

PRÁTICA VIII

Lei de Faraday

1 Objetivos

- Medir o campo magnético no interior de um solenoide;
- Medir a ddp induzida em uma sonda em contato com o campo magnético do solenoide;
- Evidenciar a lei de Faraday.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Campo Magnético no solenoide

Na prática passada obtemos a indutância interna de um solenoide. Naquele caso abordamos o solenoide como sendo ideal, ou seja, as linhas de campo no interior do solenoide como sendo paralelas ao eixo de simetria das espiras:

$$B_{ideal} = \frac{\mu_0 N i_c}{l}, \quad (1)$$

onde l é o comprimento do solenoide, N é o número de espiras e i_c é a corrente que passa pelo sistema. Na prática de hoje, não idealizaremos o solenoide, dessa forma devemos levar em conta que as linhas de campo no interior do solenoide não são perfeitamente paralelas entre si, formando um ângulo θ com o eixo de simetria das espiras. Nesse caso não ideal, o campo magnético no interior do solenoide será:

$$B_S = \frac{\mu_0 N i_c}{l} \cos \theta, \quad (2)$$

onde θ é o ângulo formado entre as linhas de campo no interior do solenoide e o eixo de simetria das espiras.

A figura abaixo evidencia a diferença entre o campo magnético no interior de um solenoide ideal e de um solenoide real.

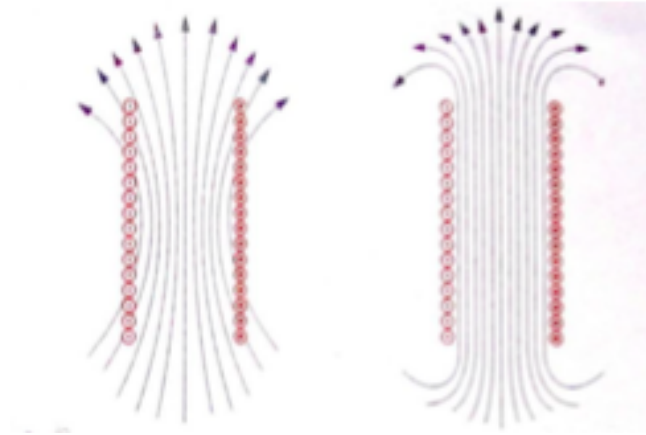


Figura 1: (Esquerda) As linhas de campo magnético gerado por um solenoide. Na (Direita) vê-se a forma idealizada do campo.

2.2 Lei de Faraday

Definição 2.1 (Lei de Faraday). *A corrente elétrica induzida em um circuito fechado por um campo magnético é proporcional ao número de linhas do fluxo que atravessa a área envolvida do circuito, por unidade de tempo.*

Considere um circuito fechado orientado C e uma superfície qualquer S , contornada pelo circuito. A lei de Faraday diz que a diferença de potencial no circuito é proporcional a taxa de variação temporal do fluxo de \vec{B} sobre S :

$$V = -\frac{d}{dt}\Phi_B = \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}, \quad (3)$$

onde $d\vec{A}$ é um elemento de área da superfície S .

Se o circuito tiver a forma de uma bobina (denominaremos esta bobina por Bobina Sonda), composta por N_{sonda} espiras e com área $A_{e,f} = N_{sonda}\pi R_{sonda}^2$, e se o campo magnético for na forma senoidal (campo magnético gerado por uma fonte senoidal de corrente), na forma $B(t) = B_F \cos \omega t$, a tensão máxima induzida sobre a bobina sonda será:

$$V_{m,s} = B_F \omega A_{e,f}. \quad (4)$$

Dessa forma, dado que conseguimos medir a tensão induzida na bobina sonda, o campo magnético que cruza o circuito será:

$$B_F = \frac{V_{m,s}}{\omega A_{e,f}}, \quad (5)$$

onde $A_{e,f} = N_{sonda}\pi R_{sonda}^2$.

Instrumentos

Os instrumentos que serão utilizados:

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

- Bobina sonda com $N_{sonda} = 50$ espiras, raio $R_{sonda} = (1,27 \pm 0,05) \times 10^{-2}$, o ângulo entre a sonda e as linhas de campo geradas no solenoide será $\theta = 13,78^\circ$.
- Fonte de corrente alternada;
- Osciloscópio.

Os equipamentos a serem utilizados nessa prática experimental, estão representados na Fig.(2):

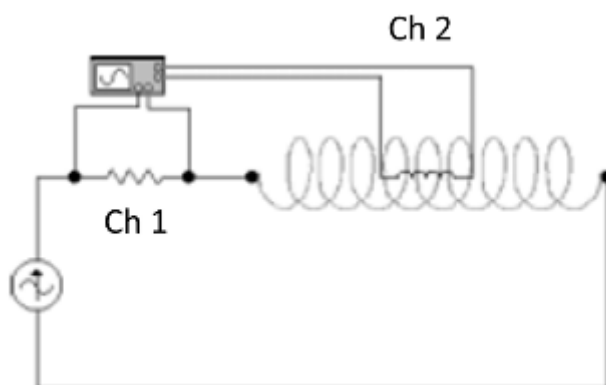


Figura 2: Circuito contendo um resistor em série com um solenoide ligados a uma fonte de corrente alternada. O canal CH1 do osciloscópio está ligado ao resistor *Shut*, o canal CH2 está ligado a bobina sonda.

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*. No interior do solenoide foi adicionada uma bobina sonda para medir a corrente elétrica gerada nessa bobina devido ao campo magnético gerado pelo solenoide. Como indica a lei de Faraday. Os terminais do resistor *shut* e da sonda foram ligados, respectivamente, nos canais *CH1* e *CH2* do 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 2;
2. Ligue o gerador de sinal e ajuste para onda senoidal:
 - Wave = 1;
 - Range = 5;
 - $f = 6500Hz$.
3. Ligue o osciloscópio:
 - Clique no botão *AUTO* e depois em *MEASURE*;
 - Ajuste para o canal CH1 em 1,00V e CH2 em 100mv 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, como feito na prática passada.
- 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 (Pico-Pico) no resistor shut $V_{m,r}$ e tensão máxima (Pico-Pico) na bobina sonda $V_{m,s}$ para diferentes frequências e preencha a tabela abaixo.

$f(Hz)$	$V_{m,r}$	$V_{m,s}$
6500		
6700		
6900		
7000		
7300		
7500		
7700		
7900		
8100		
8300		

Tabela 1: valores da tensão máxima aplicada no resistor shut e a tensão induzida na bobina sonda, para diferentes frequências da fonte.

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

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

Os valores de *div* anotados foram 2,00V para o canal CH1 e 0,1V para o canal CH2, use esses valores nos cálculos das incertezas.

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

$$i_c = \frac{V_{r,m}}{R_s}, \quad (6)$$

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.

Como estamos interessados em comparar as equações Eq.(2) e Eq.(5), podemos assumir que ambas são válidas e checar se essa afirmação é correta. Sendo ambas válidas a seguinte expressão deve ser verdadeira:

$$B_S = B_F, \quad (7)$$

substituindo os valores de B_S e de B_F teremos:

$$\frac{\mu_0 N i_c}{l} \cos \theta = \frac{V_{m,s}}{\omega A_{ef}}, \quad (8)$$

isolando a frequência angular em um lado da igualdade e a corrente i_c e a tensão $V_{m,s}$ em outro, teremos a seguinte expressão:

$$\frac{V_{m,s}}{i_c} = \frac{\mu_0 N}{l} \cos \theta A_{ef} \omega. \quad (9)$$

Essa expressão representa uma função $\frac{V_{m,s}}{i_c}$ linear em ω , sendo assim podemos com ela fazer uma regressão linear e comparar o valor teórico de $\frac{\mu_0 N}{l} \cos \theta A_{ef}$ com seu valor experimental, se ambos esses valores se confirmarem podemos aferir, com a precisão obtida, que a hipótese $B_S = B_F$ é verdadeira.

Faça uma tabela contendo os seguintes valores:

$f(Hz)$	$\omega(rad/s)$	$i_c(A)$	$V_{m,s}(V)$	$\frac{V_{m,s}}{i_c}(V/A)$	Erro($\frac{V_{m,s}}{i_c}$)
6500					
6700					
6900					
7000					
7300					
7500					
7700					
7900					
8100					
8300					

Tabela 2: valores da tensão máxima induzida na bobina sonda, corrente no circuito frequência angular.

4 Discussão dos resultados

- (a) Compare a Eq.(9) com a equação de uma reta na forma:

$$y = ax + b, \quad (10)$$

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

- (b) Feita a linearização, plote um gráfico no *scidavis* de $\frac{V_{m,s}}{i_c} \times \omega$, com as incertezas no eixo do eixo y , e faça a regressão linear;
- (c) Realize o teste do χ^2 a partir dos resultados. Responda se o método aplicado é válido;
- (d) A partir dos resultados da regressão linear e do teste de χ^2 determine o valor da constante $\frac{\mu_0 N}{l} \cos \theta A_{ef}$ com suas respectivas incertezas.

5 Conclusões

1. Discuta os métodos experimentais e teóricos;
2. Obtenha o valor teórico de constante $\frac{\mu_0 N}{l} \cos \theta A_{ef}$;
3. Compare o valor obtido experimentalmente com o valor teórico;
4. Responda: A lei de Faraday é válida? Argumente e explique sua conclusão com base nos resultados obtidos.

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, Eduel, 2010.
- [3] VASSALLO, F. R. - **Manual de Instrumentos de Medidas Eletrônicas** - São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1978.
- [4] www.stefanelli.eng.br
- [5] AZEHEB - **Laboratórios de Física, Manual de Instruções e Guia de Experimentos.**