



MATERIAIS MAGNÉTICOS

O magnetismo ou força magnética é fundamental na geração e aproveitamento da corrente elétrica. Qualquer tipo de sistema ou equipamento elétrico-mecânico conterá em seus circuitos efeitos magnéticos ou componentes magnéticos. Desta forma, a existência de equipamentos como motores, geradores, transformadores, indutores, instrumentos elétricos, medidores, componentes magnéticos, etc, seria impossível se os fenômenos magnéticos não fossem compreendidos e dominados.

Os materiais mais importantes em aplicações magnéticas gerais são chamados ferromagnéticos, porque permitem o estabelecimento de fenômenos magnéticos, devido a sua característica de concentrar linhas de força magnética, sofrendo atração por estas forças. O exemplo mais antigo de material ferromagnético é a magnetita (O_4Fe_3).

1) O CONCEITO DE DOMÍNIO

Materiais ferromagnéticos se caracterizam por uma magnetização espontânea, que é independente de campos magnéticos externos. Nestes materiais pode-se observar que o mesmo é composto de um grande número de pequenas secções conhecidos como domínios, que se caracterizam por possuir uma única orientação magnética, ou seja, são dotados cada um de um vetor de campo magnético próprio (figura 7.3.1), devido à orientação das cargas de suas moléculas, e constituem-se em dipolos magnéticos.

Perante ausência de um campo magnético externo, o vetor campo resultante da somatória de todos os vetores de cada domínio tem resultante nula (figura 7.3.1-b). Se este material e seus domínios estiverem expostos à ação de um campo magnético externo, os domínios são parcialmente polarizados segundo orientação deste campo (figura 7.3.1-b).

Nos ímãs naturais e artificiais as maiores dos dipolos já se encontram orientados paralelamente, razões pela qual apresentam propriedades magnéticas inerentes. Nos outros materiais ferromagnéticos, isto pode ser conseguido pela ação de um campo magnético externo de orientação constante (proveniente de uma corrente contínua). Quanto maior a intensidade, maior o número de dipolos orientados (há, porém, o limite de saturação do material). Nos outros tipos de materiais ocorre uma fraca criação de dipolos magnéticos induzidos.

A permeabilidade magnética (μ) é o parâmetro que descreve a maior ou menor facilidade com que um meio se deixa atravessar pelo fluxo magnético circulante, resistindo em maior ou menor grau à orientação dos dipolos magnéticos no sentido do fluxo, isto é, quantifica a capacidade do material em concentrar as linhas de fluxo magnético. Considerando $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m a permeabilidade magnética do vácuo, a razão entre a permeabilidade μ de um material e o vácuo é conhecida como permeabilidade relativa μ_r ($\mu_r = \mu/\mu_0$), que é um parâmetro adimensional. Logo, a permeabilidade relativa do vácuo é 1.

2) CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Nos materiais, de um modo geral, quando colocados próximos de um ímã permanente, verifica-se que:

a) O material não exerce ação alguma sobre as linhas de fluxo magnético que o intercepta (não há orientação de dipolos). Este material é denominado indiferente e sua permeabilidade é considerada referência e igual a μ_0 ($\mu_r = 1$). Exemplos: vácuo, ar, cobre, madeira, plástico.

b) O material é fracamente repelido, isto é, afasta ligeiramente as linhas de fluxo magnético que a intercepta (orientação levemente dos dipolos no sentido contrário do campo magnético externo). Este material é denominado diamagnético e nota-se que suas permeabilidades são ligeiramente menores que μ_0 . Exemplos: prata ($\mu_r=1-2 \cdot 10^{-5}$), zinco ($1-10^{-5}$), bismuto ($1-14 \cdot 10^{-7}$).

c) O material é fracamente atraído, isto é, tendem a concentrar ligeiramente as linhas de fluxo magnético que o atravessa (leve orientação dos dipolos no sentido fluxo magnético externo). Este material é denominado paramagnético e nota-se que suas permeabilidades são ligeiramente maiores que o μ_0 . Exemplos: alumínio ($\mu_r=1+22 \cdot 10^{-5}$), platina ($\mu_r=1+33 \cdot 10^{-5}$).

d) O material é bastante atraído, isto é, concentra fortemente as linhas de fluxo do campo magnético que o circunda (grande polarização dos domínios no sentido do fluxo externo). Este material é chamado ferromagnético (o nome vem do fato do ferro ser por excelência, o principal elemento para aplicações magnéticas) e nota-se que suas permeabilidades são muito maiores que μ_0 . Exemplos: aço ($\mu_r=500$ a 5000), ferro para transformador ($\mu_r=5500$), ferro muito puro ($\mu_r=8000$).

A seguir são feitas algumas observações:

d.1) Ponto Curie é a temperatura acima da qual um material ferromagnético torna-se um composto paramagnético, isto é, perde suas boas características magnéticas.

d.2) A permeabilidade magnética de um material ferromagnético aumenta para temperaturas inferiores ao seu Ponto Curie.

d.3) Para uma dada temperatura, a permeabilidade de um material ferromagnético tende a diminuir com o crescimento do fluxo circulante, devido à saturação.

d.4) Os materiais ferromagnéticos condutores apresentam um apreciável efeito pelicular, mesmo nas baixas frequências.

d.5) Quando dois materiais de permeabilidade diferentes apresentam-se como caminho para um fluxo magnético, este se dirige para o de maior permeabilidade (princípio da relutância mínima). Este fenômeno é aplicado quando se necessita liberar um dispositivo das influências magnéticas (blindagem magnética).

3) MAGNETIZAÇÃO

Em um meio qualquer, a densidade de fluxo magnético $B(\text{Wb/m}^2)$ que flui pelo material, se relaciona com a intensidade de campo magnético $H (\text{A/m})$ externo ao material através de sua permissibilidade dielétrica m , isto é, $B=mH$. Um gráfico que contemple a variação da densidade de fluxo B em função da intensidade de campo H é chamada curva de magnetização do material (Figura 7.3.2).

Os Materiais, segundo seu comportamento magnético, podem ser classificados, como meios de propagação do fluxo magnético, em: meio não saturável (materiais indiferentes, paramagnéticos e diamagnéticos), onde a permeabilidade magnética m é a aproximadamente constante perante o fluxo magnético externo e ainda não apresenta saturação (Figura 7.3.2); e em meio saturável (materiais ferromagnéticos), onde m não é constante e sim função do campo magnético H (Figura 7.3.2), sendo que a expressão $B=mH$, em consequência, não pode ser calculada e sim obtida experimentalmente através de curvas levantadas para cada material. Este comportamento é devido as dificuldades oferecidas a orientação dos vetores-campo em cada domínio, que são diferentes, provocando a não linearidade na orientação dos mesmos com o campo externo. Essas orientações dos domínios atingem grau máximo, a partir do qual, mesmo elevando a intensidade do campo externo H , não se verifica mais a orientação dos domínios, isto é, o material não mais concentra linhas de fluxo magnético em sua estrutura. Este é o estado em que se diz que o material está saturado.

Todo material magnético submetido a uma magnetização onde a se opor às variações de fluxo resultante da excitação de campo aplicada. Consequentemente, diz-se que o material se opõe, a cada instante, tanto ao crescimento quanto ao decrescimento do fluxo externo. Quando o campo externo é retirado, a

reação do material à desmagnetização será no sentido de manter a orientação vetorial dos campos dos domínios, o que acarreta num resíduo de polarização destes domínios. Tal reação dá origem ao fenômeno conhecido como histerise magnética, que é tanto maior quanto mais forte for a oposição apresentada pelo material ferromagnético.

Quando submete-se um material ferromagnético a um campo magnético H alternado, a densidade de fluxo B comporta-se segundo uma curva chamada laço ou ciclo de histerise, apresenta dois laços de histerise para duas excitações máxima de campo magnético H_1 e H_2 , sendo $H_2 > H_1$, além da curva de histerise do material. No gráfico pode-se observar alguns aspectos dos materiais ferromagnéticos :

a) a permeabilidade magnética m pode ser dada instantaneamente pela relação entre B e H , isto é, $m=B/H$. Pelo laço de histerise observa-se que m diminui com o aumento de H a medida que o material se aproxima da saturação (a curva para H_2 apresenta saturação mas a curva para H_1 não se observa ainda este estado), porque o campo externo H aumenta sem ser observado um aumento em B , o que caracteriza a saturação.

b) Quando o campo externo atinge o valor nulo ($H=0$), observa-se que o material não se desmagnetiza, isto é, resta no mesmo um magnetismo residual B_r devido à histerise magnética. Esta propriedade é chamada retentividade.

c) Quando o campo externo inverte o seu sentido ($H > 0$ para $H < 0$ e vice-versa), este campo deve gastar uma certa energia para reduzir a magnetização residual B_r a zero, isto é, necessita de uma parcela H_c (chamada força coercitiva) para realizar este trabalho a partir do qual os domínios começam a se orientar no sentido do campo. O valor de H_c , contudo, não depende do valor B_r . Estes fatos explicam o comportamento de laço da magnetização ($B=mH$) alternada de materiais ferromagnéticos.

d) Logo, a energia gasta nesta desmagnetização do material representa gastos a mais de energia na orientação dos domínios e representa, portanto, perdas chamadas perdas por histerise, que será, assim, tanto maior quanto maior for o laço de histerise. Portanto, em aplicações magnéticas deseja-se um material de menor laço de histerise possível (exceção feita a dispositivos de armazenamento magnético de dados, tais como fitas K-7, de vídeo, disquetes, e ainda ímãs permanentes).

A magnetização acarreta também um outro tipo de perda. Os materiais ferromagnéticos são basicamente materiais condutores (exceção feita as ferrites). Logo, sob ponto de vista elétrico, os mesmos sofrem a indução de forças eletromotrizes em seu interior quando sujeitos a campos magnéticos variáveis (lei de Faraday), originando a circulação de correntes induzidas em sua estrutura que aquecem o material, vindo a constituírem-se em perdas por efeito Joule (correntes parasitas).

Os materiais ferromagnéticos podem sofrer um envelhecimento do ponto de vista magnético, ocasionando quando o mesmo é submetido a temperaturas elevadas, durante grandes períodos (exemplo: transformador em serviço contínuo), o que desenvolve a chamada fadiga magnética, que se manifesta por uma diminuição da permeabilidade magnética e aumento das perdas por histerise. Para os chamados núcleos compactos, além da temperatura, os envelhecimentos magnéticos são consequência da ação de campos alternados e choques mecânicos (reposicionamento de domínios previamente orientados).

4) MATERIAIS E LIGAS FERROMAGNÉTICAS

Como visto, materiais ferromagnéticos são aqueles que concentram fortemente as linhas de força do campo magnético e, portanto, sua permeabilidade relativa é muito maior que a do vácuo ($\mu_r \gg 1$). Além do ferro, que é o principal material para aplicações magnéticas (exemplos: ferro puro, $\mu_r=8000$; ferro fundido, $\mu_r=30$ a 800), tem-se ainda o níquel ($\mu_r=50$) o cobalto ($\mu_r=60$) e ligas ferromagnéticas (exemplos: aço, $\mu_r=500$ a 5000); ferro-silício, $\mu_r=5500$) como exemplo destes materiais.

As ligas ferromagnéticas constituem-se de ferro e outros materiais e são construídas para melhorar

alguma propriedade do ferro, tal como correntes parasitas, nível de saturação e valor da permeabilidade magnética. Algumas destas ligas são vistas a seguir:

a) Ligas de ferro-níquel: estas ligas apresentam elevada permeabilidade perante baixas intensidades de campo magnético. São usadas principalmente em telecomunicações e para fabricar núcleos de transformadores de radiodifusão, relés, bobinas e blindagem magnéticas. Estas ligas classificadas em três grandes grupos:

Grupo 1: ligas com até 35% de níquel. Nomes comerciais: Anhyter A e B e Rhometal.

Grupo 2: ligas com níquel acima de 35% e até 50%. Nomes comerciais: Hypernik, Anhyter C e D, Permalloy-45, Nicolloy, etc. Caracterizam-se por baixa resistividade e permeabilidades maiores que as ligas do grupo 1.

Grupo 3: ligas com 80% de níquel em média. Nomes comerciais: Permalloy-78 (78,5% de níquel) e Mumetal (76Ni, 17Fe, 5Cu, 2Cr). Essas ligas possuem elevada permeabilidade (em torno de 100.000).

b) Ligas de ferro-silício: são ligas obtidas com pequenas quantidades (até 5%) de silício acrescidas de ferro. Devido às propriedades isolantes de silício, consegue-se uma liga ferromagnética de maior resistência, o que reduz as perdas nos núcleos por correntes parasitas. A presença do silício diminui a intensidade de saturação do ferro e praticamente anula a fadiga magnética, conseguindo se conservar constantes a permeabilidade e a perda por histerise. Estas ligas são usadas em circuitos magnéticos moldados em chapas isoladas entre si, o que diminui mais as correntes parasitas. Emprego: núcleos de transformadores de média e baixa potência, relés, reatores, medidores elétricos, motores, etc. Chapas de ferro-silício de grão orientado são usados na tecnologia de núcleos de transformadores trifásicos e monofásicos de potencia elevada.

c) Ligas de ferro-cobalto: são ligas de elevado ponto de saturação e alta permeabilidade. Nomes comerciais: Hyperco e Permendur. Têm particular uso nos núcleos de alto falantes dinâmicos e membranas de cápsulas telefônicas.

d) Ligas para ímãs permanentes: os ímãs permanentes devem apresentar elevado magnetismo residual (Br), esta é, o laço de histerise deve ser largo e bastante alto. Além disso, devem manter por um longo tempo o magnetismo residual sem altera-lo sensivelmente perante variações de temperatura e ação de forças mecânicas. Os materiais mais usados são ligas de ferro-carbono com acréscimo de silício para diminuir o envelhecimento. O carbono aumenta a força coercitiva, a retentividade e a resistividade e diminui a permeabilidade e o ponto de saturação.

As perdas por correntes parasitas se acentuam quanto maior é a frequência do fluxo magnético polarizante. Logo, núcleos para circuitos de altas frequências devem ser bastante resistivos sem contudo perder suas características magnéticas. Para este problema utilizam-se núcleos compactados e sintetizados, que se compõem de uma mistura de pós, basicamente óxido de ferro (material cerâmico), com acréscimos diversos de níquel, zinco, manganês, magnésio, silício, etc, e de uma resina aglomerante (polisterol, goma-laca, etc), que assim, se caracterizam por uma elevada resistência elétrica, o que reduz bastante os níveis de correntes parasitas, e com características, magnéticas, podendo por isso serem usados como núcleos de transformadores ou indutores, que operam em altas frequências, como, por exemplo, supressores de interferências de RF. Exemplos de ferrites são: magnetita e ferrites à base de níquel-zinco, manganês-zinco, etc.

5) MAGNOESTRÍCÇÃO

Certos materiais ferromagnéticos apresentam pequenas deformações elásticas em sua geometria, como resultado de sua polarização magnética quando mergulhados em um campo magnético externo. Esse

fenômeno é chamado magnetoestricção e é reversível. Estas deformações elásticas ocorrem na direção do campo magnético aplicado. Exemplos de materiais magnetostrictivos são o ferro, o cobalto, o níquel e ainda ligas de ferro com cromo, cobalto ou alumínio. O níquel em finas pastilhas apresenta elevada magnetoestricção. Este fenômeno é explorado em sistemas de controle de pressões (exemplo: prensas automáticas), como transdutores eletromecânicos e medidores de deformações.

Deformações elásticas de materiais ferromagnéticos também influem sobre as características magnéticas. Materiais com magnetoestricção submetidos a esforços de tração sofrem redução de sua permeabilidade magnética. Como exemplo, o níquel sob tração tem sua permeabilidade sensivelmente diminuída.

