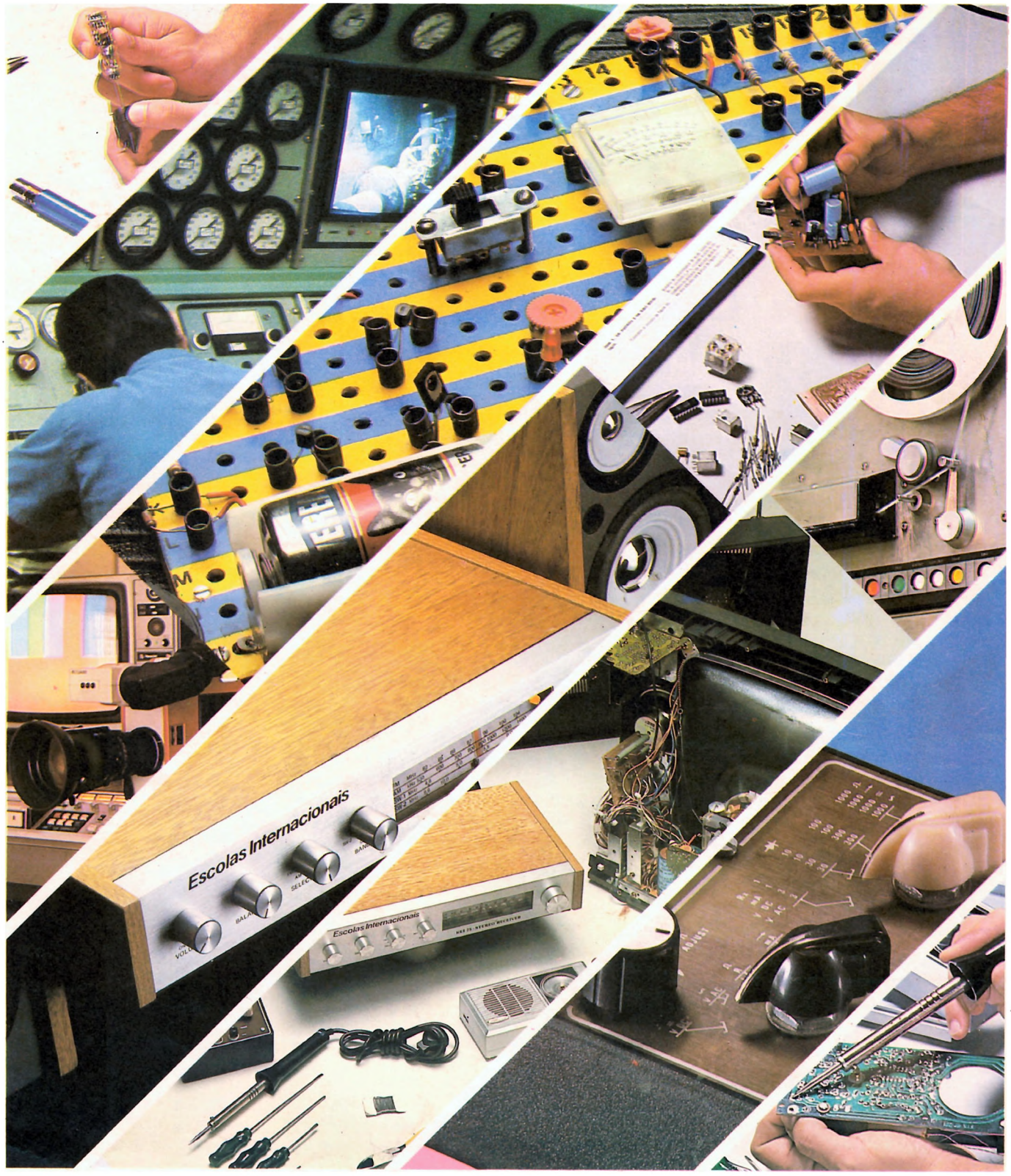
MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO



Escolas Internacionais

Referência

014

Índice Geral

LIÇÃO Nº 6 – MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO

Introdução 9
1. Magnetismo e Materiais Magnéticos 9
2. Polos Magnéticos 10
3. Linhas de Força Magnética 11
4. Teoria Molecular do Magnetismo 12
5. Magnetização de Peças 13
6. Força-magnetomotriz 14
7. Algumas definições 15
8. Magnetismo produzido pela corrente elétrica 17
9. Campo Magnético de uma Solenóide 19
10. Fatores que influem no Campo Magnético da Solenóide 21
11. Indução Eletromagnética 22
12. Efeito gerador da Indução Eletromagnética 23
13. Intensidade da Tensão Induzida 24
14. Lei de Lenz 24
15. Efeito Motor da Indução Eletromagnética 25
16. Indutância própria ou auto-indutância 26
17. Indutância Mútua 28
Exame da Lição nº 6 29

Conteúdo didático programado e elaborado pela equipe técnico-pedagógica das Escolas Internacionais.

Copyright - International Textbook Company - ICS - International Correspondence Schools - Scranton, Pennsylvania - USA - Copyright - Direitos exclusivos no Brasil para ESCOLAS INTERNACIONAIS - São Paulo, SP - Brasil.

Reservados todos os direitos. Proibida a reprodução total ou parcial do texto e das ilustrações por qualquer forma ou meio, sem prévia autorização por escrito dos detentores do copyright. Edições ou reproduções não autorizadas estarão sujeitas às penalidades da Lei.

Escolas Internacionais

Impresso no parque gráfico das Escolas Internacionais do Brasil.

Introdução

Nesta lição você tomará conhecimento dos conceitos fundamentais sobre Magnetismo e Eletromagnetismo.

Você aprenderá que na Natureza existem determinados materiais que apresentam propriedades magnéticas — são os ímãs naturais. Mas, você também verá que os fenômenos magnéticos não ficam restritos aos materiais magnéticos encontrados na Natureza. As propriedades magnéticas também podem ser observadas quando uma corrente elétrica atravessa um circuito elétrico.

Com o domínio sobre os fundamentos do Magnetismo e Eletromagnetismo, o Homem é capaz de magnetizar grandes peças, produzindo os ímãs artificiais. Esses ímãs artificiais são mais potentes que os ímãs naturais e comercialmente mais importantes.

Estes conceitos fundamentais sobre Magnetismo e Eletromagnetismo, abordados nesta lição, são também aplicados na construção e funcionamento de geradores, transformadores, motores, etc, que serão estudados nas lições seguintes.

Magnetismo e Eletromagnetismo

1-Magnetismo e materiais magnéticos

Existem na natureza certos materiais, que possuem a capacidade de ***atrair*** objetos de metais como o ferro, níquel, cobalto, ou ligas metálicas como o aço. Estes materiais que apresentam esta capacidade de atração são chamados de ***materiais magnéticos,*** e esta propriedade por eles apresentada recebe o nome de magnetismo.

Magnetismo é a propriedade que certos materiais apresentam, que lhes possibilita atrair objetos de ferro, aço, e alguns outros metais.

Dentre todas as substâncias naturais, aquela que apresenta propriedades magnéticas e é considerada a mais importante, é um minério de ferro chamado ***magnetita.*** Por apresentar magnetismo, a magnetita é então denominada de ***ímã natural.***

Todos os corpos que apresentem propriedades magnéticas são chamados de ímãs. Existem os ímãs naturais e os ímãs artificiais.

Os ímãs naturais têm pouca importância comercial, pois são relativamente fracos.

Uma das propriedades magnéticas apresentadas pelos ímãs, é a de que eles ***tendem a se alinhar*** numa determinada direção, se puderem mover-se livremente.

A atração que os ímãs exercem sobre outros corpos é mais forte nas extremidades e mais fraca no centro. Estes pontos onde a atração é máxima são chamados de ***polos.*** Mesmo os ímãs naturais, com formato irregular, têm polos muito bem definidos.

Se pedaços de ferro, aço, cobalto ou níquel forem colocados em contato com um ímã natural por um tempo prolongado, estes metais passarão a apresentar propriedades magnéticas como as apresentadas pelos ímãs. Isso significa que estes metais apesar de não serem naturalmente magnéticos, podem ser transformados em ímãs. Por essa razão eles também são chamados de ***materiais magnéticos ou substâncias ferromagnéticas.***

Como os ímãs naturais são relativamente fracos quanto à atração magnética, estes materiais que podem ser magnetizados são utilizados para a fabricação de ímãs potentes, para utilização industrial. ***O material ferromagnético mais importante é o aço*** — uma liga onde o elemento predominante é o ferro.

Os demais materiais que não são atraídos, ou são fracamente atraídos por um ímã, são chamados de materiais ***não-magnéticos ou paramagnéticos.***

2-Polos magnéticos

Conforme dissemos no capítulo anterior, os ímãs exercem uma atração mais forte nas extremidades e uma atração mais fraca no centro. Mesmo os ímãs naturais com formato irregular, apresentam estes pontos onde a atração é máxima.

Os ímãs apresentam dois polos, que por convenção são chamados de polo norte e polo sul. São os pontos onde a força magnética é maior.

A razão para chamar os polos de um ímã de norte e sul é bastante simples. ***A Terra se comporta como um gigantesco ímã.*** Ela apresenta dois polos magnéticos, ligeiramente deslocados dos polos geográficos. O polo magnético mais próximo do polo norte geográfico, é considerado polo magnético sul. E o polo magnético mais próximo do polo geográfico sul, é o polo magnético norte.

A figura 1 apresenta os polos geográficos e magnéticos da Terra.

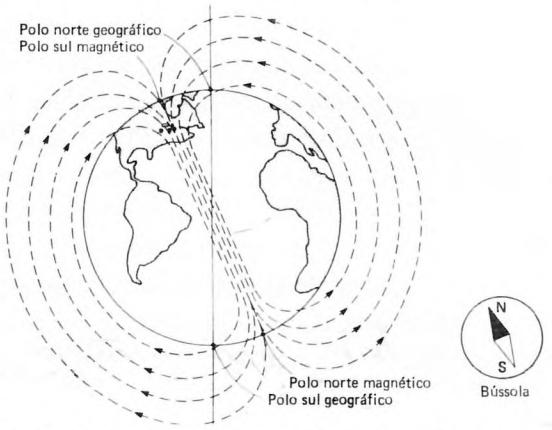


Fig. 1 — A Terra tem polos magnéticos e geográficos separados.

A Terra age sobre os ímãs, fazendo com que eles se orientem, se alinhem com o magnetismo terrestre. Se suspendermos por um fio, um ímã com o formato de um bastão, ele irá se alinhar com o magnetismo da Terra, desde que possa se mover livremente. O polo deste ímã que aponta para o lado do polo geográfico norte da Terra, é chamado de polo norte do ímã. Obviamente, a outra extremidade do ímã apontará para o polo geográfico sul da Terra e, por isso, é chamado de polo sul do ímã.

Como deve ser do seu conhecimento, um dos instrumentos mais utilizados para a orientação é a ***bússola.*** A bússola consiste de uma agulha magnetizada, que aponta constantemente para o polo magnético norte da Terra, desde que não esteja sobre influência de um ímã potente. Logo, o funcionamento da bússola baseia-se no ***alinhamento de sua agulha magnética com o magnetismo terrestre.*** O polo norte da bússola aponta para o polo norte geográfico (não o magnético) da Terra, e, obviamente, o polo sul da bússola aponta para o polo sul geográfico da Terra. Veja novamente a figura 1.

A regra de atração ou repulsão magnética, é semelhante a aquela para as cargas elétricas.

Polos magnéticos iguais se repelem e polos magnéticos opostos se atraem. Então, dois polos magnéticos norte se repelem, enquanto que um polo magnético norte e um polo magnético sul se atraem.

Já que polos iguais se repelem e polos opostos se atraem, você poderia colocar a seguinte questão: ***qual dos dois polos (norte ou sul), atrai um objeto de ferro?***

A resposta a esta questão é a seguinte: como o ferro é um material magnético, ele será atraído por um ímã. Desde que este objeto ainda não esteja magnetizado, ***ele será atraído tanto pelo polo magnético norte, como pelo polo magnético sul.*** Agora, se este objeto de ferro ficar por longo tempo em contato com um ímã, ele se magnetizará, ou seja, se transformará num ímã. Logo, passará a apresentar nas extremidades um polo magnético norte, e um polo magnético sul. Daí então, ele terá um comportamento de acordo com a regra de atração e repulsão.

3-Linhas de força magnética

Se várias pequenas bússolas forem colocadas próximas de um ímã, elas irão se alinhar de uma determinada maneira, porque estarão sobre a ação do magnetismo do ímã.

As pequenas bússolas colocadas próximas do ímã, se alinharão da seguinte forma: o polo sul (S) de cada bússola apontará para o polo norte do ímã, enquanto que o polo norte (N) de cada bússola apontará sempre para o polo sul do ímã.

Estas orientações que todas as bússolas apresentam, indicam que nas proximidades de um polo magnético, existe uma força que atua em uma ***direção definida.*** Esta direção pode ser indicada por meio de linhas imaginárias.

A direção da força magnética que atua nas proximidades dos polos do ímã, pode ser representada por linhas imaginárias. Estas linhas são chamadas ***linhas de força magnética.***

A figura 2 apresenta dois ímãs: um em forma de barra e outro em forma de ferradura. Os polos dos ímãs estão identificados com as letras N (para o polo norte) e S (para o polo sul). Observe atentamente nesta figura, a orientação das bússolas e as linhas de força magnética indicando a direção da força magnética.

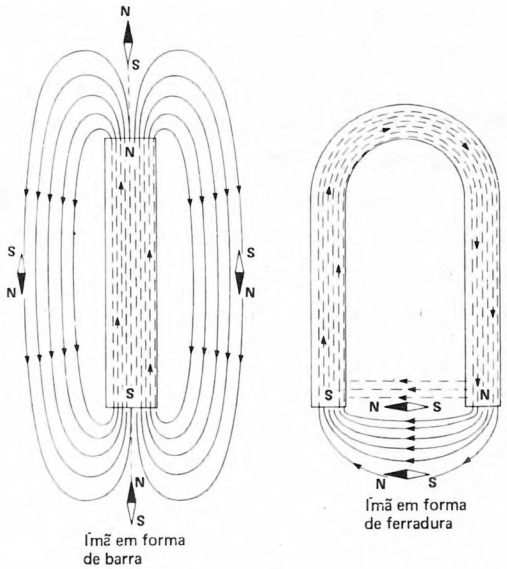


Fig. 2 — Linhas de força magnética.

Como você deve ter observado, cada bússola está orientada de modo que o seu polo norte aponta para o polo sul do ímã, enquanto o polo sul aponta para o polo norte do ímã.

Com relação às linhas de força magnética, elas partem do polo norte do ímã e viajam externamente para o polo sul. Mas no interior do ímã, as linhas de força vão do polo sul para o polo norte.

O espaço onde existem as linhas de força magnética é chamado de ***campo magnético.*** A intensidade do campo é medido pelo número de linhas de força. Quanto maior o número de linhas de força, mais forte é o campo magnético do ímã.

Direitos reservados

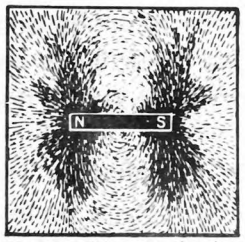
Veja que as linhas estão indicando a direção da força magnética, num determinado espaço (campo magnético).

O número total de linhas de força magnética em torno de um ímã é chamado de fluxo magnético. Para efeito de comparação, podemos dizer que o fluxo magnético corresponde à corrente em um circuito elétrico.

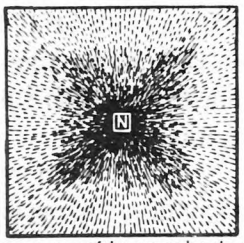
Compreenda que as linhas, na realidade, não existem. Elas simplesmente indicam a direção da força magnética que atua num campo magnético, e também indicam a intensidade do fluxo magnético.

Estas linhas do fluxo magnético podem ser determinadas através de uma experiência bastante simples.

Se espalharmos sobre um pedaço de papel uma certa quantidade de ***limalha de ferro*** (pó ou partículas de ferro), e colocarmos este pedaço de papel sobre um ímã, a limalha de ferro sofrerá a ação da força magnética. Então, todas as partículas de ferro irão se orientar em torno do ímã, de acordo com a direção da força magnética. A distribuição destas partículas de ferro em torno do ímã, determinam as linhas de força magnética entre os dois polos do ímã. A figura 3 apresenta a distribuição da limalha de ferro em torno dos polos do ímã, comprovando a existência do campo magnético.



Campo magnético ao redor de um ímã em forma de barra.



Campo magnético ao redor de um polo.

Fig. 3 — Padrões típicos da distribuição das linhas de força.

As unidades para a medição do fluxo magnético são o ***maxwell*** e o ***weber.***

Um ***maxwell*** é igual a uma linha de força, e um ***weber*** é igual a 100 x 10^6 maxwell ou linhas de força.

Uma outra maneira de se expressar a grandeza do fluxo magnético é através da densidade de fluxo. ***A densidade de fluxo é uma medida do número de linhas de força por unidade de área.*** Esta grandeza é expressa em maxwell por centímetro quadrado ***(maxwell/cm²),*** que também é chamado de ***gauss.*** Uma unidade maior para as medições de fluxo é o weber por metro quadrado (***weber/m²***), que é também chamado de ***tesla.***

Considerando que 1 weber é igual a 100 x 10^6 maxwell e que 1 m^2 é igual a 1 x 10^4 cm^2, podemos dizer que:

$$1 \frac{\text{weber}}{m^2} = \frac{100 \times 10^6 \text{ maxwell}}{1 \times 10^4 \text{ cm}^2}$$

$$1 \frac{\text{weber}}{m^2} = 1 \times 10^4 \frac{\text{maxwell}}{\text{cm}^2}$$

Portanto, podemos concluir que:
1 tesla = 1 x 10^4 gauss

4-Teoria molecular do magnetismo

Nos capítulos anteriores falamos sobre determinadas substâncias que, naturalmente, apresentam propriedades magnéticas. Citamos como exemplo mais importante a magnetita, que é um minério de ferro.

Vamos apresentar agora a seguinte questão: ***por que algumas substâncias apresentam propriedades magnéticas e outras não?***

A resposta a esta pergunta é dada pela Teoria Molecular do Magnetismo, que explica a diferença entre substâncias magnetizadas e substâncias desmagnetizadas.

Para a Teoria Molecular do Magnetismo, as moléculas dos materiais magnéticos já têm as propriedades magnéticas, isto é, cada molécula dessas substâncias é um pequeno ímã.

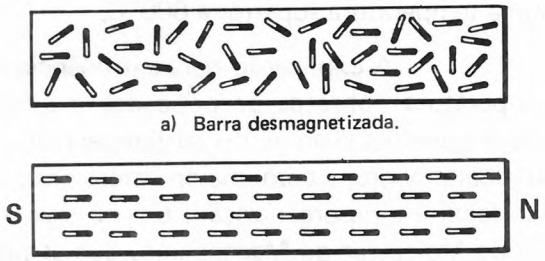
Mas, você já viu que *um material pode estar magnetizado num determinado momento, e desmagnetizado em outro mo-*

Direitos reservados

mento. Como pode ser explicado este tipo de fenômeno?

Neste caso, a explicação é dada pelo arranjo das moléculas desse material. Se as moléculas estiverem dispostas em diferentes direções, de uma maneira ***desordenada,*** o material ***não apresentará magnetismo.*** Isso porque as polaridades serão anuladas, pelo fato de estarem as moléculas desordenadas. Porém, se as moléculas estiverem ***ordenadas,*** dispostas de uma maneira uniforme, com ***todos os polos norte apontando para um mesmo lado e todos os polos sul apontando para o outro lado,*** o efeito será justamente o contrário. O material apresentará magnetismo, pois os polos não se anulam. Pelo contrário, os pequenos ímãs (moléculas) se somarão fazendo com que todo o material passe a apresentar as já referidas propriedades magnéticas.

A figura 4 apresenta a disposição das moléculas para uma barra desmagnetizada e para uma barra magnetizada.



a) Barra desmagnetizada.

b) Barra magnetizada.

Fig. 4 — Diferença entre um material magnetizado e um desmagnetizado.

Para comprovar esta explicação, temos o fato de que um ímã, se for dividido em pedaços, cada um desses pedaços será um novo ímã. Em outras palavras, ***se pegarmos um ímã e o dividirmos em três partes, passaremos a ter três ímãs menores.*** Veja a figura 5.

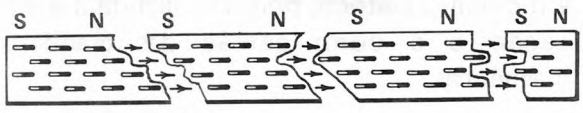


Fig. 5 — Ao partir um ímã em pedaços, cada pedaço é um novo ímã.

Essa mesma teoria explica a diferença que existe entre o ferro e algumas ligas de aço, com relação à influência que eles recebem de um ímã.

Um pedaço de ferro se converte facilmente em um ímã, desde que fique em contato com um ímã, por um determinado tempo. Mas, estas propriedades magnéticas também desaparecem com facilidade, quando deixa de existir este contato entre o pedaço de ferro e o ímã.

A explicação para este fato é de que ***as partículas de ferro se alinham facilmente*** quando submetidas à ação de um campo magnético. E quando esta força magnética deixa de existir, as partículas de ferro voltam para as suas posições anteriores, desordenadas.

Com relação ao aço, acontece justamente o contrário. ***Algumas ligas de aço são difíceis de serem magnetizadas.*** Mas, uma vez magnetizadas as propriedades magnéticas permanecem por muito tempo.

Isso é explicado através da distribuição das partículas de que é formado o aço. É difícil ordenar as partículas. Mas uma vez ordenadas, elas passam a apresentar as propriedades magnéticas, e não regressam para as suas posições anteriores. Conseqüentemente, ***com as partículas permanecendo ordenadas, permanecem também as propriedades magnéticas.***

Portanto, um pedaço de ***ferro*** pode ser convertido em um ***ímã temporário,*** enquanto que algumas ligas de ***aço*** podem formar os ***ímãs permanentes.***

5-Magnetização de peças

Conforme vimos no capítulo anterior, peças de ferro ou peças de algumas ligas de aço podem ser transformadas em ímãs. Basicamente, a magnetização de peças pode se dar de duas maneiras distintas: ***contato com um ímã permanente ou através da corrente elétrica.***

Quando um ímã é colocado em contato com limalhas de ferro, estas se aglomeram nos polos do ímã, e cada uma das partículas de ferro se transforma num pequeno ímã. Isso acontece porque essas partículas de ferro estiveram em contato com um ímã permanente, e dessa forma adquiriram um magnetismo que é temporário. Toda peça de ferro que seja colocada próxima dos polos de um ímã potente, adquirirá propriedades magnéticas, transformando-se em um ímã. Esse é um fato que pode ser observado com facilidade.

Nesses casos, o ímã permanente é o responsável pela magnetização das limalhas de ferro ou da peça de ferro. Dizemos que o campo magnético do ímã ***induziu*** (causou) a

magnetização.

Magnetização por indução se realiza quando colocamos um ímã permanente em contato com uma peça, que ficará magnetizada enquanto estiver sobre a influência do campo magnético do ímã permanente.

Nestes casos em que acontece a magnetização por indução, o novo ímã possui os polos dispostos de forma oposta aos polos do ímã permanente. Isto é, o polo "N" do novo ímã forma-se na extremidade da peça colocada em contato com o polo "S" do ímã. E se a peça for colocada em contato com o polo "N" do ímã, a extremidade que tocou o ímã apresentará o polo oposto, ou seja "S".

A magnetização de peças grandes, ou a formação de ímãs potentes, se realiza por meio da passagem de uma corrente elétrica através da peça a ser magnetizada. Veja a figura 6, que apresenta um esquema de magnetização pela passagem de uma corrente elétrica.

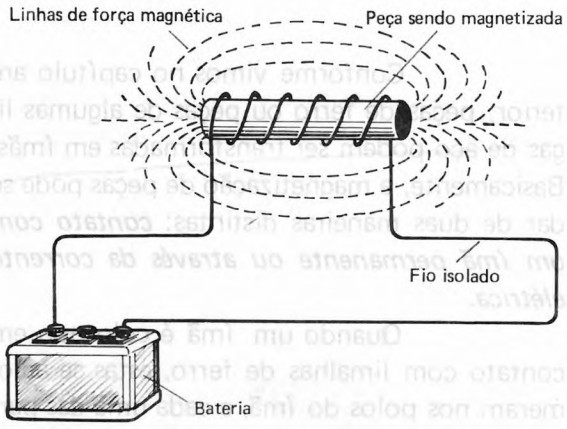


Fig. 6 — Magnetização através de corrente elétrica.

A explicação detalhada de como se dá a magnetização por meio de corrente elétrica você verá nos capítulos seguintes.

Quando se pretende obter um ***ímã permanente,*** utiliza-se as ***ligas de aço***, pois elas conseguem reter a magnetização por muito tempo. Mas, quando se deseja um ***bom ímã temporário,*** deve-se utilizar ***ferro doce*** (ferro puro).

Nunca se deve dobrar ou martelar um ímã, pois ele poderá perder as suas propriedades magnéticas. Isso acontece porque ao martelarmos um ímã, estaremos provocando uma desorientação das partículas de que é feito o ímã.

Um outro fator pode ser o responsável pela perda das propriedades magnéticas de um ímã, ou pela não magnetização de uma substância. Este fator é a ***temperatura.***

Em temperaturas muito elevadas, um ímã perde o seu poder magnético. O metal níquel, que na temperatura ambiente é atraído por um ímã, se estiver numa temperatura de 350° C não mais sentirá a força de atração magnética. O mesmo acontece com o ferro numa temperatura superior a 800° C.

A explicação para a influência da temperatura sobre as propriedades magnéticas, é que com o aumento da temperatura as partículas vibram com maior intensidade, e isso facilita a desorganização. E você já viu na Teoria Molecular do Magnetismo, que as propriedades magnéticas surgem quando as partículas estão ordenadas, dispostas uniformemente.

6-Força-magnetomotriz

Sempre que for possível, nós vamos fazer analogias entre o circuito magnético e o circuito elétrico, pois isto facilita a explicação e a compreensão das grandezas magnéticas.

Por exemplo: o fluxo magnético produzido por um ímã pode ser comparado com a corrente elétrica, que flue através dos condutores num circuito elétrico.

Você já sabe que a corrente elétrica flue através dos condutores, porque existe uma força-eletromotriz que "empurra" os elétrons através do circuito. De forma semelhante, as linhas de força magnética são "enviadas" através do caminho magnético por uma força gerada pelo ímã.

A força gerada pelo ímã, que faz com que as linhas de força magnética "viajem" do polo norte do ímã para o polo sul do ímã, é chamado de ***força-magnetomotriz*** (f.m.m.). A unidade de medida da f.m.m. é o ***ampère-espira.*** Uma outra unidade de medida, pouco empregada, é o ***gilbert.***

A f.m.m. empurra as linhas de força através do circuito magnético fechado. No seu caminho, as linhas de força encontram à frente materiais que se opõem à sua passagem.

A oposição à passagem das linhas de força (fluxo magnético), é chamado de ***relutância.*** A relutância depende do material que é colocado no caminho das linhas de força.

A relutância é o equivalente magnético da resistência. A resistência se opõe à passagem da corrente elétrica, enquanto que a relutância se opõe à passagem das linhas de força.

7-Algumas definições

Antes de prosseguirmos nosso estudo sobre magnetismo, vamos neste capítulo definir alguns termos que encontraremos à medida que formos desenvolvendo os capítulos que se seguem. Algumas destas características magnéticas básicas que definiremos neste capítulo, serão importantes quando formos considerar as operações de vários dispositivos elétricos, como os transformadores, motores e geradores.

PERMEABILIDADE

Definimos permeabilidade como sendo a facilidade com que um material permite a passagem do fluxo magnético.

A permeabilidade é equivalente à condutância nos circuitos elétricos. Da mesma forma que um bom condutor tem um elevado grau de condutividade, os bons materiais magnéticos têm valores elevados de permeabilidade.

A permeabilidade é o oposto da relutância.

O ar apresenta uma permeabilidade fixada, arbitrariamente, em 1. Muitos materiais magnéticos têm permeabilidade próxima de 1, enquanto materiais ferromagnéticos têm valores muito alto, alcançando a casa dos milhares.

SATURAÇÃO MAGNÉTICA

Se uma força-magnetomotriz (f.m.m.) for aplicada a um material magnético, este começará a adquirir as propriedades magnéticas. Em geral, quanto maior for a f.m.m., maior será a magnetização do material.

Porém, o material irá se magnetizar até um certo ponto, até um determinado limite. Além desse ponto, qualquer aumento na f.m.m. provocará um aumento desprezível na magnetização.

Este limite, onde o material atingiu praticamente o máximo possível de magnetização, é chamado de ponto de saturação magnética.

HISTERESE

Quando uma f.m.m. é aplicada a um material, este irá se magnetizando até atingir a saturação magnética. Para materiais diferentes, a magnetização se dá de uma forma mais rápida ou mais lenta.

Mas, para todos os materiais, o fluxo magnético do material não aparece imediatamente à aplicação da f.m.m.. Existe um certo atraso entre a aplicação da f.m.m e o aparecimento do fluxo magnético no material.

Este atraso no aparecimento do fluxo magnético do material que está sendo magnetizado é chamado de histerese. Histerese é uma palavra de origem grega que significa "atraso".

O grau de histerese de uma substância determina a rapidez com que essa substância se magnetiza, e também a rapidez com que essa mesma substância perde a magnetização. O grau de histerese é um bom indicador das potências dos ímãs artificiais.

Os materiais que apresentam grande histerese, retém a magnetização por mais tempo. Conseqüentemente, estes materiais são usados para a fabricação de ímãs artificiais, como aqueles encontrados em galvanô-

Direitos reservados

metros e alto-falantes.

MAGNETISMO RESIDUAL

Os materiais que são magnetizados, com o passar do tempo vão perdendo o seu poder magnético. Uns perdem mais rapidamente as propriedades magnéticas, enquanto outros levam um tempo maior para perdê-las.

Mas, todo material retém uma parte da magnetização após a remoção da f.m.m..

A quantidade de magnetismo que sobra é chamado de magnetismo residual ou remanente.

O grau de remanência ou o grau de magnetismo residual, varia de um material para outro. *Os materiais que perdem as propriedades magnéticas rapidamente,* como o ferro doce ou certas ligas como o "permalloy", *apresentam um grau de remanência muito baixo.* Os materiais que demoram para perder as propriedades magnéticas, como o alnico e ferrite duro, obviamente apresentam elevados graus de remanência.

Os materiais que apresentam elevados graus de remanência são utilizados para a fabricação de ímãs permanentes.

FORÇA MAGNETIZANTE

A força-magnetomotriz (f.m.m.) exercida por unidade de comprimento do material magnético é chamada de força magnetizante.

FORÇA COERCITIVA

Da mesma forma que uma f.m.m. pode ser usada para magnetizar um material, uma f.m.m. pode ser utilizada para desmagnetizar o mesmo material.

A f.m.m. necessária para tirar o magnetismo de um material magnetizado é chamada de força coercitiva.

ARMADURA

Muitas vezes usa-se junto com os ímãs peças especiais com a finalidade de orientar ou facilitar a passagem das linhas de força magnética. Estas peças são feitas de materiais magnéticos com baixa remanência (materiais que se magnetizam rapidamente), pois servem apenas para direcionar o fluxo magnético, e não para produzi-lo.

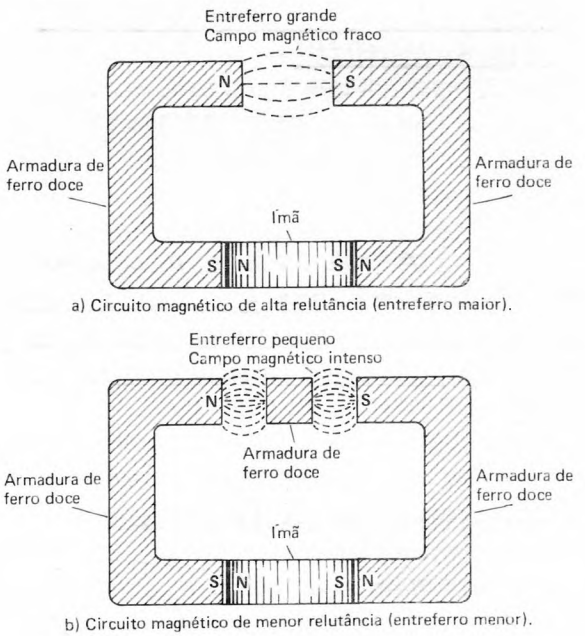
Estas peças usadas para direcionar o fluxo magnético são chamadas de armaduras. Muitas armaduras são fabricadas com ferro doce.

Quando se pretende diminuir a relutância de um circuito magnético, faz-se uso das armaduras, pois elas facilitam a passagem das linhas de força magnética.

ENTREFERRO

Algumas vezes o circuito magnético não fica completo, mesmo com o auxílio das armaduras, ficando espaços abertos que devem ser "pulados" pelas linhas magnéticas.

Estes *espaços abertos ao longo do caminho magnético é chamado de entreferro.* Quanto maior o entreferro, mais fraco é o campo magnético do circuito todo. Logicamente, quanto menor o entreferro, mais intenso é o campo magnético. A figura 7 apresenta dois circuitos, um com entreferro maior e outro com entreferro menor.



a) Circuito magnético de alta relutância (entreferro maior).

b) Circuito magnético de menor relutância (entreferro menor).

Fig. 7 — Circuitos magnéticos com armaduras e entreferros.

BLINDAGEM MAGNÉTICA

Quando estudamos os circuitos elétricos de corrente contínua, vimos que uma corrente elétrica podia ser desviada por meio de condutores ou de "shuntes", ou ainda, ser interrompida abrindo-se o circuito.

Com relação ao fluxo magnético, não existe um meio que permita a interrupção do fluxo. Entretanto, o fluxo pode ser desviado ou direcionado convenientemente com o auxílio de armaduras ou blindagens magnéticas.

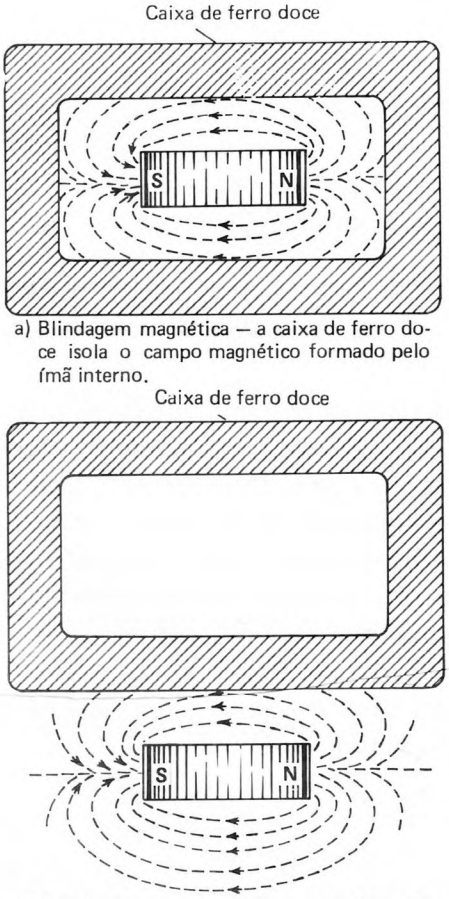
Esta propriedade que certas substâncias apresentam de poderem desviar o fluxo magnético, é aplicada para que se consi-

Direitos reservados

ga uma blindagem magnética. ***A blindagem consiste em isolar magneticamente um ímã com seu campo magnético.*** Isto é, o campo magnético interno não sai para fora, e nem sofre qualquer influência de campos magnéticos externos. Da mesma maneira, consegue-se espaços isentos de campos magnéticos.

Para conseguir-se o efeito de blindagem magnética, constrói-se caixas com materiais magnéticos de baixa relutância. Por razões econômicas, o material mais empregado é o ferro doce (ferro puro). Mas, quando se requer uma blindagem mais eficiente, utiliza-se o "mumetal" ou o "permalloy".

A figura 8 apresenta uma armadura exercendo o efeito de blindagem sobre um ímã permanente.



a) Blindagem magnética — a caixa de ferro doce isola o campo magnético formado pelo ímã interno.

b) Blindagem magnética — a caixa de ferro doce não permite que o campo magnético atue sobre o espaço interno.

Fig. 8 — Efeito de blindagem sobre um ímã permanente.

8-Magnetismo produzido pela corrente elétrica

Os ímãs permanentes em forma de barra ou em forma de ferradura, mostrados na figura 2, são usados em muitas aplicações. Entretanto, existe um outro tipo de ímã que apresenta uma importância muito maior. São os ímãs produzidos pela passagem de corrente elétrica.

Quando uma corrente elétrica passa através de um condutor, aparece em torno deste condutor um campo magnético, e as linhas de força formam círculos ao redor do condutor. E estes círculos formados pelas linhas de força têm o mesmo centro — o condutor.

Mas como se pode comprovar que a passagem de uma corrente elétrica através de um condutor forma um campo magnético? E como se sabe que as linhas de força formam círculos concêntricos (mesmo centro)?

Ora, existe uma experiência bastante simples, que responde a estas duas perguntas de uma só vez.

Vamos considerar um circuito elétrico de corrente contínua. Você já sabe que um campo magnético gerado por um ímã natural atrai partículas de ferro — limalhas de ferro. Então, fazendo passar corrente elétrica pelo condutor, e colocando-se as limalhas de ferro próximas desse condutor, o campo magnético produzido pela passagem da corrente elétrica irá atrair as limalhas de ferro.

A figura 9 mostra um circuito elétrico com o interruptor aberto. Logo, não está passando corrente pelo circuito. Espalhando-se as limalhas de ferro em dois papéis, podemos comprovar a não existência do campo magnético. Um dos papéis é simplesmente colocado próximo do condutor, para comprovar a inexistência do campo gerado pela corrente elétrica. E o outro papel com limalha é colocado de forma que o condutor passe através do papel. Veja a figura 9. As limalhas ficam espalhadas desordenadamente, e não são atraídas pelo condutor.

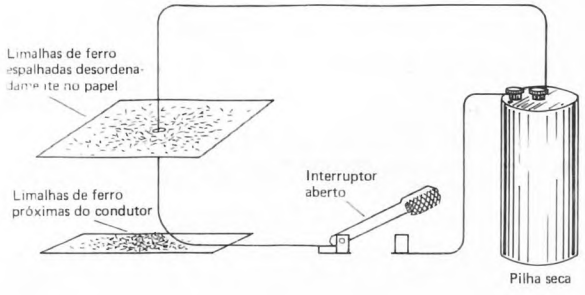


Fig 9 — Com o interruptor aberto não há passagem de corrente elétrica e não existe campo magnético.

Ao fecharmos o interruptor, passa pelo condutor a corrente elétrica. Então, poderemos observar que num dos papéis, as limalhas de ferro serão atraídas pelo condutor, comprovando a existência de um campo magnético. Este campo magnético, obviamente, foi produzido pela corrente elétrica que está passando pelo circuito. E no papel que é atravessado pelo condutor, poderemos observar que as limalhas de ferro que estavam espalhadas de forma desordenada, irão se orientar de acordo com as linhas de força magnética, formando círculos concêntricos. Veja a figura 10.

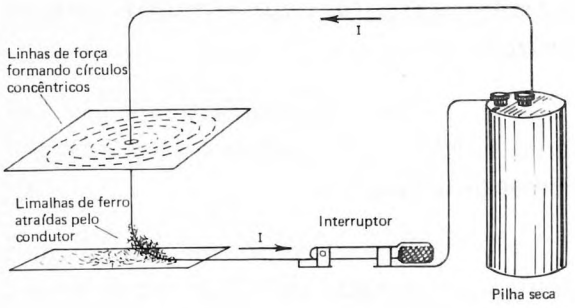


Fig. 10 — Com o interruptor fechado, a corrente elétrica produz um campo magnético que atrai a limalha de ferro de um papel, e no outro papel faz com que elas formem círculos concêntricos.

Esta experiência simples comprova que a passagem de uma corrente elétrica através de um condutor produz um campo magnético, e que as linhas de força magnética formam círculos onde o condutor é o centro.

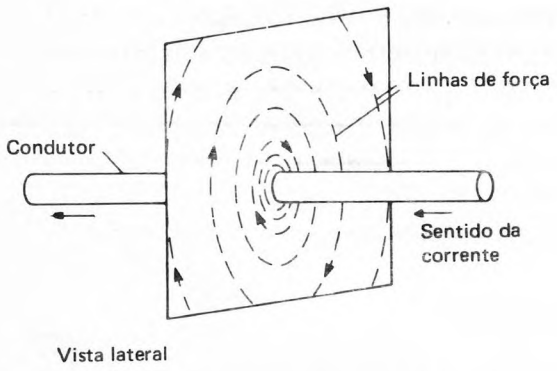


Fig. 11 — Campo magnético em torno de um condutor de corrente elétrica.

Mas surge aqui uma outra questão. Qual é o sentido das linhas de força?

Quando tratamos das linhas de força em um ímã natural, em forma de barra por exemplo, vimos que as linhas de força "viajam" externamente no sentido do polo norte para o polo sul do ímã (veja a figura 2). Mas neste caso, em que as linhas formam círculos, ***como se pode determinar o sentido das linhas de força?***

Ora, o sentido das linhas de força pode ser determinado com o auxílio de pequenas bússolas. As bússolas se alinharão com as linhas de força, de modo que o polo norte indique o sentido das linhas de força magnética.

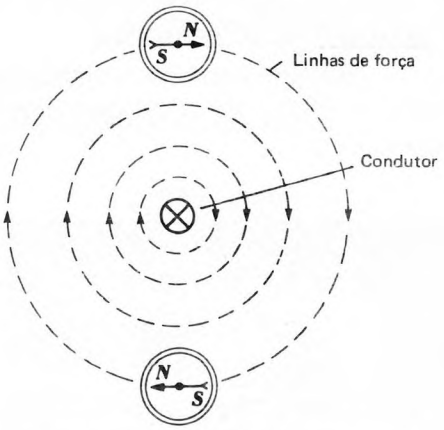


Fig. 12 — Vista frontal do condutor. As bússolas se orientam com as linhas de força. Neste caso a corrente elétrica está "penetrando" no papel, afastando-se do observador.

Observe na figura 12, que as linhas de força estão "girando" no sentido horário, porque a corrente elétrica está se afastando do observador (penetrando no papel). Porém, se a corrente elétrica estiver se movimentando em sentido contrário, ou seja, "saindo" do papel (vindo de encontro ao observador), as linhas de força magnética "giram" no sentido anti-horário.

Veja a figura 13, onde também é apresentado uma visão frontal do condutor. Nesta figura, ao contrário da figura 12, a corrente elétrica está "saindo" do papel.

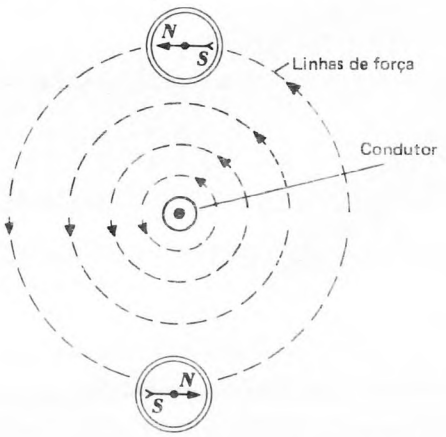


Fig. 13 — Vista frontal do condutor, com a corrente elétrica se movimentando em direção ao observador.

Comparando as figuras 12 e 13, você observa que para a corrente "entrando" no papel foi usado o sinal ⊗ . E para a corrente "saindo" do papel foi usado o sinal ⊙ .

Para se determinar o sentido do campo magnético criado pela passagem de uma corrente elétrica, existe uma regra prática chamada ***"regra do saca-rolha".*** Isto porque ***os movimentos do saca-rolha indicam o sentido do campo magnético,*** indicam o sentido das linhas de força magnética.

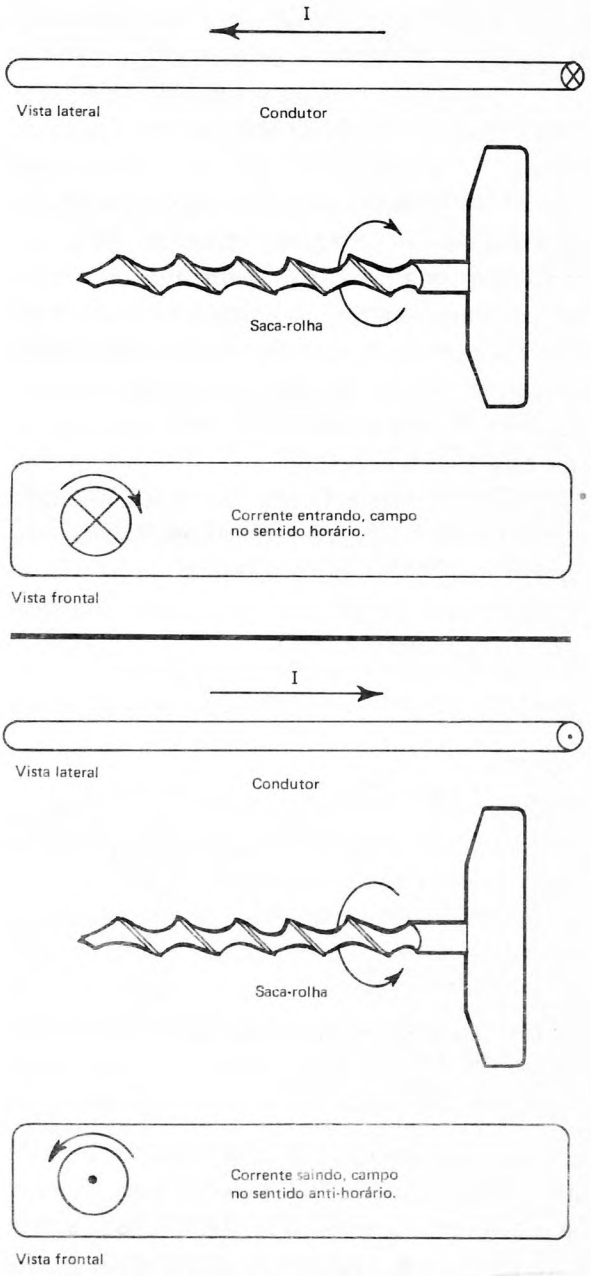


Fig. 14 — Os movimentos do saca-rolha indicam o sentido do campo magnético.

Regra do saca rolha:

- O saca-rolha se movimenta no mesmo sentido da corrente, e gira no mesmo sentido do campo magnético.
- Se o saca-rolha ***girar*** no sentido ***horário,*** ele se afasta de você (mesmo sentido que a corrente). Logo, o sentido do ***campo magnético*** também é o sentido ***horário.***
- Se o saca-rolha ***girar*** no sentido ***anti-horário,*** ele se movimenta em direção à você (mesmo sentido que a corrente). Logo, o sentido do ***campo magnético*** também é o sentido ***anti-horário.***

Para a corrente "entrando" no papel — ⊗ :

Como o saca-rolha deve se movimentar no mesmo sentido da corrente elétrica, ele também deve "entrar" no papel. Logo, terá que se movimentar no sentido horário. Conseqüentemente, para a corrente "entrando" no papel, o sentido do campo magnético é o sentido horário. Veja a figura 12.

Para a corrente "saindo" do papel — ⊙ :

Como o saca-rolha deve se movimentar no mesmo sentido da corrente elétrica, ele também deve "sair" do papel. Logo, terá que se movimentar no sentido anti-horário. Conseqüentemente, para a corrente elétrica "saindo" do papel, o sentido do campo magnético é o sentido anti-horário. Veja a figura 13.

9-Campo magnético de uma solenóide

Você já sabe que a corrente elétrica produz um campo magnético em torno do condutor. No capítulo anterior você estudou este tipo de fenômeno considerando um condutor esticado.

Neste capítulo ainda iremos tratar do campo magnético produzido pela corrente elétrica, porém, considerando o condutor enrolado em forma de espiral.

Inicialmente vamos considerar que o condutor seja curvado de modo a formar um anel, com uma única espira.

Mesmo quando curvado em

ma de anel, o campo magnético produzido pela passagem da corrente elétrica continua existindo, e também é válida a regra do saca-rolha para a determinação do sentido das linhas de força.

Neste caso, em que o condutor forma uma única espira, ***todas as linhas de força tomam a direção do centro da espira.*** Se for colocado um pequeno ímã no interior do anel formado pelo condutor, este ímã tenderá a ficar no centro do anel, orientando os seus polos conforme o sentido da corrente elétrica que atravessa o condutor.

Veja a figura 15. Nessa figura, a corrente que atravessa o condutor produz um campo magnético, onde todas as linhas de força estão em direção ao centro do anel, no sentido de cima para baixo.

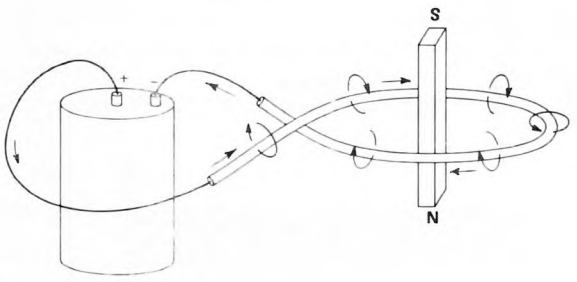


Fig. 15 — Direção das linhas de força ao redor de um condutor espiralado.

Como você pode observar pela figura 15, o pequeno ímã colocado no interior da espira, está centralizado. Além disso, o ímã se orientou de modo que o seu polo norte ficou virado para baixo. A orientação que o ímã apresenta é conseqüência da interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético produzido pela corrente elétrica. ***As linhas de força produzidas pela corrente elétrica estão direcionadas de cima para baixo, enquanto que as linhas de força produzidas pelo ímã estão orientadas em sentido contrário, isto é, de baixo para cima.***

Mas, podemos enrolar um condutor de modo que forme várias espiras, em vez de uma única.

Um enrolamento com várias espiras é chamado de ***bobina.*** Uma das formas mais características da bobina é a ***solenóide*** — um enrolamento em forma cilíndrica, com o comprimento maior que o diâmetro da espira.

A figura 16 apresenta um desenho de uma solenóide.

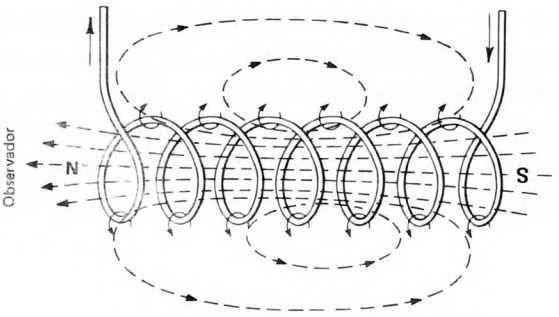


Fig. 16 — Campos magnéticos da Solenóide.

Numa solenóide, cada espira apresenta as respectivas linhas de força. O efeito global, é que todas as linhas de força estão alinhadas no centro da solenóide, reforçando-se mutuamente. Por causa desse reforço mútuo entre as linhas de força no centro da solenóide, ***a solenóide se comporta como um ímã permanente em forma de barra,*** com os polos norte e sul localizados em lados opostos. Observe na figura 16 a indicação dos polos norte e sul da solenóide.

Na parte exterior da solenóide também existe um campo magnético. Mas este ***campo externo é mais fraco que o campo interno,*** porque é produzido pelas mesmas linhas de força, mas espalhadas por todo o espaço externo, enquanto que no centro todas as linhas de força estão concentradas numa pequena região.

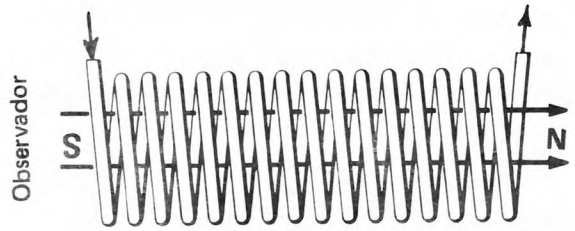


Fig. 17 — Solenóide.

Existem duas regras para se determinar a polaridade magnética de uma solenóide. Nestas duas regras é necessário conhecer a direção da corrente elétrica.

1a. Regra:

Considere um observador olhando por uma das extremidades de uma solenóide.

Se a corrente elétrica fluir no sentido anti-horário (figura 16), a extremidade em que se encontra o observador é o polo norte.

Se a corrente elétrica fluir no sentido horário (figura 17), a extremidade em que se encontra o observador é o polo sul da solenóide.

Uma segunda regra para se determinar a polaridade de uma solenóide, é conhecida pelo nome de ***regra da mão esquerda.***

2a. Regra:

Agarre a solenóide com a mão esquerda, deixando o polegar esticado. Os dedos que agarram a solenóide devem estar apontados para a direção da corrente. Fazendo isso, o polegar estará apontando para o polo sul da solenóide. Veja a figura 18.

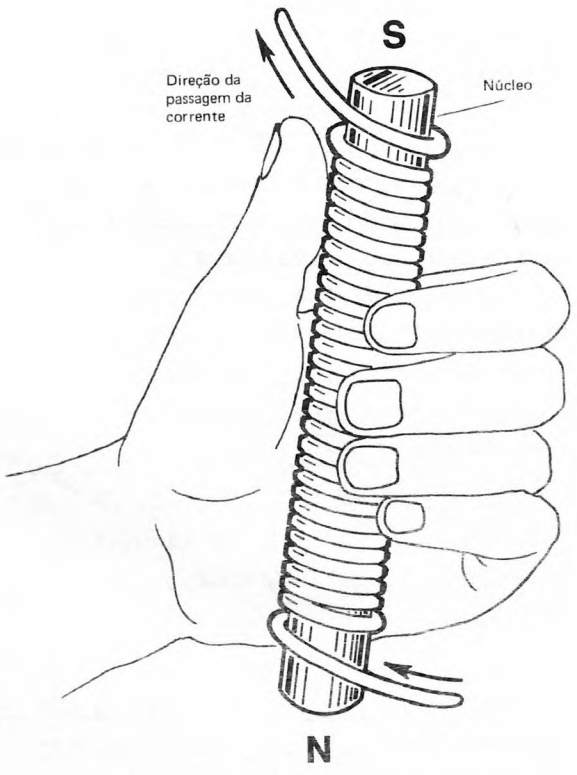


Fig. 18 – Regra da mão esquerda para determinar a polaridade de uma solenóide.

10- Fatores que influem no campo magnético de uma solenóide

Existem muitos fatores que exercem influência na intensidade do campo magnético de uma solenóide. Mas, os três principais são os seguintes:

1°) Número de espiras da solenóide.
2°) Valor da corrente que passa pelas espiras.
3°) Material do núcleo da solenóide.

Para uma determinada construção e uma dada intensidade de corrente, quanto maior o número de espiras, maior será a força-magnetomotriz da solenóide. Em outras palavras, podemos dizer o seguinte:

A força-magnetomotriz de uma solenóide é diretamente proporcional ao número de espiras. Quanto maior o número de espiras, maior a f.m.m..

Mantendo-se a construção de uma solenóide e o número de espiras, podemos alterar a intensidade do campo magnético da solenóide, variando a intensidade de corrente elétrica.

A força-magnetomotriz de uma solenóide é diretamente proporcional à corrente elétrica. Quanto maior a intensidade da corrente, maior a f.m.m. da solenóide.

Desse modo, para conhecermos o valor da força-magnetomotriz de bobinas que apresentem o mesmo tipo de construção, precisamos levar em consideração o número de espiras e o valor da intensidade da corrente, ao mesmo tempo.

Por exemplo: duas bobinas atravessadas por uma mesma corrente podem apresentar f.m.m. diferente, desde que o número de espiras seja diferente.

A figura 19 apresenta a relação entre o número de espiras, intensidade da corrente e a força-magnetomotriz para três bobinas.

Direitos reservados

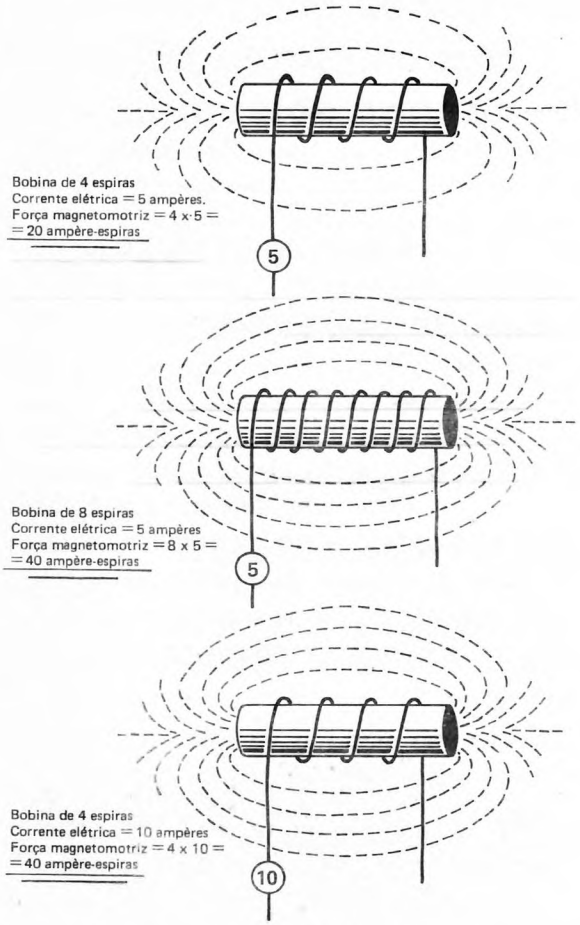


Fig. 19 — Força-magnetomotriz de solenóides.

Além do número de espiras e da intensidade de corrente, outro importante fator pode fazer com que varie a intensidade da f.m.m. de uma solenóide. Este terceiro fator é o ***núcleo da solenóide.***

Se o núcleo de uma solenóide for feito de um material magnético, a f.m.m. da solenóide aumentará consideravelmente. Por exemplo: a f.m.m. de uma solenóide aumentará bastante, se o seu núcleo for feito de ferro doce, que é um material magnético.

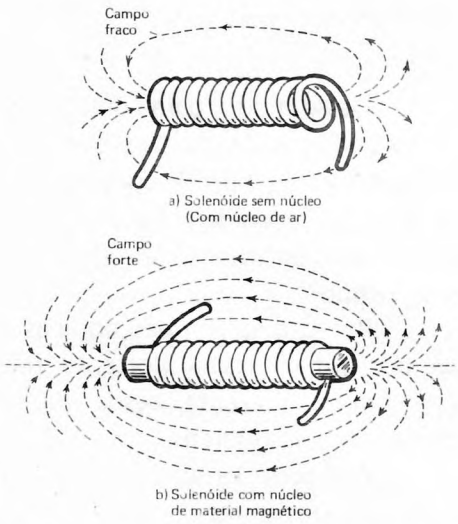


Fig. 20 — Influência do núcleo no campo magnético de uma solenóide.

11 - Indução eletromagnética

Você viu nos capítulos anteriores que uma corrente elétrica produz um campo magnético, quando percorre um condutor. A intensidade desse campo magnético varia com a intensidade de corrente que passa através da bobina, e a direção das linhas de força do campo magnético depende da direção da corrente no condutor.

O efeito contrário também existe. Um campo magnético pode produzir uma corrente elétrica.

Se dentro de um campo magnético for movimentado um condutor pertencente a um circuito fechado, este campo magnético induzirá (causará) uma tensão no condutor. Esta tensão fará com que uma corrente elétrica circule pelo circuito elétrico.

A direção desta corrente produzida pelo campo magnético, depende da direção do movimento do condutor e da polaridade do campo magnético.

A intensidade da tensão e, conseqüentemente, a intensidade de corrente, variam com a ***velocidade do movimento do condutor,*** através do campo magnético. ***Quanto mais rápido for o movimento do condutor, maior a intensidade da tensão induzida e mais forte será a corrente elétrica.***

Indução eletromagnética é o nome que se dá para a indução de uma tensão num condutor, que se move dentro de um campo magnético.

As direções do fluxo magnético, movimento do condutor e corrente elétrica, são perpendiculares entre si, isto é, estas três direções formam ângulos de 90° (ângulos retos). Veja a figura 21.

Direitos reservados

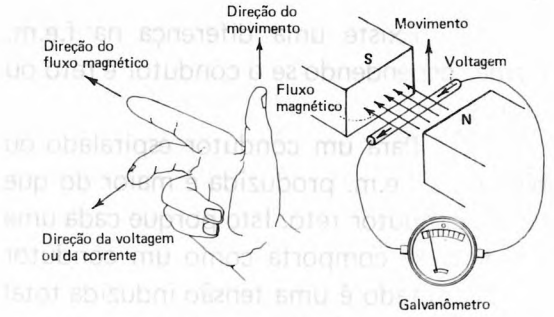


Fig. 21 — Direção do movimento do condutor, do fluxo magnético e da voltagem.

Conforme você pode observar pela figura 21, as ***direções são perpendiculares*** entre si. Para esclarecer melhor esta questão, vamos considerar o seguinte exemplo: quando o ***condutor*** se mover ***para cima*** e o ***fluxo magnético*** estiver dirigido da ***esquerda para a direita,*** a tensão induzida será numa direção tal que produza uma ***corrente que se afasta do observador.***

Observe na figura 21, que o circuito elétrico se completa com um galvanômetro. Como você já sabe, o galvanômetro é um instrumento que indica, por meio da deflexão de um ponteiro, a passagem de pequenas correntes.

Enquanto o condutor estiver se movendo dentro do campo magnético, será induzido uma tensão no condutor, e se o condutor pertencer a um circuito fechado, fluirá corrente. Esta corrente será indicada pelo galvanômetro.

Se um aparelho elétrico estiver ligado a um condutor que se move dentro de um campo magnético, a tensão induzida fornecerá a energia necessária para o funcionamento deste aparelho. Na prática, as tensões induzidas são obtidas através de ***geradores,*** que produzem a maior parte da energia elétrica consumida nas residências e nas indústrias.

12-Efeito gerador da indução eletromagnética

Quando temos um condutor se movimentando dentro de um campo magnético, existe uma relação determinada entre a direção do movimento do condutor, a direção do campo magnético e a direção da corrente elétrica que é induzida no condutor. Se as direções de duas destas grandezas forem conhecidas, a direção da terceira grandeza pode ser determinada através de uma regra. Esta regra é conhecida pelo nome de *"regra da mão direta"* ou *"regra do gerador da indução eletromagnética".*

Regra do Gerador:

Estenda o polegar, o indicador e o dedo médio da mão direita, de modo que fiquem perpendiculares entre si. Aponte o ***polegar*** na direção do ***movimento do condutor*** e o ***indicador*** na direção do ***campo magnético.*** Então, o ***dedo médio*** apontará para a direção da ***corrente*** resultante da tensão induzida.

Esta regra da mão direita está ilustrada na figura 21. Observe que o condutor está se movendo para cima, conforme apontado pelo polegar; o fluxo magnético está dirigido da direita para a esquerda, conforme está sendo apontado pelo indicador. Então, a tensão induzida é tal que a corrente resultante flue em direção ao observador, isto é, para fora do papel, de acordo com a indicação do dedo médio. Observe que a tensão induzida e a corrente têm a mesma direção.

E se o condutor continuar se movendo de baixo para cima, porém, inverter-se o campo magnético? Que direção tomará a corrente?

A direção que a corrente elétrica tomará, será determinada pela regra da mão direita. Observe a figura 22.

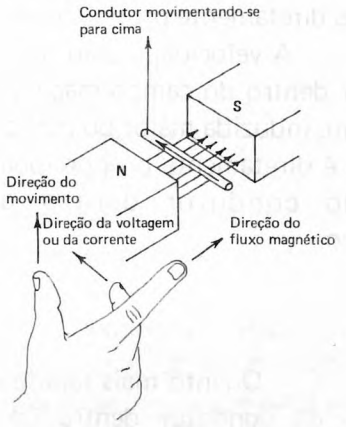


Fig. 22 — Regra do gerador ou da mão direita.

Conforme está ilustrado na figura 22, invertendo-se o campo magnético, a direção da tensão (ou a direção da corrente) será invertida. Nessa figura, o fluxo magnético está dirigido da esquerda para a direita; o movimento do condutor é de baixo para cima. Então, a tensão induzida é tal que a corrente resultante flue afastando-se do observador, isto é, para dentro do papel. Observe que o polegar, o indicador e o dedo médio indicam estas direções, e que elas são perpendiculares entre si.

13-Intensidade da tensão induzida

Quando se fala da ***"indução eletromagnética"***, é mais comum se referir à tensão induzida ou ***f.e.m. (força-eletromotriz)***, do que à corrente elétrica produzida.

O valor dessa força-eletromotriz induzida num condutor que se move dentro de um campo magnético, depende de 3 fatores:

1°) intensidade do campo magnético;
2°) velocidade do movimento do condutor;
3°) comprimento do condutor dentro do campo.

A relação entre o campo magnético e a f.e.m. induzida é a seguinte:

Quanto mais intenso o campo magnético, maior será a f.e.m. induzida; e quanto menos intenso o campo magnético, menor será a f.e.m. induzida.

Portanto, podemos dizer que o campo magnético e a f.e.m. induzida são grandezas diretamente proporcionais.

A velocidade com que se move o condutor dentro do campo magnético produz uma f.e.m. induzida maior ou menor. A f.e.m. induzida é diretamente proporcional à velocidade do condutor dentro do campo magnético.

Quanto mais rápido o movimento do condutor dentro do campo magnético, maior será a f.e.m. induzida.

O terceiro fator que influi na intensidade da f.e.m. induzida é o comprimento do condutor.

Quanto maior o comprimento do condutor dentro do campo magnético, maior a f.e.m. induzida.

Existe uma diferença na f.e.m. induzida, dependendo se o condutor é reto ou espiralado.

Para um condutor espiralado ou bobinado, a f.e.m. produzida é maior do que para um condutor reto. Isto porque cada uma das espiras se comporta como um condutor reto. O resultado é uma tensão induzida total maior para um condutor bobinado, do que para um condutor reto.

Num condutor bobinado, a f.e.m. induzida depende do número de espiras. Quanto maior o número de espiras, maior a f.e.m. induzida.

14-Lei de Lenz

Você viu nos capítulos anteriores que, quando uma corrente elétrica atravessa um condutor, surge em torno desse condutor um campo magnético. A intensidade deste campo magnético produzido pela corrente elétrica, é proporcional à intensidade da corrente.

Por outro lado, você também viu que um campo magnético gera em um condutor que se move, uma tensão induzida. Esta f.e.m. induzida produz o aparecimento de uma corrente elétrica, desde que o condutor faça parte de um circuito fechado. Esta corrente elétrica induzida, por sua vez, produzirá um campo magnético em torno do condutor que por ela é atravessado.

Então, toda vez que um campo magnético produz uma corrente induzida, surge um outro campo magnético que é conseqüência dessa corrente. Vamos agora ver como estes dois campos magnéticos interagem.

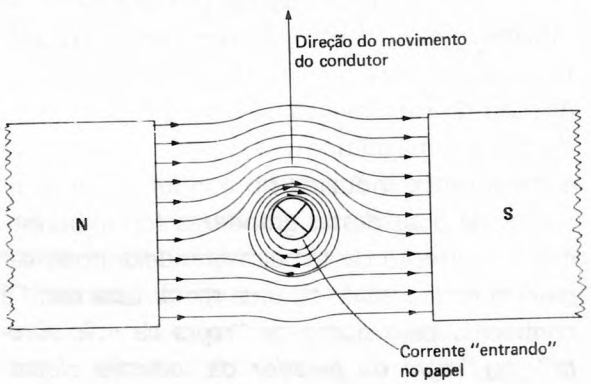


Fig. 23 – Demonstração da Lei de Lenz.

Na figura 23, está esquematizado um condutor que se move de baixo para cima, dentro de um campo magnético, cujo fluxo é da esquerda para a direita. A corrente elétrica induzida que atravessa o condutor, está entrando no papel ou se afastando do observador.

Observe nessa figura a existência de dois campos magnéticos, representados pelas linhas de força. Existem as linhas de força do campo magnético do ímã, que "viajam" do polo norte para o polo sul; e as linhas de força em forma de círculos, circundando o condutor. As linhas de força em torno do condutor, estão "girando" no sentido horário (lembre-se da regra do saca-rolha).

Estes dois campos magnéticos interagem. O resultado dessa interação é mostrado pelas deformações nas linhas de força dos dois campos. As linhas de força em torno do condutor estão espremidas na frente do condutor (lembre-se que o condutor está se movimentando de baixo para cima), e mais espalhadas na parte de trás do mesmo. As linhas de força estão colocadas dessa forma, pois os dois campos magnéticos interagem, resultando numa oposição ao movimento do condutor.

Esta oposição ao movimento do condutor, que aparece como resultado da interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético da corrente induzida, está descrita na Lei de Lenz.

Lei de Lenz:

"Quando uma corrente elétrica for induzida pelo movimento de um condutor dentro de um campo magnético, esta corrente induzida terá uma direção tal que o campo magnético por ela produzido se oporá ao movimento do condutor."

Um experimento que demonstra a interação entre os campos magnéticos de um ímã e aquele gerado pela passagem de uma corrente elétrica através de uma bobina, está mostrado na figura 24.

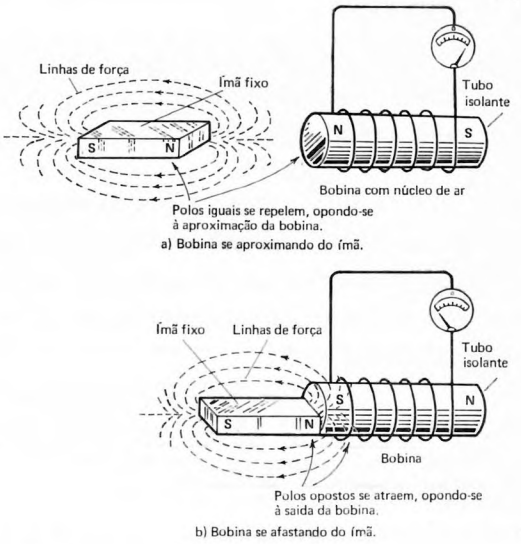


Fig. 24 – Demonstração da Lei de Lenz.

Na figura 24 (a), temos uma bobina se aproximando de um ímã. O campo magnético do ímã induz uma corrente na bobina. Essa corrente induzida tem uma direção tal que o campo magnético por ela gerado se opõe ao movimento da bobina, isto é, existe uma força contrária ao movimento da bobina. Esta força contrária ao movimento da bobina se deve à repulsão entre o campo magnético do ímã e o campo magnético da bobina. A corrente induzida produziu um campo magnético na bobina, de modo que o polo N da bobina ficou voltado para o polo N do ímã. E isso está de acordo com o princípio de que polos iguais se repelem.

Agora, vamos considerar uma situação em que tenhamos um ímã colocado no interior de uma bobina. Se esta bobina se movimentar de modo a se afastar do ímã, uma corrente será nela induzida, produzindo um campo magnético que se oporá ao seu movimento. Esta força contrária ao movimento da bobina se deve à atração entre o campo magnético do ímã e o campo magnético da bobina, pois a corrente induzida tem uma direção tal que o polo S da bobina ficou voltado para o polo N do ímã, e polos opostos se atraem. É isso que está representado na figura 24 (b).

15-Efeito motor da indução eletromagnética

Você já sabe que quando um condutor pertencente a um circuito fechado se move dentro de um campo magnético, uma voltagem é induzida nesse condutor

Direitos reservados

Considere agora que, um condutor sendo atravessado por uma corrente elétrica, seja colocado dentro de um campo magnético.

Como já é do seu conhecimento, existirão dois campos magnéticos: o campo magnético produzido pela passagem da corrente elétrica e o campo magnético onde o condutor foi colocado.

Estes dois campos magnéticos interagem. A interação desses dois campos faz com que o condutor se mova.

Efeito motor da indução eletromagnética é o nome que se dá ao movimento que um condutor percorrido por uma corrente elétrica realiza, quando colocado dentro de um campo magnético. A causa deste efeito motor é a interação entre os campos magnéticos.

Então, toda vez que um condutor for colocado num campo magnético, e pelo condutor estiver passando uma corrente elétrica, ele será deslocado numa ou noutra direção.

E qual será a direção do movimento deste condutor?

Bem, a direção do movimento do condutor dependerá da direção da corrente que o atravessa, e também dependerá da direção do campo magnético onde é colocado.

Existe uma regra prática que permite determinar facilmente a direção do movimento do condutor. Essa regra é conhecida pelo nome de ***regra da mão esquerda*** ou ***regra do motor.***

Regra do Motor:

Estenda o polegar, o indicador e o dedo médio da mão esquerda, de modo que fiquem perpendiculares entre si. Coloque o ***indicador*** apontando para a direção do ***campo magnético,*** e o ***dedo médio*** apontando na direção da ***corrente*** que flue pelo condutor. Então, o ***polegar*** apontará na direção do ***movimento do condutor.***

As posições corretas dos dedos da mão esquerda, para aplicar a regra do motor, estão ilustradas na figura 25.

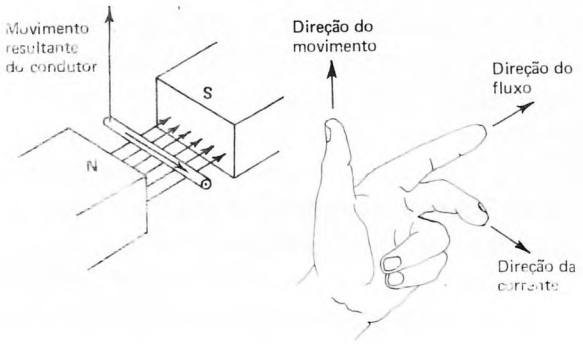


Fig. 25 — Regra do motor ou da mão esquerda, para a determinação do movimento do condutor.

Obviamente, esta regra não serve só para a determinação da direção do movimento do condutor. Como nas regras anteriores, se conhecermos a direção de duas das grandezas, podemos determinar a direção da terceira grandeza, simplesmente pela indicação dos dedos.

Observe na figura 25 que o indicador está apontando na direção das linhas de força do campo magnético, o dedo médio aponta na direção da corrente elétrica que atravessa o condutor, e o polegar está apontando na direção do movimento do condutor, de acordo com a regra da mão esquerda ou regra do motor.

O ***efeito motor da indução eletromagnética*** é usado principalmente em motores elétricos e outros aparelhos, onde os movimentos são produzidos elétricamente.

16-Indutância própria ou auto-indutância

Você já sabe que quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, um campo magnético é produzido em torno desse condutor. A corrente e o campo magnético por ela produzido, são grandezas diretamente proporcionais. Isso significa que se aumentar a corrente, o campo magnético também terá seu valor aumentado; se diminuir a corrente, diminui o campo magnético; e se a corrente permanecer constante, o valor do campo magnético permanecerá constante.

Desse modo, uma variação no valor da corrente que passa por um condutor,

provoca uma variação no campo magnético que circunda o condutor. ***Esta variação no campo magnético, faz com que apareça uma voltagem induzida no próprio condutor.*** E assim, determina-se uma propriedade dos condutores, que recebe o nome de auto-indutância, indutância própria ou simplesmente indutância.

Indutância é o nome que se dá a uma propriedade dos condutores. A indutância é a oposição à variação no fluxo da corrente elétrica, apresentada pelos condutores.

Vamos então considerar um condutor, e variarmos a voltagem que lhe está sendo aplicada. Com a variação da voltagem, existirá também uma variação na corrente, pois voltagem e corrente são grandezas diretamente proporcionais. E com a variação do valor da corrente, teremos também uma mudança no campo magnético produzido por essa corrente. ***Quando houver um aumento no campo magnético, existirá uma voltagem induzida no próprio condutor, de modo a provocar uma oposição à variação no fluxo de corrente elétrica.***

Primeiramente vamos considerar um aumento na voltagem aplicada no condutor. Esta voltagem pode ser aplicada através de uma bateria.

Aumentando-se a voltagem aplicada no condutor, a corrente elétrica terá seu valor aumentado, e isso provoca uma variação no campo magnético produzido pela corrente.

Esta variação no campo magnético faz com que apareça uma voltagem induzida no próprio condutor. Esta voltagem induzida apresenta uma polaridade oposta à voltagem aplicada. E pelo fato de apresentar uma polaridade oposta, a voltagem induzida é chamada de ***contra-voltagem*** ou ***força-contra-eletromotriz.***

A força-contra-eletromotriz (f.c.e.m.) é uma voltagem induzida pelo campo magnético do condutor, quando este sofre uma variação. A f.c.e.m. apresenta uma polaridade oposta à variação da voltagem aplicada, quando a voltagem aplicada é aumentada.

Como neste caso a voltagem está aumentando, a f.c.e.m. atua de modo a frear o crescimento da corrente.

Mas, uma vez que a corrente elétrica no condutor atinja um valor constante, o campo magnético também será constante. E quando o campo magnético se tornar constante, deixará de existir a voltagem induzida, pois esta só aparece com a variação do campo magnético

Então, ***quando não houver variação no campo magnético, a f.c.e.m. cai para zero,*** e a corrente que circula pelo condutor é limitada unicamente pela resistência do condutor.

Se a voltagem aplicada for diminuída, a corrente que flue pelo condutor diminui. Isto provoca uma alteração no campo magnético ao redor do condutor, e então uma voltagem (a f.c.e.m.) é induzida no próprio condutor.

Quando o campo magnético diminui, a voltagem induzida (f.c.e.m.) apresenta a mesma polaridade da voltagem aplicada.

Quando o ***campo magnético diminui,*** a voltagem induzida (f.c.e.m.) apresenta a mesma polaridade da voltagem aplicada. Então, neste caso, a voltagem induzida (f.c.e.m.) atua de modo a fazer com que a corrente seja mantida no mesmo nível original. Observe que, neste caso, a ***f.c.e.m.*** tenta manter a corrente, isto é, está se ***opondo à sua diminuição.***

Como você já deve ter concluído, a f.c.e.m. é sempre "do contra": se a corrente está aumentando, a f.c.e.m. tenta segurá-la, impedindo-a de aumentar; se a corrente está diminuindo, ela tenta aumentá-la, procurando mantê-la no nível original.

Esta tentativa de se manter a corrente que flue por um circuito, pode ser observada quando se abre um interruptor do tipo "chave de faca". Entre os contatos do interruptor, forma-se um arco elétrico, na tentativa de se manter a corrente elétrica.

Todos os condutores apresent

Direi reservados

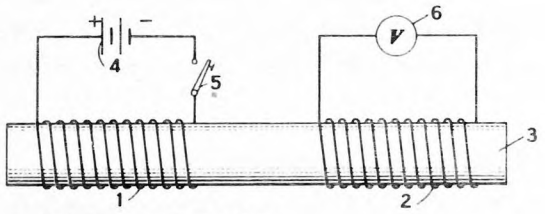
auto-indutância. Todavia, a ***indutância nos condutores retilíneos é desprezível*** na maioria dos casos. Quando se desejar aumentar o valor da indutância, pode-se bobinar, isto é, enrolar o condutor em forma de bobina. ***Muitas espiras, significam alta indutância.***

As bobinas que apresentam alta indutância são chamadas de indutores ou reatores.

17-Indutância mútua

Quando dois condutores, ou bobinas, são fixados próximo um do outro, e faz-se passar corrente elétrica num deles, o campo magnético resultante induzirá uma voltagem no outro condutor.

Vamos observar a figura 26, que apresenta duas bobinas fixadas uma próxima da outra.



1. Bobina — circuito primário
2. Bobina — circuito secundário
3. Núcleo de ferro
4. Bateria
5. Chave
6. Voltímetro

Fig. 26 — Transformador elementar.

Este dispositivo da figura 26 consiste de duas bobinas (1 e 2), enroladas sobre o mesmo núcleo de ferro (3). A bobina 1 é chamada de primário. Esta bobina é conectada a uma bateria (4) por meio de uma chave (5). Através da bobina 2, chamada de secundário, está ligado um voltímetro (6).

Quando a chave for fechada, a corrente elétrica fluirá através do primário, começando do zero e crescendo até o valor máximo. Esta corrente produz um campo magnético, que cresce na mesma proporção da corrente e que se espalha e envolve o secundário. Como o campo magnético passa através das espiras do secundário, sua variação induzirá uma voltagem nesta bobina. Conseqüentemente, uma corrente induzida circulará pela bobina 2.

Observe que a voltagem inicial para todo o dispositivo, é fornecida pela bateria. Logo, trata-se de uma ***voltagem CC.***

Por se tratar de uma voltagem CC, esta voltagem somente produzirá uma alteração no campo magnético, quando a chave for aberta ou fechada. Desse modo, ***a voltagem será induzida no secundário somente nos breves momentos que seguem a abertura ou fechamento da chave.***

Quando a chave for fechada, a momentânea voltagem induzida no secundário terá uma determinada polaridade ou sentido. Por outro lado, quando a chave for aberta, a voltagem induzida no secundário terá uma polaridade oposta a aquela apresentada quando a chave for fechada.

Se a voltagem no primário variar continuamente, como ocorre num circuito de corrente alternada, ***a voltagem induzida no secundário existirá sempre,*** isto é, enquanto a voltagem no primário variar.

A ***indutância mútua*** é um efeito da indução eletromagnética que existe entre dois condutores, ou bobinas, conduzindo correntes elétricas. Quando a voltagem variar no circuito primário, uma voltagem será induzida no circuito secundário, através da variação do campo magnético.

O dispositivo apresentado na figura 26 é um ***transformador*** elementar. O transformador é usado para estabelecer uma ligação entre circuitos de corrente alternada, transferindo a energia de um circuito para outro. Pode também alterar as relações de tensões entre circuitos de corrente alternada.

Os fatores que influem no valor da voltagem induzida no secundário, serão tratados nas lições seguintes.

Exame

MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO
REFERÊNCIA 014

Observações Para o Aluno

- Antes de responder as questões você deverá ter feito um estudo minucioso e completo desta lição.
- Agora, leia cada questão até compreender bem o que se pede.
- Cada questão apresenta várias soluções. Apenas uma solução é correta.
- Em cada questão indique a solução que você julgar correta e, a seguir, transcreva, com atenção, as suas respostas para a Folha de Respostas, anexa.

1. A atração dos ímãs é:
   a) uniformemente distribuida em toda sua superfície.
   b) concentrada nas bordas.
   c) concentrada nas extremidades opostas.
   d) concentrada no centro geométrico.

2. A Terra é um ímã gigantesco. Então:
   a) não tem polos magnéticos, pois a Terra é redonda.
   b) o polo sul magnético está localizado próximo ao polo norte geográfico.
   c) o polo norte magnético coincide, aproximadamente, com o polo norte geográfico.
   d) os polos magnéticos estão distribuidos alternadamente ao longo do Equador.

3. A regra de atração e repulsão magnética diz:
   a) atrai ou repele dependendo do polo do ímã.
   b) atrai sempre que se aproxima de um polo norte.
   c) polos iguais se repelem e polos diferentes se atraem.
   d) polos iguais se atraem e polos diferentes se repelem.

4. Uma das aplicações mais importantes do magnetismo é:
   a) o compasso.
   b) a bússola.
   c) o binóculo.
   d) o goniômetro.

5. As linhas de força magnética são:
   a) linhas de força que passam pelo centro do ímã.
   b) linhas imaginárias que indicam a direção da força magnética.
   c) linhas imaginárias que ligam os dois polos.
   d) linhas de força que vão do polo sul para o polo norte.

6. O fluxo magnético é equivalente a:
   a) corrente do circuito elétrico.
   b) voltagem do circuito elétrico.
   c) diferença de potencial elétrico.
   d) conjunto de linhas de força elétrica.

7. Permeabilidade de um material é:
   a) o mesmo que magnetismo residual.
   b) a propriedade de adquirir magnetismo.
   c) o contrário de resistência.
   d) o contrário da relutância.

8. As armaduras servem para:
   a) proteger os ímãs contra a poeira.
   b) proteger os fluxos magnéticos contra a ação de campos elétricos.
   c) orientar ou facilitar a passagem do fluxo magnético.
   d) incrementar a produção do fluxo magnético.

9. A corrente elétrica que percorre um condutor produz:
   a) fluxo magnético dentro do condutor.
   b) campo magnético ao redor do condutor.
   c) anéis de corrente em torno do condutor.
   d) tensão residual no espaço em volta do condutor.

10. Uma solenóide serve para:
   a) reforçar as linhas de força magnética.
   b) reforçar o magnetismo remanente.
   c) reforçar as linhas de força elétrica.
   d) espalhar as linhas de força pelo espaço à sua volta.

11. O campo magnético de uma solenóide:
   a) depende da polaridade da corrente.
   b) depende do material do fio.
   c) depende do número de espiras, do valor da corrente e do material do núcleo.
   d) depende do número de espiras, da polaridade da corrente e do material do núcleo.

12. O campo magnético de uma determinada solenóide depende:
   a) da polaridade do campo e do número de espiras.
   b) do número de espiras e da polaridade da corrente.
   c) da tensão induzida.
   d) do valor da corrente que circula pelas espiras.

13. A indução eletromagnética é:
   a) o efeito de encontrar um ímã em outro.
   b) o aparecimento de um campo magnético num condutor percorrido por uma corrente.
   c) o aparecimento de uma tensão num condutor fixo dentro de um campo magnético.
   d) o aparecimento de uma voltagem num condutor que se move dentro de um campo magnético.

14. Aplicando-se uma corrente num condutor colocado dentro de um campo magnético:
   a) o condutor fica magnetizado.
   b) o condutor não sofre nada.
   c) o condutor se move sempre para cima.
   d) o condutor se move conforme as polaridades do campo e da corrente.

15. O valor da tensão induzida, entre outras coisas, depende:
   a) da intensidade do campo magnético, através do qual se move o condutor.
   b) das polaridades do campo e da corrente.
   c) da intensidade da corrente e da polaridade do campo magnético.
   d) da polaridade da corrente e da intensidade do campo magnético.

16. O campo magnético estabelecido pela tensão induzida é:
   a) oposto à direção da corrente induzida.
   b) oposto ao campo magnético que produziu a indução.
   c) coincidente com a direção da corrente induzida.
   d) coincidente com o campo magnético que produziu a indução.

17. Passando corrente por um condutor colocado num campo magnético:
   a) os campos sempre se somam.
   b) os campos sempre se anulam.
   c) os campos interagem, forçando o condutor a se mover.
   d) os campos interagem, aumentando a corrente.

18. A indutância é um dos efeitos da indução eletromagnética que:
   a) aumenta a corrente no condutor.
   b) diminui o deslocamento do condutor.
   c) se opõe à mudança na direção do condutor.
   d) se opõe à mudança na corrente do condutor.

Direitos reservados