

Applications directes :

1. Détermination des champs

Un circuit électrique comportant N spires parcourues par un courant stationnaire I est enroulé autour d'un noyau magnétique torique d'axe Oz . Le matériau est doux et on reste très en dessous de la saturation. Les dimensions de la section du tore sont faibles devant le rayon moyen du tore on considère donc les champs uniformes sur une section.

- Donner une relation entre le champ magnétique et l'excitation magnétique dans le matériau. Proposer un ordre de grandeur.
- Appliquer le théorème d'ampère pour exprimer l'excitation, puis le champ magnétique en fonction de I .
- Les relations précédentes auraient-elles été différentes si le noyau magnétique n'avait pas eu une forme torique, dans le cas toutefois d'un matériau de forte perméabilité relative ?

2. Champ dans l'entrefer d'un électroaimant

Un électroaimant est constitué d'un bobinage de N fils parcourus par un courant I autour d'un matériau ferromagnétique linéaire de perméabilité relative μ_r . Le circuit magnétique a une section S , une longueur l et l'entrefer a une longueur e . On suppose les champs uniformes sur une section du noyau.

- Justifier que le champ magnétique conserve une valeur constante à la traversée des interfaces entrefer-noyau.
- On fait l'hypothèse d'un état magnétique non saturé. Quelle relation lie H et B dans le noyau ? dans l'entrefer ?
- Exprimer les valeurs des 4 champs précédents en fonction de I .
- $AN : \mu_r = 1200 ; e = 100 \mu\text{m} ; l = 50 \text{ cm} ; N = 50 \text{ spires} ; I = 1 \text{ A}$.
- Que deviennent ces champs si μ_r tend vers l'infini ?

3. Valeur d'une inductance

Un circuit électrique comprenant N spires parcourues par un courant I est enroulé autour d'un noyau magnétique torique de section constante S et de longueur moyenne ℓ . Le matériau est ferromagnétique est on reste très en deçà du champ magnétique de saturation B_{SAT} . On considère en outre que les champs restent uniformes sur toute section du noyau.

- Justifier sans équation la proportionnalité du flux de B à travers le bobinage à l'intensité du courant.
- Exprimer l'inductance propre de cette bobine à noyau de fer ainsi constituée.
- Commenter la dépendance en N et μ du résultat.

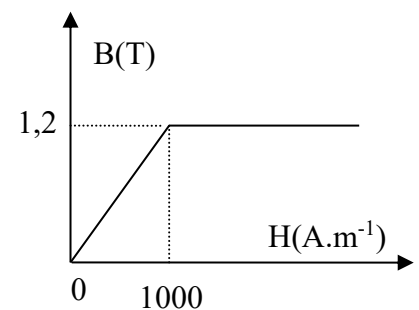
EXERCICES

I. Détermination de l'inductance d'un circuit magnétique

Une inductance est réalisée en bobinant 100 spires sur un noyau ferromagnétique torique de section 2 cm^2 de longueur moyenne 8 cm dont la courbe $B(H)$ est donnée ci-contre.

Le circuit ne comporte aucune fuite de flux, aucun entrefer et la résistance du bobinage peut être négligée.

- Dans quel domaine le noyau a-t-il un comportement saturé ? linéaire ? Déterminer alors la perméabilité relative du matériau.
- Calculer la valeur de l'aimantation à saturation et justifier l'allure de $B(H)$ pour $H > 1000 \text{ A.m}^{-1}$.
- Calculer la valeur du courant qui conduit à la saturation.
- Calculer l'inductance de ce circuit en régime linéaire.
- Déterminer l'énergie magnétique volumique maximale emmagasinée, puis l'énergie magnétique emmagasinée.



- f) On crée dans ce circuit un entrefer de 0,5 cm. Reprendre les question c et d. Déterminer l'énergie magnétique volumique maximale emmagasinée respectivement dans le fer et l'entrefer, puis l'énergie magnétique emmagasinée dans le fer et l'entrefer.
- g) Comparer les résultats obtenus selon que le circuit magnétique possède ou non un entrefer.

II. Solénoïde avec noyau de fer doux

Un solénoïde cylindrique, de section droite S , de rayon a , de très grande longueur ℓ , possédant n spires par unité de longueur est parcouru par un courant I . A l'intérieur on glisse un long barreau de fer doux, de perméabilité relative μ_r , cylindrique et de même direction d'axe, de section droite $s < S$. On néglige les effets de bords et on se place dans l'ARQS.

1. Montrer, à l'aide du théorème d'Ampère, que l'excitation magnétique est uniforme dans le barreau.
2. Donner son expression en fonction des données.
3. En déduire l'expression du champ magnétique en tout point intérieur au solénoïde.
4. En déduire l'expression du coefficient d'autoinductance par unité de longueur $\lambda = L / \ell$ de la bobine.

III. Pertes par hystérésis

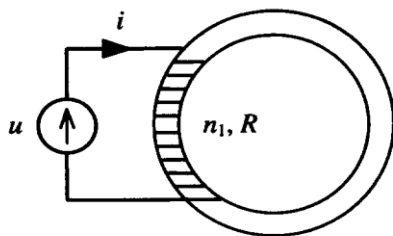


Figure 4

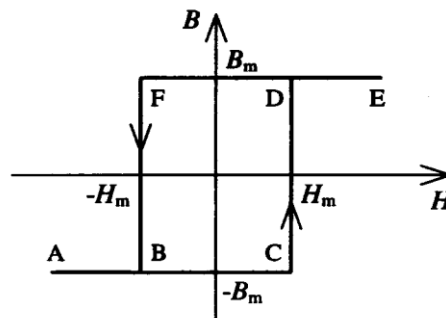


Figure 5

On considère un tore sans entrefer, où figure un enroulement de n_1 spires (figure 4). Le fil constituant celui-ci présente une résistance électrique totale, notée R . Le courant i est une fonction T périodique du temps.

Nous supposons pour simplifier que les valeurs algébriques H et B de l'excitation et de l'induction magnétiques, mesurées selon le vecteur unitaire orthoradial $\mathbf{u}_\theta$, sont uniformes dans toute section radiale, S , du tore. Les valeurs retenues sont celles observées sur le rayon moyen du tore.

Le matériau magnétique constituant le tore possède une caractéristique $B = f(H)$ présentant un important phénomène d'hystérésis (figure 5).

1. Quels noms donne-t-on aux grandeurs B_m et H_m ?
2. Montrer que la puissance instantanée délivrée par le générateur est consommée d'une part dans la résistance des enroulements, d'autre part dans le noyau ferromagnétique.
3. Quel nom donne-t-on usuellement à chacune de ces puissances ? Exprimer la puissance moyenne consommée par le noyau en fonction des données.
4. Quelle puissance n'apparaît pas dans ces expressions ? Comment fait-on pour s'en affranchir ?

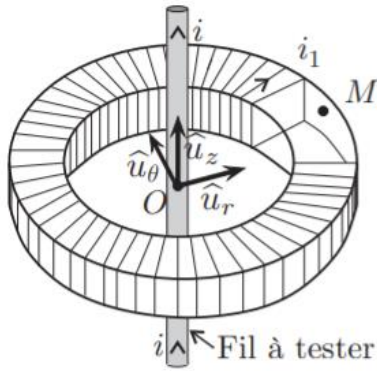
IV. Mesure de l'intensité efficace d'un courant alternatif à l'aide d'une pince ampèremétrique :

Une pince ampèremétrique est un appareil dont l'extrémité possède la forme d'un tore. En disposant ce tore autour d'un conducteur parcouru par un courant $i(t) = I \cdot \cos(\omega t)$ avec $\omega = 2\pi f$ et $f = 50$ Hz, le dispositif équipant la pince permet d'en mesurer sa valeur efficace I_{eff} . Son principal intérêt est l'absence de contact physique avec le conducteur et le fait qu'il ne soit pas nécessaire d'ouvrir le circuit pour mesurer le courant qui le traverse contrairement à l'implantation d'un ampèremètre classique.

Le dispositif de mesure de la pince ampèremétrique est formé d'un bobinage torique comportant $N = 1\,000$ spires enroulées sur un tore

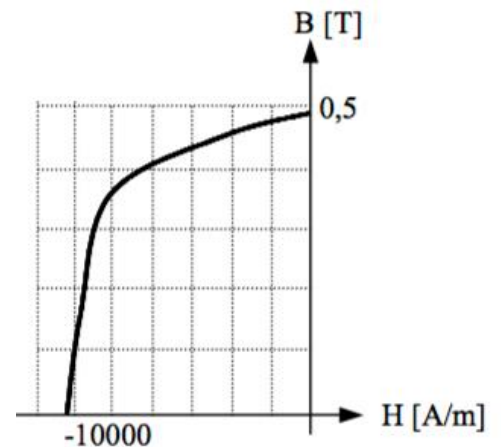
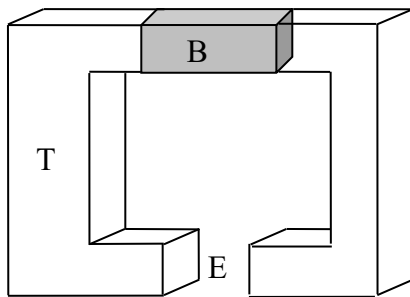


ferromagnétique doux de perméabilité relative $\mu_r = 2\,500$, de section rectangulaire de rayon intérieur a , de rayon extérieur b , d'épaisseur c , d'axe (Oz).



1. On a branché un voltmètre aux bornes du circuit torique, justifier que $i_1 = 0$.
2. Après une étude topographique, déterminer l'expression de l'excitation magnétique dans le tore.
3. Déterminer l'expression du flux magnétique à travers une spire du tore. A quelle condition peut-on supposer que le champ magnétique est uniforme dans le tore ?
4. En déduire la tension aux bornes du voltmètre et justifier que cette grandeur permet d'en déduire la valeur efficace du courant qui circule dans le fil vertical.
5. Sur la photo, la valeur indiquée est $I_{\text{eff}} = 38,7\text{ A}$. En déduire la valeur de la tension efficace induite en estimant les dimensions du tore.

V. Champ magnétique créé par un aimant dans un entrefer



Le barreau aimanté B est un milieu dur dont on donne la caractéristique $B(H)$, de longueur L et de section S . On cherche à déterminer le champ magnétique dans l'entrefer du circuit magnétique.

T est en fer doux linéaire de perméabilité relative infinie de longueur L_{fer} et de section S . E est un entrefer de longueur ℓ et de section S .

1. Comment doit-être le cycle d'hystérésis d'un bon aimant permanent ? Doit-on utiliser un matériau magnétique dur ou doux ? Est-ce le même choix dans un transformateur ? Pourquoi ?
2. A partir du graphe $B(H)$ ci-contre, tracer l'allure du cycle d'hystérésis de l'aimant. Que représente les valeurs des données numériques sur ce graphe ?
3. Montrer que le vecteur excitation magnétique est nul dans T.
4. En appliquant le théorème d'Ampère sur un contour que l'on précisera, déterminer une relation entre le champ magnétique dans le barreau et l'excitation magnétique du barreau. Interpréter graphiquement ce résultat.
5. En déduire, à partir de la caractéristique $B(H)$ la valeur du champ magnétique dans l'entrefer si $\ell = 0,5\text{ cm}$ et $L = 25\text{ cm}$.