

École de l'air 1992 Milieu aimanté

Les parties II et III du problème sont indépendantes.

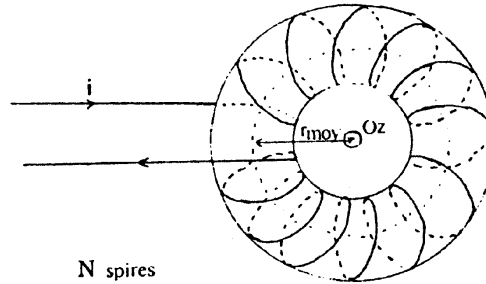
Partie 1

on considère un milieu aimanté pour lequel on note $\mathbf{H}$ le vecteur excitation magnétique, $\mathbf{M}$ le vecteur aimantation et $\mathbf{B}$ le champ magnétique.

1) Quelle relation existe-t-il entre $\mathbf{H}$, $\mathbf{M}$ et $\mathbf{B}$? 2) Dans le cadre de l'approximation des régimes quasipermanents, donner l'équation différentielle reliant $\mathbf{j}$ vecteur densité de courant, à l'une des grandeurs précédemment définie. Quelle est la forme intégrale de cette équation ?

Une bobine torique d'axe Oz , à section circulaire, comporte N spires en série, parcourues par un courant I continu (voir schéma n°1). L'intérieur du tore est un milieu aimanté.

3) Donner les composantes en coordonnées cylindriques d'axe Oz , de $\mathbf{H}$, pour un point P situé à la distance r de l'axe Oz , à l'intérieur du tore. Par la suite, on suppose que le rayon moyen du tore est $r_{\text{moy}} \gg \text{rayon d'une spire}$. On considérera ainsi que $\mathbf{H}$ et $\mathbf{B}$ sont de norme constante et égale à leur valeur en . On notera et on négligera la résistance de l'enroulement



SCHEMA N°1

4) Exprimer le flux propre en fonction de B et S , surface d'une spire. Montrer qu'il apparaît une tension aux bornes de l'enroulement lorsqu'on fait varier I . 5) Montrer que le dispositif précédent permet d'obtenir $B = f(H)$ et $M = g(H)$ 6) On fait croître le courant, le champ magnétique passant de B à $B + dB$. Exprimer la puissance fournie par le générateur par unité de volume du tore, puissance exprimée en fonction de H et B . 7) Donner le travail élémentaire fourni par le générateur pendant le temps dt par unité de volume du tore, quand l'excitation passe de H à $H + dH$ et l'aimantation de M à $M + dM$. On montrera que ce travail est la somme de deux fonctions de dH et dM . 8) En l'absence de matériau magnétique, quel serait le travail par unité de volume du tore, fourni par le générateur ? En déduire que le travail reçu par unité de volume de matériau magnétique, pour augmentez l'aimantation de dM est:

Partie 2

On considère comme matériau magnétique un corps paramagnétique. 1) Comment définit-on la susceptibilité magnétique χ_m d'un tel corps ? Quelles sont les différences entre un corps paramagnétique et un corps diamagnétique ? On place dans l'entrefer d'un électroaimant, un cylindre creux, de matière plastique, d'épaisseur faible et contenant une substance paramagnétique. On suppose que les dimensions du cylindre sont telles que l'excitation magnétique $\mathbf{H}$ est parallèle en tout point aux génératrices du cylindre et que

On note: $C_M(T, M) = C_M$ - capacité calorifique volumique à aimantation constante.

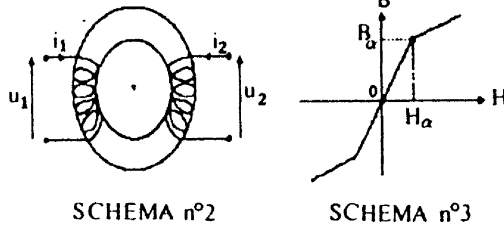
$\lambda(T, M) = \lambda$, chaleur latente volumique d'aimantation à température T constante. 2) Exprimer la chaleur

élémentaire δQ reçue par le corps paramagnétique par unité de volume, pour une transformation quasistatique de l'état (T, M) à l'état $(T + dT, M + dM)$. En utilisant le résultat du I. 8), donner pour cette même transformation l'expression de dU , variation élémentaire d'énergie interne volumique, et de dS , variation élémentaire d'entropie volumique. 3) Démontrer que

4) On suppose que le composé paramagnétique suit la loi de Curie: C_M dépend-il de M ? On donne, à aimantation nulle, la valeur de C_M : Exprimer l'entropie $S(T, M)$ en fonction de $S(T_0, 0)$

Partie 3

On utilise le dispositif décrit PARTIE I : bobine torique sur laquelle est bobinée du fil. Le matériau magnétique est maintenant un corps ferromagnétique. 1) Existe-t-il une relation simple entre H et B ? On fait varier alternativement I entre I_m et $-I_m$ (courant alternatif). Tracer le cycle $B = f(H)$. Montrer que l'énergie par unité de volume, qui est fournie par le générateur pour d'écrire le cycle précédent, est susceptible d'une interprétation géométrique simple. On considère maintenant un tore en matériau ferromagnétique de section S , de rayon moyen sur lequel on bobine 2 enroulements appelés primaire (N_1 spires) et secondaire (N_2 spires) (voir schéma n°2). Le cycle d'hystérésis du matériau utilisé a une très faible surface (fer doux). Il est modélisé par le schéma n°3



- On néglige les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. De plus, on néglige la résistance des enroulements. On supposera que $\mathbf{B}$ et $\mathbf{M}$, créés par N spires sur une portion de tore, possèdent les mêmes symétries que celles de la question I.3) où le fil était bobiné sur l'ensemble du tore. Le sens des bobinages est tel que i_1 et i_2 créent des excitations magnétiques de même sens en un point P du tore. 2) Exprimer H_1 , excitation magnétique créée par le courant i_1 au primaire. On suppose que H_1 reste toujours inférieur à H_α , tel qu'il est défini au schéma n°3, quand i_1 varie. Comment définit-on μ_r , perméabilité relative du matériau ? 3) Exprimer B_1 , champ magnétique, en fonction de i_1 et μ_r .
- 4) Donner le coefficient d'auto induction L_1 du primaire, L_2 du secondaire et le coefficient M de mutuelle inductance entre le primaire et le secondaire. Le dispositif précédent modélise un transformateur parfait. On posera $u_1(t)$ est maintenant sinusoïdale et on se place en régime forcé. On associe à la grandeur sinusoïdale $x(t)$, l'amplitude complexe $\underline{X}$. 5) Le secondaire est ouvert. Donner la fonction de transfert en tension. Quelle est l'impédance d'entrée du montage ?
- 6) Le secondaire est fermé sur l'impédance complexe Z . Donner la nouvelle fonction de transfert en tension. Exprimer l'admittance d'entrée du montage, et proposer un schéma équivalent au transformateur pour l'entrée.
- 7) Comment peut-on modéliser, au primaire, les pertes Foucault et hystérésis ? 8) Le secondaire étant ouvert, on impose une tension crête $u_1(t)$ de valeur moyenne nulle. Tracer. On distingue les cas $i_{1\max}$ inférieur ou supérieur à i_α , défini par H_α . Il n'est pas demandé l'expression analytique de $i(t)$. Quelle est la forme de $u_2(t)$?