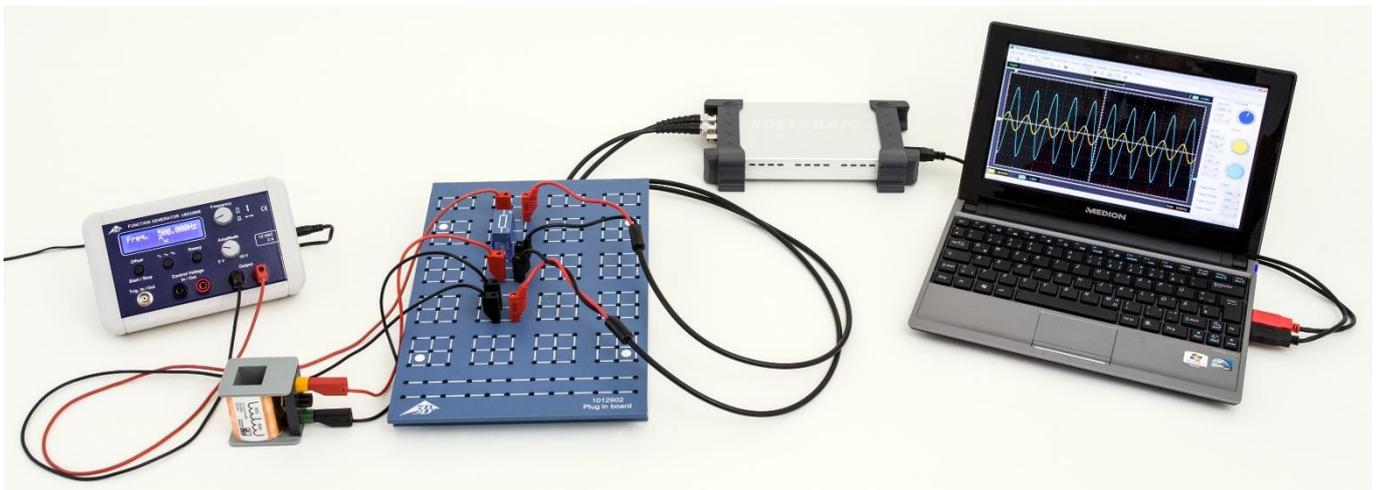


Fig. 1: Disposição de medição

FUNDAMENTOS GERAIS

Cada alteração da corrente por uma bobina induz uma tensão contrária, que age contra a alteração da corrente. Em circuitos de corrente alternada, portanto, a tensão na bobina corre antes da corrente através da bobina. Matematicamente, esta relação pode ser descrita da forma mais simples quando se utiliza corrente, tensão e resistência como grandezas complexas e se observa suas partes reais.

A relação corrente-tensão para uma bobina é

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

I : corrente, U : tensão, L : indutividade

Com uma tensão de

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

a corrente então é dada por

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

Daí se pode atribuir a resistência complexa à indutividade L

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

A parte real de cada uma das grandezas é mensurável, então

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

$$(6) \quad I = \frac{U_0}{\omega \cdot L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(7) \quad X_L = \frac{U_0}{I_0} = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Na experiência, um gerador de função fornece tensão alternada com frequências de até 2 kHz. Um osciloscópio de dois canais registra corrente e tensão, de forma que a amplitude e a fase de ambas as grandezas sejam investigadas. A corrente através da bobina corresponde à queda de tensão através de um resistor de medição R , cujo valor é desprezível em relação à resistência indutiva.

Opcionalmente, o registro de corrente e tensão também pode ser realizado com o registrador de dados VinciLab, o Software Coach 7 e sensores de tensão.

LISTA DE APARELHOS

1	Placa de encaixe para elementos de montagem	1012902 (U33250)
2	Bobina S com 1200 espiras	1001002 (U8498085)
1	Resistor 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904 (U333012)
1	Gerador de funções FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
ou		
1	Gerador de funções FG 100 @115V	1009956 (U8533600-115)
1	Osciloscópio PC 2x25 MHz	1020857 (U11830)
2	Cabo HF, BNC / conector de 4 mm	1002748 (U11257)
1	Conjunto de cabos para experiências, 1 mm ²	1002840 (U13800)
opcional		
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, licença escolar 5 anos	1021522 (UCMA-18500)
ou		
1	Coach 7, licença universitária 5 anos	1021524 (UCMA-185U)
2	Sensor de voltagem 10 V, diferencial	1021680 (UCMA-0210i)
1	Sensor de voltagem 500 mV, diferencial	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Cabo de sensor	1021514 (UCMA-BTsc1)

MONTAGEM E EXECUÇÃO

- Montar a disposição de medição (Fig. 1) conforme diagrama de ligações (Fig. 2) com a resistência $R=10 \Omega$ e uma bobina com 1200 espiras ($L = 23 \text{ mH}$, $R_L = 19 \Omega$).
- Conectar a linha de medição para captação do decurso da tensão $U_R(t) = R \cdot I(t)$ sobre a resistência de medição ao canal CH1 e a linha de medição para captação do decurso da tensão $U_L(t)$ sobre a bobina ao canal CH2 do osciloscópio.
- Ajustar os parâmetros a seguir do osciloscópio PC:

Horizontal:	
Base temporal:	500 $\mu\text{s}/\text{div}$
Posição horizontal trigger:	0.0 ns
Vertical:	
CH1:	
Divisão da escala da tensão:	200 mV/div DC
Posição zero:	0.0 divs
CH2:	
Divisão da escala da tensão:	1 V/div DC
Posição zero:	0.0 divs

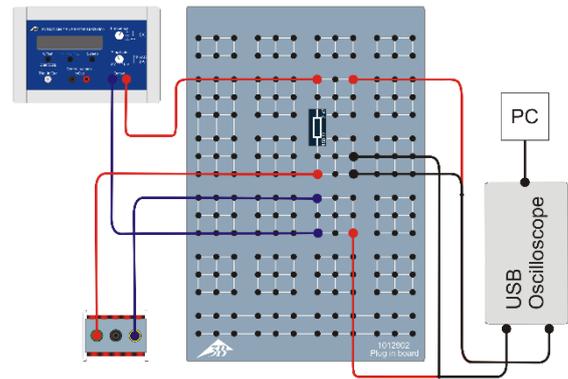
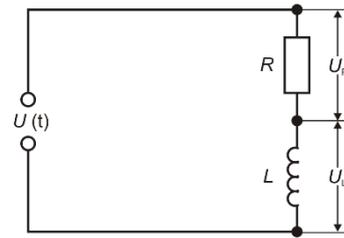


Fig. 2: Diagrama de ligações (em cima) e esquema da montagem (em baixo).

Trigger: Single (não Alternate)
 Fonte: CH2
 Modo: Edge
 Flanco: Rise
 Limiar: 0.000 mV
 TrigMode: Auto

Se for o caso, adaptar os parâmetros Time/DIV e Volts/DIV durante as séries de medição de forma que os sinais sejam representados de forma ideal.

- Ajustar a frequência $f = 500 \text{ Hz}$.
- Ajustar, no gerador de funções, a forma de sinal seno e a amplitude do sinal de entrada para $U_0 = 4 \text{ V}$. Adicionalmente, ajustar o controlador de amplitude de forma que o máximo e o mínimo do sinal de seno corresponda, no canal CH2 do osciloscópio, a 4 caixinhas (com 1 V / caixinha).

O valor da resistência de medição R é desprezível perante a resistência indutiva X_L com as frequências observadas, porém a resistência ôhmica R_L da bobina precisa ser explicitamente considerada.

Deslocamento de fase entre corrente e tensão

- Observar e anotar a posição relativa dos decursos da tensão $U_L(t)$ e $U_R(t)$ sobre a bobina e da resistência de medição.

Dependência da indutividade da resistência indutiva

- Com auxílio das duas bobinas de 1200 espiras ($L = 23 \text{ mH}$, $R_L = 19 \Omega$), gerar, por variação dos números de espiras, as indutividades da Tab. 1, ler respectivamente as amplitudes U_{L0} e U_{R0} no osciloscópio e anotar na Tab. 1.

As indutividades para $N = 400$ e 800 (saídas de uma bobina) podem ser calculadas conforme

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

e, para $N = 1600, 2000$ e 2400 (ligação em série de duas bobinas), conforme:

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

L_{N-1200} : Indutividade da bobina com $N-1200$ espiras

As resistências ôhmicas R_L pertinentes podem ser calculadas como segue:

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

Dependência da frequência da resistência indutiva

- Utilizar uma bobina com 1200 espiras ($L = 23 \text{ mH}$, $R_L = 19 \Omega$), bem como a resistência 10Ω como resistência de medição.
- No gerador de funções, ajustar sucessivamente as frequências da Tab. 2, ler as amplitudes U_{L0} e U_{R0} no osciloscópio e anotar na Tab. 2.

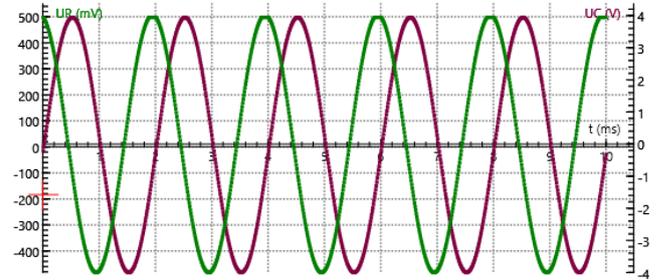
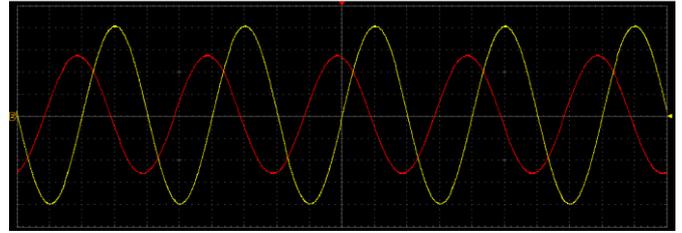


Fig. 3: Bobina no circuito de corrente alternada: Percurso da corrente e da tensão. Em cima: Registro com osciloscópio PC (corrente: vermelho, tensão: amarelo). Em baixo: Registro com VinciLab / Coach7 (corrente: verde, tensão: violeta).

EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

Deslocamento de fase entre corrente e tensão

O sinal da corrente está deslocado em relação ao sinal da tensão por um quarto de período para a esquerda (Fig. 3).

A corrente pela bobina corre atrás da tensão na bobina na fase por 90° , pois cada alteração de corrente induz uma tensão contrária.

Dependência da indutividade e da frequência da resistência indutiva

- Calcular a amplitude da corrente pela bobina conforme

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

e anotar na Tab. 1.

- Calcular a resistência total da bobina conforme

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

e anotar na Tab. 1.

- Calcular a resistência indutiva conforme

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

e anotar os valores na Tab. 1.

- Aplicar as resistências indutivas X_L contra a indutividade (Tab. 1, Fig. 4) e a frequência (Tab. 2, Fig. 5).

De acordo com a equação (4), a resistência indutiva X_L é proporcional à frequência f e à indutividade L . Nos diagramas correspondentes, os valores de medição estão, assim, no âmbito da precisão de medição, em uma reta de origem.

Tab. 1: Dependência da indutividade da resistência indutiva, $f = 500 \text{ Hz}$, $R = 10 \Omega$, $U_0 = 4 \text{ V}$.

N	L mH	R_L Ω	U_{L0} V	U_{R0} mV	I_0 mA	Z_L Ω	X_L Ω
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: Dependência da frequência da resistência indutiva, $L = 23 \text{ mH}$, $R_L = 19 \Omega$, $R = 10 \Omega$, $U_0 = 4 \text{ V}$.

f Hz	U_{L0} V	U_{R0} mV	I_0 mA	Z_L Ω	X_L Ω
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

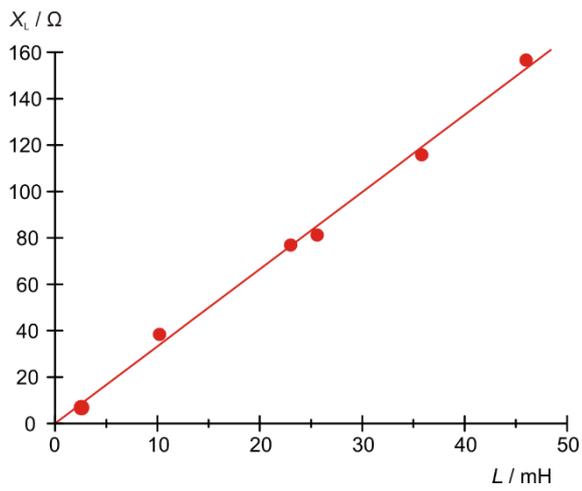


Fig. 4: Resistência indutiva X_L como função da indutividade L .

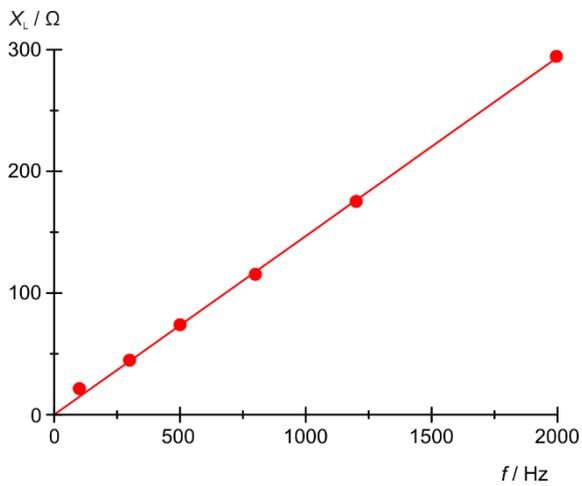


Fig. 5: Resistência indutiva X_L como função da frequência f .