



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0903083-2 B1



(22) Data do Depósito: 22/01/2009

(45) Data de Concessão: 24/03/2020

(54) Título: EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ÍMÃS PERMANENTES

(51) Int.Cl.: G01R 33/14.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) Inventor(es): ÁLY FERREIRA FLORES FILHO; HECTOR ROLANDO ANOCIBAR.

(57) Resumo: EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ÍMÃS PERMANENTES. A presente invenção diz respeito à área da magnetometria e a um equipamento e método para a caracterização de ímãs permanentes através da obtenção da característica desmagnetizante ou de segundo quadrante desses ímãs. Particularmente, a presente invenção está relacionada a um Histerisímetro de Entreferro Variável que envolve apenas densidade de fluxo de entreferro, comprimento de entreferro e a utilização de processamento das grandezas medidas para permitir a obtenção da característica desmagnetizante do ímã permanente e de grandezas correlatas a ela.

Relatório Descritivo de Patente de Invenção

EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ÍMÃS PERMANENTES

Campo da Invenção

[001] A presente invenção diz respeito a área da magnetometria e a um equipamento e método para a caracterização de ímãs permanentes através da obtenção da característica desmagnetizante ou de segundo quadrante desses ímãs. Particularmente, a presente invenção está relacionada a um Histerisímetro de Entreferro Variável (HEV) e método para a caracterização de ímãs permanentes através da obtenção da característica desmagnetizante ou de segundo quadrante.

Antecedentes da Invenção

[002] A descrição de um ímã permanente quanto às suas características magnéticas é o que chamamos de caracterização. Uma forma de obtê-la pode ser feita através da análise de um gráfico da histerese do ímã permanente. No primeiro quadrante ele é magnetizado e no segundo quadrante ele trabalha como fonte. A parte da curva no segundo quadrante é chamada de característica desmagnetizante ou curva de desmagnetização, Fig. 1.

[003] Embora as características magnéticas como máximo produto energético, permeabilidade, coercitividade e remanência sejam as principais que definem praticamente um ímã permanente, a maneira mais útil de visualizar as propriedades magnéticas deste elemento é através da porção do laço de histerese no segundo quadrante, ou seja, desde a remanência até a coercitividade. A porção do laço de histerese no segundo quadrante é conhecida como a curva de desmagnetização e é a informação sempre utilizada na hora de decidir se um ímã permanente é adequado ou não para uma determinada aplicação do ponto de vista magnético.

[004] A padronização das medições nos ímãs permanentes foi apresentada pela “International Electrotechnical Commission (IEC)” e a IEC404-5: Materiais magnéticos permanentes (magneticamente duros) - Método de medição das

propriedades magnéticas (*Permanent magnet (magnetically hard) materials - Method of measurement of magnetic properties*) está relacionada aos métodos de medição das propriedades magnéticas dos ímãs permanentes.

[005] Atualmente, a forma usual de caracterizar um ímã permanente consiste em expor ao dispositivo a ciclos de magnetização-desmagnetização, medindo num circuito magnético fechado as variáveis magnéticas em relação ao ímã. Para ímãs permanentes de grande produto energético implica também grande consumo de energia para magnetizar e desmagnetizar estes componentes.

[006] As três alternativas mais conhecidas para caracterizar um ímã permanente são: Magnetometria de Amostra Vibrante; Permeâmetro ou Histerisímetro; Magnetometria com Campo Pulsante. E outras alternativas válidas para fazer medições num ímã permanente são: Bobinas de Helmholtz; Bobina exploradora; Gaussímetro com sonda Hall ou magnetorresistiva; e Bobina de potencial. A Tabela 1 resume as principais desvantagens destas alternativas.

Tabela 1: Principais desvantagens das alternativas de caracterização de um ímã permanente.

Alternativas	Desvantagens
Magnetometria de Amostra Vibrante	- deve ser conhecido o peso e a densidade da amostra; - é preciso fazer correção para a auto-desmagnetização; - campo limitado; freqüentemente não é suficiente para saturar a amostra ou medir H_{ci}; - a amostra deve ter dimensões especiais; - usualmente é destrutivo.
Permeâmetro	- lento, devido, principalmente, à preparação da amostra; - necessidade de magnetizar previamente os

	ímãs permanentes de Terras Raras.
Magnetometria com Campo Pulsante	- requer correção do efeito das correntes parasitas; - requer correção da auto-desmagnetização.
Bobinas de Helmholtz	- medição de um ponto só; - não adequado para ímãs multipolos; - é requerida a medição do volume do ímã; - é requerida a correção por auto-desmagnetização; - exatidão dependente dos aspectos construtivos ou da calibração.
Bobina exploradora	- cada ímã requer sua própria bobina; - medição de um ponto só.
Sonda Hall ou Magnetorresistiva	- risco de interpretar de modo incorreto o resultado devido ao posicionamento e orientação do elemento na sonda; - medição pontual e direcional; - o elemento Hall ou magnetorresistivo é sensível à temperatura, requerendo compensação de seu sinal devido ao efeito térmico.
Bobina de potencial	- Medição de um ponto só; - interpretação dificultosa.

[007] O histerisímetro convencional é o equipamento utilizado para caracterização de quaisquer tipos de ímãs permanentes com tamanhos e formas comerciais diferentes. Esse aplica um campo desmagnetizante até o valor do campo coercitivo do ímã permanente sob ensaio. Isso leva a densidade de fluxo do ímã a zero e provoca a sua desmagnetização. Esse método permite se excursionar sobre toda a característica de segundo quadrante do ímã, o que resulta na obtenção de pontos ao longo de toda essa

característica. O resultado disso tem uma exatidão compatível com aquelas definidas por normas de ensaio.

[008] No entanto, para fazer tal ensaio é requerida uma capacidade de produzir campos desmagnetizantes elevados e, no mínimo, a utilização de dois sensores, um sensor de densidade de fluxo magnético e um sensor de campo magnético. Sua excitação pode não ser estática, o que acarreta problemas de correntes parasitas e mesmo de elevação de temperatura da amostra, o que poderá descaracterizá-la, e acaba por constituir um equipamento de alto custo.

[009] No âmbito patentário, alguns documentos descrevem métodos e equipamentos de histerese. Os documentos WO 98/14791; US 6,201,386; US 6,100,685; US 4,623,841; US 4,449,095; US 4,340,861; US 4,005,358; e US 3,904,956 descrevem dispositivos ou métodos para a medição de características de histerese em materiais magnéticos. A presente invenção difere desses documentos por apresentar um histerisímetro de entreferro variável para a obtenção das características do material magnético.

[0010] Do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0011] Independente da finalidade, a determinação das principais propriedades magnéticas de um ímã permanente geralmente requer configurações de medição sofisticadas e custosas. Desta forma, é proposto um sistema de caracterização de ímãs permanentes de Terras Raras ou de característica desmagnetizante linear, à temperatura ambiente, de baixo custo e de implementação simples e rápida.

[0012] A presente invenção demonstra um histerisímetro de baixo custo, um Histerisímetro de Entreferro Variável (HEV) que utiliza apenas um sensor de densidade de fluxo, que pode ou não se valer de um campo desmagnetizante produzido por enrolamento de valor muito mais baixo que o campo coercitivo do ímã permanente. Este também pode ser usado para o ensaio de ímãs

permanentes de qualquer formato e dimensões comerciais, tendo sua melhor eficiência em ímãs permanentes de característica linear no segundo quadrante.

[0013] Dadas suas boas características, determinadas em termos de exatidão e seu baixo custo, permite que este equipamento seja de grande interesse da indústria de produção de bens de alto valor agregado que empregam ímãs permanentes, por exemplo as indústrias de motores elétricos, geradores, atuadores, alto-falantes, automotivas, aeronáuticas e navais. Considerando-se a tendência de uso preponderante e em larga escala de ímãs de Terras Raras, cerâmicos e de ferrites pelo mercado, ou seja, de ímãs permanentes com característica de segundo quadrante linear, o uso do HEV como uma opção mais barata, adequada e extensiva se justifica. Principalmente pela qualidade que esses ímãs devem apresentar, particularmente a partir de sua caracterização magnética, isso irá se refletir no desempenho, qualidade e confiabilidade daqueles produtos que os empregam em sua constituição. Assim, é importante que o setor produtivo que os empregam possa fazer uma caracterização: em grandes lotes, com confiabilidade, dentro de uma classe de exatidão aceitável, com robustez e de mais baixo custo.

Sumário da Invenção

[0014] É um dos aspectos da presente invenção um Histerisímetro de Entreferro Variável para a caracterização de ímãs permanentes.

[0015] É um dos objetos da presente invenção um Histerisímetro de Entreferro Variável consistindo de um circuito magnético compreendendo:

- a) estrutura de material ferromagnético (culatra simples ou dupla);
- b) entreferro variável;
- c) cabeçotes ferromagneticamente macios metalizados desmontáveis ou não no entreferro;
- d) mecanismo de abertura e fechamento do entreferro; e
- e) um medidor de campo magnético.

[0016] É um objeto adicional da invenção em tela, o uso de um dispositivo para medir o deslocamento relativo do entreferro.

[0017] É um dos objetos adicionais da presente invenção um Histerisímetro de Entreferro Variável com características de exatidão melhor que 2% para densidade de fluxo e melhor que 6% para obtenção de campo magnético, produto energético e permeabilidade.

[0018] É um aspecto adicional da presente invenção um método para a caracterização de ímãs permanentes.

[0019] Em uma realização preferencial da presente invenção, o método para a caracterização de ímãs permanentes compreende as etapas como observado nas figuras 2 e 3.

[0020] Em uma outra realização preferencial da presente invenção, o método para a caracterização de ímãs permanentes compreende os passos para a obtenção dos dados característicos de ímãs permanentes que compreendem as etapas como observadas na figura 4.

[0021] Em outra realização preferencial da presente invenção o método de caracterização de ímãs permanentes, pode ser conjugado com a produção de um campo magnético desmagnetizante adicional.

[0022] Um equipamento e método para a caracterização de ímãs permanentes, onde o processo de medição envolve apenas densidade de fluxo de entreferro, de comprimento de entreferro e a utilização de processamento das grandezas medidas, permite a obtenção da característica desmagnetizante do ímã permanente e de grandezas correlatas a ela.

[0023] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0024] A figura 1 mostra curvas de indução e de magnetização de um ímã genérico para exemplificar uma curva no segundo quadrante, onde B mostra as curvas de indução e J a magnetização intrínseca.

[0025] A figura 2 mostra o diagrama de blocos dos procedimentos de medição em abertura e ímã permanente em posição 1, onde (2.1) corresponde ao passo de inserção do ímã na posição 1; (2.2) fazer o zero mecânico do entreferro e zerar o mecanismo de abertura e fechamento do entreferro; (2.3) levar o entreferro a I_{gmin} ; (2.4) zerar o medidor de campo magnético; (2.5) inserir o medidor de campo magnético com o gabarito no entreferro; (2.6) ler e registrar a indicação do medidor de campo magnético; (2.7) abrir o entreferro em $I_{gmin}/2$; (2.8) em I_{gmax} finaliza medição em abertura; e (2.9) fechamento.

[0026] A figura 3 mostra o diagrama de blocos dos procedimentos de medição em fechamento e ímã permanente em posição 1, onde (2.9) corresponde ao passo do fechamento; (3.2) partindo de I_{gmax} começa o fechamento; (3.3) fechar o entreferro em $I_{gmin}/2$; (3.4) ler e registrar a indicação do medidor de campo magnético; 3.5 após duas aberturas e dois fechamentos retiramos o medidor de campo magnético com seu suporte, gabarito e ímã; e (3.6) ao passo de inserção do ímã na posição 2.

[0027] A figura 4 mostra os passos de obtenção dos dados característicos de um ímã permanente, onde (4.1) corresponde ao passo de com dois laços de histerese fazer a média dos valores obtendo-se um valor de B para cada entreferro; (4.2) se esta foi a medição com o ímã padrão, introduzindo os valores de B na equação correspondente e obtemos $K_c(I_g)$; (4.3) com $B_m(I_g)$ e $K_c(I_g)$ calculamos $\mu_0 H_m(I_g)$ com a equação correspondente; (4.4) com $\mu_0 H_m(I_g)$ e $B_m(I_g)$ obtemos o gráfico da característica de desmagnetização; e (4.5) aplicamos regressão linear por mínimos quadrados e obtemos os parâmetros do ímã.

[0028] A figura 5 apresenta as vistas 2D lateral e frontal do HEV com dimensões preferenciais dadas em milímetros, onde (5.1) representa o polo superior móvel; (5.2) os cabeçotes metalizados; (5.4) a estrutura de material ferromagnético, quadro externo; e 5.5 os braços do dispositivo.

[0029] A figura 6 mostra uma vista em perspectiva de um modelo preferencial de HEV, onde (5.2) representa os cabeçotes metalizados; (5.4), a estrutura de material ferromagnético, quadro externo; (5.6), um dispositivo para medir o

deslocamento relativo do entreferro; e (5.7) o mecanismo de fechamento e abertura do entreferro.

[0030] A Figura 7 apresenta a posição do ímã permanente nos ensaios, onde as setas indicam o sentido de magnetização.

[0031] A Figura 8 apresenta vista superior do cabeçote inferior com ímã no entreferro com as linhas indicando a posição do centro geométrico onde são feitas as medições de densidade de fluxo, onde (11.1) corresponde ao posicionamento das medições no simulador e no equipamento; (11.2) ao comprimento; (11.3) ao polo inferior fixo; (11.4) a largura do ímã; (11.5) a largura do polo; (11.6) a origem das coordenadas x e z ; e (11.7) ao ímã permanente.

[0032] A Figura 9 mostra o detalhe de um exemplo de gabarito para posicionamento adequado do sensor Hall, onde (12.1) corresponde à sonda; (12.2) ao sensor Hall; e (12.3) ao gabarito sobre o ímã.

Descrição Detalhada da Invenção

[0033] O equipamento e método para a caracterização de ímãs permanentes da invenção em tela é preferencial para ímãs de Terras Raras, ferrites ou cerâmicos. Os grupos dos ímãs de Terras Raras podem compreender pelo menos um elemento do conjunto de 17 elementos químicos: escândio, ítrio e os lantanídeos (lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio), sendo a palavra “Terra” é um termo obsoleto para significar “óxido”.

[0034] O equipamento para a caracterização de ímãs permanentes da presente invenção é, preferencialmente, um Histerisímetro de Entreferro Variável (HEV), que consiste em um circuito magnético formado pelo ímã em estudo, estrutura de material ferromagnético, um entreferro variável e uma sonda de efeito Hall para a medição da intensidade do campo magnético no entreferro. Com objetivo de manter a simetria no fluxo do entreferro, a estrutura, preferencialmente, adotada é de dupla janela com entreferro e ímã no centro do dispositivo. Variando-se o entreferro, muda-se o ponto de

operação do ímã permanente sobre sua característica desmagnetizante. Da correlação entre a medida do entreferro e a medição de campo magnético ou densidade de fluxo magnético no entreferro, pode-se obter a característica desmagnetizante que se busca. Diferentemente do histerisímetro tradicional, não há enrolamento para produzir uma força magneto-motriz desmagnetizante.

[0035] A estrutura do HEV pode ser, preferencialmente, retangular ou de outro formato compatível e feita, preferencialmente, em material ferromagnético macio de elevada permeabilidade magnética. Preferencialmente, pode ter um quadro externo, braços, cabeçotes e suporte central para o ímã permanente sob caracterização e, eventualmente, enrolamentos, Fig.1. Para o material ferromagnético macio utilizado servirá todos os metais com capacidade magnética que atendam aos requisitos do invento em tela como alta permeabilidade relativa (maior que 2000) e saturação acima de 1 Tesla, onde preferencialmente, por exemplo, pode ser usado o aço A1020 e outros.

[0036] A estrutura projetada preferencial do equipamento é retangular e feita de aço 1020, com dimensões de seu quadro externo de 320 mm x 290 mm x 40 mm, com braços de 40 mm x 40 mm e suporte central para um ímã. Neste caso particular, previu-se, preferencialmente, os cabeçotes centrais metalizados para um ímã disponível com face polar de 25,4 mm por 25,4 mm. Nos cabeçotes metalizados de aço 1020, a redução da seção do braço até a do ímã foi feita com ângulo preferencial de 45° como se vê em (5.2).

[0037] Observe-se que os cabeçotes centrais metalizados (5.2) podem ser desmontáveis ou não. Esses cabeçotes (5.2) podem ter formato de tronco de cone, de prisma ou outro formato compatível com a peça de ímã permanente a ser caracterizado através do HEV.

[0038] A metalização destes cabeçotes pode se feita por métodos já conhecidos do estado da técnica utilizando qualquer metal que atenda aos requisitos do invento em tela, como preferencialmente, por exemplo, o níquel.

[0039] Junto ao suporte central superior do braço central móvel pode-se colocar um dispositivo para medir o deslocamento linear do entreferro como se vê em (5.6), por exemplo, pode ser um LVDT, um relógio comparador ou outro

tipo de transdutor que apresente o comprimento do entreferro junto ao qual o ímã permanente está colocado.

[0040] O sistema proposto baseia-se na obtenção de queda de potencial magnético em um entreferro controlado que, por sua vez, produz o aumento do módulo campo desmagnetizante ou de segundo quadrante do ímã permanente; com isso, o ponto de operação do ímã permanente varia ao longo de sua característica desmagnetizante ou de segundo quadrante. Assim permitindo que se obtenham vários pontos sobre essa característica a partir de medidas de densidade de fluxo no entreferro, ela pode ser reconstituída por regressão ou ajuste. Com isso, as características magnéticas do ímã permanente sob ensaio tais como densidade de fluxo residual, campo coercitivo, permeabilidade e máximo produto energético podem ser computadas a partir da curva que representa a característica desmagnetizante ou de segundo quadrante assim obtida. Alternativamente, um campo desmagnetizante produzido por enrolamento com corrente poderá ser utilizado para, em conjunto com a variação do entreferro, ampliar a faixa de variação do campo na característica desmagnetizante. Desta forma se amplia o número de pontos sobre aquela característica, aproximando-os mais ainda do campo coercitivo do ímã permanente e produzindo um resultado mais exato da caracterização do ímã permanente sob ensaio.

[0041] Em (5.7) também se pode verificar um exemplo de mecanismo de fechamento e abertura do entreferro. Num exemplo, preferencial, no suporte central a porca superior é usada para abrir o entreferro, e a porca inferior é para o fechamento do mesmo, qualquer outro mecanismo do estado da técnica poderá ser utilizado para este fim sem que saia deste escopo.

[0042] Também é apresentada uma disposição preferencial para um medidor de campo magnético, preferencialmente uma sonda de efeito Hall com seu respectivo gaussímetro, Fig.9.

[0043] O método para a caracterização de ímãs permanentes da presente invenção é obtido através da seguinte lógica de passos, começando pela determinação da densidade de fluxo das diferentes medições com diferentes

entreferras e posições do ímã no HEV. Os passos um a um são apresentados em detalhes a seguir e sintetizados em diagrama de blocos Fig. 2, 3 e 4.

[0044] Inicialmente, abre-se o entreferro numa extensão maior que a espessura do ímã permanente acionando o mecanismo de fechamento e abertura do entreferro (5.7). Num exemplo, preferencial, esta ação é realizada liberando primeiro a porca inferior de fechamento e a seguir, girando em sentido horário a porca de abertura.

[0045] Em seguida é inserido o ímã no entreferro do equipamento, no que chamamos posição 1 no sentido da magnetização.

[0046] É preciso aproveitar a abertura máxima para posicionar o sensor e o suporte numa altura e orientação adequadas, é também o momento de inserir um gabarito de posicionamento do sensor Fig. 8 e 9 e marcar a posição do suporte numa folha milimetrada ou qualquer outro objeto que permita tal fim, uma vez isso feito, retiramos o sensor, o gabarito e o suporte.

[0047] Descemos o braço central até encostar sobre o ímã permanente, fazendo o zero mecânico do relógio comparador. Para fazer isto, aciona-se o mecanismo de fechamento e abertura do entreferro (5.7), liberando primeiro a porca de abertura e logo giramos a porca de fechamento em sentido anti-horário. Para evitar danificar o ímã permanente, se leva o dispositivo de ajuste até uma posição em que não se verifica retorno da agulha do relógio comparador, uma vez que o dispositivo preferencial para a medição do deslocamento linear do entreferro poderá ser dotada de tal relógio, ao liberar o mecanismo de fechamento (girando meia volta em sentido horário).

[0048] Com o mecanismo de abertura levamos o entreferro até l_{gmin} (estabelecido pela espessura do sensor Hall).

[0049] Afastados do equipamento e dos ímãs permanentes fazemos o zero do gaussímetro, usando, por exemplo, uma câmara de zero fluxo.

[0050] Inserimos a sonda com seu dispositivo de suporte, novamente inserimos o gabarito e checamos a posição do suporte com a marca feita numa etapa anterior. Visualmente observamos que a sonda encoste na face polar do ímã permanente.

[0051] Lemos e registramos a indicação do medidor de campo magnético para o entreferro atual.

[0052] No exemplo, preferencial em tela, liberamos a porca de fechamento em sentido horário e abrimos o entreferro com a porca de abertura registrando o valor dessa abertura pela leitura, através, por exemplo, do relógio comparador ou com outro dispositivo de medição de deslocamento.

[0053] Os dois passos imediatamente anteriores 8 e 9, de leitura e abertura do entreferro, se repetem até a máxima abertura no entreferro I_{gmax} da ordem da espessura (I_m) do ímã permanente sob avaliação.

[0054] Liberamos a porca de abertura e fechamos o entreferro $I_{gmin}/2$.

[0055] Lemos e registramos a indicação do gaussímetro para o entreferro atual.

[0056] Os dois passos imediatamente anteriores 11 e 12, de fechamento do entreferro e leitura, se repetem até o mínimo entreferro I_{gmin} .

[0057] Para ter suficientes dados estatísticos e diminuir os erros na determinação das características dos ímãs permanentes, é recomendável fazer um mínimo de duas aberturas e dois fechamentos repetindo os quatro passos anteriores 8 a 13, de leitura, abertura do entreferro, de fechamento do entreferro e leitura.

[0058] Retiramos a sonda, o gabarito e o suporte, e logo retiramos também o ímã permanente.

[0059] Verificamos se o zero de gaussímetro longe do equipamento da presente invenção permaneça inalterado.

[0060] Inserimos agora o ímã permanente na posição 2, ou seja, com sua direção de magnetização invertida em relação àquela testada anteriormente. Desta maneira é possível cancelar as assimetrias do ímã permanente e do equipamento da presente invenção.

[0061] Repetimos os passos anteriores 6 até 16, desde a calibração do zero do medidor de campo magnético até a verificação se zero de do medidor de campo magnético longe do equipamento em tela permaneça inalterado.

[0062] Temos agora no mínimo dois laços de histerese do ímã permanente com os quais fazemos a média dos valores de B_m registrados na posição 1 e na posição 2.

[0063] Com os valores de densidade de fluxo do ímã permanente calcula-se agora os correspondentes valores $\mu_0 H_m = -B_m \left(\frac{l_g}{l_m} \right) \frac{1}{K_c}$ com o fator de perdas

K_c achado para um ímã permanente padrão.

[0064] Com os pares de valores $\mu_0 H_m$ e B_m achados, fazemos um gráfico da característica de desmagnetização e, aplicando regressão linear por quadrados mínimos, achamos a melhor expressão linear $y=mx+b$ para a característica de segundo quadrante do ímã permanente avaliado.

[0065] Desta expressão tiramos os principais parâmetros, B_r a densidade de fluxo de remanência é o valor de intersecção com o eixo de ordenadas igual ao b da expressão, μ_r a permeabilidade de retorno é a inclinação na expressão igual ao m e a coercitividade normal, por ser a intersecção com o eixo das abscissas, pode ser computada fazendo-se $y=0$, ou seja, $H_c=B_r/\mu_r$.

Determinação do fator de calibração K_c

[0066] Mediante a rotina de medição e com o ímã padrão adotado fazemos as medições e obtemos as leituras de densidade de fluxo. Com a equação

$$K_c = \frac{\mu_{rel} l_g B_{lav}}{l_m (B_{r1} - B_{lav})}$$

calculamos para cada entreferro o valor correspondente do fator de calibração K_c que logo será utilizado para determinar os parâmetros principais do ímã permanente avaliado.

[0067] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Equipamento para caracterização de ímãs permanentes que compreende estrutura de material ferromagnético (5.1) a (5.5), cabeçotes ferromagneticamente macios metalizados (5.2), mecanismo de abertura e fechamento do entreferro (5.7), um medidor de campo magnético (12.1), e é **caracterizado por** possuir entreferro variável I_g entre os cabeçotes metalizados.

2. Equipamento para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** ímã permanente ser escolhido do grupo que compreende pelo menos um composto de Terras Raras, ferrites e/ou materiais cerâmicos.

3. Equipamento para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pela** estrutura de material ferromagnético possuir uma culatra simples ou dupla, (5.4) e (5.5).

4. Equipamento para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelos** cabeçotes serem desmontáveis no entreferro (5.2).

5. Equipamento para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** entreferro e ímã estarem localizados no centro do equipamento entre os cabeçotes (5.2).

6. Equipamento para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** medido de campo magnético ser uma sonda de efeito Hall (12.2).

7. Método para caracterização de ímãs permanentes, **caracterizado por** ser aplicado no equipamento descrito nas reivindicações 1 a 6, e compreender as etapas de:

- a) inserção do ímã;
- b) levar o entreferro a I_{gmin} ;
- c) inserir o medidor de campo magnético com o gabarito no entreferro; e

d) finalizar a medição em abertura em I_{gmax} .

8. Método para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado por** compreender adicionalmente as etapas de:

a) fechar o entreferro em $I_{gmin}/2$;

b) retirar o medidor de campo magnético com seu suporte, gabarito e ímã;

c) inserir o ímã com sua direção de magnetização invertida em relação àquela testada anteriormente.

9. Método para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pela** leitura do campo magnético ser realizada após a inserção do medidor de campo magnético com o gabarito no entreferro.

10. Método para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pela** leitura do campo magnético ser realizada após o fechamento do entreferro.

11. Método para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo** ímã ser inserido no sentido da magnetização.

12. Método para caracterização de ímãs permanentes, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo** I_{gmin} ser estabelecido pela espessura do sensor Hall.

13. Método para caracterização de ímãs permanentes, **caracterizado pela** obtenção das grandezas características do ímã (4.1) a (4.4), a partir das medições definidas nas reivindicações 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Figuras

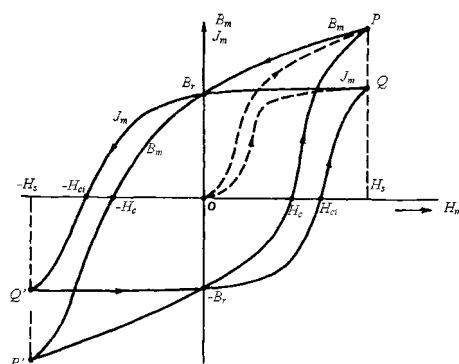


Figura 1

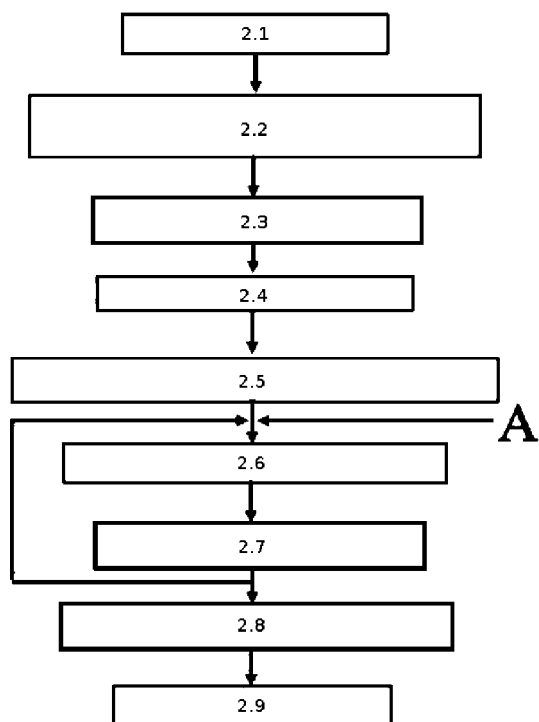


Figura 2

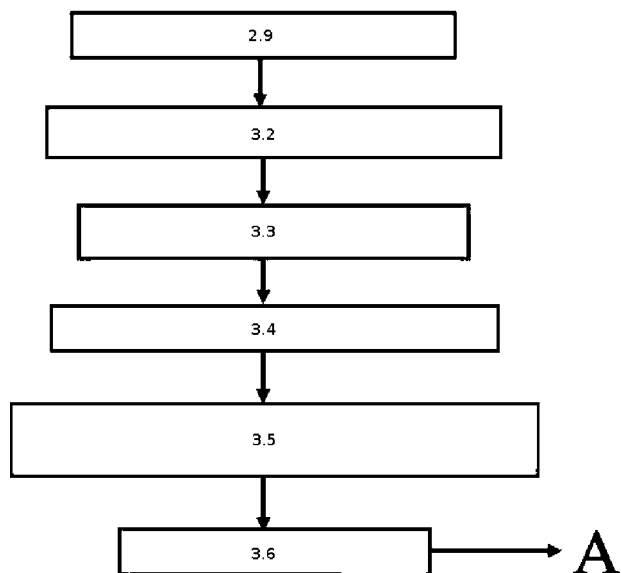


Figura 3

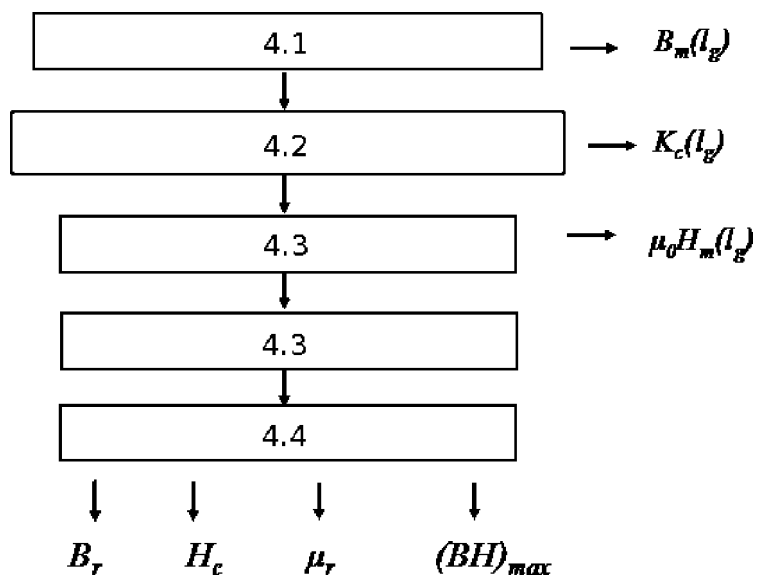


Figura 4

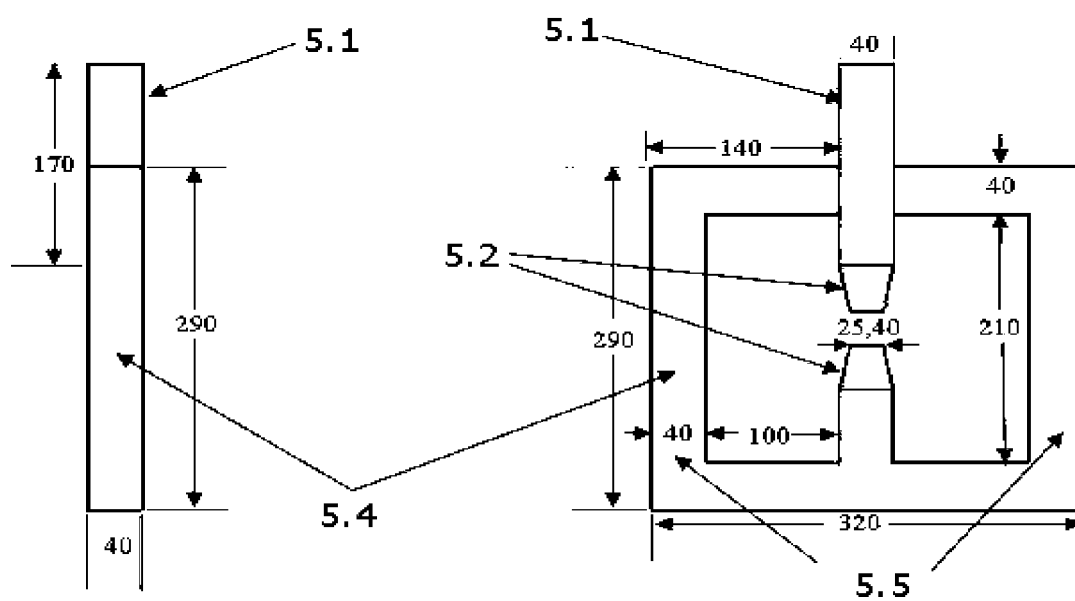


Figura 5

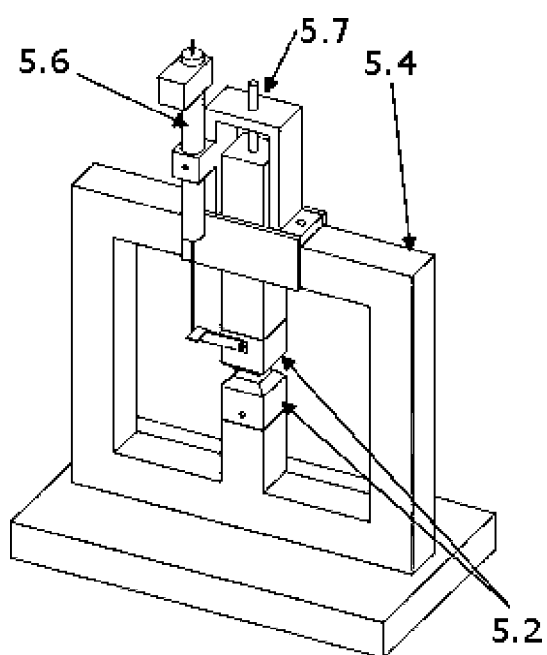


Figura 6

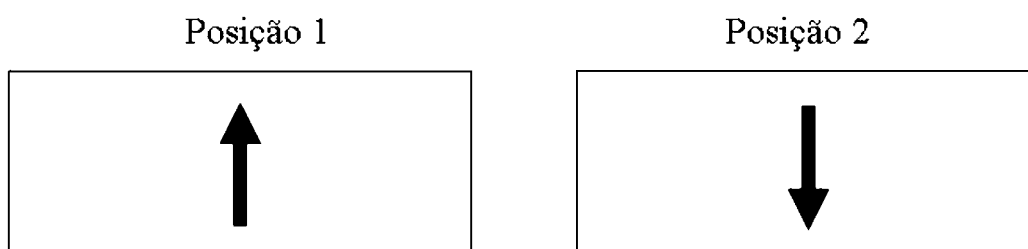


Figura 7

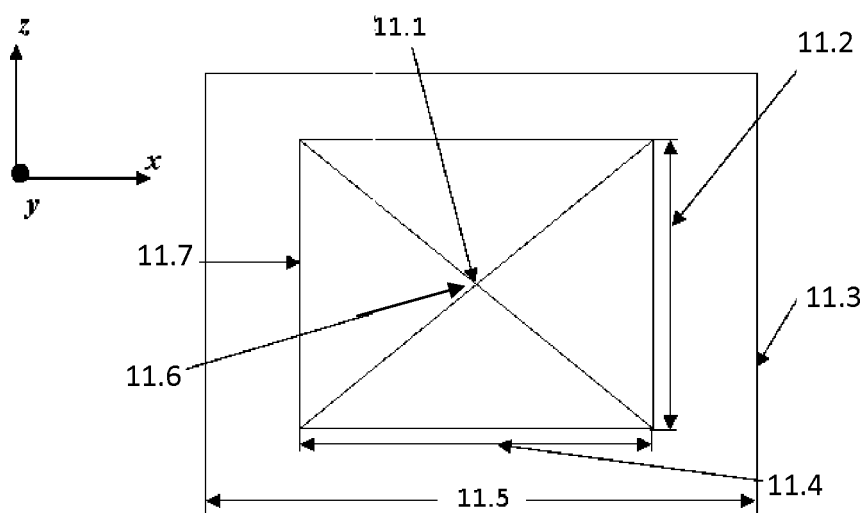


Figura 8

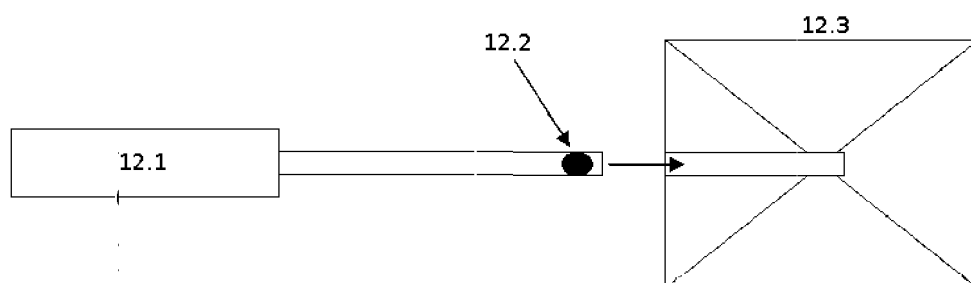


Figura 9