

Leçon de Physique n°22
Propriétés macroscopiques des corps ferromagnétiques

Niveau :

Programme :

Le bloc 6 introduit les notions d'aimantation, d'excitation magnétique, et de perméabilité magnétique. Il conduit à une réécriture de l'équation de Maxwell-Ampère, plus adaptée aux milieux magnétiques.

Notions et contenus

Capacités exigibles

6. Milieux ferromagnétiques

Aimant permanent, champ magnétique créé dans son environnement.

À partir d'une formule fournie exprimant le champ d'un dipôle magnétique, décrire le champ créé par un aimant à grande distance et représenter qualitativement les lignes de champ magnétique.

Actions subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétique extérieur.

Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle, de la résultante et du moment. Décrire qualitativement l'évolution d'un dipôle magnétique dans un champ extérieur.

Citer l'ordre de grandeur du champ géomagnétique en France.

Aimantation \mathbf{M} d'un milieu magnétique.

Définir le champ d'aimantation d'un milieu magnétique.

Courants d'aimantation.

Associer à une distribution d'aimantation une densité de courants liés équivalente $\mathbf{j}_{\text{lié}} = \text{rot } \mathbf{M}$ (relation admise).

Relation entre \mathbf{B} , \mathbf{H} et \mathbf{M} . Équation de Maxwell-Ampère écrite avec le vecteur excitation magnétique \mathbf{H} et $\mathbf{j}_{\text{libre}}$.

Définir l'excitation magnétique \mathbf{H} et écrire l'équation de Maxwell-Ampère dans un milieu magnétique.

En déduire qualitativement que les sources de \mathbf{H} sont les courants électriques libres, et que les sources de \mathbf{B} sont les courants électriques libres et l'aimantation.

Milieu ferromagnétique.

Représenter l'allure des cycles d'hystérésis (\mathbf{H}, \mathbf{M}) et (\mathbf{H}, \mathbf{B}) d'un milieu ferromagnétique. Distinguer milieu dur et milieu doux, citer des exemples.

Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique.

Milieu ferromagnétique doux.

Modéliser un milieu doux par une relation constitutive linéaire. Définir la perméabilité relative et donner un ordre de grandeur.

Circuit magnétique avec ou sans entrefer.

Décrire l'allure des lignes de champ dans un circuit magnétique sachant que les lignes de champs sortent orthogonalement à l'interface dans un entrefer.

Électroaimant.

En appliquant le théorème d'Ampère et la conservation du flux magnétique, exprimer le champ magnétique produit dans l'entrefer d'un

électroaimant.

Inductance propre d'une bobine à noyau de fer doux modélisé linéairement.

Etablir l'expression de l'inductance propre de la bobine à noyau, vérifier l'expression de l'énergie magnétique .

$$E_{\text{mag}} = \iiint_V \mathbf{B} \cdot d\mathbf{t} \quad 2\mu_0\mu_r$$

Pertes d'une bobine réelle à noyau.

Exprimer le lien entre l'aire du cycle hystérésis et la puissance moyenne absorbée. Décrire les différents termes de perte d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.

Livres : H Prépa Electromagnétisme 2ème année, Perez Electromagnétisme, BFR Electromagnétisme 4, Tout-en-un PSI

Pré-requis : Electromagnétisme dans l'ARQS

Intro : *Tout-en-un*

De la même manière qu'une canalisation conduit de l'eau ou qu'un fil électrique conduit le courant électrique, il existe des matériaux, qualifiés de ferromagnétiques, qui conduisent le champ magnétique.

Voir aussi *H prépa et BFR*

1 – Corps ferromagnétiques

a – Expérience, définition

- ferromagnétisme : propriété qu'ont certains corps de s'aimanter très fortement sous l'effet d'un champ magnétique extérieur
- ces aimantation sont de loin très supérieures à celles observées avec les corps paramagnétiques (facteur $1e6$), en conséquence ces corps modifient considérablement le champ B dans lequel ils sont plongés : par exemple dans une bobine parcourue par un courant donné on augmente considérablement le champ magnétique créé en y introduisant un noyau de fer, illustration expérimentale, *BFR EM4*

b – Différents types

Eléments purs, alliages, oxydes, *BFR EM4*

c – Aimantation

- première aimantation : courbe M(H), B(H), ODG de H nécessaire pour arriver à saturation, ODG de Msat
- graphe Msat(T), température de Curie, expérience transition ferro/para
- permeabilité magnétique μ : $B=\mu H$, $\mu_r=\mu/\mu_0=1+\chi_m$, attention ces grandeurs sont bien définies pour un paramagnétique, par contre pour un ferromagnétique il faut les manier avec précaution, la relation entre B et H (ou entre M et H) devient rapidement non linéaire avec H, en plus on peut les définir que pour une première aimantation : on peut avoir ensuite $H=0$ et B très élevé ce qui implique un μ infini!!

BFR EM4

2 – Hystérésis

a – Cycle d'hystérésis

Dispositif de tracé expérimental, caractéristiques, rémanence, champ coercitif, *BFR, H prépa*

b – Ferromagnétiques durs ou doux

- durs : fort champ coercitif, ODG
- doux : faible champ coercitif, ODG, *BFR EM4*

c – Pertes par hystérésis

Lien avec l'aire du cycle (H,B), *BFR*

3 – Applications

a – Aimant permanent

On décrit un circuit magnétique constitué d'un aimant permanent, d'un fer doux et d'un entrefer, on détermine le point de fonctionnement (H_m , B_m) dans le plan (H,B), on montre que pour avoir B_e maximal il faut avoir $|H_m|B_m$ maximal => intérêt d'avoir des matériaux à cycle carré, *Perez*

b – Bobine à noyau torique

Dans l'hypothèse linéaire, déterminer l'inductance L que l'on obtient avec un fer, si on avait juste une bobine torique sans un matériau ferromagnétique on n'aurait $\mu = \mu_0$, *Tec&Doc PSI ch «électromagnétisme des milieux» à linéarisation*

c - Transformateur

Ecrire les équations, l'intérêt du ferromagnétique est dans l'inductance élevée que l'on peut obtenir, au primaire par exemple on a : $u_1 = r_{i1} + n_1 d\phi/dt = r_{i1} + L_{d1} di_1/dt + M_{d1} di_2/dt$, sans un ferromagnétique on a des inductances toutes petites donc c'est pas possible de transmettre de puissance (intérêt du fer sinon on pourrait faire la même chose avec deux bobinages bien couplés), *Tec&Doc, Perez*

Conclusion : ouverture vers le stockage d'informations ?