

Relatório: Indução eletromagnética: Lei de Faraday e Lei de Lenz

Luis Gustavo Dias Simão
Pedro Paulo Henrique da Fonseca
Ramon Gregório Percy
Instituto de Matemática e Física
Universidade Federal de Itajubá
Turma: 09

05/11/19

Resumo

Resumo: Com intuito didático este relatório verificou empiricamente as Leis de Faraday, Lenz além da força eletromotriz induzida. Averiguou-se a ação do campo magnético para geração de corrente elétrica induzida, comprovou-se a relação entre número de espiras e campo magnético, além de verificar a ação da F.E.M. por meio do campo magnético gerado pela passagem de corrente elétrica.

Palavras-chave: Força eletromagnética. Força eletromotriz induzida. Indução eletromagnética. Lei de Lenz. Lei de Faraday.

1 Introdução

Atualmente, diversas tecnologias utilizam conceitos de indução magnética, tais como guitarras, geradores e até mesmo na fundição de metal em indústrias.

Estes conceitos são apresentados pela lei de indução de Faraday que estabelece uma relação entre o campo magnético e o campo elétrico induzido, sendo este capaz de produzir uma corrente elétrica. Neste contexto, este experimento busca: i) Compreender o efeito de indução eletromagnética (força eletromotriz induzida, F.E.M) tanto pelo movimento de um ímã, quanto pela variação de uma corrente no tempo; ii) Determinar o sentido da corrente utilizando a lei de Lenz.

Temos a definição do **fluxo magnético** (Φ_B), como mostra Halliday, Resnick e Walker (2013), apresentada na Equação 1 abaixo, para uma espira com **área** (A) imersa em campo magnético (\vec{B}).

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

Sabendo que a direção de $d\vec{A}$ é perpendicular a um elemento de área dA , se esta direção é paralela à direção de \vec{B} e este é constante, podemos então estabelecer a relação dada abaixo pela Equação 2.

$$\Phi_B = BA \quad (2)$$

Utilizando a definição do fluxo magnético o autor enuncia a Lei de Faraday de maneira mais rigorosa: “O módulo da força eletromotriz induzida ($|\xi|$) em uma espira condutora é igual à taxa de variação com o tempo do fluxo magnético (Φ_B) que atravessa a espira.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2013). Sua forma matemática pode ser expressa pela Equação 3

$$\xi = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3)$$

Para um número N de espiras compactas de mesma área, sobrepostas de maneira a se encontrarem alinhadas, o fluxo magnético atravessará todas as espiras e a força eletromotriz induzida será expressa pela Equação 4.

$$\xi = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4)$$

O autor ainda apresenta três formas de mudar o fluxo magnético que atravessa uma bobina:

1. Mudar o módulo B do campo magnético.
2. Mudar a área total da bobina ou a parte da área atravessada pelo campo magnético (aumentando ou diminuindo o tamanho da bobina no primeiro caso e colocando uma parte maior ou menor da bobina na região onde existe o campo no segundo caso).
3. Mudar o ângulo entre a direção do campo magnético B e o plano da bobina (fazendo girar a bobina, por exemplo).

A seguir descrevemos os procedimentos experimentais utilizados em laboratório para comprovar estas relações, bem como seus resultados e nossas conclusões.

2 Metodologia

Foram utilizados os instrumentos listados abaixo, com suas respectivas especificações.

- 1 Fonte de tensão/corrente, Tabela 1: Fonte de Tensão/Corrente
- 2 Amperímetros ¹, Tabela 2: Amperímetro
- Transformador variador de tensão

¹ “Precisão em porcentagem da leitura mais número de dígitos menos significativos”, (ICEL, 2016).

- Galvanômetro, [Tabela 3: Galvanômetro](#)
- Resistor (22)
- Ímã
- Bobinas de 400, 600, 1200, 1600 e 20.000 espiras
- Núcles de ferro de vários formatos
- Peças de alumínio em diversos tamanhos
- Suporte para anel com fio isolante
- Pêndulo, sapatas, suportes, cabos e placa de conexão
- Cronômetro

Marca	Elektro-Automatik
Modelo	EA-PS 2032-050
Faixa Dinâmica	0 a 5(A)

Tabela 1: Fonte de Tensão/Corrente
 Fonte: Adaptado de [Elektro-Automatik \(2019\)](#)

Marca	ICEL-Manaus
Modelo	MD-6111
Faixa Dinâmica	0, 01 a 20(A)
Precisão	$\pm(2\% + 5d)$

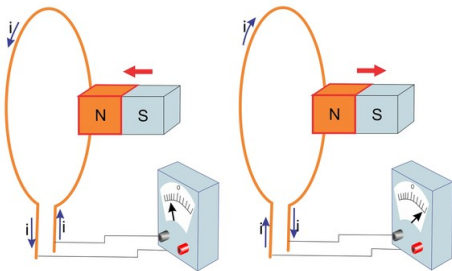
Tabela 2: Amperímetro
 Fonte: Adaptado de [ICEL \(2016\)](#)

Marca	Azeheb
Faixa Dinâmica	-2 a $2(mA)$
Precisão	$\pm 0,1(mA)$

Tabela 3: Galvanômetro
 Fonte: Aatoria Própria

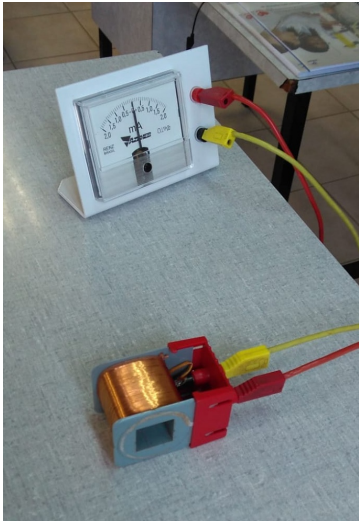
Uma série de montagens diferentes para obtermos vários resultados variados. Uma das montagens feitas foi utilizando o galvanômetro ligado a bobina de 1600 espiras e os mantemos bem distantes um do outro, e em seguida aproximamos e afastamos o ímã da bobina e repetimos o processo com os polos do ímã invertido.

Figura 1: Esquema de interação entre espiras, ímã e galvanômetro



Fonte: Globo Educação

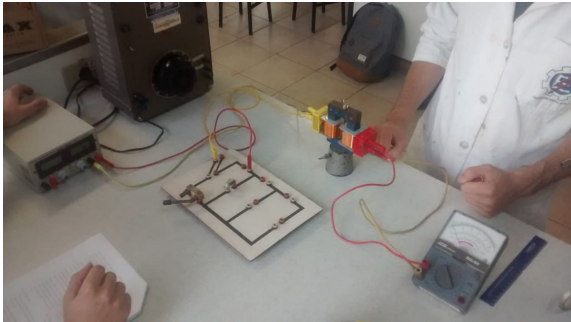
Figura 2: Ligação entre galvanômetro e bobina



Fonte: Aatoria Própria

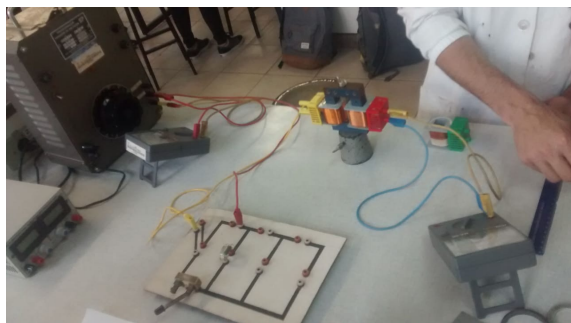
No experimento seguinte, ligamos em série o resistor a chave e a bobina de 400 espiras (circuito primário), e em seguida ligamos a bobina de 1600 espiras ao voltímetro de corrente contínua e a acoplamos magneticamente a outra bobina utilizando um núcleo de ferro em forma de "U" (circuito secundário). Aplicamos uma tensão de 20 V c.c. ao circuito primário e começamos a abrir e fechar a chave. Em seguida, substituímos a bobina de 1600 espiras pela de 20000 espiras, e repetimos o mesmo processo. Ainda com o mesmo circuito, trocamos a bobina do circuito secundário pela de 1600 espiras, mudamos a tensão da fonte para 12V c.a. e trocamos o voltímetro pelo de corrente alternada, então repetimos novamente o processo de fechar e abrir a chave.

Figura 3: Ligação do gerador de corrente contínua nas bobinas



Fonte: Aatoria Própria

Figura 4: Ligação do gerador de corrente alternada nas bobinas



Fonte: Autoria Própria

Nesta montagem, a fim de visualizar a Lei de Lenz, colocamos um Ímã próximo ao anel de alumínio e verificamos se ele é atraído pelo Ímã. Em seguida, introduzimos dois núcleos de ferro na bobina de 600 espiras e o colocamos juntos na horizontal passando pelo núcleo de ferro o anel de alumínio suspenso pelo fio isolante de modo que ele não toque no núcleo ficando a aproximadamente 0,5 cm da bobina. Aplicamos a bobina uma d.d.p. de 20 V c.c. utilizando a chave e com o anel em repouso ligamos a chave e em seguida deixamos o anel em repouso novamente e desligamos a chave.

Depois, em um outro esquema, introduzimos dois núcleos de ferro na bobina de 1200 espiras e as deixamos na vertical e passamos pelo núcleo o anel de alumínio. Ligamos o conjunto à rede 110V c.a. utilizando uma chave. Então repetimos o processo utilizando somente as 600 espiras superiores da bobina. Em seguida, com a chave ligada, seguramos o anel com a mão de modo a mantê-lo acima da bobina, mas atravessado pelo núcleo.

E na ultima montagem, introduzimos duas bobinas de 1200 espiras nos núcleos em forma de U e conectamos as duas bobinas em X, de uma maneira que as extremidades opostas de cada bobina fiquem conectadas com a da outra bobina, então aplicamos ao conjunto uma d.d.p. de 22V c.c. através de uma chave. Colocamos uma das peças de alumínio no pêndulo de modo que ele possa oscilar livremente entre as sapatas e o fizemos oscilar com a chave ligada, calculando assim o tempo de frenagem da peça. Então repetimos o processo de frenagem com peças de formatos diferentes anotando seus tempos de frenagem.

3 Resultados e discussões

Ao observarmos o experimento [Figura 2: Ligação entre galvanômetro e bobina](#), vimos que conforme o ímã se movimenta é possível medir uma corrente elétrica no galvanômetro. Isso ocorre pois quando existe alguma variação de campo magnético na bobina se gera uma força eletromotriz induzida, gerando assim corrente elétrica enquanto está havendo a variação do campo. Uma vez que o ímã para de se mover não há mais corrente se apresentando no galvanômetro, pois o campo magnético presente não está variando tal como aponta a [Equação 3](#).

Na segunda montagem, com a chave do circuito primário aberta, não havia corrente na bobina de 400 espiras, o que implica que não havia campo magnético nas proximidades da

bobina. Quando fechamos a chave o voltímetro que estava acoplado a bobina de 1600 espiras se alterou rapidamente voltando para o 0 em seguida. Isso ocorreu por ter sido aplicada uma tensão contínua no circuito, gerando campo magnético constante, e assim no final explicando a volta do ponteiro do voltímetro ao 0.

Quando a chave foi fechada, passou a ter corrente elétrica no circuito e na bobina de 400 espiras, esta corrente gerou um campo magnético constante (Lei Circuital de Ampère), o que levou a uma variação do fluxo magnético no instante do fechamento da chave gerando também assim, variação no voltímetro. Essa variação de tensão que vimos no voltímetro é f.e.m. induzida (Lei de Faraday).

Após trocarmos a bobina de 1600 espiras para a de 20000 espiras, observamos o mesmo fenômeno, porém as variações foram maiores, uma vez que o campo magnético gerado é diretamente proporcional ao número de espiras, ou seja, uma bobina de 20000 espiras irá causar uma f.e.m. induzida muito maior do que uma bobina de 1600 espiras.

E ao final desta montagem, após trocarmos novamente as bobinas e aplicarmos uma tensão alternada no circuito, nos observamos o mesmo resultado, porém desta vez a f.e.m. induzida se mostra no voltímetro constante, uma vez que a corrente alternada no circuito irá criar um campo magnético alternado.

No experimento seguinte, com as bobinas e o núcleo na horizontal com o anel de alumínio, o iniciamos colocando o ímã próximo ao anel de alumínio, e com isto vimos que o anel de alumínio não possui propriedades magnéticas, uma vez que não foi atraído nem magnetizado. Após esse teste seguimos com o anel suspenso, ao ligarmos a chave começa a circular corrente elétrica pelo circuito e pela bobina gerando campo magnético, e neste caso a variação do fluxo magnético é positiva isto quer dizer que há formação da f.e.m. induzida no anel induzindo assim uma corrente e consequentemente um campo magnético contrário à variação do fluxo magnético original. Então a face do anel se comportou como um polo magnético de mesma natureza do que causou a variação de fluxo, e como são de mesma natureza o anel se repeliu da bobina. E quando abrimos a chave, ocorre o mesmo processo, porém com todos os sinais e naturezas invertido, fazendo com que o anel ao invés de se repelir da bobina ele se atraia.

Pode-se observar que o sinal negativo na Lei de Faraday é explicado pela Lei de Lenz e que foi utilizada para o entendimento deste processo, por que sempre surgiu um f.e.m. induzida contrária a variação de fluxo magnético.

No experimento seguinte, a bobina de 1.200 espiras introduzidas dentro do núcleo de ferro ligadas a uma corrente alternada, gerou variação constante no fluxo magnético, induzindo uma corrente na anel metálico que por sua vez gera um campo magnético contrário àquele gerado pela bobina, induzindo assim uma força eletromotriz sobre o anel.

4 Conclusão

Os experimentos foram bem sucedidos, possibilitando averiguar as leis de Faraday e Lenz. No primeiro experimento, como esperado, a variação do campo magnético produziu uma corrente elétrica induzida com sentido diretamente dependente ao sentido de movimento do ímã. No segundo, com as bobinas em paralelo, a variação da corrente elétrica provocou a formação de um campo magnético in-

duzido. Este por sua vez induziu um fluxo de elétrons na bobina em paralelo, gerando assim um campo magnético induzido oposto ao primeiro. Deste modo, foi possível constatar a relação entre número de espiras das bobinas paralelas e intensidade da corrente induzida. O terceiro e quarto experimentos, possibilitaram verificar a lei de Lenz, tal que a força eletromotriz induzida nestes experimento apresentou sinal contrário ao da variação do campo magnético.

Referências

ELEKTRO-AUTOMATIK, E. *Laboratory*

Power Supplies Series Ps 2000. [S.l.], 2019.

Disponível em: <https://datasheet.octopart.com/EA-PS-2032-050-EA-Elektro-Automatik-datasheet-8397323.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. 9. ed. Cleveland State University: Grupo Editorial Nacional, 2013. v. 3.

ICEL. *Manual de instruções do multímetro digital modelo MD-6111*. [S.l.], 2016. Disponível em: www.icel-manaus.com.br. Acesso em: 19 out. 2019.