CH.34 : FERROMAGNETISME ET APPLICATIONS

Plan *(Cliquer sur le titre pour accéder au paragraphe)*

****

CH.34 : FERROMAGNETISME ET APPLICATIONS 1
I. FERROMAGNETISME 1
I.1. RESULTATS EXPERIMENTAUX 1
I.2. COURBE DE PREMIERE AIMANTATION 2
I.2.1. Dispositif expérimental de principe 2
I.2.2. Courbes 2
I.3. CYCLE D' HYSTERESIS 3
I.4. IMPORTANCE PRATIQUE DU FERROMAGNETISME 3
I.5. RELEVE PRATIQUE DE LA COURBE DE PREMIERE AIMANTATION ET DU CYCLE D' HYSTERESIS 4
I.5.1. Schéma de montage 4
I.5.2. Equations utilisées 4
II. TRANSFORMATEUR IDEAL 5
II.1. CONVENTIONS D' ORIENTATION 5
II.2. HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES 5
II.2.1. Nature du matériau ferromagnétique 5
II.2.2. Topologie du champ magnétique dans le noyau 5
II.2.3. Caractéristiques des enroulements 5
II.3. MISE EN EQUATIONS 5
II.4. APPLICATIONS 6
II.4.1. Transformateur de tension 6
II.4.2. Transformateur de courant 6
II.4.3. Adaptation d'impédances 7
III. MODELE LINEAIRE D' UN TRANSFORMATEUR REEL 7
III.1. PERMEABILITE FINIE DU MATERIAU 7
III.2. CARACTERISTIQUES REELLES DES BOBINAGES 7
III.3. PERTES FER 8
III.3.1. Pertes par courants de Foucault 8
III.3.2. Pertes par hystérésis 8
III.4. SCHEMA EQUIVALENT LINEAIRE D' UN TRANSFORMATEUR REEL 8

****

I. FERROMAGNETISME

I.1. RESULTATS EXPERIMENTAUX

• Dans le chapitre 33, nous avons vu qu'un corps ferromagnétique prend une forte aimantation en présence d'un champ magnétique extérieur et qu'il est capable de la conserver lorsque ce dernier s'annule : les aimants « naturels » ont été magnétisés par le champ magnétique terrestre.

• Au-dessus d'une température appelée « température de Curie » T_C, ces corps perdent leurs propriétés ferromagnétiques et deviennent paramagnétiques : pour le fer, $\boxed{T_C = 770°C}$

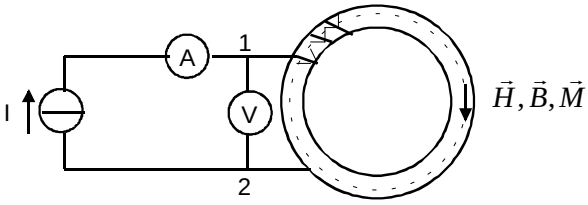
• Divers corps ferromagnétiques : fer, cobalt, nickel, leurs alliages et le dioxyde de chrome.

Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 8 pages.

I.2. COURBE DE PREMIERE AIMANTATION

I.2.1. Dispositif expérimental de principe



On considère un tore ferromagnétique de longueur moyenne L, sur lequel sont régulièrement bobinées N spires.
Les invariances et symétries du système permettent d'affirmer que les trois champs $\vec{H},\vec{B},\vec{M}$ sont **orthoradiaux** et de **module constant** le long du bobinage ainsi constitué.

• La bobine est alimentée par une source de courant I variable, mesuré par un ampèremètre (A) ; la tension aux bornes de la bobine est relevée grâce à un voltmètre (V).

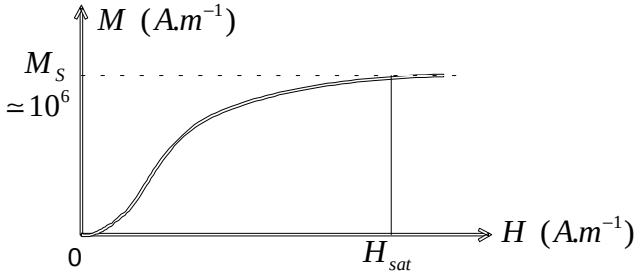
• Le théorème d'Ampère permet d'écrire : $\oint_{\text{rayon moyen}} \vec{H}\cdot d\vec{l} = i_{enlacé} \Rightarrow \boxed{H = \frac{NI}{L}}$

D'autre part : $\boxed{V_1 - V_2 = N\frac{d\varphi_{1\text{ spire}}}{dt} = NS\frac{dB}{dt}}$ (où S est la section du tore)

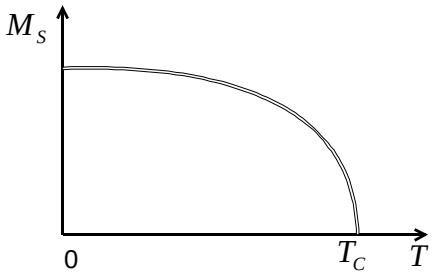
L'intégration de la relation précédente permet d'obtenir B pour toute valeur de I, donc de H ; enfin, la relation $M = B/\mu_0 - H$ nous autorise à tracer $M(H)$.

Rq : pour tracer la courbe de « première aimantation », il faut avoir pris soin de **désaimanter** le matériau : nous justifierons par la suite qu'il suffit de le soumettre à une excitation magnétique alternative dont on réduit progressivement l'amplitude jusqu'à 0.

I.2.2. Courbes



$\boxed{M \to M_S \ = \text{ aimantation à saturation}}$



$\boxed{M_S \text{ est fonction de la température}}$

Rq1 : $\chi_m = \frac{M}{H}$ est une fonction de H ; $\chi_{\max} \approx 10^4 \Rightarrow \mu_{r_{\max}} = 1+\chi_{\max} \approx 10^4 \Rightarrow$ le champ magnétique peut atteindre des valeurs 10000 fois supérieures à celles obtenues dans la bobine en l'absence de matériau ferromagnétique.

Rq2 : pour $T \geq T_C$, l'aimantation à saturation est très inférieure aux valeurs obtenues pour $T \prec T_C$: le matériau est devenu paramagnétique. C'est aux basses températures que M_S est la plus forte, l'agitation thermique ayant toujours tendance à augmenter le désordre.

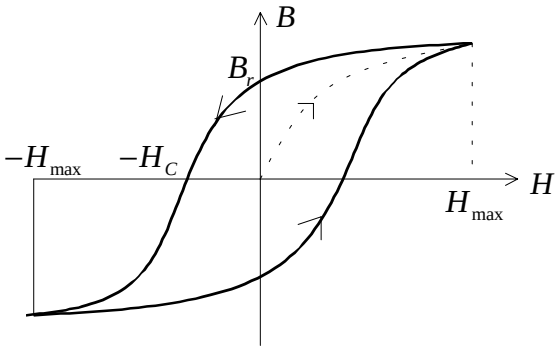
Rq3 : la courbe $B = f(H)$ a sensiblement la même allure, même si l'on n'obtient pas une véritable saturation : pour $H \succ H_{sat}$, $B = \mu_0(M_S + H) \Rightarrow$ la pente ($\neq 0$) reste néanmoins très inférieure à celle de la partie $H \prec H_{sat}$.

Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

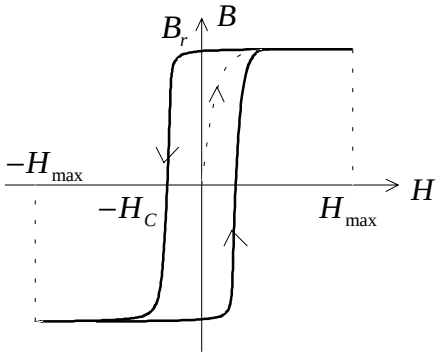
Extrait gratuit de document, le document original comporte 8 pages.

I.3. CYCLE D' HYSTERESIS

• Le courant I précédent est maintenant alternatif, il varie entre I_{max} et $-I_{max}$, de même que H entre H_{max} et $-H_{max}$; donnons cette fois les courbes $B = f(H)$:



matériau "DUR"
(acier)



matériau "DOUX"
(fer très pur)

• Pour une même valeur de H, on a des valeurs de B différentes selon que H est croissant ou décroissant : le matériau a une « **mémoire** » de ses états antérieurs, on dit qu'il y a **HYSTERESIS**.

• Lorsqu'on annule l'excitation H (directement liée au courant I), il subsiste un champ magnétique B_r appelé « **champ rémanent** » ; pour annuler le champ magnétique dans le matériau, il faut appliquer une excitation H_C nommée « **excitation coercitive** ».

• L'alignement et le désalignement des petits dipôles magnétiques intérieurs au corps ferromagnétique nécessitent un certain travail de la part de l'opérateur ; on peut montrer que l'**énergie volumique** reçue par le matériau au cours d'un **cycle** vaut :

$$w_{hyst} = \oint_{cycle} H \times dB = \oint_{cycle} B \times dH = \text{ aire du cycle } B = f(H) \quad \text{(en } J.m^{-3}\text{)}$$

Rq : cette énergie est dissipée sous forme de chaleur et constitue les « pertes par hystérésis ».

I.4. IMPORTANCE PRATIQUE DU FERROMAGNETISME

• Les appareils à **courant alternatif** (transformateurs, moteurs à courant continu, alternateurs…) comportent du fer pour « intensifier » les champs magnétiques (dont dépendent directement les couples en ce qui concerne les moteurs) : ils sont amenés à décrire des cycles d'hystérésis ⇒ le critère de choix du matériau ferromagnétique sera l'**étroitesse du cycle**, obtenu avec des matériaux **DOUX**, comme le fer très pur (il existe des corps où $H_C \prec 1\,A.m^{-1}$).

• En revanche, pour fabriquer des **aimants permanents**, le critère recherché sera H_C la plus élevée possible, afin d'éviter leur désaimantation accidentelle : il s'agit des matériaux **DURS**, comme l'acier (fer+carbone) ; l'excitation coercitive peut atteindre $1{,}3.10^5\ A.m^{-1}$).

• En utilisant des matériaux « doux » loin de la saturation ($H \ll H_{sat}$), les cycles deviennent si étroits que B devient pratiquement proportionnel à H : $B \simeq \mu_0 \mu_r H$ avec $\mu_r \simeq cste$.

Cette quasi-linéarité est recherchée en électronique (amplificateurs, alimentations, bobines à noyau de fer…).

© EduKlub S.A.
Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 8 pages.