

Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique : montage intégrateur à amplificateur opérationnel

par H. ATMANI*, G. REQUIN** et P. VIGIER*

* Laboratoire de Microscopie Électronique
(Faculté des Sciences, Université de Rouen),

** Lycée Corneille, 76000 Rouen

1. INTRODUCTION

Le montage classique, pour tracer les cycles d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique, utilise un intégrateur RC. Nous le remplaçons par un intégrateur à amplificateur opérationnel ; les élèves acquérant très tôt la connaissance de ce composant. Un exemple, utilisant ce montage, est tiré d'une séance de travaux pratiques.

2. RAPPEL

Si on place un échantillon d'une substance ferromagnétique dans un champ excitateur \vec{H} , il résulte un champ d'induction magnétique \vec{B} relié à \vec{H} par la relation :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\mu \text{ est la perméabilité magnétique}).$$

L'aimantation \vec{M} est liée à \vec{B} par l'expression :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$$

Si l'on fait croître H à partir de la valeur zéro, $B(H)$ ou $M(H)$ décrivent des courbes dites de première aimantation. La valeur maximale atteinte par M est l'aimantation à saturation M_s ; il lui correspond un champ d'induction B_s . Si l'on fait décroître la valeur de H , la courbe observée est différente de la première et par conséquent M n'est pas nulle pour $H = 0$. Il subsiste alors un champ appelé champ rémanent dû à une aimantation résiduelle du matériau. Pour annuler ce champ, il faut appliquer un champ inverse H_C : c'est le champ coercitif. H_C est caractéristique du matériau étudié ; il est élevé pour les matériaux durs utilisés comme aimants permanents et faibles pour les

matériaux doux utilisés dans les transformateurs. En faisant varier H de $+H_M$ à $-H_M$, $M = f(H)$ décrit une courbe symétrique, c'est le cycle d'hystérésis (figure 1).

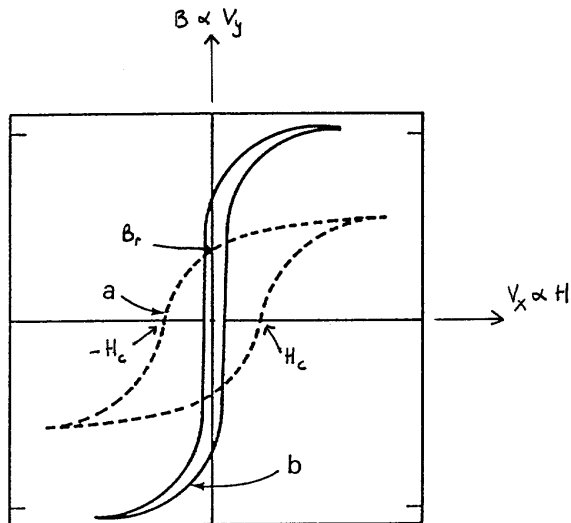


Figure 1

3. TRACÉ DU CYCLE D'HYSTÉRÉSIS :

MONTAGE INTÉGRATEUR À AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL

On peut tracer le cycle point par point en mesurant B pour chaque valeur de I (I variant de I_M à $-I_M$). Nous proposons une méthode qui consiste en l'observation du cycle à l'oscilloscope.

La méthode classique consiste à utiliser comme montage intégrateur un circuit RC série ($R = 10^5 \Omega$, $C = 0,5 \mu F$ par exemple). Nous remplaçons ce montage avec un amplificateur opérationnel utilisé en intégrateur, précédé éventuellement d'un montage potentiométrique pour réduire la tension d'entrée et éviter la saturation de l'A.O. (figure 2). Le montage intégrateur a été réalisé sur une plaquette électronique annexe et étudié lors d'une précédente manipulation. L'intégrateur étant alimenté, on fait croître lentement l'intensité délivrée par l'alternostat ; ceci permet alors d'observer le cycle d'hystérésis sur l'oscilloscope ; on augmente le courant jusqu'à obtenir

la saturation. Un exemple d'oscillogramme obtenu est montré en figure 2. On peut revenir aux expressions de H et de B. En effet on a :

$$V_x = R_0 I \quad \text{avec} \quad H.L = n_1 I \quad (\text{th. d'Ampère})$$

et donc :

$$V_x = \frac{R_0 L}{n_1} H \quad (1)$$

de même :

$$V_y = -\frac{1}{RC} \int V_e(t) dt$$

$$V_y = -\frac{1}{RC} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \int V_2(t) dt$$

avec : $V_2(t) = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -n_2 \frac{d(B.S)}{dt} \quad (\text{Loi de Faraday})$

$$V_2(t) = -n_2 S \frac{dB}{dt}$$

et donc :

$$V_y = \left(\frac{1}{RC} \frac{R_1}{R_1 + R_2} n_2 S \right) B \quad (2)$$

De la relation (1), on peut déterminer H_c ; par exemple pour le transformateur démontable utilisé, l'analyse de l'oscillogramme donne $H_c = 125 \text{ A/m}$. On peut donc classer le matériau du transformateur dans la catégorie des doux.

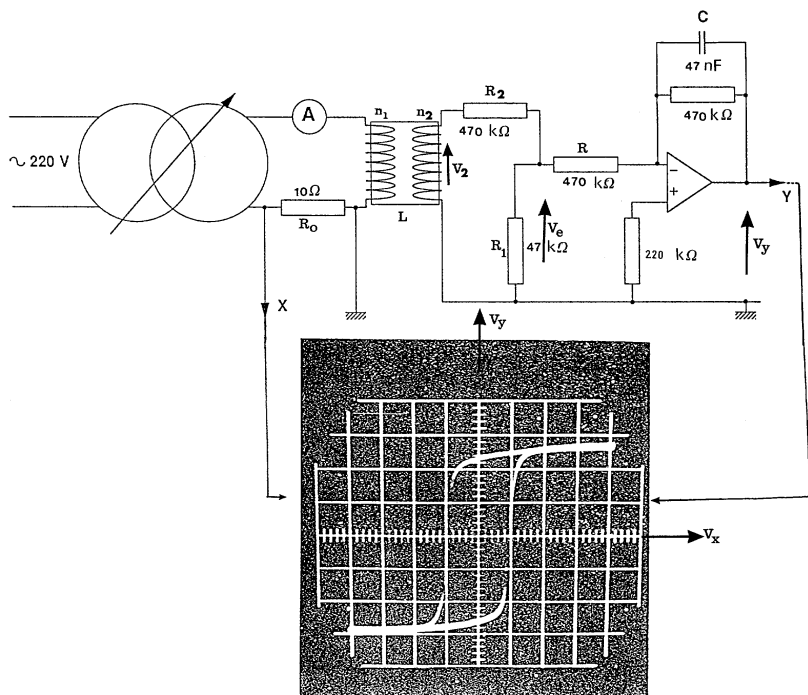


Figure 2

Ce montage utilise un amplificateur opérationnel caractérisé par un gain élevé. Il présente aussi l'avantage de montrer aux élèves, sur des courants non sinusoïdaux, l'intérêt d'un intégrateur.

BIBLIOGRAPHIE

L. NÉEL, G. BECUE et H. LEMAIRE
B.U.P. n° 588 (1976).

M. JANIN, F. PAUTY et J. BOUILLOT
B.U.P. n° 591 (1983).

D. JILES
Introduction to magnetism and magnetic materials
Chapman and Hall (1990).

Physique appliquée TF₃ collection Merat-Moreau
Nathan (1990).