

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

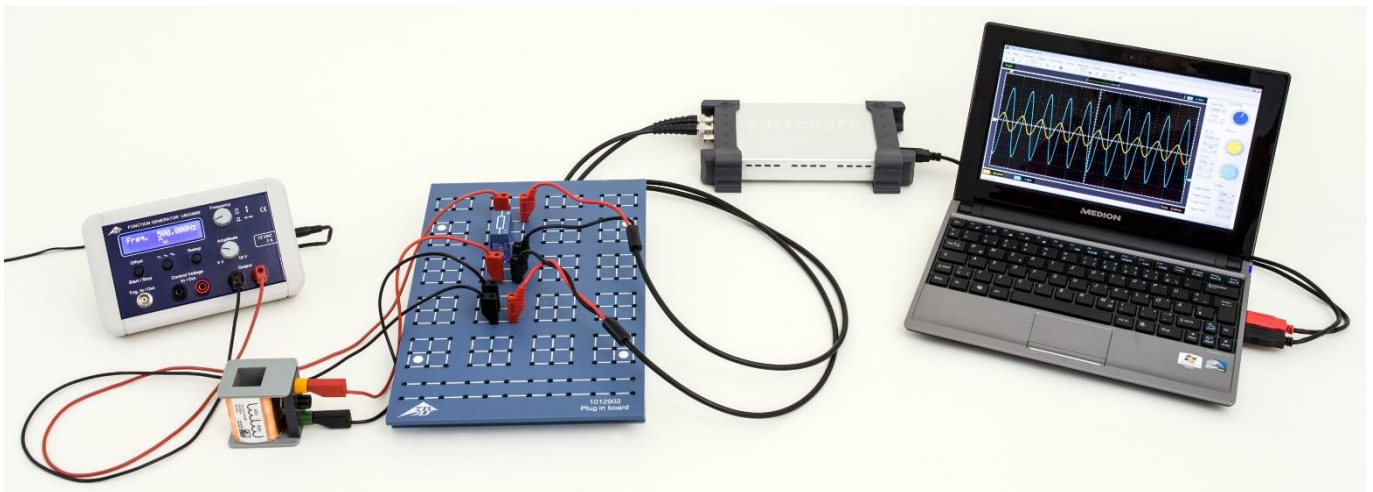


Fig. 1: Disposição de medição

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 μs/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 |

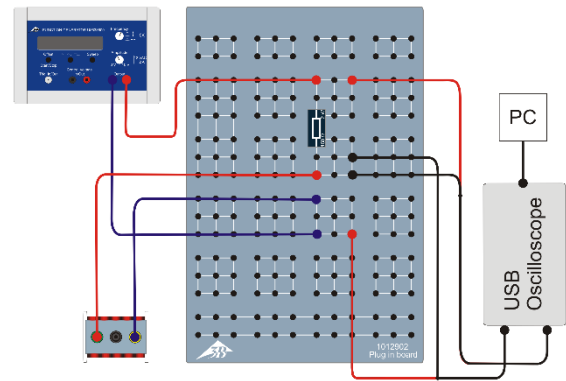
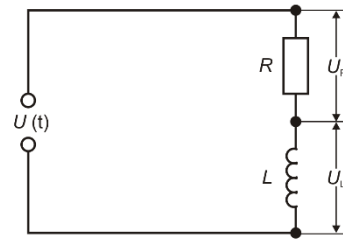


Fig. 2: Diagrama de ligações (em cima) e esquema da montagem (em baixo).

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.

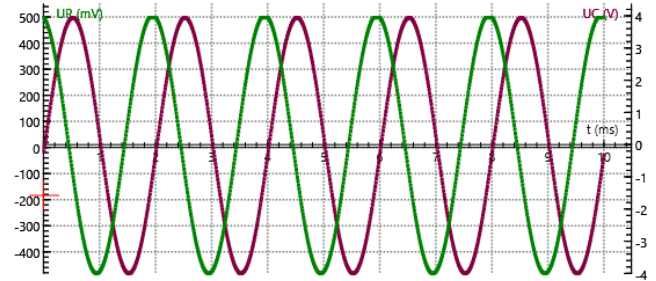
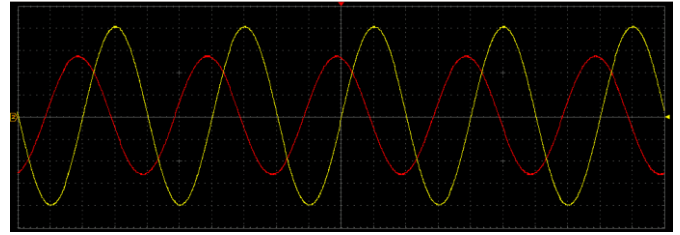


Fig. 3: Bobina no circuito de corrente alternada: Percurso da corrente e da tensão. Em cima: Registro com osciloscópio PC (corrente: vermelho, tensão: amarelo). Em baixo: Registro com VinciLab / Coach7 (corrente: verde, tensão: violeta).

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 |

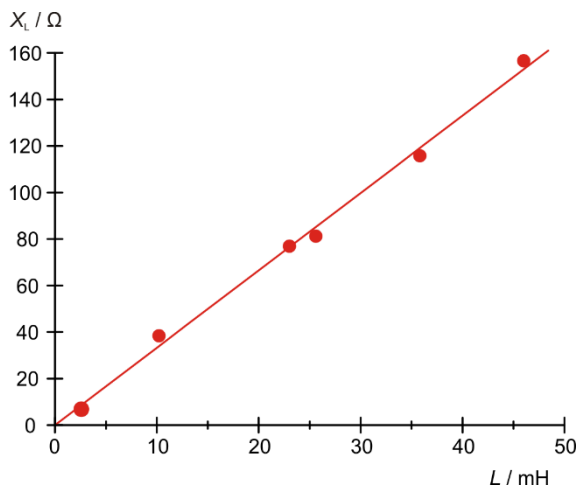


Fig. 4: Resistência indutiva X_L como função da indutividade L .

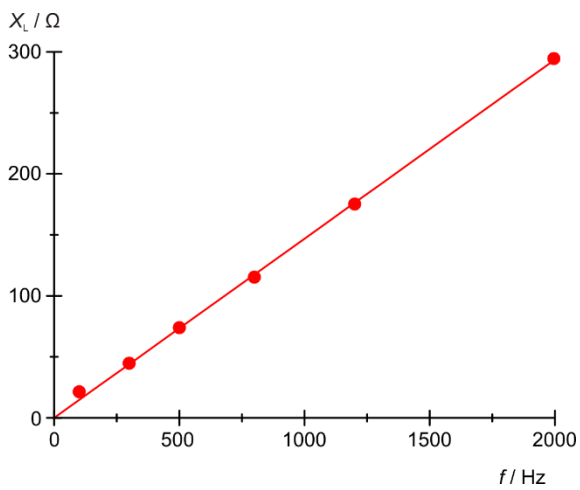


Fig. 5: Resistência indutiva X_L como função da frequência f .