FÍSICA EXPERIMENTAL II

Exp2 e Exp3 – FORÇA ELECTROMOTRIZ INDUZIDA. INDUTÂNCIA MAGNÉTICA.

Força electromotriz induzida

Para assegurar uma corrente eléctrica num circuito fechado é necessário despender energia. Define-se força electromotriz (f.e.m.) como o trabalho realizado no deslocamento da unidade de carga eléctrica ao longo do circuito. A unidade de f.e.m. é, no sistema SI, joule/coulomb (J/C). Esta unidade é a mesma que a unidade de potencial, o volt (V).

Na Fig. 1 está representado um circuito formado por um condutor estacionário em forma de *U* sobre o qual desliza uma barra condutora. Sobre as cargas no interior do condutor em *U* não há forças aplicadas porque ele está estacionário no campo magnético. As cargas do condutor móvel vão ficar sujeitas a uma força (força de Lorentz) que, atuando sobre as cargas negativas, fará aparecer corrente eléctrica no circuito. Enquanto o condutor se mantiver em movimento, há um deslocamento contínuo de electrões e o condutor móvel corresponde, assim, a um gerador.

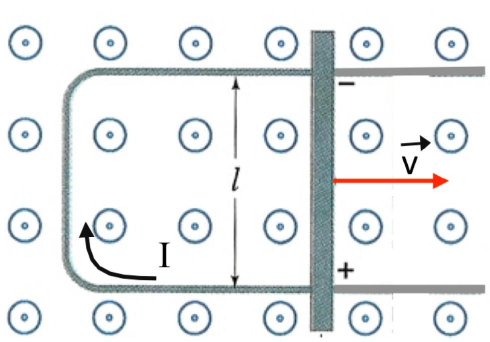

Fig. 1 – Circuito incluindo um condutor em movimento num campo magnético.

Designamos a f.e.m. gerada desta forma por f.e.m. induzida, ε. De acordo com a definição de f.e.m., ε é dada por:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = \oint \frac{\vec{F}}{q} \cdot \vec{dl} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl} \qquad (1)$$

Mas a velocidade $\vec{v}$ só é diferente de zero na barra condutora de comprimento l pelo que o integral ao longo do circuito fechado se reduz a:

$$\varepsilon = \int_l (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{dl} = vBl = \frac{\partial (Ba\ell)}{\partial t} = \frac{\partial \phi}{\partial t} \qquad (2)$$

onde ϕ representa o fluxo magnético através da área limitada pelo circuito :

$$\phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \qquad (3)$$

Mesmo na ausência de um circuito exterior, existe uma diferença de potencial na barra condutora quando está em movimento. A f.e.m. corresponde ao aparecimento de uma corrente eléctrica quando o circuito é fechado.

Se em vez de variar a área, houver variação do campo magnético no tempo, também o fluxo magnético através da espira irá variar, induzindo uma corrente eléctrica no circuito, associada a uma f.e.m.

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \qquad (4)$$

Esta expressão enuncia a lei de Lenz que contém a lei de Faraday: a f.e.m. induzida é em módulo igual à taxa de variação do fluxo magnético, acrescentando que a f.e.m. induzida se opõe ao sentido da variação do fluxo.

No caso de uma espira de área S num campo magnético sinusoidal é possível calcular a f.e.m. induzida:

$$\phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = S\,B_{\max} \sin(\omega t) \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial \phi}{\partial t} = S\,B_{\max}\,\omega \cos(\omega t)$$

$$\varepsilon = -S\,B_{\max}\,\omega \sin(\omega t + \pi / 2) \qquad (5)$$

que é responsável por uma corrente eléctrica que depende da resistência R da espira.

$$I = -\frac{S\,B_{\max}\,\omega}{R} \sin(\omega t + \pi / 2)$$

No caso de uma bobine de N espiras paralelas, as forças electromotrizes induzidas em cada espira adicionam-se (as espiras estão em série) resultando:

$$\varepsilon_{bobine} = -N\,S\,B_{\max}\,\omega \sin(\omega t + \pi / 2) \qquad (6)$$

Indutância magnética

Um circuito 1 percorrido por corrente eléctrica cria um campo magnético. Então, o mesmo circuito percorrido por corrente eléctrica variável origina um campo magnético variável que, por sua vez, induzirá uma f.e.m. nele próprio, a qual contraria a passagem de corrente (auto-indução). Se existir um circuito 2 próximo, este sentirá o campo magnético variável de 1 e aparecerá nele uma f.e.m. induzida devido ao circuito 1 (indução mútua).

Define-se auto-indutância ou simplesmente indutância L de um circuito como a grandeza que relaciona a variação de fluxo magnético induzida no circuito com a variação de corrente eléctrica que a origina; L é também a grandeza que relaciona o fluxo magnético associado à corrente com essa mesma corrente que percorre o circuito:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -L\frac{\partial i}{\partial t} \quad \text{ou} \quad \phi = -Li \tag{7}$$

Define-se indutância mútua no circuito 2 devido ao circuito 1, M_{21}, como a grandeza que relaciona o fluxo magnético em 2 com a corrente eléctrica em 1 ou a variação de fluxo magnético induzida no circuito 2 pela variação de corrente eléctrica no circuito 1 com essa variação de corrente:

$$\phi_2 = -M_{21}i_1 \quad \text{ou} \quad \frac{\partial \phi_2}{\partial t} = -M_{21}\frac{\partial i_1}{\partial t} \tag{8}$$

<u>O indutor</u>

Uma bobine de resistência desprezável, inserida num circuito percorrido por corrente alternada *i(t)*, tem aos seus terminais uma d.d.p. devido à auto-indução:

$$V(t) = L\frac{\partial i}{\partial t} \tag{9}$$

A indutância de uma bobina, quando esta tem um diâmetro muito inferior ao seu comprimento, pode ser calculada considerando que o campo magnético no interior é aproximadamente igual ao de um solenóide infinito com o número de espiras por unidade de comprimento da bobina.

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} i = \mu_0 n i$$

Logo:

$$\phi_{1espira} = BA = \mu_0 n i A \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_{1espira} = -\mu_0 n A \frac{\partial i}{\partial t}$$

e para N espiras:

$$\varepsilon = v_L(t) = -\mu_0 \frac{N^2}{\ell} A \frac{\partial i}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A \tag{10}$$