
Instituto Politécnico do Porto

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Cursos de Engenharia

Circuitos magnéticos em DC

Trabalho Laboratorial

Setembro de 2022

Baseado no original de José Puga

Aviso de Segurança

Siga as instruções dadas pelo Professor presente no laboratório. Em caso de dúvida chame o Professor e elucide-se.

Objectivos

Realizar experimentalmente a medição directa da densidade de fluxo magnético e a medição indirecta do fluxo magnético e do campo magnético em circuitos magnéticos com diferentes configurações. Entender o funcionamento de circuitos magnéticos envolvendo núcleos de Ar e de Ferrite. Estabelecer a correlação entre as medidas obtidas e as variáveis associadas a cada um dos casos em estudo.

Fundamentos Teóricos

Nesta secção são apresentados os fundamentos teóricos relevantes para o entendimento dos resultados que serão obtidos nos ensaios práticos.

Densidade de Fluxo Magnético e Campo Magnético

Ao campo magnético H (A/m), existente num meio linear e isotrópico, está associada uma densidade de fluxo magnético B (Tesla, N/A/m) que é função da permeabilidade magnética absoluta desse mesmo meio.

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

em que;

(Equ.1)

H - campo magnético (A/m)

B – densidade de fluxo magnético (T)

μ - permeabilidade magnética absoluta (N/A²)

A permeabilidade magnética absoluta de um determinado meio é, geralmente, representada em função da permeabilidade do vazio e da permeabilidade relativa desse mesmo meio da seguinte forma:

$$\boxed{\mu = \mu_r \mu_0} \quad (\text{Equ.2}) \quad \left| \begin{array}{l} \mu - \text{permeabilidade magnética absoluta (N/A}^2\text{)} \\ \mu_0 - \text{permeabilidade magnética do vazio (N/A}^2\text{)} \\ \mu_r - \text{permeabilidade magnética relativa} \end{array} \right.$$

em que;

Sendo a permeabilidade magnética do vazio uma constante universal o mesmo não se pode afirmar em relação à permeabilidade magnética dos mais diversos materiais. Os materiais ferromagnéticos entram em saturação para campos magnéticos intensos. No entanto, dentro dos limites admissíveis de intensidade de campo magnético, o processo de magnetização dos materiais é linear. Consequentemente, a permeabilidade relativa dos materiais envolvidos permanece constante.

Circuitos Magnéticos Lineares

Os circuitos magnéticos lineares podem ser constituídos por diferentes materiais com diferentes configurações. Por sua vez, estes materiais podem funcionar em diferentes estados de magnetização. Nestes circuitos as linhas de campo estão confinadas à estrutura do próprio circuito e os materiais que o constituem permanecem em funcionamento linear. Estes propostos verificam-se mediante o correcto dimensionamento dos circuitos magnéticos.

O fluxo magnético está relacionado com a densidade de fluxo magnético através da área da secção perpendicular a essa mesma densidade de fluxo, tal como indicado na equação seguinte:

$$\boxed{\phi = \vec{B} \cdot \vec{S}} \quad (\text{Equ.3}) \quad \left| \begin{array}{l} \phi - \text{fluxo magnético (Wb)} \\ B - \text{densidade de fluxo magnético (T)} \\ S - \text{secção (m}^2\text{)} \end{array} \right.$$

em que:

Estando as linhas de campo confinadas à estrutura do próprio circuito magnético o fluxo magnético pode num determinado ponto dividir-se pelos seus ramos e reunir-se novamente num outro ponto conhecido.

Experiências

Material necessário:

Dois núcleos de ferrite em forma de E
Dois ímãs permanentes cilíndricos
Medidor de densidade de fluxo magnético

Osciloscópio ou Voltímetro
Cabos de ligação

Experiência 1: Circuito magnético simétrico com uma fonte de fluxo

Considere o circuito magnético ilustrado na figura 1.

O ímã permanente colocado na coluna central funciona como fonte geradora de fluxo magnético. Como resultado surgem fluxos magnéticos nas colunas laterais que totalizam o fluxo gerado pelo ímã permanente.

A equação 4 decorre do facto do somatório dos fluxos magnético que entram para um determinado nó ser é iguala ao somatório dos fluxos magnéticos que saem desse mesmo nó.

A equação 5 relaciona a densidade de fluxo magnético uniforme, B , com o correspondente fluxo magnético, ϕ , que atravessa a secção S perpendicular ao referido B .

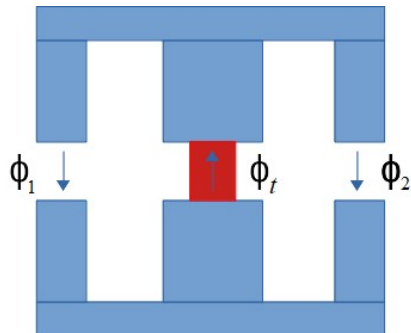


Fig. 1 – Estrutura de um circuito magnético simétrico com uma fonte de fluxo na coluna central.

$$\phi_t = \phi_1 + \phi_2$$

(equ. 4)

$$\phi = B \cdot S$$

(equ. 5)

Das equações 4, 5, das características do ímã cilíndrico permanente e da estrutura do circuito tem-se:

$$B_p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = B_1 \cdot S + B_2 \cdot S$$

(equ. 6)

Na equação 6, a variável S representa a secção de cada uma das duas colunas laterais. As variáveis B_1 e B_2 representam as densidades de fluxos magnéticos resultantes nas colunas onde ocorrem os fluxos ϕ_1 e ϕ_2 , respectivamente. A densidade de fluxo magnético na face do ímã cilíndrico e o diâmetro dessa face estão representados por B_p por D , respectivamente.

Procedimento

Com o auxílio da régua graduada determine a secção de cada uma das faces das colunas laterais, S1 e S2 e determine também a secção da comuna central St e a secção da face cilíndrica do íman permanente, registe os valores encontrados. É de notar que neste circuito magnético a ferrite apresenta S1 e S2 praticamente iguais entre si e que St é muito próximo do dobro de S1 ou de S2.

SECÇÃO DA COLUNA LATERAL 1, S1 = _____

SECÇÃO DA COLUNA LATERAL 2, S2 = _____

SECÇÃO DA COLUNA CENTRAL, St = _____

SECÇÃO DO IMAN PERMANENTE, Sp = _____

Coloque o íman permanente entre as faces da coluna central do circuito, tal como indicado na figura 1.

Configure o medidor de densidade de fluxo magnético para medição segundo a radial. Coloque a sonda na zona de entreferro de cada uma das colunas e obtenha a medida da densidade de fluxo magnético e registe os valores obtidos.

DENSIDADE DE FLUXO MAGNETICO NO ENTRE-FERRO 1 = _____

DENSIDADE DE FLUXO MAGNETICO NO ENTRE-FERRO 2 = _____

Recorrendo dos resultados obtidos, calcule o fluxo magnético em cada uma das colunas e registe os valores.

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA LATERAL 1 = _____

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA LATERAL 2 = _____

Calcule agora o fluxo magnético na coluna central e registe o respectivo valor.

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA CENTRAL = _____

Sendo este fluxo obrigatoriamente o gerado pelo íman permanente e conhecida a secção circular do íman permanente, determine a densidade de fluxo magnético por ele gerado e registe o valor encontrado.

DENSIDADE DE FLUXO GERADO PELO IMAN PERMANENTE = _____

Experiência 2: Circuito magnético simétrico com duas fontes de fluxo laterais

O circuito magnético apresentado na figura 2 tem dois ímanes permanentes cilíndricos iguais. Estes estão a impor fluxos magnéticos nas colunas laterais no sentido ascendente. Consequentemente, surge na coluna centra um fluxo no sentido descendente, tal como indicado na figura.

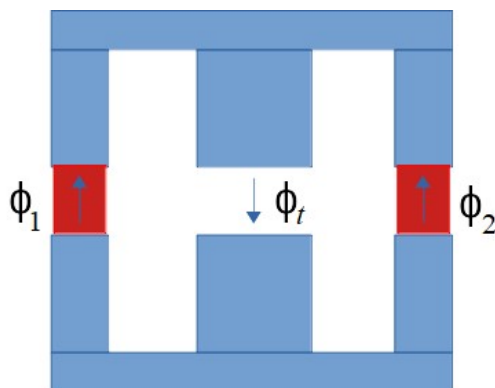


Fig. 2 – Circuito magnético simétrico com duas fontes de fluxo.

Procedimento

Tendo em consideração o fluxo magnético gerado por um íman cilíndrico encontrado na experiência 1 anterior, calcule o fluxo magnético e a densidade de fluxo magnético esperado na coluna central para a situação presente e registe o valor.

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA CENTRAL = _____

DENSIDADE DE FLUXO MAGNETICO NA COLUNA CENTRAL = _____

Com o medidor de densidade de fluxo magnético, obtenha a medida directa da densidade de fluxo magnético na coluna central e registe o valor obtido.

DENSIDADE DE FLUXO MAGNETICO NA COLUNA CENTRAL = _____

Compare e comente o valor obtido para a densidade de fluxo magnético por intermédio dos cálculos com o valor obtido por medição directa.

Experiência 3: Circuito magnético simétrico com duas fontes de fluxo centrais

O circuito magnético apresentado na figura 3 tem dois geradores de fluxo colocados na coluna central. O fluxo gerado pelos ímanes é dividido pelas duas colunas laterais do circuito.

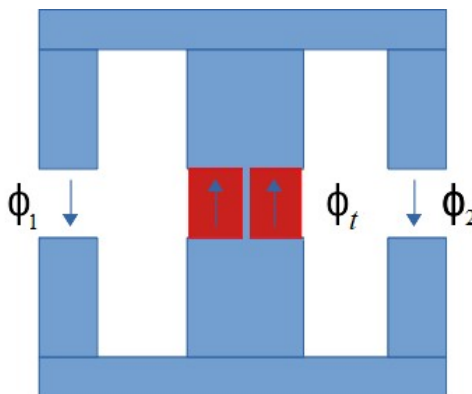


Fig. 3 - Circuito magnético com dois geradores de fluxo na coluna central.

Procedimento

Realize a medição directa da densidade de fluxo magnético nas colunas laterais e calcule o fluxo nessas colunas, registre os respectivos valores obtidos.

DENSIDADE DE FLUXO MAGNETICO NA COLUNA LATERAL 1 = _____

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA LATERAL 1 = _____

DENSIDADE DE FLUXO MAGNETICO NA COLUNA LATERAL 2 = _____

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA LATERAL 2 = _____

Com os valores anteriormente obtidos para os fluxos magnéticos nas colunas laterais, calcule o fluxo magnético na coluna central e o fluxo magnético produzido por cada um dos ímanes permanentes.

FLUXO MAGNETICO NA COLUNA CENTRAL = _____

FLUXO MAGNETICO DE UM DOS IMANS PERMANENTES = _____

Compare o valor agora obtido para o fluxo magnético gerado por cada um dos ímanes com o valor que obteve na primeira experiência.