



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

## **Olimpíadas de Física 2015**

Seleção para as provas internacionais

Prova Experimental B

16/maio/2015

## Indução electromagnética

Duração da prova: 2 h

### 1 Material

- Bobina de fio de cobre
- Gerador de sinal
- Multímetro
- Reóstato
- Fios de ligação
- Papel milimétrico

### 2 Objetivos

Determinar a indutância e a resistência de uma bobina de fio condutor.

### 3 Descrição

Quando numa bobina circula uma intensidade de corrente  $i$ , há no interior da bobina um fluxo magnético  $\phi$  que é proporcional a essa corrente,  $\phi = Li$ . A constante de proporcionalidade,  $L$ , é denominada *indutância* da bobina. Se a corrente na bobina variar, gera-se aos seus terminais uma diferença de potencial elétrico que tende a contrariar a variação do fluxo magnético, sendo a f.e.m. induzida dada por  $-L\frac{di}{dt}$ . Uma bobina pode ser associada em série a uma resistência  $R$ , constituindo assim o denominado circuito  $RL$ . Quando uma corrente alternada  $i(t) = I\sin\omega t$  flui num circuito  $RL$ , a queda de tensão aos terminais da resistência é  $IR\sin\omega t$  e a queda de tensão aos terminais da bobina é  $I\omega L\cos\omega t$ . A quantidade  $\omega L$  denomina-se *reatância* da bobina e representa-se pelo símbolo  $X$ . É fácil demonstrar que num circuito  $RL$  a tensão aplicada e a corrente estão relacionados pela seguinte expressão,

$$v(t) = ZI\sin(\omega t + \theta), \quad (1)$$

onde

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (2)$$

e

$$\theta = \arctan \frac{X}{R}. \quad (3)$$

Há, portanto, num circuito  $RL$ , um desfasamento  $\theta$  entre a tensão aplicada ao circuito e a corrente que nele circula. As amplitudes (ou valores r.m.s.) da tensão aplicada e da corrente estão relacionadas por  $V = ZI$ , que é o equivalente da lei de Ohm para um circuito de corrente alternada. A amplitude (ou valor r.m.s.)<sup>1</sup> da tensão aos terminais da bobina é  $V \sin \theta$  e a amplitude da tensão aos terminais da resistência é  $V \cos \theta$ , sendo

$$V \cos \theta = RI \quad ; \quad V \sin \theta = XI. \quad (4)$$

Nas considerações acima supusemos que a bobina era uma indutância pura, ou seja que o fio de que é constituída não apresenta resistência. Uma bobina real não é uma indutância pura, uma vez que o fio de que é feito o enrolamento tem uma dada resistência eléctrica. O objetivo desta experiência é a medição experimental da indutância e da resistência de uma bobina. O método que vamos utilizar está ilustrado na figura 1.

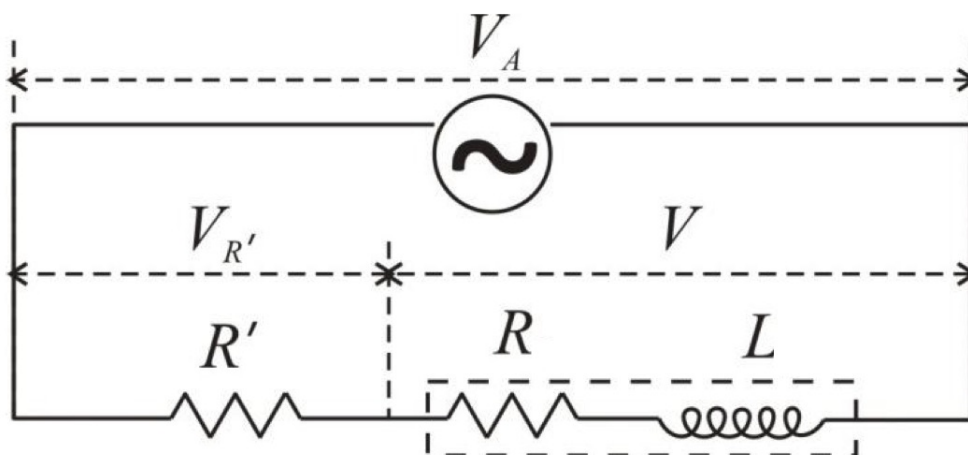


Figura 1: Circuito eléctrico para determinação da indutância,  $L$ , e resistência,  $R$ , de uma bobina.  $R'$  é uma resistência variável (reóstato).

A bobina é representada na figura como uma associação em série de uma resistência  $R$  e de uma indutância pura  $L$ . À bobina associa-se em série uma resistência variável,  $R'$ . O circuito é alimentado por um gerador de tensão sinusoidal, de amplitude  $V_A$ . Medindo a queda de tensão no reostato,  $V_{R'}$ , a queda de tensão na bobina,  $V$ , e a tensão aplicada pela fonte,  $V_A$ , é possível determinar  $R$  e  $L$ . Seja  $\theta$  o ângulo de desfasamento entre a tensão e a intensidade na bobina; é possível mostrar que as quantidades  $V_A$ ,  $V$ , e  $V_{R'}$  estão relacionadas pela seguinte equação:

$$V_A^2 = V_{R'}^2 + V^2 + 2VV_{R'} \cos \theta. \quad (5)$$

Substituindo as equações 4 na equação 5, obtemos

<sup>1</sup>O valor r.m.s é  $1/\sqrt{2} \sim 0.707$  do valor da amplitude da onda sinusoidal. Os multímetros indicam, tipicamente, os valores r.m.s. e não as amplitudes, quando trabalham no modo AC.

$$R = \frac{R'}{2} \left( \frac{V_A^2 - V^2}{V_{R'}^2} - 1 \right) \quad (6)$$

Medindo  $V$ ,  $V_A$  e  $V_{R'}$  para um dado valor de  $R'$  é possível determinar  $R$ . A impedância  $Z$  da bobina pode ser obtida a partir da relação

$$Z = \frac{V}{V_{R'}} R', \quad (7)$$

e o valor de  $X$  obtido de

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}. \quad (8)$$

Uma vez determinado  $X$ , e conhecida a frequência da tensão aplicada, fica conhecida a indutância  $L$  da bobina. Este método pode ser aplicado para qualquer valor de  $R'$ , mas o erro é minimizado quando se utiliza um valor de  $R'$  tal que  $V$  e  $V_{R'}$  são aproximadamente idênticos.

## 4 Execução

### Advertência

*Nesta experiência vai trabalhar com aparelhos eléctricos que podem debitar correntes apreciáveis. Tenha todo o cuidado para evitar curto-circuitos.*

1. Monte o circuito da figura 1. Antes de ligar a fonte de alimentação verifique as ligações.
2. Aplique ao circuito uma tensão de cerca de 1 V de amplitude, com uma frequência de 200 Hz.
3. Meça a d.d.p. aos terminais da bobina com o multímetro. Ajustando cuidadosamente o reóstato, procure encontrar o ponto em que a d.d.p. aos terminais da bobina é praticamente igual à d.d.p. aos terminais do reóstato. Registe os valores de  $V$ ,  $V_{R'}$ ,  $V_A$ . Desligue a fonte (accionando o botão ON/OFF ou o botão de output OFF) e meça o valor de  $R$ . Ao mudar o multímetro do modo de tensão para o modo de resistência tenha o cuidado de fazer esta operação com o gerador de sinal desligado ou com o output em posição OFF. Verifique sempre se a opção AC está seleccionada no modo voltímetro. Nunca meça resistências com o gerador de sinal ligado!
4. Repita o procedimento para mais algumas frequências entre 100 e 500 Hz.

## 5 Análise dos dados

1. A partir dos dados recolhidos, obtenha os valores da resistência  $R$  e da reatância  $X$  da bobina para as várias frequências utilizadas. Registe os dados numa tabela.
2. Efectue o gráfico de  $X$  em função da frequência  $\omega$  da onda aplicada.
3. Obtenha o valor da indutância  $L$  da bobina e uma estimativa para a incerteza neste valor.