

Alguém aí tem um transformador para emprestar?



A família veio de muito longe. Mudara-se de São Luís para São Paulo. A turma falou sobre a nova vizinha, uma moreninha encantadora. Ernesto foi lá conferir. Teve sorte. Ela apareceu na janela e, muito preocupada, reclamava com a mãe, que estava cuidando do jardim:

- Vixe, mainha! A televisão não funciona! Será que quebrou na mudança?
- Quebrou não, filhinha – tranqüilizou a mãe. – É que a força aqui em São Paulo é diferente da de São Luís. A gente vai precisar de uma porção de transformadores.

E, comunicativa como ela só, botou o garotão na jogada:

- O menino aí não tem um transformador em casa pra emprestar pra gente?

- Não sei, não, senhora, só falando com meu pai – respondeu Ernesto. E não perdeu a deixa:

- Mas, se a sua filha quiser, pode ir ver televisão lá em casa!

- Precisa não, garoto, a gente dá um jeito – respondeu a zelosa mãe ludovicense, esfriando o entusiasmo do garotão.

À noite, é claro, o assunto foram os novos vizinhos, a moreninha e os transformadores. Por que em São Luís a “força” era diferente da de São Paulo? E os transformadores, transformavam o quê no quê?

Roberto agora teve mais dificuldades. Explicou que as linhas de transmissão, que traziam a energia elétrica das usinas para as nossas casa, tinham alta voltagem. E que os transformadores iam reduzindo essa voltagem pelo caminho, conforme as necessidades ou exigências de cada região.

- Quer dizer que a gente pode aumentar ou diminuir a voltagem quanto quiser? – animou-se o Ernesto.

- Claro, é só ter o transformador certo para isso – arriscou Roberto.

- Então a gente podia ligar um transformador numa pilha e ligar na televisão da vizinha?

Roberto embatucou.

- Agora você me pegou, filho. Nunca vi ninguém ligar uma pilha num transformador, mas não sei por quê – confessou Roberto.

Será que isso é possível? Afinal, o que o transformador transforma?

Tudo isso tem a ver com a indução eletromagnética, o assunto desta aula.

A indução eletromagnética

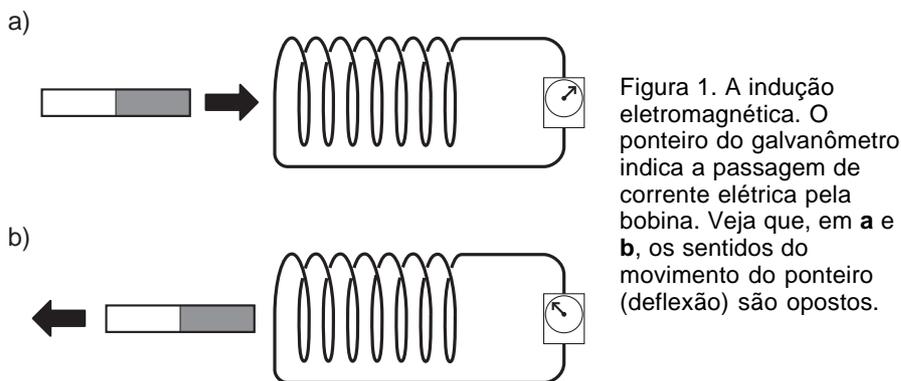


A possibilidade de existência do fenômeno da indução eletromagnética resulta de uma observação e de um raciocínio simples. Se cargas elétricas em movimento – uma corrente elétrica – geram um campo magnético, então um campo magnético em movimento deve gerar uma corrente elétrica.

Em 1831, os físicos Joseph Henry, norte-americano, e Michael Faraday, inglês, conseguiram verificar experimentalmente esse fenômeno. Aproximando e afastando um ímã de uma bobina ligada a um galvanômetro (um medidor de corrente elétrica), eles puderam notar que o ponteiro do galvanômetro se movia. Isso mostrava o aparecimento de uma corrente elétrica induzida na bobina pelo movimento do ímã.

Como se previa, a variação do campo magnético, provocada pelo movimento do ímã, gerava uma corrente elétrica.

A experiência, no entanto, mostra ainda mais. O movimento do ponteiro tem sentidos diferentes quando o ímã se aproxima e quando se afasta. Isso significa que o sentido da corrente induzida na bobina depende da forma como o campo magnético varia. Veja as Figuras 1a e 1b.

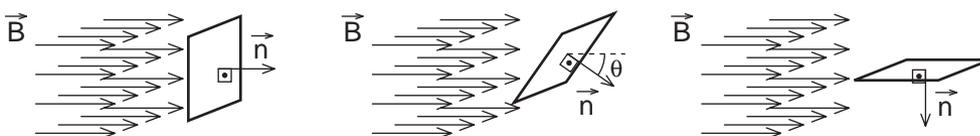


E não é só isso. A intensidade da corrente elétrica, indicada pela maior ou menor deflexão do ponteiro, depende da maior ou menor rapidez do movimento do ímã. Essas observações são muito importantes, pois deram origem às duas leis básicas de indução eletromagnética: as leis de Faraday e Lenz.

O fluxo magnético e a lei de Faraday

Para entender a lei de Faraday é necessário entender um novo conceito: o **fluxo magnético**. Suponha que numa região do espaço exista um campo magnético \vec{B} , uniforme. Imagine um retângulo dentro desse campo e uma reta perpendicular ao plano do retângulo.

Conforme a posição em que esse retângulo estiver, varia o número de linhas do campo magnético que o atravessam. Isso significa que o fluxo magnético que atravessa o retângulo varia.



Figuras 2a, 2b e 2c. O fluxo do campo magnético \vec{B} na superfície do retângulo.

Veja as Figuras 2a, 2b e 2c. Em 2a o fluxo é máximo: o plano do retângulo é perpendicular à direção das linhas do campo magnético. Nesse caso, o vetor \vec{B} tem a mesma direção do vetor \vec{n} , ou seja: o ângulo θ , entre \vec{B} e \vec{n} , é igual a zero.

Em 2b, o número de linhas que atravessam o retângulo é menor, portanto o fluxo é menor. Observe que, aqui, o ângulo θ entre \vec{B} e o vetor \vec{n} já não é mais igual a zero.

Em 2c, o plano do retângulo é paralelo às linhas do campo magnético. Nesse caso, nenhuma linha atravessa o retângulo, ou seja, o fluxo através do retângulo é nulo. Observe que agora o ângulo θ é de 90° .

Mas não é apenas a relação entre as linhas do campo magnético e a superfície do retângulo que importa para a compreensão do conceito de fluxo magnético. Se a intensidade do campo magnético \vec{B} for maior haverá mais linhas e, portanto, o fluxo será maior. Além disso, se a área A do retângulo for maior, haverá também mais linhas passando por ele. O fluxo magnético também será maior. Todas essas considerações podem ser reunidas numa expressão matemática que define o fluxo magnético. Representando o fluxo pela letra grega Φ (fi, maiúsculo), essa definição é expressa assim:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

A unidade de fluxo é $T \cdot m^2$, ou seja, o produto da unidade de campo magnético pela unidade de área, já que o co-seno é um número puro, adimensional. Essa unidade se chama **weber**, cujo símbolo é **Wb**, em homenagem a Wilhelm Weber, físico alemão que viveu no século XIX.

Observe que o co-seno aparece nessa expressão mostrando como varia o fluxo em função do ângulo θ . Quando $\theta = 0^\circ$, o retângulo é atravessado pelo maior número possível de linhas de força. Nesse caso o co-seno é 1, ou seja, o fluxo é máximo. Quando $\theta = 90^\circ$, nenhuma linha de força atravessa o retângulo. O co-seno de 90° é zero, ou seja, o fluxo é nulo.

Imagine agora que o retângulo seja uma espira de fio condutor. Faraday notou que o fator determinante para a geração da corrente elétrica nessa espira de fio condutor é a **variação do fluxo magnético** que a atravessa. Essa variação pode ocorrer de dois jeitos principais. Um deles é aproximar ou afastar um ímã da espira, mantendo a espira fixa. Aproximando-se um ímã da espira, o número de linhas de campo que atravessam a espira aumenta, isto é, o valor de \vec{B} aumenta. Afastando-se o ímã, o valor diminui. Em ambos os casos, o fluxo, Φ , varia, e aparece uma corrente elétrica na espira. Mais ainda: quanto maior a rapidez com que o fluxo magnético varia, maior a corrente elétrica induzida.

O outro jeito é fazer a espira girar. Girando, o fluxo magnético varia porque o ângulo θ varia. Nesse caso, a maior rapidez de variação do fluxo também aumenta a intensidade da corrente induzida. Essa rapidez, aqui, está relacionada diretamente com a frequência de rotação da espira. Veja a Figura 3.

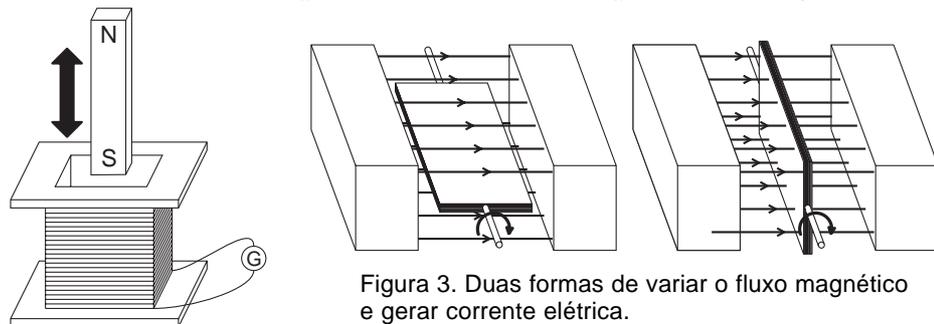


Figura 3. Duas formas de variar o fluxo magnético e gerar corrente elétrica.

No entanto, a corrente elétrica é consequência, não é causa. Isso quer dizer que, se aparece uma corrente num circuito, é porque surge alguma coisa fornecendo energia aos elétrons. Alguém faz o papel da criança que coloca bolas no alto do escorregador, como na analogia que fizemos na Aula 42 para explicar como funcionava um gerador e definir força eletromotriz. Esse papel é feito pelo movimento, pela energia cinética do ímã ou da espira. Nesses dois exemplos, portanto, uma energia é fornecida aos elétrons quando se movimenta o ímã ou a espira. E essa energia é que faz os elétrons se mover.

Em outras palavras, na realidade a variação do fluxo magnético numa espira ou circuito gera uma **força eletromotriz induzida** nesse circuito. Essa força eletromotriz, por sua vez, gera uma corrente elétrica. Se o circuito estiver interrompido – se houver uma chave aberta, por exemplo – a corrente não circula, embora a força eletromotriz induzida continue existindo. Por isso é que dissemos que a corrente elétrica é consequência, não é causa. E, também por essa razão, a lei de Faraday é definida a partir da fem ε induzida e não da corrente elétrica induzida.

A lei de Faraday, portanto, estabelece que sempre que um circuito elétrico estiver imerso num fluxo magnético variável, surge, nesse circuito, uma fem induzida ε . Essa fem será tanto maior quanto mais rápida for essa variação. Matematicamente essa lei pode ser expressa na forma:

$$\varepsilon_{\text{induzida}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

O fator $\Delta\Phi$ indica a variação do fluxo e Δt indica o intervalo de tempo em que essa variação ocorre. Como o fator Δt está no denominador, quanto menor o intervalo de tempo, maior o valor de ε .

Passo a passo

1. Suponha que, na Figura 2, o retângulo seja uma espira de área 200 cm^2 (igual a $0,02 \text{ m}^2$), e que a intensidade do campo magnético seja $B = 0,5 \text{ T}$. Qual o fluxo magnético que atravessa a espira na posição a, quando o ângulo $\theta = 90^\circ$, e na posição b, supondo que $\theta = 45^\circ$?

Solução

Na posição a, como $\theta = 90^\circ$, $\cos \theta = 1,0$. Portanto, o fluxo é dado por:

$$\Phi = B \cdot A \Rightarrow \Phi = 0,5 \cdot 0,02$$

$$\Phi = 0,01 \text{ Wb}$$

Na posição b, temos:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta \Rightarrow \Phi = 0,5 \cdot 0,02 \cdot \cos 45^\circ \Rightarrow \Phi = 0,01 \cdot 0,71$$

$$\Phi = 0,0071 \text{ Wb}$$

2. Na Figura 4, suponha que uma bobina formada por 100 espiras circulares de 50 cm^2 de área esteja diante de um eletroímã. Suponha que o campo magnético gerado por esse eletroímã tenha intensidade $B = 0,8 \text{ T}$ e seja uniforme na região onde está a bobina. Suponha ainda que o plano da bobina seja perpendicular às linhas desse campo:

- a) qual o fluxo magnético que passa por essa bobina?
- b) o que acontece na bobina se o eletroímã for desligado?

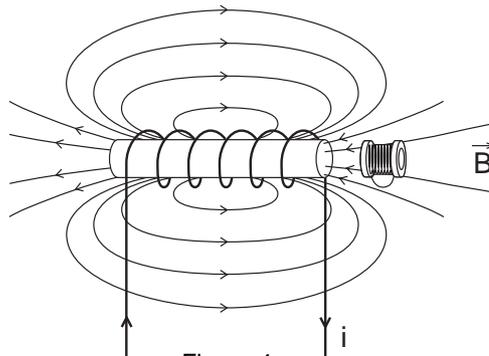


Figura 4

Solução

- a) Pela definição de fluxo, cada espira estará sujeita ao fluxo $\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$. No entanto, se a bobina tiver N espiras iguais, o fluxo na bobina será N vezes maior que o fluxo em cada espira. Teremos então:

$$\Phi_{\text{BOBINA}} = N \cdot \Phi_{\text{ESPIRA}}$$

$$\Phi_{\text{BOBINA}} = N \cdot B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Como a espira é perpendicular às linhas de campo, $\theta = 0^\circ$, portanto $\cos \theta = 1$ e, portanto:

$$\Phi_{\text{ESPIRA}} = B \cdot A. \text{ Então o fluxo na bobina será:}$$

$$\Phi_{\text{BOBINA}} = N \cdot B \cdot A$$

Sendo $N = 100$, $B = 0,8 \text{ T}$ e $A = 50 \text{ cm}^2 = 0,0050 \text{ m}^2$, temos:

$$\Phi_{\text{BOBINA}} = 100 \cdot 0,8 \cdot 0,005$$

$$\Phi_{\text{BOBINA}} = 0,4 \text{ Wb}$$

- b) Quando o eletroímã é desligado, o campo magnético deixa de existir e, conseqüentemente, o fluxo na bobina torna-se nulo. Ele sofre, portanto, uma variação, passando de $0,4 \text{ Wb}$ a zero. Logo, em módulo, $\Delta\Phi = 0,4 \text{ Wb}$. Se há uma variação no fluxo, deve surgir uma força eletromotriz induzida na bobina. A intensidade dessa fem, entretanto, depende do intervalo de tempo Δt em que essa variação ocorre. Esse intervalo de tempo não é nulo, porque há uma espécie de inércia na corrente elétrica que percorre o eletroímã e que impede o seu desligamento imediato. Vamos admitir, apenas para exemplificar, que esse intervalo de tempo seja $\Delta t = 0,1 \text{ s}$. Nesse caso, a fem na bobina seria de

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \varepsilon = \frac{0,4}{0,1}$$

$$\varepsilon = 4,0 \text{ V}$$

A lei de Lenz

Heinrich Lenz foi um físico russo que, três anos depois de Faraday e Henri, em 1834, enunciou a lei que complementa a nossa compreensão da indução eletromagnética. Toda vez que introduzimos ou retiramos um ímã de uma bobina ou solenóide ligada a um circuito fechado, sentimos uma força contrária ao movimento desse ímã. Ela se opõe tanto à entrada como à saída do ímã do interior do solenóide. Veja a Figura 5. Lenz interpretou corretamente esse fenômeno, ao perceber que essa oposição se devia ao campo magnético que o próprio ímã induzia na bobina.

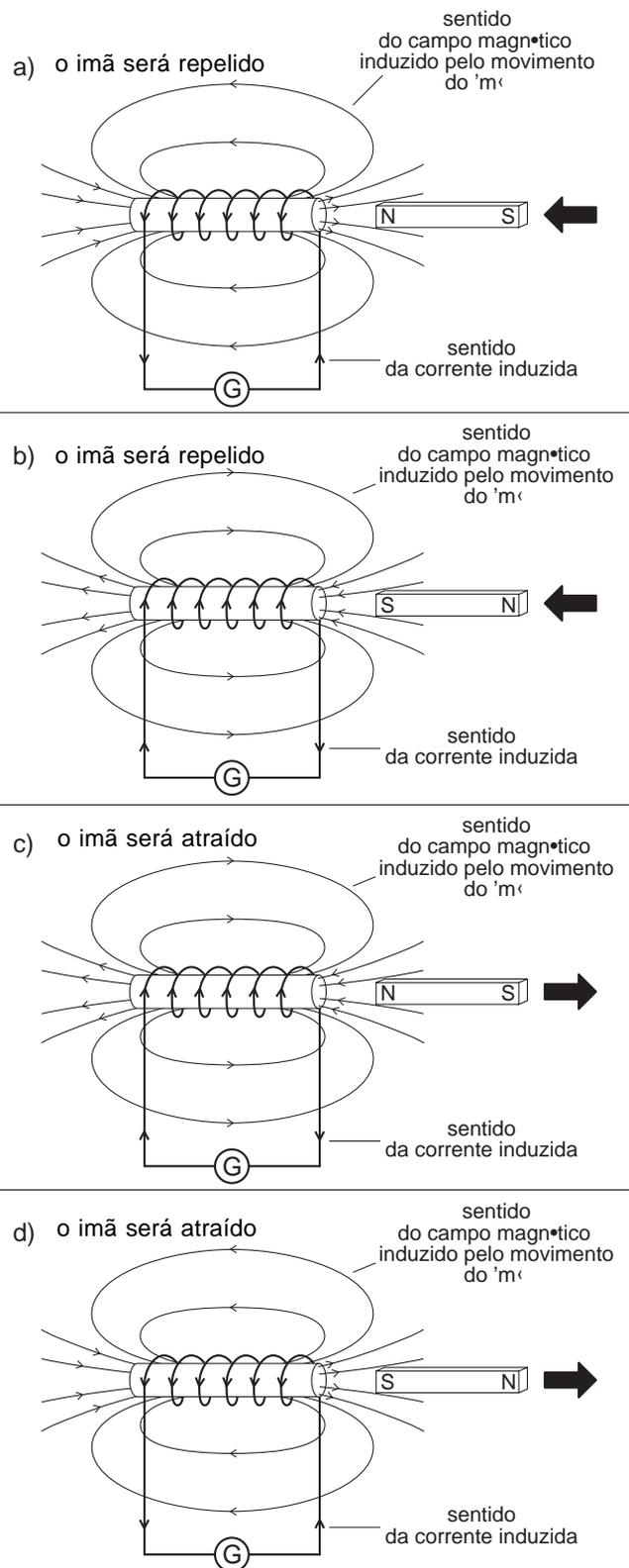
Pela lei de Faraday, quando o ímã se aproxima da bobina, surge na bobina uma fem induzida. Essa fem faz aparecer uma corrente elétrica na bobina, que, por sua vez, gera um campo magnético. Lenz concluiu que esse campo magnético terá sempre um sentido que se opõe ao movimento do ímã. Se o ímã se **aproxima** da bobina pelo seu pólo norte, a corrente elétrica induzida na bobina tem um sentido tal que faz aparecer um pólo norte na extremidade da bobina em frente ao ímã.

Como se sabe, pólos iguais se repelem, e por isso surge uma oposição à entrada do ímã. Veja a Figura 5a. Se o ímã se **aproximasse** pelo pólo sul, a corrente induzida teria o sentido oposto, fazendo aparecer um pólo sul nessa extremidade da bobina. Veja a Figura 5b. Se retiramos ou **afastamos** o pólo norte do ímã, surge na bobina uma corrente elétrica que cria um pólo sul, “segurando” o ímã. Veja a Figura 5c. Da mesma forma, se afastamos o pólo sul do ímã, aparece um pólo norte na bobina para segurar o ímã. Veja a Figura 5d.

Observe que, utilizando a regra da mão direita, podemos, a partir dessas observações, determinar facilmente o sentido da corrente elétrica induzida na bobina em cada caso.

É importante notar que essas observações são válidas para todas as situações em que o fluxo magnético varia num circuito elétrico, qualquer que seja a forma pela qual isso for feito. O campo magnético induzido por esse circuito sempre atua de maneira a se opor à ação que o criou. Esse é, em síntese, o enunciado da lei de Lenz:

Figura 5. Campo magnético induzido numa bobina devido à aproximação ou afastamento de um ímã



A variação do fluxo magnético num circuito induz, nesse circuito, uma corrente elétrica que gera um campo magnético que se opõe ao fenômeno responsável por essa variação.

O gerador de corrente alternada

A principal aplicação da indução eletromagnética é a possibilidade de construir geradores de corrente elétrica a partir da transformação da energia mecânica em energia elétrica. Imagine um circuito elétrico, formado por um determinado número de espiras, girando imerso num campo magnético. Como vimos na Figura 2, o fluxo magnético nesse circuito varia e, em consequência, aparece nesse circuito uma fem induzida.

Esse é o princípio dos geradores mecânicos, também chamados de dínamos. Esse tipo de gerador forneceu a energia elétrica necessária para inúmeras aplicações tecnológicas e trouxe inúmeras outras, devido principalmente à nova forma de corrente elétrica que ele gera, a **corrente alternada**. Para entender como funciona esse gerador e o que significa uma corrente alternada, vamos examinar a Figura 6, abaixo.

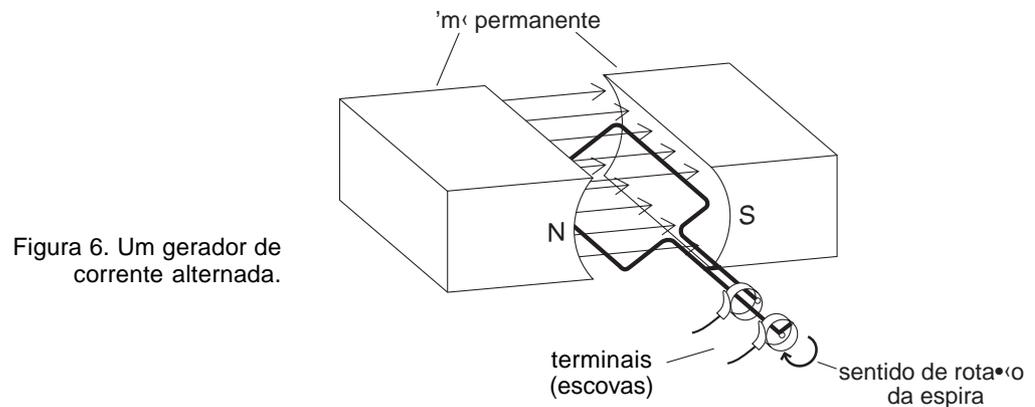


Figura 6. Um gerador de corrente alternada.

Na Figura 6 você pode observar como funciona um gerador de corrente alternada. À medida que a espira vai girando, o fluxo do campo magnético \vec{B} , gerado pelos ímãs, varia. De zero ele aumenta até atingir um valor máximo, depois diminui a zero novamente e assim sucessivamente. A corrente induzida na bobina, pela lei de Lenz, deve ter um sentido que produza um campo magnético que se oponha a rotação da espira. Por isso ela tem um sentido variável ou oscilante, porque ora ela deve se opor a um fluxo que aumenta, ora deve se opor a um fluxo que diminui. É, portanto, uma **corrente alternada**. Veja a Figura 7.

É interessante notar que, diferentemente do que ocorre na **corrente contínua**, gerada pelas pilhas, na corrente alternada os elétrons em geral não se movimentam continuamente, ao longo do condutor, como naquela analogia que fizemos com a escola de samba. Eles apenas se mantêm oscilando entre posições fixas. Para utilizar a analogia da escola de samba, seria como se essa escola avançasse e recuasse, incessantemente, de uma determinada distância fixa.

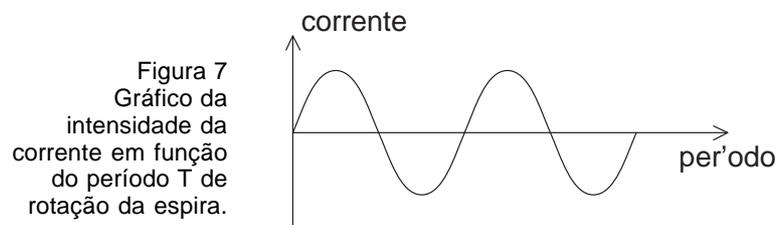


Figura 7
Gráfico da intensidade da corrente em função do período T de rotação da espira.

A utilização prática da corrente alternada tem vantagens em relação à corrente contínua. Uma das grandes vantagens está na possibilidade de a corrente alternada ser gerada diretamente pelo movimento de rotação, que pode ser obtido facilmente com a utilização de turbinas impulsionadas pelo movimento da água, do vapor ou do vento. Essas fontes de energia são muito mais acessíveis e de potência muito maior do que as pilhas ou baterias que geram a corrente contínua. Outra vantagem da corrente alternada é que só com ela é possível o uso dos transformadores.

Transformadores

O funcionamento dos transformadores baseia-se diretamente na indução eletromagnética. Para entender melhor, vamos descrever uma experiência semelhante a uma das experiências realizadas por Faraday. Suponha que uma espira 1, circular, ligada a uma pilha com uma chave interruptora, está colocada em frente a outra espira 2, também circular, ligada a um galvanômetro muito sensível. Veja a Figura 8.

Se a chave estiver ligada, a corrente elétrica que passa pela espira 1, gera um campo magnético que vai atravessar a espira 2. Como a corrente produzida pela pilha é contínua, o campo magnético é constante e o fluxo magnético que atravessa a espira 2 não varia. Conseqüentemente, nada se observa no galvanômetro ligado à espira 2.

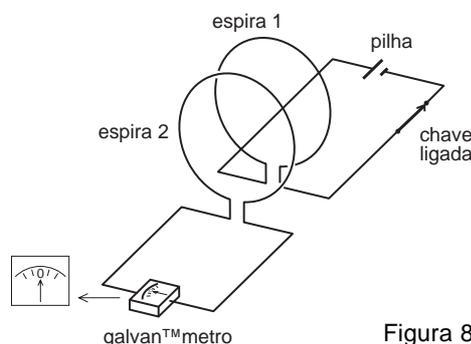


Figura 8

Se, no entanto, nós ligarmos ou desligarmos a chave, o fluxo varia, pois não existia e passa a existir e vice-versa. Observa-se então que o ponteiro do galvanômetro vai oscilar ora num sentido, no momento em que a chave é ligada, ora noutro, quando a chave é desligada. Se ficarmos ligando e desligando a chave sem parar, o ponteiro do galvanômetro vai ficar oscilando sem parar.

É fácil perceber que podemos substituir a pilha e a chave à qual está ligada a espira 1 por um gerador de corrente alternada, oscilante, que produz um efeito equivalente ao liga-desliga da chave. Nesse caso, o galvanômetro ligado à espira 2 também vai oscilar. Ou seja, a espira 1, percorrida por uma corrente alternada, induz uma outra corrente alternada na espira 2. Veja a Figura 9.

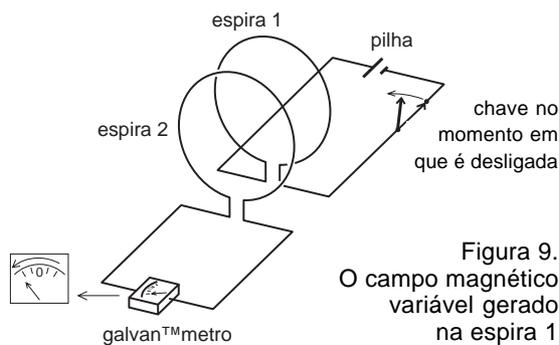
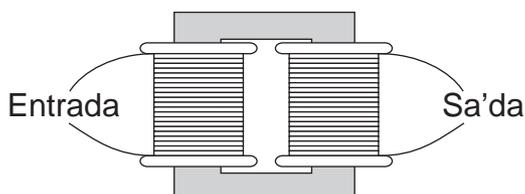


Figura 9.
O campo magnético variável gerado na espira 1 induz uma fem na espira 2.

Mas, como já dissemos anteriormente, a corrente elétrica existe porque existe uma fem ou diferença de potencial que a origina. O liga-desliga da chave, ou do gerador de corrente alternada, é, na verdade, uma fonte variável de fem ou de diferença de potencial. Assim, uma diferença de potencial variável V_1 na espira 1 induz uma diferença de potencial variável V_2 na espira 2.

No caso da Figura 9, apenas uma parte das linhas do campo magnético geradas pela espira 1 passa pela espira 2. Isso significa que só uma parte dessas linhas produz a variação do fluxo que gera a fem induzida na espira 2. A maior parte do campo magnético gerado na espira 1 não é aproveitada pela espira 2 (lembre-se de que as linhas do campo magnético não se localizam apenas no plano da figura: elas são espaciais, isto é, avançam para a frente e para trás desse plano). Sabemos, no entanto, que materiais ferromagnéticos têm a propriedade de concentrar as linhas de campo. Por isso, se enrolarmos as espiras 1 e 2 num mesmo núcleo de material ferromagnético, praticamente todas as linhas de campo geradas pela espira 1 vão passar pela espira 2. Veja a Figura 10. Esse é o princípio de funcionamento do transformador.

Figura 10
Um transformador
utilizado para
demonstrações
didáticas.



Mas por que ele se chama transformador? Para responder a essa pergunta vamos supor que, em lugar das espiras 1 e 2, tenhamos bobinas 1 e 2, com diferentes números de espiras enroladas em cada uma. Suponhamos que a bobina 1 tenha N_1 espiras e que a bobina 2 tenha N_2 espiras. Se a bobina 1 for ligada a uma fonte de fem variável ε_1 , ela vai gerar um fluxo magnético variável. Vamos admitir que ε_1 forneça uma diferença de potencial que valha, em média, V_1 , num intervalo de tempo Δt . Se nesse intervalo de tempo Δt o fluxo variar de zero a Φ_1 , pela lei de Faraday,

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \text{ pode-se dizer que:}$$

$$\Delta\Phi_1 = V_1 \cdot \Delta t$$

Se todas as N_1 espiras da bobina 1 forem atravessadas perpendicularmente pelas linhas de campo, a definição de fluxo (veja o exemplo 2) nos permite concluir que:

$$\Delta\Phi_1 = N_1 \cdot B \cdot A$$

Portanto, igualando essas duas expressões, temos:

$$V_1 \cdot \Delta t = N_1 \cdot B \cdot A$$

O que nos permite escrever:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{B \cdot A}{\Delta t}$$

Podemos repetir esse mesmo raciocínio para a bobina 2 de N_2 espiras. Observe que o intervalo de tempo Δt em que o fluxo varia numa bobina é igual ao da outra, que as espiras podem ser construídas de maneira a ter a mesma área A e que o valor do campo magnético B que as atravessa também pode ser praticamente o mesmo, devido à ação do núcleo. Dessa forma, sendo V_2 a diferença de potencial média induzida nessa bobina, vamos obter:

$$\frac{V_2}{N_2} = \frac{B \cdot A}{\Delta t}$$

Portanto, como B , A e Δt são constantes, obtemos:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

Costuma-se chamar a bobina 1 de **enrolamento primário** ou simplesmente **primário**; a bobina 2 é chamada de **secundário**. Pode-se concluir então que a diferença de potencial ou voltagem no primário e no secundário pode variar, dependendo do número de espiras de cada enrolamento. Pode-se, facilmente, “transformar” uma voltagem V_1 numa voltagem V_2 – basta, para isso, construir bobinas ou enrolamentos com o número adequado de espiras. Por isso o dispositivo se chama transformador. Veja o exemplo a seguir.

Passo a passo

3. Um transformador tem 20 espiras no primário e 300 espiras no secundário.
- se o primário for ligado a uma tensão alternada de 5,0 V, qual será a tensão induzida no secundário?
 - se o secundário for ligado a uma tensão alternada de 45 V, qual será a tensão induzida no primário?

Solução

Em ambos os casos, basta aplicar a relação $\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \Rightarrow V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1$

- $V_1 = 5,0 \text{ V}$, $N_1 = 20$ espiras e $N_2 = 300$ espiras. Portanto, para determinar V_2 basta aplicar a relação:
 $V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1 \Rightarrow 5,0 \cdot 300 = V_2 \cdot 20$
 $V_2 = 75 \text{ V}$
- $V_2 = 45 \text{ V}$, $N_1 = 20$ espiras e $N_2 = 300$ espiras. Portanto, para determinar V_1 basta aplicar a relação:
 $V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1 \Rightarrow V_1 \cdot 300 = 45 \cdot 20$
 $V_1 = 3 \text{ V}$

Observe que no primeiro caso houve um aumento de tensão e no segundo, uma diminuição. Os transformadores são usados tanto para aumentar como para diminuir a tensão. É indiferente saber qual é o primário e o secundário: o que importa é relacionar corretamente o número de espiras de uma das bobinas com a tensão nela aplicada.

Os transformadores e a conservação da energia

Às vezes as pessoas têm a impressão de que o transformador é um dispositivo milagroso, porque pode aumentar a tensão do primário para valores muito maiores no secundário. Também pode diminuir, mas isso não impressiona muito...

Na realidade, não existe milagre nenhum. Como nós já vimos na Aula 41, a potência P fornecida a um dispositivo elétrico é dada pelo produto da tensão a que é submetido pela corrente elétrica que passa por ele, ou seja, $P = V \cdot i$. Portanto, se a energia se conserva, a corrente elétrica deve diminuir quando a tensão aumenta. É isso o que ocorre num transformador.

Vamos supor que a potência P_1 fornecida ao primário se conserve no secundário. Isso quer dizer que a potência P_2 do secundário é igual a P_1 . Essa é uma hipótese razoável, porque os transformadores têm rendimento muito alto, próximo de 100%. Então, lembrando que $P_1 = V_1 \cdot i_1$ e $P_2 = V_2 \cdot i_2$, temos:

$$V_1 \cdot i_1 = V_2 \cdot i_2 \quad (\text{I})$$

Mas, como vimos:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \Rightarrow V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1 \quad (\text{II})$$

Dividindo as igualdades (I) por (II), temos:

$$\frac{i_1}{N_2} = \frac{i_2}{N_1}$$

É importante notar que os denominadores aqui estão invertidos em relação à expressão das tensões. Isso implica que, sempre que houver um aumento na tensão, haverá, em correspondência, uma diminuição da corrente. Veja o exemplo a seguir.

Passo a passo

- Um transformador tem uma bobina de 100 espiras no primário e de 3.000 espiras no secundário. Aplicando-se ao primário uma tensão de 12 V, ele é percorrido por uma corrente elétrica de 900 mA. Qual o valor da tensão e da corrente elétrica no secundário?

Solução:

Para determinar a tensão no secundário, aplicamos a relação $V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1$, onde $V_1 = 12$ V, $N_1 = 100$ espiras e $N_2 = 3000$ espiras. Temos, portanto:

$$12 \cdot 3000 = V_2 \cdot 100$$

$$V_2 = 360 \text{ V}$$

Para determinar a corrente no secundário, aplicamos a expressão:

$$\frac{i_1}{N_2} = \frac{i_2}{N_1} \Rightarrow i_1 \cdot N_1 = i_2 \cdot N_2$$

Onde $i_1 = 900 \text{ mA}$, $N_1 = 100$ espiras e $N_2 = 3000$ espiras. Temos, portanto:

$$900 \cdot 100 = i_2 \cdot 3000$$

$$i_2 = \mathbf{30 \text{ mA}}$$

Observe que, embora a tensão tenha se tornado 30 vezes **maior**, a corrente elétrica, em compensação, tornou-se 30 vezes **menor**.

O fenômeno da indução eletromagnética completa o nosso estudo do eletromagnetismo. A geração de uma corrente elétrica a partir de um fluxo magnético variável, por meio de bobinas, possibilitou a construção de enormes geradores de fem alternada e, conseqüentemente, de corrente alternada. Isso se tornou viável devido à possibilidade de aproveitamento da energia mecânica de rotação.

No Brasil, essa energia quase sempre tem origem na energia das quedas d'água, nas usinas hidrelétricas.

Ocorre que essas usinas às vezes se localizam a centenas de quilômetros das cidades ou dos centros consumidores. Por isso, a energia elétrica deve ser transportada por fios, em extensas linhas de transmissão. Aqui aparece mais uma aplicação da indução eletromagnética: os transformadores. Eles permitem adequar os valores da voltagem e da corrente elétrica, de maneira a possibilitar seu transporte com maior eficiência.

As linhas de transmissão têm alta voltagem para ser percorridas por correntes de baixa intensidade. Isso reduz as perdas por calor (lembre-se de que a potência dissipada num condutor é proporcional ao quadrado da corrente, $P = R \cdot i^2$). Outros transformadores, colocados ao longo da linha, permitem o fornecimento da tensão adequada a cada consumidor.

Quando um morador de uma cidade como São Luís, onde a voltagem fornecida é 220 V, se muda, por exemplo, para São Paulo, onde a voltagem é 127 V, o uso de transformadores domésticos resolve eventuais problemas.

A corrente alternada, no entanto, também apresenta inconvenientes. Isso acontece, principalmente, em relação ao uso de aparelhos eletrônicos. Esses aparelhos exigem, quase sempre, um fornecimento contínuo de energia elétrica, ou seja, precisam de uma corrente contínua. Por isso, quando não se usam pilhas, é necessário o uso de retificadores de corrente que, como o próprio nome indica, transformam a corrente alternada em corrente contínua.

As pilhas sempre fornecem corrente contínua. Como a corrente contínua não pode gerar fluxo magnético variável, é inútil o uso de transformadores com pilhas. É por isso que, na nossa história, Roberto dizia nunca ter visto alguém usar uma pilha ligada a um transformador. Quando um aparelho a pilha precisa de uma tensão maior que 1,5 V, a única solução é utilizar associações de pilhas em série. Mesmo assim, as voltagem obtidas serão sempre múltiplos de 1,5 V.

Mas o eletromagnetismo não termina aqui. Ele tem aplicações e conseqüências extraordinariamente importantes. Se um campo magnético variável gera uma corrente elétrica, gera também um campo elétrico. Isso porque, como vimos na Aula 40, só existe corrente elétrica se existir campo elétrico.

Esse fenômeno levou o físico escocês James C. Maxwell, em 1864, a postular o fenômeno oposto – um campo elétrico variável deveria gerar um campo magnético variável. Maxwell percebeu claramente que, se isso fosse verdade, esses fenômenos se encadeariam numa seqüência interminável. Um campo magnético variando gera um campo elétrico que, como não existia e passou a existir, também varia. Se esse campo elétrico varia, gera um campo magnético que, como não existia e passou a existir, também varia. Se esse campo magnético varia, gera um campo elétrico que, como não existia... Essa sucessão de campos variáveis foi chamada de **onda eletromagnética**. Mas essa já é uma outra história, que fica para uma outra aula...



Nesta aula você aprendeu:

- o conceito de indução eletromagnética;
- o conceito de fluxo magnético e a lei de Faraday;
- a lei de Lenz;
- como funciona um gerador de corrente alternada;
- como funcionam os transformadores.



Exercício 1

Na figura 10, uma espira retangular de área 500 cm^2 , igual a $0,05 \text{ m}^2$, está imersa num campo magnético uniforme de intensidade $B = 0,08 \text{ T}$. Qual o fluxo magnético que atravessa a espira:

- na posição a, quando $\theta = 90^\circ$.
- na posição b, quando $\theta = 45^\circ$.

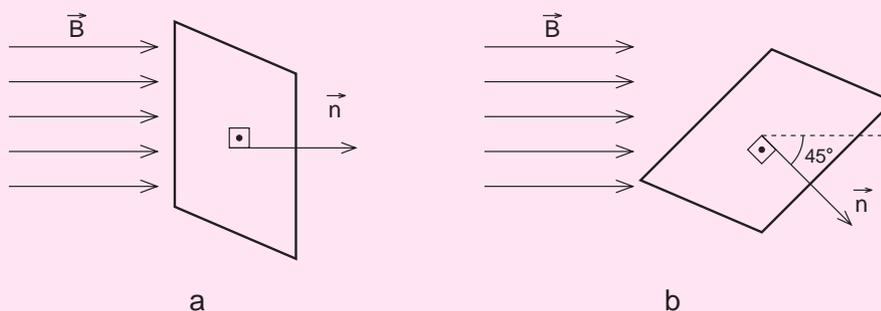


Figura 10

Exercício 2

Suponha que uma bobina formada por 800 espiras circulares de 25 cm^2 de área esteja diante de um eletroímã. Suponha que o campo magnético gerado por esse eletroímã tenha intensidade $B = 0,5 \text{ T}$ e seja uniforme na região onde está a bobina. Sabendo-se que o plano da bobina é perpendicular às linhas desse campo, determine:

- qual o fluxo magnético que passa por essa bobina.
- o que acontece na bobina se o eletroímã for desligado.

Exercício 3

Um transformador tem 25 espiras no primário e 1.500 espiras no secundário. Pede-se:

- a) se o primário for ligado a uma tensão alternada de 10 V, qual será a tensão induzida no secundário?
- b) se o secundário for ligado a uma tensão alternada de 110 V, qual será a tensão induzida no primário?

Exercício 4

No problema anterior, se a potência do transformador for igual a 22 W, qual a corrente elétrica no primário e no secundário, supondo que não haja perdas?

Exercício 5

Um transformador tem uma bobina de 300 espiras no primário e de 12.000 espiras no secundário. Tem uma potência de 440 W. Aplica-se ao primário uma tensão de 220 V. Pede-se:

- a) a corrente elétrica no primário;
- b) supondo que não haja perdas, qual o valor da tensão e da corrente elétrica no secundário?