

# Lei de Indução de Faraday

## INTRODUÇÃO

A maior parte dos geradores de eletricidade — por exemplo, em usinas hidroelétricas ou termoelétricas, em alternadores de automóveis e outros — funciona com base em uma das leis fundamentais do eletromagnetismo — a produção de uma força eletromotriz induzida devido à variação do fluxo de um campo magnético.

A força eletromotriz  $\varepsilon$  que é induzida em torno de um caminho fechado é igual à taxa de variação do fluxo de campo magnético na área interceptada por esse caminho. Esse enunciado, conhecido como Lei de Faraday, pode ser expresso como

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (1)$$

em que  $\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$  é o fluxo magnético através de uma superfície e  $d\mathbf{A}$  é um vetor que é perpendicular a essa superfície e tem módulo  $dA$ .

O sinal negativo na equação 1 determina a polaridade da força eletromotriz induzida e tem uma interpretação física simples, conhecida como Lei de Lenz — a polaridade da força eletromotriz induzida é tal que tende a produzir uma corrente que cria um fluxo magnético para se opor à variação do fluxo que a gerou.

Para o caso especial representado na Figura 1, em que uma superfície plana de área  $A$  está em um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , que faz um ângulo  $\theta$  com  $d\mathbf{A}$ , o fluxo magnético através dessa superfície é dado por

$$\Phi_B = BA \cos \theta.$$

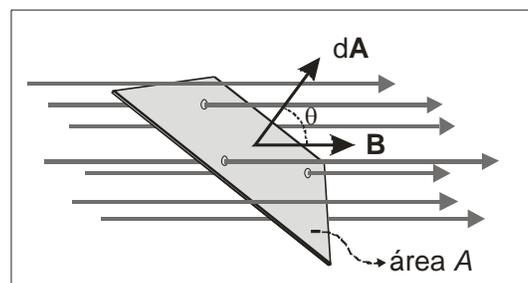


FIGURA 1 - Fluxo de campo magnético através de uma superfície plana de área  $A$

Como exemplo de aplicação da Lei de Faraday, considere as bobinas circulares representadas na Figura 2. As duas bobinas maiores são separadas por uma distância igual a seus raios e formam um conjunto chamado de Bobina de Helmholtz. Ligando-se a essa bobina uma fonte de corrente alternada, produz-se, na sua região central, um campo magnético variável (no tempo) e aproximadamente uniforme (no espaço), que pode ser escrito desta forma:

$$B(t) = B_0 \cos \omega t ,$$

em que  $B_0$  é a amplitude do campo e  $\omega = 2\pi f$ , sendo  $f$  a frequência de oscilação da corrente.

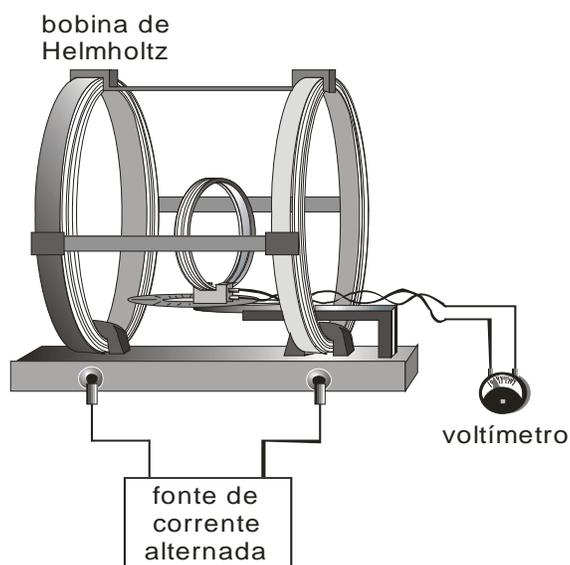


FIGURA 2 - Uma Bobina de Helmholtz, ligada a uma fonte de corrente alternada, produz um fluxo magnético variável em seu interior. Esse fluxo dá origem a uma força eletromotriz induzida na outra bobina (menor), cujo valor é medido com o voltímetro

Esse campo magnético produz na bobina circular menor, de área  $A$  e com  $N$  espiras (veja Figura 2), um fluxo magnético variável que é dado por

$$\Phi_B(t) = NB_0 A \cos \theta \cos \omega t$$

em que  $\theta$  é o ângulo entre  $\mathbf{B}$  — vetor campo magnético da Bobina de Helmholtz — e a normal ao plano da bobina menor.

✓ Mostre que será induzida na bobina menor uma força eletromotriz alternada dada por

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \text{sen} \omega t ,$$

em que  $\varepsilon_0 = NAB_0 \omega \cos \theta$ .

## **PARTE EXPERIMENTAL**

### **Objetivos**

- Verificar a indução de uma força eletromotriz em uma bobina devido à variação de fluxo magnético.
- Medir a força eletromotriz induzida em uma bobina em função do ângulo que se forma entre seu eixo e a direção de um campo magnético variável.

### **Material utilizado**

- Microamperímetro analógico com zero central, diodo emissor de luz (LED), ímã, bobina com, aproximadamente, 1200 espiras, multímetro digital, fonte de corrente alternada, medidor de campo magnético com sensibilidade de 0,01 mT, Bobina de Helmholtz com, aproximadamente, 100 espiras e diâmetro de ~40 cm, bobina com, aproximadamente, 3 espiras e com diâmetro de 10 cm, suporte giratório para bobina e cabos para conexões elétricas.

### **Procedimentos**

Este experimento faz-se em duas etapas: a observação da corrente induzida e a medição da força eletromotriz induzida em uma bobina.

### **Observação da corrente induzida em uma bobina**

- Conecte a bobina de 1200 espiras ao microamperímetro analógico. Em seguida, enquanto observa a corrente indicada no microamperímetro, movimente o ímã ao longo do eixo da bobina, aproximando-o e afastando-o dela. Repita esse procedimento, invertendo os pólos do ímã e, também, variando a velocidade dele em relação à bobina. Descreva suas observações e explique-as com base nas leis de Faraday e de Lenz.

- Retire o microamperímetro e conecte a bobina ao LED. Repita o procedimento descrito no item anterior e explique o que você observa. Lembre-se de que um diodo conduz corrente elétrica apenas em um sentido.

### **Medição da força eletromotriz induzida em uma bobina**

- Monte o circuito representado na Figura 2. A Bobina de Helmholtz deve ser conectada à fonte de corrente alternada e o voltímetro, à bobina menor. Todos os cabos de conexão devem ser trançados em pares, como mostrado nessa figura, para evitar campos magnéticos adicionais indesejáveis.
- Gire a bobina menor até alinhar o eixo dela com o da Bobina de Helmholtz. Ajuste a tensão alternada da fonte para 14 V e, com o voltímetro, observe a força eletromotriz induzida na bobina menor. Explique a origem dessa força eletromotriz.
- Meça o valor da força eletromotriz induzida na bobina menor para diferentes ângulos  $\theta$  e registre os resultados obtidos em um gráfico. Observe que, em um circuito de corrente alternada, o voltímetro mede o valor quadrático médio da força eletromotriz — chamado de tensão eficaz —, dado por  $\varepsilon_{\text{eficaz}} = \varepsilon_0 / \sqrt{2}$ . (veja Apêndice H)
- Por meio de uma análise gráfica dos dados adquiridos, obtenha o valor da amplitude  $B_0$  do campo magnético induzido na bobina menor.
- Com o medidor de campo magnético, meça o valor eficaz desse campo no centro da Bobina de Helmholtz e compare-o com o valor determinado no item anterior. Observe que, assim como no voltímetro, o medidor de campo magnético mede, para campos alternados, o valor eficaz do campo, que é dado por  $B_{\text{eficaz}} = B_0 / \sqrt{2}$ .