

## PRÁTICA VII

### *Indutância de um solenoide*

#### 1 Objetivos

- Medir a indutância de um solenoide;
- Utilizar um osciloscópio para medir correntes e tensões alternadas.

#### 2 Fundamentação Teórica

O solenoide é um dispositivo composto por espiras por onde passa corrente elétrica. É usado para gerar campos magnéticos, dado o valor da corrente aplicada no fio. No interior de um solenoide o campo magnético é aproximadamente constante e vale:

$$B = \mu_0 i \frac{N}{l}, \quad (1)$$

onde  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ ,  $N$  é o número de espiras no solenoide,  $l$  é o comprimento do solenoide e  $i$  a corrente que passa pelo fio. Devido ao fato do campo magnético ser constante no interior do solenoide, este assume um papel, para o magnetismo, análogo ao capacitor para o campo elétrico, ou seja, este pode ser usado para gerar campos magnéticos uniformes e constantes.

Ao aplicar corrente elétrica em um solenoide este se comporta como um indutor, armazenando corrente devido a sua indutância. O valor da indutância de um solenoide depende apenas da sua geometria e vale:

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{l} \pi r^2, \quad (2)$$

onde  $r$  é o raio do solenoide.

#### Instrumentos

Os instrumentos que serão utilizados:

- Resistor shut de resistência  $R_S = (22 \pm 5\%) \Omega$ ,
- Solenoide com  $N = 420$  espiras, comprimentos  $l = (29,55 \pm 0,05) \times 10^{-2} \text{ m}$ , raio  $r = (3,63 \pm 0,02) \times 10^{-2} \text{ m}$ .
- Fonte de corrente alternada;

- Osciloscópio.

Os equipamentos a serem utilizados nessa prática experimental, estão representados na Fig.(1):

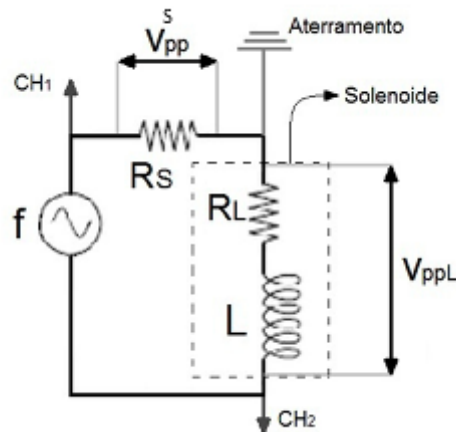


Figura 1: Circuito contendo um resistor em série com um solenoide ligados a uma fonte de corrente alternada.  $V_{ppL} = V_{m,l}$  = tensão máxima aplicada no indutor e  $V_{pp}^s = V_{m,r}$  = tensão máxima aplicada no resistor shut.

### 3 Montagem e Procedimentos Experimentais

O circuito foi montado com um gerador de corrente alternada, gerando tensão na forma senoidal, ligado em série com um solenoide finito e um resistor *shut*. Os terminais do resistor shut e do solenoide foram ligados, respectivamente, nos canais *CH1* e *CH2* de um osciloscópio. Este medirá a tensão aplicada em cada elemento. Como a fonte de corrente é alternada o osciloscópio irá apresentar a forma como a tensão varia, bem como suas amplitudes de oscilação (valores máximos de tensão em cada elemento).

1. Verifique se o circuito está montado como na Figura 1;
2. Ligue o gerador de sinal e ajuste para onda senoidal:
  - Wave = 1;
  - Range = 4;
  - $f = 300Hz$ .
3. Ligue o osciloscópio:
  - Clique no botão *AUTO* e depois em *MEASURE*;
  - Ajuste para o canal CH1 e CH2 o divisor em 2,00V usando o regulador *SCALE VOLTS/DIV*;
  - Se alguma das curvas não estiver aparecendo completamente na tela selecione o canal e posicione esta na tela, usando os reguladores *POSITION*;
  - Clicando no botão *MEASURE* aparecerá na tela os gráficos, bem como as medidas dos valores da tensão máxima em cada canal. Perceba que esses valores máximos oscilam em torno de um valor, você deve anotar o valor médio entre o maior e menor valor mostrado no visor do osciloscópio.

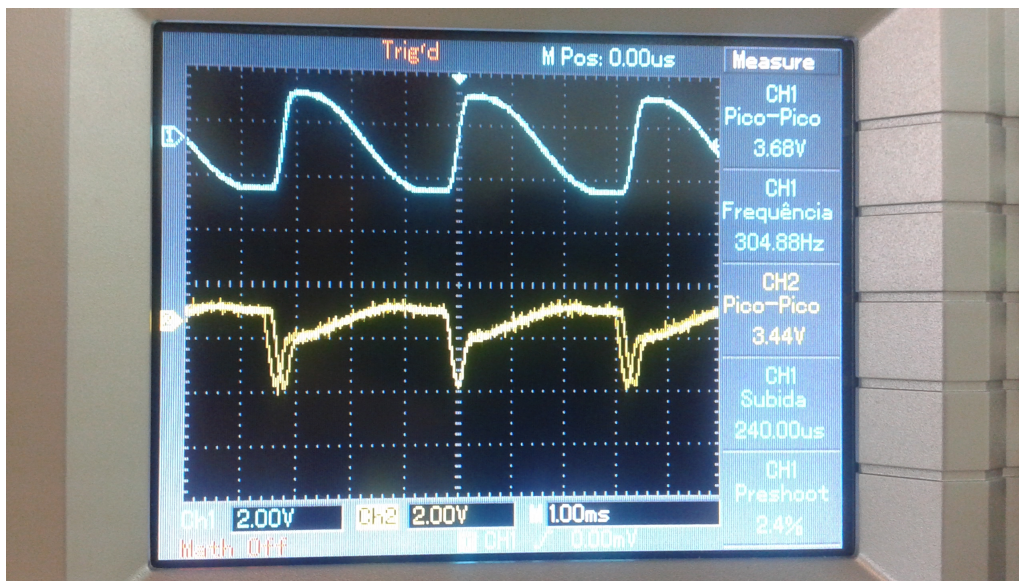


Figura 2: Imagem da tela do osciloscópio para frequência de 305Hz.

Na Figura 2 temos imagem da tela do osciloscópio. Na tela aparecem duas curvas, a curva em azul descreve a leitura da tensão no canal CH1, referente ao resistor shut, a curva em amarelo descreve a leitura tensão no canal CH2, referente ao indutor. Perceba na parte inferior da tela os valores da divisão da tela por volt em  $div = 2,00V$  para ambos os canais. Esses valores são selecionados usando o regulador SCALE VOLTS/DIV. No canto direito temos os valores das medidas para tensão máxima ("Pico-Pico") aplicada nos canais CH1 e CH2. Para esse valor de frequência as tensões oscilaram entre os valores  $3,60V - 3,68V$  no canal CH1 e  $3,36V - 3,68V$  para o canal CH2. O valor a ser anotado pelo aluno deve ser o valor médio entre esses valores, ou seja, para essa frequência a tensão máxima no resistor será de  $(3,68 + 3,60)/2 = 3,64V$  e para o indutor  $(3,36 + 3,68)/2 = 3,52V$ .

4. Variando os valores de frequência de oscilação da fonte de tensão variaremos os valores das tensões aplicadas em cada componente do circuito. Meça os valores de tensão máxima no indutor  $V_{m,l}$  e tensão máxima no resistor shut  $V_{m,r}$  para diferentes frequências e preencha a tabela abaixo.

$f(Hz)$	$V_{m,l}$	$V_{m,r}$
300		
450		
600		
750		
900		
1050		
1200		
1350		
1500		

Tabela 1: valores da tensão máxima aplicada no indutor e no resistor para diferentes frequências da fonte.

5. Adicione a sua tabela de tensão duas colunas contendo as incertezas sobre os resultados das medidas de tensão para o resistor e para o indutor. A incerteza sobre cada medida na tensão

será

$$\pm(3\% + 0,05div),$$

Ajuste no osciloscópio  $div = 2$ , e use no cálculo das incertezas.

6. A partir dos valores de tensão aplicadas no resistor shut podemos obter a corrente máxima no circuito:

$$i_c = \frac{V_{r,m}}{R_s}, \quad (3)$$

a resistência do resistor shut é conhecida, assim podemos conhecer a corrente com sua incerteza, uma vez que a incerteza sobre as medidas de tensão é fornecida pelo fabricante e a incerteza no resistor shut é conhecida.

Tendo a corrente no circuito podemos obter a impedância do indutor:

$$Z_l = \frac{V_{l,m}}{i_c}, \quad (4)$$

novamente devemos usar propagação de erros para obter as incertezas sobre a impedância do indutor, uma vez que conhecemos as incertezas na corrente e as incertezas nas medidas de tensão são informadas pelo fabricante.

Usando as formulas acima e o dados obtidos anteriormente, faça uma tabela contendo os seguintes valores:

$f(Hz)$	$i_c$	$\text{Erro}(i_c)$	$Z_l$	$\text{Erro}(Z_l)$
---------	-------	--------------------	-------	--------------------

Tabela 2: valores de corrente e impedância para diferentes frequências.

## 4 Discussão dos resultados

Como estamos interessados na resistência interna e na indutância do solenoide, estas podem ser obtidas a partir da impedância nesse elemento:

$$Z_l^2 = R_l^2 + L^2\omega^2. \quad (5)$$

No experimento coletamos os valores máximos de tensão no indutor  $V_{m,l}$  para diferentes frequências  $f$ . Com esses valores podemos obter os valores da impedância para diferentes valores de frequência angular, por meio das expressões:

$$Z_l = \frac{V_{m,l}}{i_c}$$

e

$$\omega = 2\pi f.$$

Dessa forma se linearizarmos a Eq.(5) podemos, a partir de uma regressão linear, obter os valores de  $R_l$  e  $L$ . A linearização da Eq.(5) pode ser feita elevando ao quadrado os valores da impedância e das frequências angulares. Construa uma tabela contendo as 3 colunas:

$Z_l^2$	$\omega^2$	$\text{Erro}(Z_l^2)$
---------	------------	----------------------

Tabela 3: linearização da Eq.5.

Os valores para  $Z_l^2$  devem ser obtidos a partir da Tabela 6 usando a formular acima, o mesmo para  $\omega^2$ . Para obter a incerteza sobre  $Z_l^2$  deve-se fazer propagação do erro sobre as medidas da tensão aplicada no indutor.

1. Compare a Eq.(5) com a equação de uma reta na forma:

$$y = ax + b, \quad (6)$$

e determine quais termos representam  $y$ ,  $x$ ,  $a$  e  $b$  na linearização.

2. Feita a linearização, plote um gráfico no *scidavis* de  $Z_l^2 \times \omega^2$ , com as incertezas no eixo do eixo  $y$ , e faça a regressão linear;
3. Realize o teste do  $\chi^2$  a partir dos resultados. Responda se o método aplicado é válido;
4. A partir dos resultados da regressão linear e do teste de  $\chi^2$  determine a impedância  $L$  e a resistência  $R_l$  do solenoide com suas respectivas incertezas.

## 5 Conclusões

- 1 Discuta os métodos experimentais e teóricos;
- 2 Obtenha o valor teórico de  $L$  a partir da expressão:

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{l} \pi r^2.$$

- 3 Compare o valor obtido experimentalmente com o valor teórico.

## 6 Referências

- [1] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. - **Fundamentos de Física 1** - São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora, 4a Edição, 1996.
- [2] K. R. JURAITIS, J. B. DOMICIANO, **Guia de Laboratório de Física Geral** - Mecânica da Partícula, 1ª Edição, Edue, 2010.
- [3] VASSALLO, F. R. - **Manual de Instrumentos de Medidas Eletrônicas** - São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1978.
- [4] [www.stefanelli.eng.br](http://www.stefanelli.eng.br)
- [5] AZEHEB - **Laboratórios de Física, Manual de Instruções e Guia de Experimentos.**