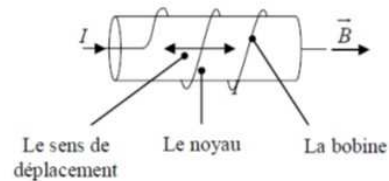


Les circuits magnétiques

I. Vecteur excitation magnétique (\vec{H})

Si on considère un solénoïde de grande longueur à l'intérieur duquel nous introduisons et dans lequel nous faisons varier le courant à partir de zéro. Pour diverses valeurs du courant I , nous mesurons l'intensité du

Dans la deuxième phase nous remplaçons le de même dimension et nous mesurons l'intensité de vecteur induction magnétique \vec{B} pour les mêmes valeurs des intensités du courant I .



1

Les circuits magnétiques

I.1. Définition

Nous appellerons excitation magnétique, l'expression $H = \frac{nI}{l}$ dont la valeur commune aux deux circuits ne dépend pas de la nature des noyaux.

I.2. Relation entre excitation magnétique et champ magnétique

Le champ magnétique à vide peut être exprimé comme suit :

avec le vecteur induction magnétique \vec{B} et vecteur excitation magnétique \vec{H} sont colinéaires.

II. La perméabilité

II.1. La perméabilité relative

Par définition, pour un champ magnétique la perméabilité relative μ_r d'une substance est le quotient du champ magnétique qui y est produit par celui qui existerait dans le vide ou l'air.

2

Ferromagnétisme :

- Les matériaux ferromagnétiques (Fe, Co, Ni et alliages) réagissent en renforçant très fortement l'induction B :
- Un morceau de fer vierge de toute aimantation contient un grand nombre de moments magnétiques élémentaires μ orientés au hasard. Dès qu'on lui impose une excitation magnétique H, , contribuant à augmenter l'induction B. Plus H est élevé,
- Lorsque tous les moments sont alignés, on dit que le fer est saturé : toute augmentation ΔH de H n'entraîne plus qu'une augmentation
- La valeur élevée de μ_r a une conséquence cruciale : l'induction "passe" μ_r fois plus facilement dans le fer que dans l'air. Dès que l'on place un morceau de fer dans un lieu où existe un champ magnétique, (tant que le fer n'est pas saturé).
- Ainsi toutes les machines électrotechniques classiques . L'espace d'air () qui sépare la partie fixe () de la partie tournante () est réduit au minimum.
- Sans il n'y aurait pas (alternateurs, transformateurs, moteurs).

3

Matériaux ferromagnétiques	μ_r (valeur maximale)	Température de Curie en °C
Cobalt	250	1 115
Fer	10 000	770
Mu-métal	150 000	420
Nickel	600	358

Pour les matériaux ferromagnétiques,

, au-dessus de laquelle ils perdent leur propriété ferromagnétique pour redevenir paramagnétiques. Le tableau précédent liste quelques valeurs.

4

Nom	Composition	Induction à sat. B_s	Temp. de Curie T_c	Magnétostriction λ_s	Résistivité électrique ρ_0	Perméabilité max. μ_{max}
Alliages à base de fer						
Vitrovac 7505 [DECI]	$Fe_{80}(B,Si,C)_{20}$	1,45 T	430 °C	$24 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \mu\Omega \cdot m$	/
Metglas 2605SA1 [METI][DECI]	$Fe_{80}B_{10}Si_{10}$	1,57 T	392 °C	$27 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \mu\Omega \cdot m$	$600 \cdot 10^3$
Metglas 2605SA3 [METI][DECI]	$Fe_{74}Cr_4B_{10}Si_6C_{10}$	1,41 T	358 °C	$20 \cdot 10^{-6}$	$1,38 \mu\Omega \cdot m$	$35 \cdot 10^3$
Metglas 2605CO [METI][DECI]	$Fe_{80}Co_{10}B_{10}Si_0$	1,8 T	415 °C	$35 \cdot 10^{-6}$	$1,23 \mu\Omega \cdot m$	$400 \cdot 10^3$
Metglas 2605SC [METI][DECI]	$Fe_{80}B_{10}Si_{10}C_{10}$	1,61 T	370 °C	$30 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \mu\Omega \cdot m$	$300 \cdot 10^3$
Alliages Fe-Ni						
Vitrovac 4040 [DECI]	$Fe_{70}Ni_{10}B_{10}Si_5Mo_5$	0,8 T	260 °C	$8 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \mu\Omega \cdot m$	/
Metglas 2826MB [METI][DECI]	$Fe_{80}Ni_{10}B_{10}P_0$	0,88 T	353 °C	$12 \cdot 10^{-6}$	$1,38 \mu\Omega \cdot m$	$800 \cdot 10^3$
Alliages à base de cobalt						
Vitrovac 6025 [DECI]	$Co_{70}Fe_{10}Mo_{10}Si_{10}B_{10}$	0,55 T	210 °C	$< 0,2 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \mu\Omega \cdot m$	$100 \cdot 10^3$
Vitrovac 6150 [DECI]	$Co_{70}Fe_{10}Mn_{10}Si_{10}B_{10}$	1 T	485 °C	$< 0,2 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \mu\Omega \cdot m$	$1,5 \cdot 10^3$
Metglas 2714A [METI][DECI]	$CoFeNiBSi$	0,57 T	225 °C	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \mu\Omega \cdot m$	$1000 \cdot 10^3$
Metglas 2705M [METI][DECI]	$Co_{60}Fe_{10}Ni_{10}Mo_{10}B_{10}Si_{10}$	0,77 T	365 °C	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \mu\Omega \cdot m$	$600 \cdot 10^3$

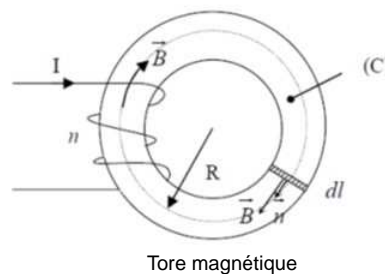
5

II.2. La perméabilité absolue

Les matériaux qui laissent passer facilement les lignes de champ magnétique sont caractérisés par une perméabilité absolue élevée.

III. Théorème d'Ampère généralisé

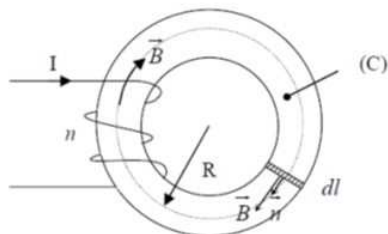
La circulation du vecteur excitation magnétique H le long d'un contour fermé (C) est égale à la somme algébrique des intensités des courants enlacés, en comptant ces intensités comme suit :



6

IV. Loi d'Ohpkinson

Soit un tube d'induction dans un milieu ferromagnétique, soit (S) la section de ce tube et nous supposons que l'induction magnétique B est uniforme dans le tube.



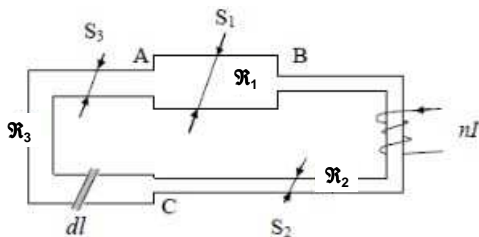
D'après le théorème d'ampère, nous avons :

Tore magnétique

La relation $\oint_C \frac{\phi}{\mu_a \cdot S} \cdot dl = n \cdot I$ peut être sous la forme suivante $\oint_C \frac{dl}{\mu_a \cdot S} = \frac{n \cdot I}{\phi} = \mathfrak{R}$ et $n \cdot I = E$

V. Association des circuits magnétiques linéaires

V.1. Circuit magnétique fermé à tronçons en série



Circuit magnétique à tronçons en série

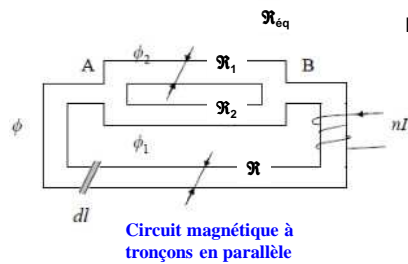
D'après l'homogénéité de chaque des trois tronçons les excitations magnétiques $H_1 = H_2 = H_3$.
Le théorème d'Ampère :

avec

Le flux magnétique est uniforme $\phi = n \cdot I / \mathcal{R}_{eq}$, alors que les inductions magnétiques se diffèrent

Déductions

V.2. Circuit magnétique fermé à tronçons en parallèle



Pour le circuit magnétique en parallèle, on a alors :

$$\mathcal{R}_{12} \cdot \phi = \mathcal{R}_1 \cdot \phi_1 = \mathcal{R}_2 \cdot \phi_2 \text{ et } \phi_1 + \phi_2 = \phi$$

$$n \cdot I = \mathcal{R} \cdot \phi + \mathcal{R}_1 \cdot \phi_1$$

$$\mathcal{R}_1 \cdot \phi_1 = \mathcal{R}_2 \cdot (\phi - \phi_1) \text{ et } \mathcal{R}_2 \cdot \phi_2 = \mathcal{R}_1 \cdot (\phi - \phi_2)$$

$$\text{Soit } \phi_1 = \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \cdot \phi \text{ et } \phi_2 = \frac{\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \cdot \phi$$

$$\Rightarrow \mathcal{R}_{12} \cdot \phi = \frac{\mathcal{R}_1 \cdot \mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \cdot \phi$$

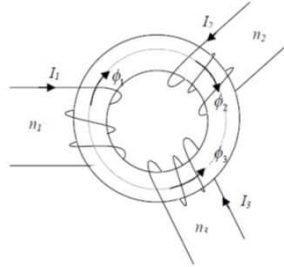
Analogie entre les grandeurs électriques et magnétiques



VI. Exemples d'applications

VI.1. Exemple N°1 : application d'un tore à plusieurs bobines

On dispose d'un tore magnétique comportant de trois bobines de différents nombres de spires, sont respectivement n_1 , n_2 et n_3 .

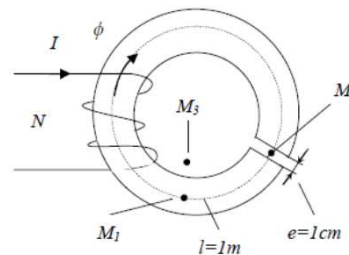


Le théorème d'Ampère : $\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum n \cdot I$

11

VI.1. Exemple N°2 : Application d'une bobine à noyau de fer

Un tore magnétique de longueur moyenne $l = 1\text{m}$ et de section $S = 1\text{cm}^2$. Comporte un entrefer de largeur $e = 1\text{cm}$. Ce tore est magnétisé à l'aide de 100 spires, traversées par un courant $I = 100\text{A}$. La perméabilité relative du fer $\mu_r = 10^4$ et $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ H/m}$.



Circuit magnétique à entrefer

1. Evaluer l'induction magnétique B et le champ magnétique H respectivement dans les trois points suivants :

- M1 : situé dans le fer ;
- M2 : situé dans l'entrefer ;
- M3 : situé dans l'air.

2. Déduire la différence de potentielle "d.d.p" magnétique aux bornes de l'entrefer.

3. Comparer les différents B et H , conclure.

12

