

L'induction électromagnétique

par Jacques GHAZAROSSIAN,
Marseille.

I. PRINCIPE.

Lors de l'étude du phénomène d'induction électromagnétique, on introduit la relation $e = -\frac{d\phi}{dt}$. En expérience de cours ou en T.P., on peut vérifier expérimentalement cette relation en réalisant le montage classique ci-après.

Un générateur GBF-TBF applique à la bobine B_1 une tension e_1 variable. Il s'établit dans B_1 un courant i_1 que l'on peut observer sur la voie Y_A d'un oscilloscope et qui a la même forme que e_1 .

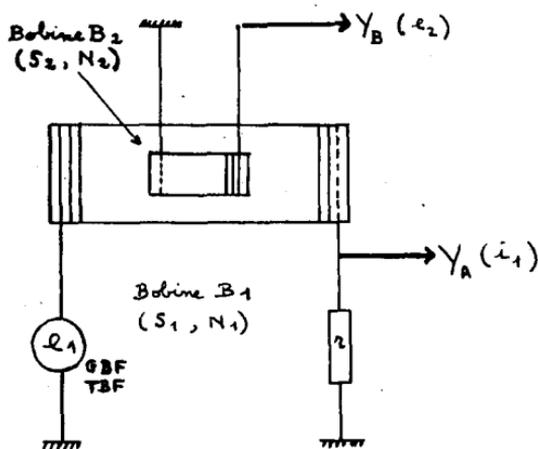


Fig. 1

Ce courant i_1 donne naissance à un champ magnétique $b_1 = k i_1$ proportionnel à i_1 . Les variations de b_1 font apparaître aux bornes de la bobine B_2 une f.é.m. induite $e_2 = -\frac{d\phi}{dt}$ (ou $\phi = b_1 N_2 S_2$ à travers B_2) que l'on observera sur la voie Y_B de l'oscilloscope.

L'expérience est facile à réaliser avec le matériel disponible dans nos lycées :

Le GBF-TBF Matelco délivre une tension e_1 symétrique triangulaire aux bornes de B_1 ; sur la voie Y_A , on observera le courant i_1 symétrique triangulaire qui s'établira dans B_1 ; sur la voie Y_B , on observera une tension e_2 rectangulaire également symétrique représentant, au signe près et à une constante multiplicative près, la dérivée de i_1 .

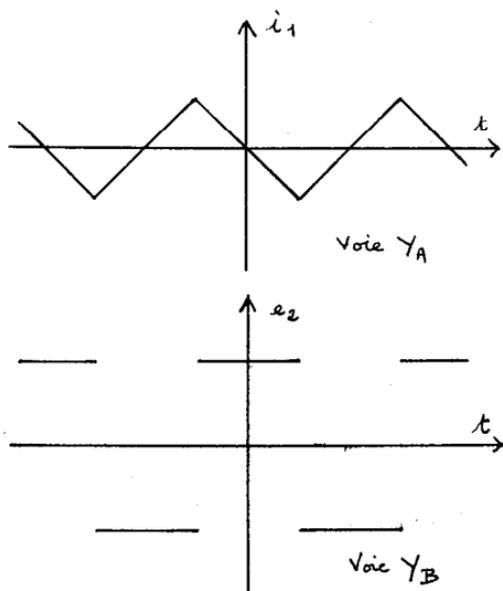


Fig. 2

Du point de vue pédagogique, cette démonstration ne montre pas de manière nette tous les caractères de la dérivée. La preuve en est que tous les exercices proposés dans les ouvrages sur ce sujet sont tels que le générateur utilisé délivre une tension non symétrique triangulaire. La démonstration est alors plus complète.

C'est pour cela que, dans le cadre de l'animation pédagogique de Korhogo, on s'est proposé de réaliser une boîte noire nous permettant d'obtenir une tension triangulaire dissymétrique dont on pourra faire varier le rapport cyclique. On obtiendra alors comme dans les exercices les figures ci-après.

La fonction $i_1(t)$ est périodique, de période T , et dans l'exemple cité, est nettement supérieur à $(T - \tau)$, de façon à ce que les 2 phases de variation de $i_1(t)$ soient bien distinctes. On pourra écrire :

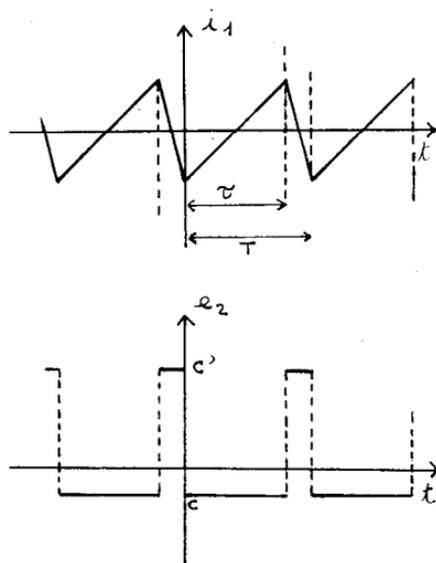


Fig. 3

$$0 < t < \tau \quad i_1 = at + b \quad a > 0$$

$$\tau < t < T \quad i_1 = a't + b' \quad a' < 0.$$

Dans notre cas de figures, on voit que $|a'| > |a|$.

Dans la fonction dérivée :

$$e_2 = -\frac{d\phi}{dt} = -k \frac{di_1}{dt}$$

on voit alors de manière probante que :

$$0 < t < \tau \quad e_2 = C^te = C < 0$$

$$\tau < t < T \quad e_2 = C^te = C' > 0$$

et ceci tel que $|C| < |C'|$.

II. TENSION TRIANGULAIRE A RAPPORT CYCLIQUE VARIABLE.

Pour la construction de la boîte noire, nous avons le choix entre deux possibilités.

1^{re} possibilité.

Employer un circuit intégré, le 555 qui est une bascule monostable de longue durée, suivi d'un amplificateur opérationnel, le $\mu A 741$, monté en intégrateur.

2^e possibilité.

Notre choix à Korhogo s'est porté de préférence sur l'utilisation de 2 amplificateurs opérationnels $\mu A 741$; le premier, monté en comparateur, le second monté en intégrateur. Ce montage nous a paru plus facile à comprendre dans son principe, le fonctionnement du 555 nous étant un peu mystérieux.

1) **Constitution de la boîte noire.**

Elle est formée de 2 étages :

- a) 1^{er} étage : Un amplificateur opérationnel monté en comparateur.

Principe.

La façon la plus simple d'utiliser un amplificateur opérationnel est en boucle ouverte, c'est-à-dire sans réaction, comme l'indique le schéma qui suit.

Il en résulte que, d'après la propriété essentielle des amplificateurs opérationnels, la tension de sortie est de la forme $u_s = k(u_1 - u_2)$. Comme l'amplification est toujours très grande (200 000 et plus), même la plus petite différence entre u_1 et u_2 produira une excursion de sortie maximum. L'ampli opérationnel fonctionnera toujours à saturation.

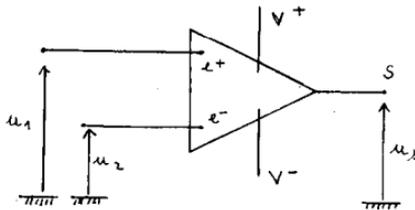


Fig. 4

Si u_1 est très légèrement supérieur à u_2 , $u_1 - u_2 > 0$ entraînera à la sortie la valeur positive maximum de la tension, soit $+U_{sat}$ (courbes 1 et 2).

Si u_1 est très légèrement inférieur à u_2 , $u_1 - u_2 < 0$ entraînera à la sortie la valeur négative maximum de la tension, soit $-U_{sat}$ (courbes 1 et 2).

On compare donc la tension u_1 à la tension u_2 prise comme tension de référence. La sortie sera toujours saturée ou positivement ou négativement suivant que u_1 est plus grand ou plus petit que u_2 . En général, U_{sat} est de 1 à 2 volts inférieur à la tension d'alimentation V .

Notre montage.

La constitution du 1^{er} étage est représentée par la fig. ci-après :

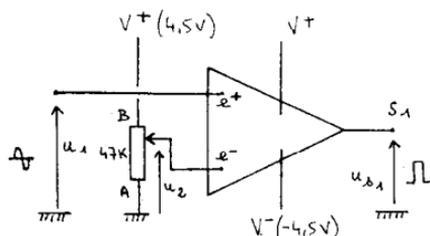


Fig. 5

u_1 tension sinusoïdale fournie par le GBF (1400 Hz, 6 V crête à crête),

u_2 tension C^{te},

$V^+ = 4,5 \text{ V}$; $V^- = -4,5 \text{ V}$.

Fonctionnement.

Lorsque le curseur du potentiomètre est en A, $u_2 = 0$ et le rapport cyclique de la tension rectangulaire de sortie u_{S1} en S_1 est égal à 1 ; pour toute autre position, ce rapport est différent de 1 et on obtient (courbes 2) une tension rectangulaire dissymétrique dans le temps mais symétrique en tension.

b) 2^e étage : Un amplificateur opérationnel monté en intégrateur.

Principe.

Tous les ouvrages d'électronique donnent le schéma d'un amplificateur opérationnel monté en intégrateur. C'est celui qui est représenté sur la fig. ci-après

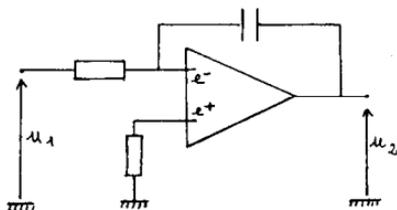
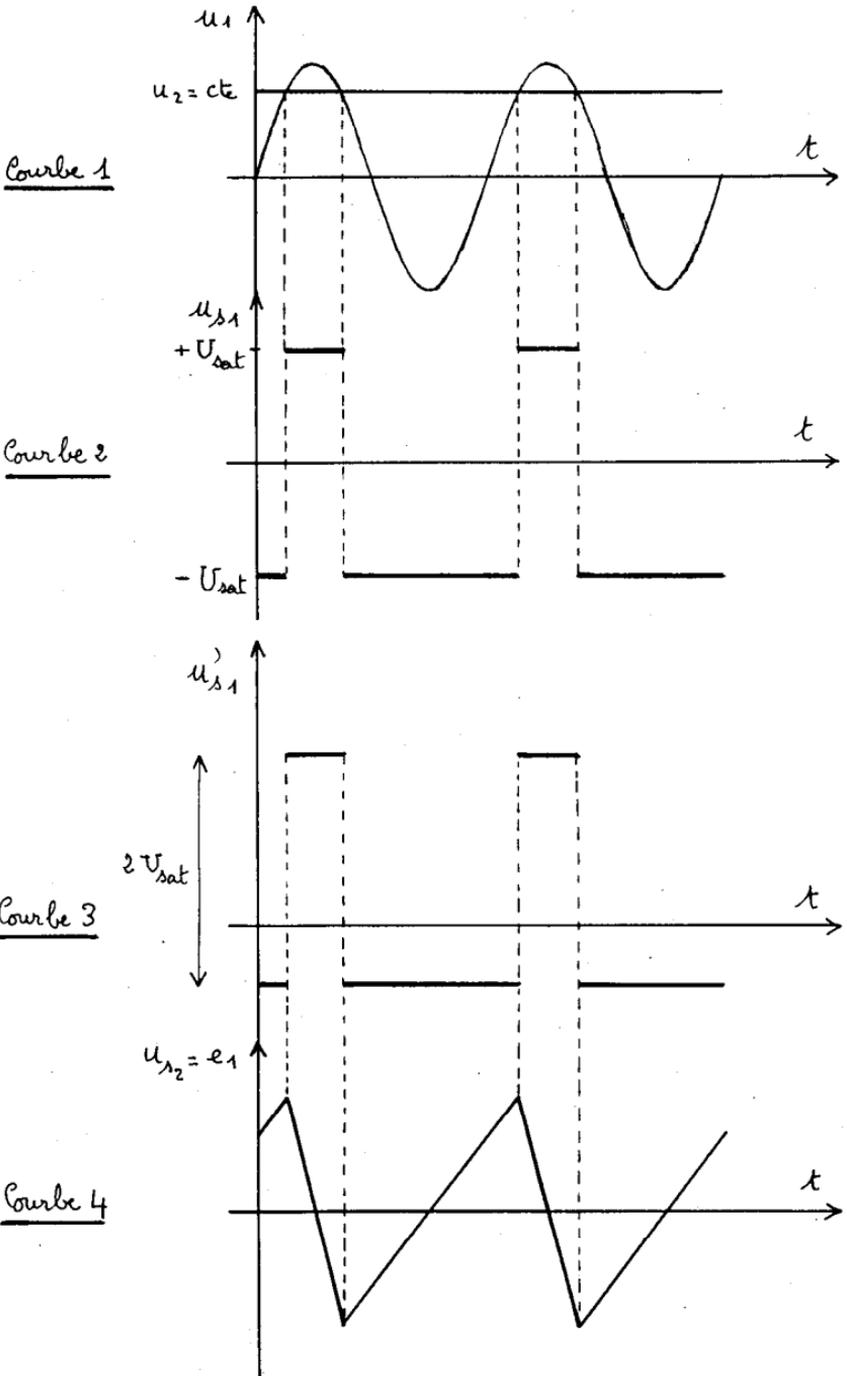


Fig. 6

u_2 , tension de sortie de l'étage est la fonction intégrale de la tension d'entrée u_1 .



Notre montage.

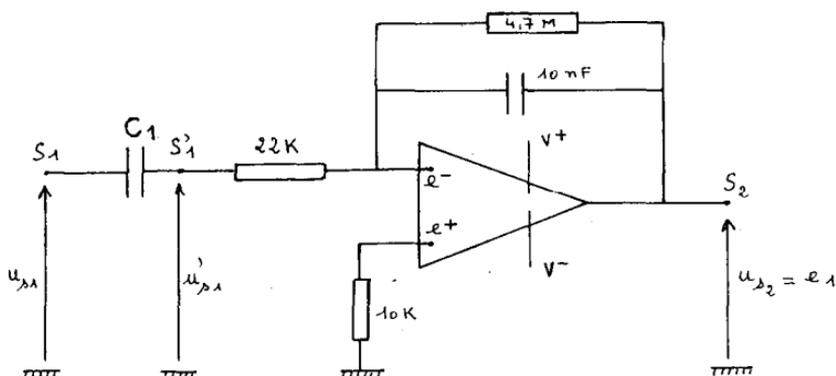


Fig. 7

Fonctionnement.

La présence du condensateur C_1 a pour but de fournir, à partir de la tension u_{s1} une tension u'_{s1} restaurée positivement (courbe 3), de façon partielle.

Cette tension est appliquée à l'entrée de l'intégrateur; à la sortie en S_2 , on aura une tension u_{s2} triangulaire dissymétrique. C'est cette tension qui sera la f.é.m. e_1 qu'on appliquera à la bobine inductrice B_1 .

2) Utilisation de la boîte noire.

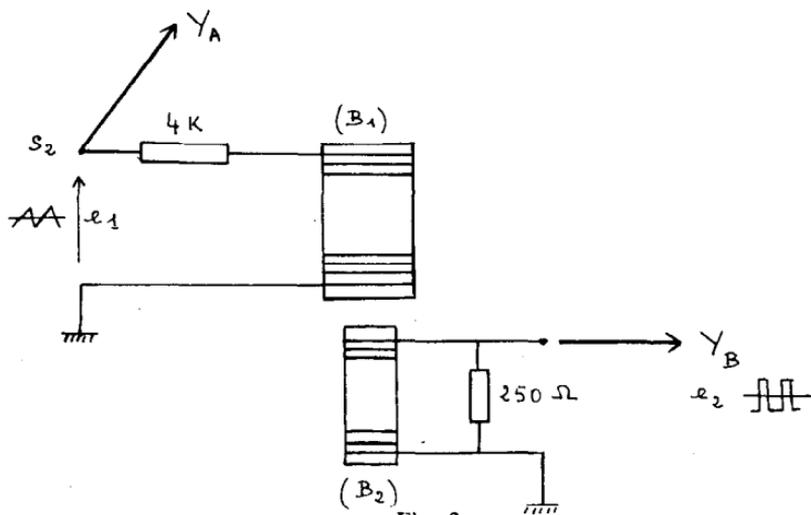


Fig. 8

On applique donc la tension de sortie $u_{s_2} = e_1$ à une bobine inductrice B_1 (1 080 spires, 20Ω) montée en série avec une résistance de 4 K. Il va apparaître dans la bobine B_2 (540 spires, 2Ω)

une f.é.m. induite donnée par $e = -\frac{d\phi}{dt}$.

Pour éviter les oscillations qui peuvent s'établir, on place en parallèle sur B_2 une résistance de 250Ω .

L'amplitude de la tension rectangulaire reçue sur l'écran de l'oscilloscope dépend du couplage entre les bobines B_1 et B_2 .

Dans notre expérience, pour un couplage moyen, les calibres de l'oscilloscope étaient :

Voie Y_A 2 V/cm,

Voie Y_B 20 mV/cm.
