

FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA. LEI DE LENZ

Se um condutor fosse submetido a um campo magnético variável (onde todos os pontos apresentam intensidade de campo variável), entre seus extremos poderia aparecer uma diferença de potencial que, no caso, é conhecida como **FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA**; o fenômeno em questão é chamado de **INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA**.

Também poderia ser produzida uma força eletromotriz induzida num condutor, se o mesmo fosse aproximado ou afastado de um ímã (introduzido ou retirado do campo magnético do ímã). Teríamos ainda o mesmo efeito, se o condutor fosse mantido em repouso e o ímã dele se aproximasse ou se afastasse.

As três situações a que nos referimos apresentam uma coisa em comum: **PARA O CONDUTOR, ESTÁ SEMPRE HAVENDO UMA VARIAÇÃO DE FLUXO**. Realmente esta é a condição para que se produza uma força eletromotriz induzida, isto é, **É NECESSÁRIO QUE EXISTA MOVIMENTO RELATIVO ENTRE O CONDUTOR E O CAMPO MAGNÉTICO**.

Mas, que acontece no condutor, produzindo a d. d. p.?

Sabemos que elétrons em movimento são minúsculos ímãs. Num material condutor os elétrons livres

existem em grande quantidade e estão normalmente em movimento desordenado. Quando o condutor é submetido ao campo magnético, nas condições citadas nos primeiros parágrafos, o campo atua sobre os elétrons (não esquecer que são ímãs) obrigando-os a se deslocarem para uma das extremidades do condutor, estabelecendo-se deste modo uma d. d. p.

Lei de Lenz

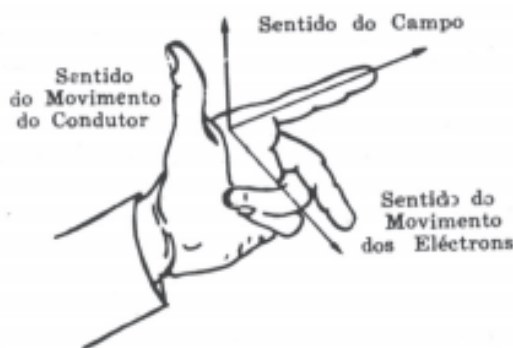
Faraday foi o primeiro homem a produzir uma força eletromotriz induzida e a determinar seu valor, porém a determinação do seu sentido é devida a Lenz. Após estudar o fenômeno, Lenz apresentou a conclusão que se segue, conhecida como **LEI DE LENZ**:

“O SENTIDO DE UMA FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA É TAL QUE ELA SE OPÕE, PELOS SEUS EFEITOS, À CAUSA QUE A PRODUZIU”.

Conclui-se que é geralmente necessário conhecer a direção e o sentido do campo, que, por convenção, correspondem à direção e ao sentido indicados respectivamente pelo eixo longitudinal e pela extremidade “NORTE” da agulha imantada de uma bússola colocada no mesmo.

Para tornar mais prática a determinação do sentido de uma força eletromotriz induzida, existem as regras da mão esquerda e da mão direita, resultantes da observação repetida do fenômeno em estudo.

A regra da mão esquerda consiste na utilização dos dedos indicador, polegar e médio da mão esquerda, como se fossem as arestas de um cubo que saem do mesmo vértice. Se o indicador apontar o sentido do campo e o polegar indicar o sentido do movimento do condutor (movimento relativo), o dedo médio mostrará o sentido do deslocamento dos elétrons livres no condutor, ou seja, indicará qual a extremidade do condutor que ficará com excesso de elétrons (terminal negativo).



REGRA DA MÃO ESQUERDA

FIG. XI-I

A regra da mão direita, também conhecida como REGRA DE FLEMING, é anterior à da mão esquerda. É, em princípio, a mesma regra; distingue-se pelos fatos de que utiliza a mão direita e refere-se ao sentido convencional. O dedo médio, portanto, aponta a extremidade do condutor onde há falta de elétrons (terminal positivo).

Cálculo da Força Eletromotriz Induzida

O valor médio da força eletromotriz induzida, quando o condutor é submetido a um campo magnético variável, é proporcional à rapidez com que o fluxo varia (razão de variação do fluxo magnético); esta é a LEI DE FARADAY, expressa pela relação

$$E = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

E = força eletromotriz induzida (valor médio), em VOLTS (V)

$\Delta\phi$ = variação de fluxo magnético, em WEBERS (Wb)

Δt = tempo decorrido durante a variação de fluxo, em SEGUNDOS (s)

$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ = razão de variação de fluxo

Observação: O sinal (-) indica que a f.e.m. induzida se opõe, pelos seus efeitos, à causa que a produziu.

Quando se trata de uma bobina submetida a um campo magnético variável, a tensão média induzida na mesma é obtida com a equação

$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

N = número de espiras da bobina.

É importante ressaltar que a f.e.m. induzida depende na realidade da rapidez com que o fluxo magnético varia ($\Delta\phi/\Delta t$) e não propriamente do fluxo, pois um condutor em repouso submetido a um campo magnético constante não apresenta f. e. m. induzida.

Quando um condutor se movimentar num campo magnético, ou quando o ímã produtor do campo é aproximado ou afastado do condutor em repouso (ou ainda quando o ímã e o condutor se movi-

mentam com velocidades diferentes), a f. e. m. induzida depende diretamente da grandeza do campo, da velocidade com que o condutor se movimenta em relação ao campo e do comprimento da parte do condutor submetida ao campo:

$$e = \beta l v \text{ sen } \alpha$$

e = valor instantâneo da f.e.m. induzida no condutor, em VOLTS (V).

β = densidade de fluxo magnético, em TESLAS (T).

l = comprimento da parte do condutor submetida ao campo magnético, em METROS (m)

v = valor da velocidade constante com que o condutor atravessa o campo magnético, em METROS POR SEGUNDO (m/s)

$\text{sen } \alpha$ = seno do ângulo formado pela direção do movimento do condutor com a direção do campo magnético.

NOTA: “ $v \text{ sen } \alpha$ ” é, portanto, a componente da velocidade do condutor perpendicular à direção do campo.

A equação acima mostra que a força eletromotriz induzida é máxima quando o condutor “corta” o campo perpendicularmente ($\text{sen } \alpha = 1$). Conclui-se também que não há tensão induzida quando o condutor se movimenta paralelamente à direção do campo ($\text{sen } \alpha = 0$).

Quando o campo é produzido pela passagem da corrente elétrica num condutor ou numa bobina, ele é variado quando a intensidade da corrente é variada. Assim, a f. e. m. induzida produzida pela ação dessa campo é, evidentemente, proporcional à razão de variação da corrente elétrica.

EXEMPLO:

Uma corrente de 8 A, em uma bobina de 3.000 espiras, produz um fluxo de 0,004 Wb. Reduzindo essa corrente para 2 A, em 0,1 segundo, calcular a força eletromotriz média induzida na bobina, considerando o fluxo proporcional à corrente. Calcular também a relutância da bobina.

SOLUÇÃO:

$$\Delta I = 6 \text{ A (8 A } \rightarrow \text{ 2 A)}$$

Se “ I ” diminui 4 vezes, “ ϕ ” também diminui 4 vezes.

$$\Delta \phi = 0,003 \text{ Wb (0,004 Wb } \rightarrow \text{ 0,001 Wb)}$$

$$\Delta t = 0,1 \text{ s}$$

$$E = - N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

$$E = \frac{3 \times 10^3 \times 3 \times 10^{-3}}{10^{-1}} = 90 \text{ V}$$

$$R = \frac{F}{\phi} = \frac{NI}{\phi}$$

$$R = \frac{3 \times 10^3 \times 8}{4 \times 10^{-3}} = 6 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

PROBLEMAS

FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA

1 – Uma bobina de 1.200 espiras está submetida a um fluxo magnético de 400 microwebers. Calcular o valor médio da força eletromotriz induzida

na bobina, quando o sentido do campo é invertido em 0,1 segundo.

R.: 9,6 V

2 – Calcular a força eletromotriz induzida no eixo de um carro que se

move com uma velocidade de 17,9 m/s, sabendo que o comprimento do eixo é de 1,524 metros e que a componente vertical do campo magnético da Terra é de 40 microteslas.

R.: 1.090 microvolts