

ELETROMAGNETISMO

1_ CONCEITOS INICIAIS

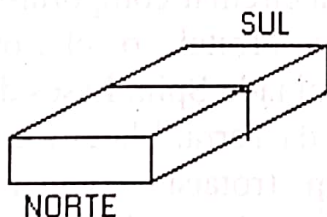
Há séculos, os seres humanos observavam que determinadas pedras atraíam o ferro ou outras pedras semelhantes. Essas pedras receberam o nome de ímãs, e as propriedades que se manifestam espontaneamente na natureza foram denominadas fenômenos magnéticos.

Hoje sabemos que essas pedras contêm óxido de ferro ($\text{Fe}_3 \text{O}_4$), a magnetita, que é um ímã natural. Atualmente são mais utilizados ímãs artificiais que são obtidos a partir de determinados processos (imantação).

Os principais fenômenos magnéticos são os seguintes:

I – quando se coloca um ímã em contato com fragmentos de ferro (limalha), nota-se que estes não aderem a ele em toda a sua extensão, mas em determinadas regiões. No caso de um ímã em forma de barra, essas regiões, próximas das extremidades, são denominadas pólos. Qualquer ímã possui dois pólos.

II – suspendendo-se um ímã de modo que ele possa girar livremente, ele assume, aproximadamente, a direção norte-sul geográfica do local. Denomina-se pólo Norte (N) do ímã a região que se volta para o norte geográfico, e pólo Sul (S), a região que se volta para o sul geográfico. Para que as indicações dos pólos sejam mais fácil, costuma-se pintar os pólos com cores diferentes. Essa propriedade dos ímãs propiciou aos chineses a invenção da bússola.



VERIFICA-SE QUE:

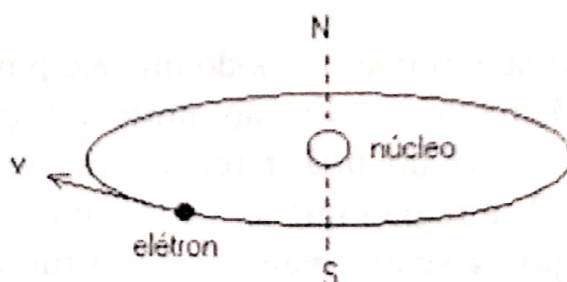
PÓLOS DE MESMO NOME SE REPELEM E DE NOMES DIFERENTES SE



2_ A ORIGEM DAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DOS MATERIAIS

Para forma-se uma teoria das propriedades magnéticas da matéria lancemos mão do modelo atômico clássico, que considera o átomo como sendo uma minúscula partícula formada por um núcleo central dotado de carga positiva e, em torno do núcleo, uma região denominada eletrosfera composta de elétron(s) que gira(m), carga negativa, em torno do núcleo.

Um elétron girando em torno do núcleo gera um campo magnético, ou seja, um "ímã elementar", e seus pólos podem ser determinados pela regra da mão direita. **Apêndice 1**



Cada elétron em órbita circular comporta-se como se fosse um ímã.

Além do movimento orbital, o elétron apresenta também um movimento de rotação, denominado Spin. Esses dois movimentos podem ser comparados aos movimentos da Terra. Ela gira em torno do Sol (movimento orbital) e em torno de si mesma (rotação, comparado ao spin do elétron).

Esse movimento de rotação também confere pólos magnéticos ao elétron.

Os orbitais são regiões da eletrosfera de diversas formas geométricas, em que há maior chance de se encontrar elétrons. Cada orbital pode conter no máximo dois elétrons e, quando já tem dois elétrons, dizemos que o orbital está completo.

Os elétrons de um orbital sempre possuem Spin oposto. Por isso, num orbital completo, não há contribuição para o campo magnético.

CONCLUSÃO:

O CAMPO MAGNÉTICO DE UM ÁTOMO É GERADO PELO MOVIMENTO ORBITAL DOS ELÉTRONS E, PRINCIPALMENTE, PELOS SPINS DOS ELÉTRONS NOS ORBITAIS INCOMPLETOS.

2.1_ MATERIAIS FERROMAGNÉTICOS

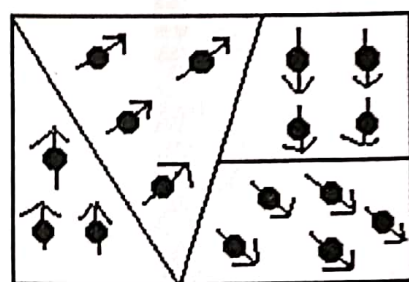
São materiais que se imantam consideravelmente quando submetidos a um campo magnético. Além disso, esses materiais são fortemente atraídos por ímãs.

EX: ferro, cobalto, aço, ligas metálicas, níquel e etc.

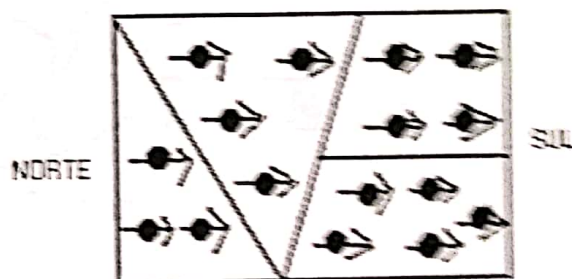
Nos materiais ferromagnéticos, cada átomo apresenta um campo magnético relativamente forte causado pelos seus elétrons não emparelhados em seus orbitais incompletos.

Existem forças interatômicas que obrigam os átomos a ficarem emparelhados e concordantes formando os chamados domínios.

Nos materiais ferromagnéticos virgens, isto é, que nunca foram imantados, esses domínios estão desorganizados de tal forma que o campo magnético resultante é desprezível. Mas, quando submetidos a um campo magnético, eles entram em concordância apresentando-se imantados.



MATERIAL VIRGEM



MATERIAL IMANTADO

O ferro é um bom exemplo. Na presença de um ímã ele torna-se imantado, seus domínios, antes desorganizados, organizam-se e, então, ele passa a ser um ímã temporário. Entretanto, quando o campo magnético é afastado, seus domínios retornam às suas posições de origem e ele deixa de atuar como ímã, permanecendo apenas uma imantação residual desprezível.

O aço é um outro exemplo de material que se imanta na presença de um campo magnético, porém sua imantação residual não é desprezível. Esse fato possibilita a criação de ímãs artificiais permanentes. Esse processo é denominado histerese magnética.

2.2_ PONTO CURIE

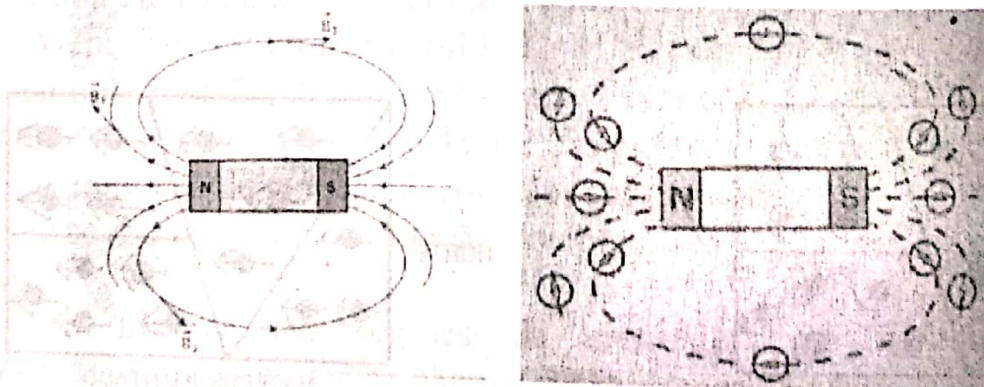
Um ponto de temperatura a partir do qual o material perde suas propriedades magnéticas.

3_ CAMPO MAGNÉTICO

Qualquer região ou matéria em que são observados efeitos magnéticos é denominado campo magnético.

Pode-se tomar conhecimento de um campo magnético com o auxílio de uma bússola ou de um fio conduzindo corrente elétrica. Quando o campo magnético existe, age uma força sobre a agulha magnética forçando-a a mudar de posição. No caso do fio, o campo magnético atua sobre as cargas em movimento no mesmo, obrigando-as a mudar de direção, o que, por sua vez, provoca o deslocamento do fio.

3.1_ REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CAMPO MAGNÉTICO



Na região externa de um ímã, as linhas de campo orientam-se do pólo norte para o pólo sul.

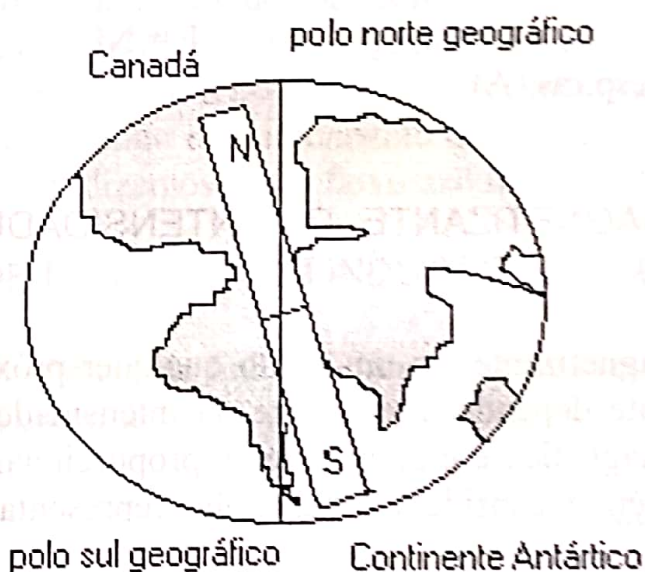
4_ MAGNETISMO TERRESTRE

A Terra é um gigantesco (porém relativamente muito fraco) ímã. A ação do campo magnético sobre pequenas agulhas imantadas que giram livremente sobre o eixo (as bússolas) permite um traçado de sua forma e um conhecimento da sua direção e sentido.

Quando o campo magnético da Terra age sobre uma bússola, os extremos desta ficam apontados aproximadamente para os pólos norte e sul geográfico, e por esse motivo são chamados respectivamente de pólo norte e sul.

A ação do campo magnético terrestre sobre a bússola não se faz sentir apenas no plano horizontal, fazendo-a deslocar-se para estacionar na direção norte-sul da Terra. Verifica-se também que a bússola apresenta uma inclinação em relação à horizontal do lugar em que está situada, dando-se ao ângulo em apreço a denominação de inclinação magnética.

A direção norte-sul verdadeira não corresponde perfeitamente à indicada por uma bússola. O ângulo formado pelas duas direções é a declinação magnética.



5_ GRANDEZAS MAGNÉTICAS FUNDAMENTAIS

5.1_ FORÇA MAGNEMOTRIZ (F)

Orested foi o primeiro homem a observar que uma corrente elétrica pode dar origem ao magnetismo, mostrando que há estreita relação entre magnetismo e eletricidade. Sua experiência foi simples: fazendo passar uma corrente elétrica por um condutor, pôde notar que isso provocava o deslocamento de uma bússola próxima do mesmo, e que o sentido e a intensidade do movimento da bússola estavam relacionados com o sentido e a intensidade da corrente elétrica.

Chamamos de força magnetomotriz (f.m.m) à causa do aparecimento de um campo magnético. No condutor percorrido por uma corrente elétrica, a força magnetomotriz é a própria corrente elétrica.

$$F = I$$

Unidade: Ampère (A)

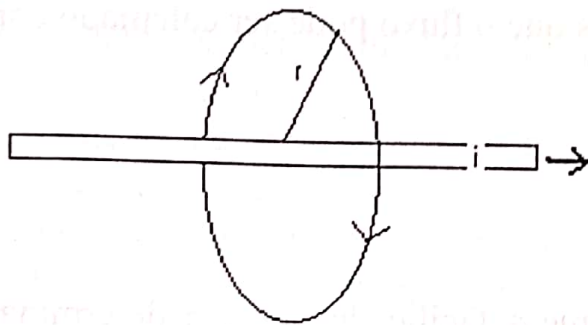
No caso de o condutor for uma bobina, a força magnetomotriz será a corrente vezes o número de espiras

$$F = NI$$

Unidade: Ampère-espiras (A)

5.2_ FORÇA MAGNETIZANTE OU INTENSIDADE DO CAMPO MAGNÉTICO (H)

A força magnetizante em um ponto qualquer próximo do condutor que conduz corrente depende diretamente da intensidade da corrente que produz o campo magnético e é inversamente proporcional ao comprimento do caminho magnético considerado (caminho representado por linhas de força).



$$H = \frac{NI}{L}$$

Conclui-se da relação acima que:

$$H = \frac{F}{L}$$

Unidade: Ampère/metro (A/m)

OBS: Para um condutor retilíneo cilíndrico, o campo magnético gerado ao seu redor é circular, assim o caminho L é comprimento de uma circunferência, podendo ser escrito como: $L = 2\pi r$, onde r é o raio, ou seja, a distância do condutor a um ponto qualquer no espaço.

5.3_ FLUXO MAGNÉTICO (Φ)

É o número de linhas usados na representação do campo magnético. A unidade de fluxo é o WEBER (Wb). Quando um condutor é submetido a um campo magnético e este é feito variar do valor máximo a zero, no tempo de um segundo, provocando o aparecimento de uma d.d.p. de 1 V entre os terminais do condutor, dizemos que o fluxo máximo é de 1 WEBER.

5.4_ DENSIDADE DE FLUXO OU INDUÇÃO MAGNÉTICA (B)

Trata-se do número de linhas de força que atravessam uma seção do campo de área (A) unitária.



$$B = \frac{\Phi}{S}$$

Unidade: Tesla (T)

N _ reta normal à área em questão.

θ _ ângulo formado entre a reta normal e o vetor indução magnética

Da relação acima tiramos que o fluxo pode ser calculado como: $\Phi = B.S. \cos \theta$

5.5_ PERMEABILIDADE (μ)

A permeabilidade exprime a facilidade que um determinado meio, com dimensões (comprimento e área de seção transversal) unitárias, oferece ao estabelecimento de um campo magnético. Essa grandeza é expressa pela relação:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

que é constante em meios não magnéticos, porém apresenta variações em meios magnéticos.

Quando um campo magnético é estabelecido no vácuo, a relação acima tem o valor: $4.\pi \times 10^{-7}$. Esse valor é conhecido como permeabilidade absoluta do vácuo, sendo designado por μ_0 .

As permeabilidades dos outros meios são sempre comparadas com a do vácuo, e os números resultantes dessas comparações são denominados de permeabilidades relativas desses meios (μ_r).

A permeabilidade relativa é expressa por:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

μ = permeabilidade de um material qualquer
 μ_0 = permeabilidade do vácuo
 μ_r = permeabilidade relativa do material

A permeabilidade do vácuo e de um meio qualquer são dadas em unidades conhecidas como Henry/metros (H/m). A permeabilidade relativa é adimensional, ou seja, não tem unidade.

5.6_ PERMEÂNCIA (P)

Permeância é a facilidade que um meio qualquer oferece ao estabelecimento de um campo magnético.

Esta grandeza depende:

- a) Diretamente da permeabilidade do meio em que está sendo criado o campo magnético;
- b) Diretamente da área da secção transversal do corpo em que está sendo criado o campo magnético;
- c) Inversamente do comprimento do corpo (ou região) em que está sendo criado o campo magnético.

S = área da secção transversal do corpo, dado em metros quadrados

$$P = \frac{\mu S}{L} \quad L = \text{comprimento do corpo em questão. Dado em metros}$$

μ = permeabilidade de um material qualquer

Unidade: Weber/Ampère-espira (Wb/A)

5.7_ RELUTÂNCIA (R)

Relutância é o inverso da permeância; corresponde à dificuldade oferecida por um meio qualquer ao estabelecimento de um campo magnético.

$$R = \frac{1}{P} = \frac{L}{\mu S}$$

Unidade: Ampère-espira/Weber (A/Wb)

5.8_ “LEI DE OHM” PARA O MAGNETISMO

A permeabilidade de um material ferromagnético não é constante, mas, para materiais paramagnéticos a permeabilidade é constante, e assim é possível determinar o fluxo que será estabelecido nos mesmos por uma determinada força magnetomotriz desde que se conheça sua relutância. Nestes materiais verifica-se que o fluxo magnético produzido é diretamente

proporcional à força magnetizante e inversamente proporcional à sua relutância.

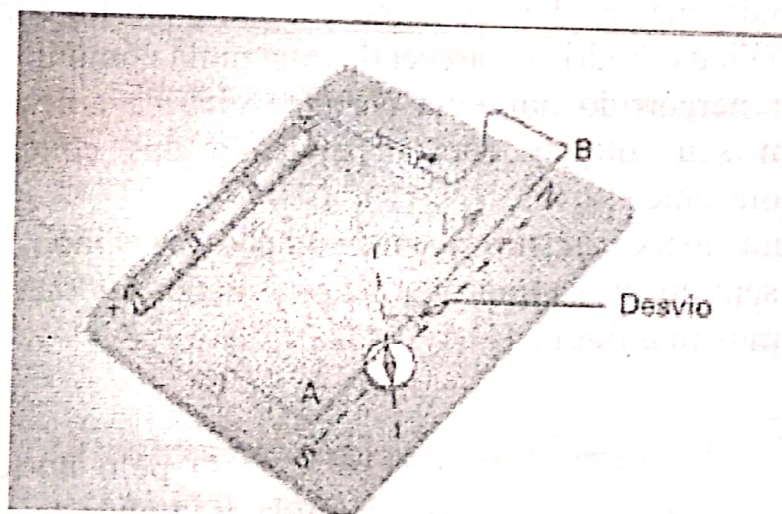
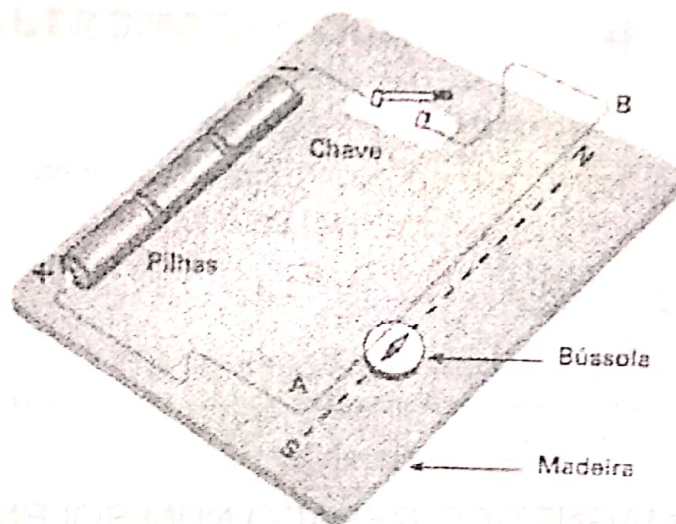
$$\Phi = \frac{F}{R}$$

Este enunciado é conhecido como “lei de Ohm” para o magnetismo.

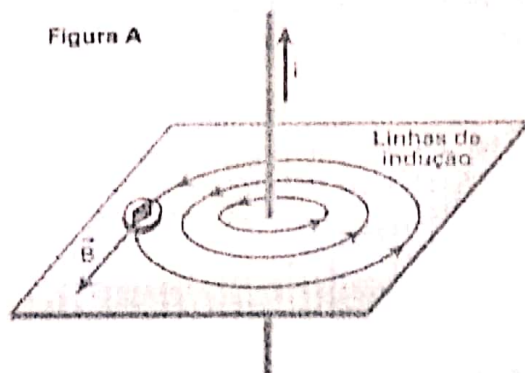
Como nos materiais magnéticos a relutância não é constante e depende da força magnetomotriz, esta relação não pode ser usada para prever o fluxo que será produzido por uma determinada f.m.m., ficando sua aplicação restrita à determinação do fluxo provocado por uma certa f.m.m quando é conhecida a relutância correspondente.

6_ CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR CORRENTE ELÉTRICA

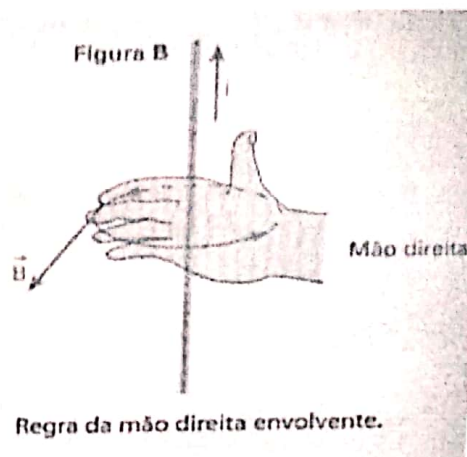
Em 1820, o dinamarquês Hans Cristian Oersted (1777-1851), professor de física da universidade de Copenhague, mostrou experimentalmente que o fenômeno elétrico não era tão independente, como se supunha até então, dos fenômenos magnéticos. Oersted descobriu que um fio percorrido por uma corrente elétrica, colocado próximo de uma bússola, era capaz de provocar desvio na agulha magnética. Dessa maneira comprova-se a ligação entre eletricidade e magnetismo.



A figura acima a esquerda mostra um circuito com a chave aberta, com isso não há corrente elétrica e a bússola mantém sua direção norte-sul orientada pelo campo magnético terrestre. Já na figura à direita, o circuito encontra-se fechado com uma corrente (i) circulando. Essa corrente no fio, gera em torno do mesmo, um campo magnético circular, onde o seu sentido pode ser dado pela regra da mão direita, como mostra a figura abaixo.



O vetor $\vec{B}$ é, em cada ponto, tangente a uma linha de indução e tem o sentido indicado por ela.



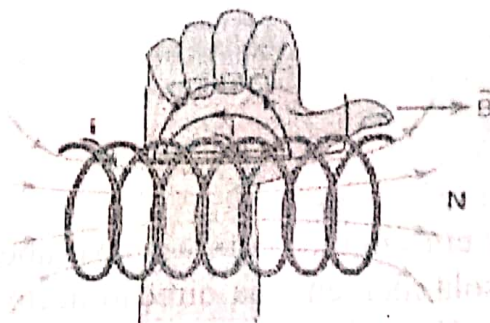
Regra da mão direita envolvente.

6.1_ CAMPO MAGNÉTICO GERADO NUM SOLENÓIDE

Solenóide, mas conhecido como bobina, é um fio condutor enrolado em forma de hélice cilíndrica, parecendo uma mola comum.

Ao ser percorrido por uma corrente elétrica apresenta um campo magnético em seu interior que, dependendo das condições pode ser considerado constante.

A figura abaixo mostra a configuração do campo magnético num solenóide. O sentido do campo magnético é dado por outra regra da mão direita, como mostra a figura.



O pólo norte apresenta-se na saída das linhas de campo e o pólo sul na entrada.

A relação entre as grandezas presentes no fenômeno de indução magnética e a intensidade do campo magnético é dada por:

$$B = \frac{\mu n i}{L}$$

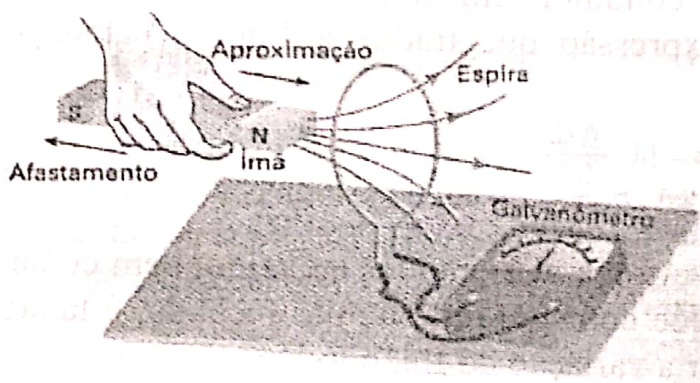
onde n é o número de espiras e L é o comprimento de solenóide.

7_ INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A figura abaixo mostra uma espira imersa num campo magnético gerado por um ímã natural. Sempre que houver variação do fluxo de indução através da espira, surgirá nela uma corrente elétrica. A corrente que surge é denominada corrente induzida, e o fluxo que a produziu, fluxo indutor.

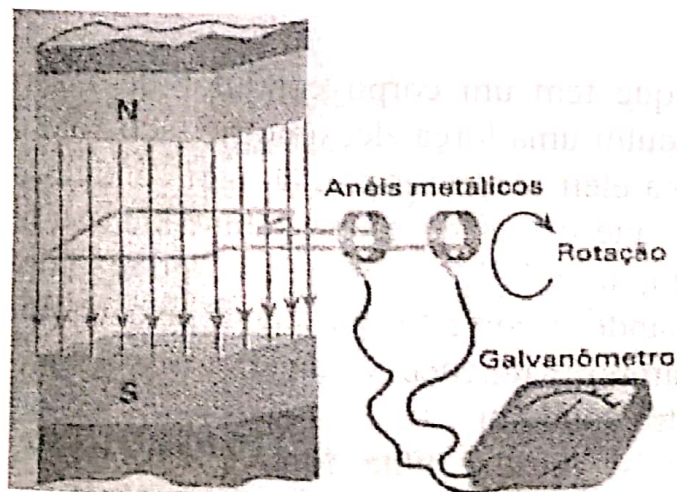
É preciso salientar que a corrente induzida só existirá enquanto o fluxo estiver variando.

A seguir são apresentadas algumas maneiras de se produzir corrente induza.



Veja, na figura ao lado, um ímã e uma espira condutora, conectada a um galvanômetro.

O zero desse galvanômetro está no centro de sua escala. Ao aproximar ou afastar o ímã da espira condutora, o ponteiro do galvanômetro se defletirá para



Fazendo a espira girar, variamos o ângulo entre B e a reta normal a ela. Como consequência, varia o fluxo através da espira e surge uma corrente induzida. Por outro lado, se a espira permanecer em repouso, não haverá variação de fluxo nem corrente induzida.

7.1_ LEI DE LENZ

Até aqui, foi visto que a variação de fluxo num circuito fechado induz uma corrente elétrica nesse circuito. Alguns resultados experimentais levaram o físico russo Heinrich Lenz (1804-1865) a uma descoberta da lei que leva o seu nome. A Lei de Lenz pode ser enunciada da seguinte maneira:

A corrente induzida surge num sentido tal que produz um fluxo induzido em oposição à variação do fluxo indutor que lhe deu origem.

Suponha definido o fluxo de indução através de um condutor. A força eletromotriz induzida nesse condutor, em determinado intervalo de tempo t , é dada pela seguinte expressão que traduz a Lei de Faraday-Neumann:

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

Essa expressão mostra que a força eletromotriz induzida, bem como a corrente induzida, no condutor que constitui um circuito fechado, é tanto mais intensa quanto mais rápida for a variação do fluxo indutor.

7.2_ AUTO – INDUTÂNCIA

Indutância é a propriedade que tem um corpo condutor de fazer aparecer em si mesmo ou noutro condutor uma força eletromotriz induzida.

Para que seja criada uma força eletromotriz induzida num condutor, é necessário, como já foi estudado, que o mesmo esteja submetido a um campo magnético variável. Portanto, a indutância de um corpo é uma propriedade que só se manifesta quando a corrente que passa pelo corpo varia de valor, o que produz um campo magnético variável, ao qual está submetido o próprio corpo ou um outro condutor.

Quando o corpo induz em si mesmo uma força eletromotriz, chamamos o fenômeno de auto-indução e dizemos que o corpo apresenta auto-indutância. A força eletromotriz induzida neste caso é conhecida também como força contra-eletromotriz (f.c.e.m.).

$$L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta i}$$

num condutor

$$L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta i}$$

numa bobina

FATORES QUE DETERMINAM A AUTO – INDUTÂNCIA

Quando uma bobina é utilizada como componente de um circuito, quase sempre está se fazendo uso de sua indutância; é por este motivo que é chamada comumente de indutor.

O coeficiente de auto-indutância de uma bobina depende do quadrado do número de espiras e da relutância do meio em que é criado o campo magnético da mesma. Assim temos:

$$L = \frac{\mu N^2 S}{l}$$

L = coeficiente de auto-indutância, em Henrys (H)

N = número de espiras na bobina

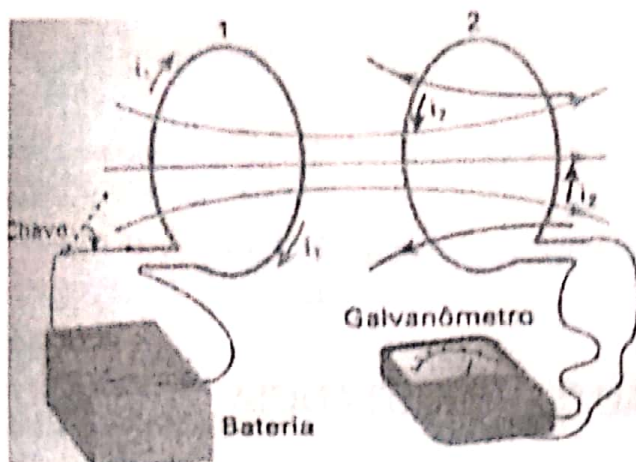
S = seção transversal do circuito magnético, em metros quadrados

μ = permeabilidade do meio em que é criado o campo

l = comprimento do circuito magnético da bobina

7.3_ INDUTÂNCIA MÚTUA

Sempre que dois condutores são colocados um próximo do outro, mas sem ligação entre eles, há o aparecimento de uma tensão induzida num deles, quando a corrente que passa pelo outro é variada.



O número que exprime a possibilidade que um condutor tem de induzir uma força eletromotriz em outro é o coeficiente de indutância mútua (M)

$$M = \frac{\mu N_A N_B S}{l}$$

N_A = número de espiras na bobina da bobina A

N_B = número de espiras na bobina da bobina B

7.3_ COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO

Chamamos de coeficiente de acoplamento (K) à percentagem do fluxo produzido por uma das bobinas que é aproveitada pela Outra, isto é, que vai influir na produção de uma força eletromotriz induzida na outra.

O acoplamento magnético (ligação entre dois circuitos por meio de um campo magnético) depende da distância entre as duas bobinas e da posição de uma em relação à outra. O coeficiente de acoplamento é sempre menor que 1 (100%) e pode ser nulo (se uma bobina não estiver submetida ao campo magnético da outra ou se o enrolamento estiver colocado em ângulo reto com a direção do campo na bobina indutora — a que produz o campo).

Calculamos o valor de K pela seguinte relação:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_A L_B}}$$

equação para casos reais

$$M = \sqrt{L_A L_B}$$

equação utilizada para casos ideais cujo acoplamento é de 100%

A indutância é uma propriedade de todos os condutores, podendo ser útil ou prejudicial; no segundo caso é necessário eliminar (ou pelo menos reduzir) os seus efeitos. Tal é o caso dos resistores de fio, cuja função é limitar a corrente no circuito pela ação somente de sua resistência, mas que, quando é percorrido por correntes variáveis, limita ainda mais a corrente, em consequência de sua indutância (auto-indutância).

Um corpo pode apresentar pequena ou grande indutância, conforme suas características físicas.

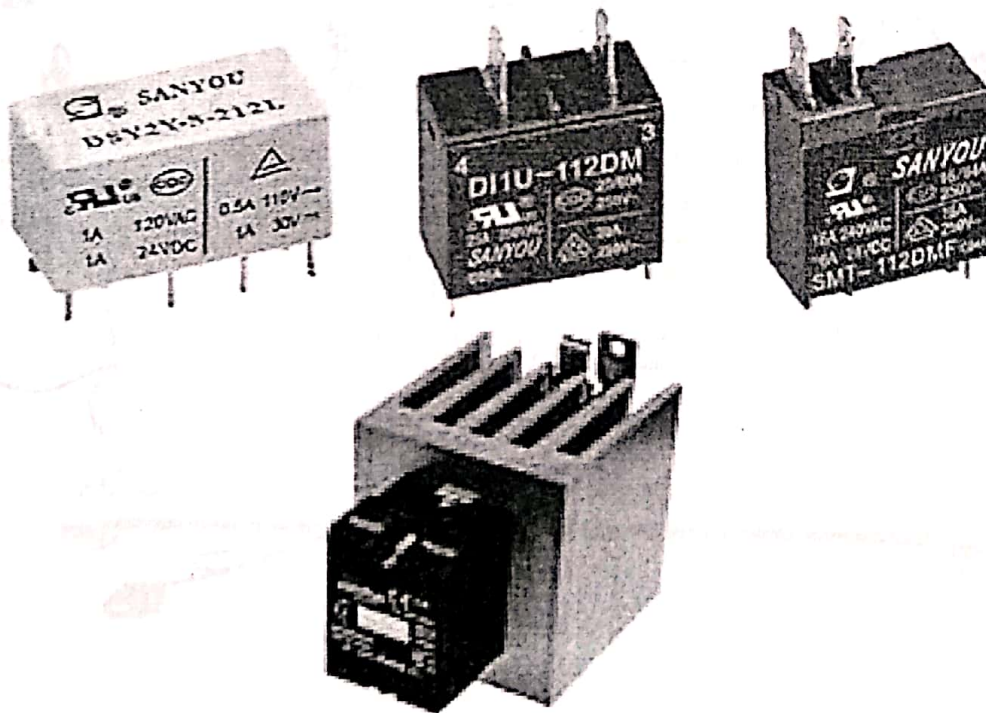
Como unidade de indutância foi escolhido o HENRY (H).

Um corpo condutor tem uma auto-indutância de 1 HENRY, quando é capaz de produzir em si mesmo uma força eletromotriz induzida 1 volt, sempre que é percorrido por uma corrente que varia na razão de 1 Ampère por segundo.

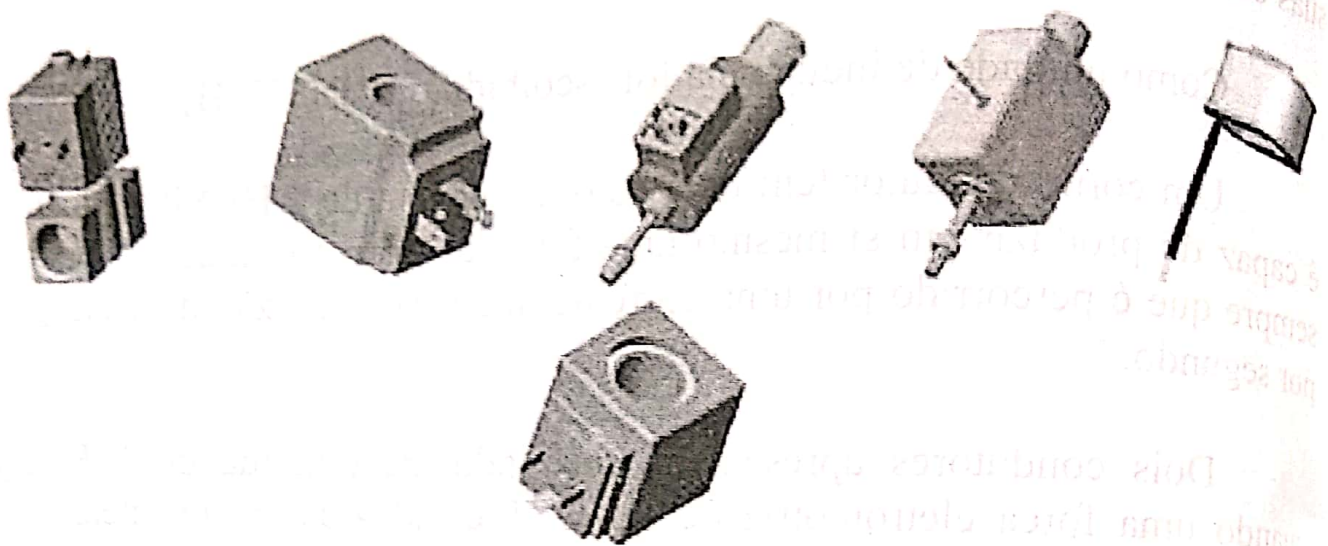
Dois condutores apresentam uma indutância mútua de 1 Henry, quando uma força eletromotriz de 1 VOLT é induzida em um deles, em consequência da variação de corrente no outro, na razão de 1 Ampère por segundo.

Exemplos de dispositivos à base de eletromagnetismo:

Relés



Solenóides:



Contactoras:

