

Force électromotrice d'auto-induction

par Josette LE MOAL

En classe de terminale D, l'induction magnétique ayant été supprimée du programme, seule l'auto-induction y figure. Pour pallier certaines difficultés rencontrées de ce fait, et après avoir montré qu'une bobine s'oppose à toute variation de l'intensité du courant, l'étude proposée est essentiellement expérimentale et permet aux élèves, en travaux pratiques, de visualiser la force électromotrice auto induite et de mesurer l'inductance d'une bobine.

1. PRÉSENTATION DE L'EXPÉRIENCE

Le matériel choisi est particulièrement simple et se trouve dans tous les laboratoires de nos lycées.

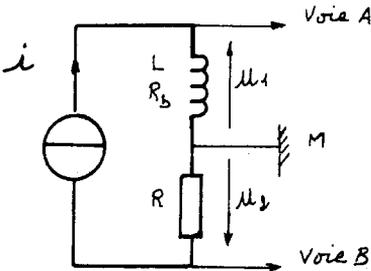


Figure 1

L'expérience comporte un générateur de courant, une bobine de résistance connue, un résistor montés en série et un oscillographe (figure 1).

– La bobine choisie est une bobine moulée *, d'inductance $L = 2,2 \text{ mH}$ et de résistance $R_b \approx 23 \Omega$.

– Le résistor R est constitué par deux boîtes AOIP $\times 1 \times 10$ qui nous permettent d'afficher $R = R_b$.

* Les bobines moulées peuvent être remplacées par les bobines de transformateurs démontables (1000 spires ou 500 spires) mais leurs résistances est faible ($\approx 8 \Omega$). Il est alors préférable de leur adjoindre en série un résistor de quelques dizaines d'ohms, pour obtenir une visualisation correcte.

– Le générateur de courant pour des raisons de simplicité est ici constitué par un générateur basse fréquence en série avec un résistor R_g de $2\text{ k}\Omega$ (figure 2). En effet, nous souhaitons que la bobine soit traversée par un courant de forme triangulaire, comme la tension délivrer par le G.B.F. : l'effet de l'inductance doit donc être négligeable devant celle de la résistance totale du circuit.

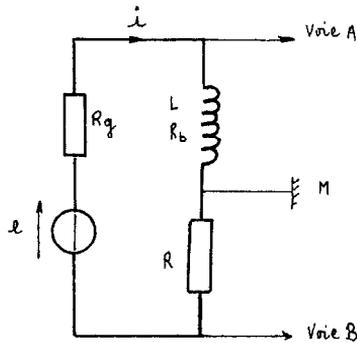


Figure 2

En régime sinusoïdal, cela se traduirait par :

$$R \gg L\omega \text{ ou } R \gg 2\pi Lf$$

Cette condition reste valable en régime triangulaire, soit sous forme approchée $R \gg 10 Lf$. Avec $f = 2\text{ kHz}$, $R \gg 44\ \Omega$, on pourra prendre une résistance R_g de $2\text{ k}\Omega$ environ. Pour une tension $\hat{e} = 20\text{ V}$, l'intensité du courant \hat{i} sera de l'ordre de 10 mA .

2. MANIPULATION

2.1. Opérer à une fréquence de 2 kHz.

Ajuster le résistor R pour avoir $R = R_b$ (utiliser un ohmètre numérique).

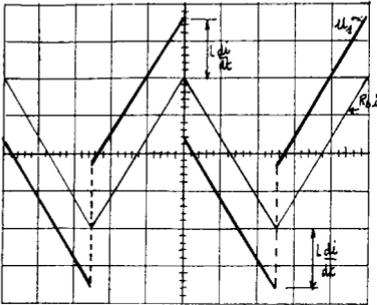
Attention à la liaison masse terre (déconnecter la masse du GBF à l'aide d'un adaptateur).

2.2. Visualiser les tensions u_1 et u_2 à l'oscilloscope

Sur la voie B, on observe la tension aux bornes du résistor R soit $u_2 = -Ri$; le signal est triangulaire.

Sur la voie A, on observe la tension aux bornes de la bobine soit u_1 .

A l'aide de la touche inverseuse ($-Y_B$) on observe, $-u_2 = Ri$ ou encore $R_b i$ puisque $R_b = R$ et on peut vérifier que les pentes de u_1 et u_2 sont les mêmes, si les deux voies ont la même sensibilité (voir oscillogrammes) (figure 3).



Voie A 50 mV/cm

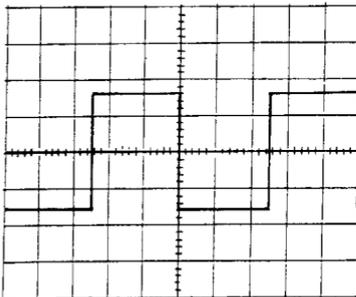
Voie B 50 mV/cm

Base de temps 0,1 ms/cm

Figure 3

2.3. Additionner u_1 et u_2

En utilisant la touche ADD on observe $u_1 + u_2$. Le signal obtenu est alternatif rectangulaire (figure 4).



50 mV/cm

Base de temps 0,1 ms/cm

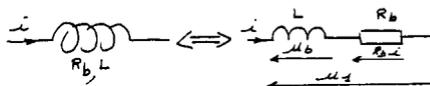
Figure 4

3. INTERPRÉTATION QUALITATIVE

3.1. La tension u_1 aux bornes de la bobine

Elle peut se décomposer en deux termes :

$$u_1 = u_b + R_b i$$



Par addition de u_1 et de u_2 nous obtenons la tension u_b ; en effet :

$$u_1 + u_2 = u_b + R_b i - R_b i = u_b$$

On peut remarquer que l'oscillogramme de u_1 se déduit de celui de $R_b i$ par une translation verticale constante, vers le haut pour i croissant, vers le bas pour i décroissant.

3.2. Recherche de u_b

Le courant est un signal triangulaire, sa dérivée par rapport au temps, est donc un signal rectangulaire. Or u_b est lui aussi un signal rectangulaire. On écrira alors

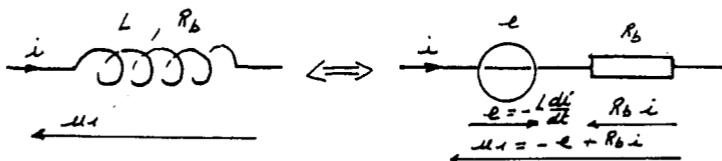
$U_b = K \frac{di}{dt}$ et en posant $K = L$ inductance de la bobine

$$u_b = L \frac{di}{dt}$$

3.3. Force électromotrice auto induite

La bobine pourra donc être considérée comme un générateur de

f.é.m. $e = -u_b = -L \frac{di}{dt}$ (figures 5 et 6).



Figures 5 et 6

4. DÉTERMINATION DE VALEUR DE L

Le calcul de L se fait à partir de la relation : $E = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ d'où

$$L = \frac{E}{\frac{\Delta i}{\Delta t}}$$

L'oscillogramme obtenu sur la voie B permet de déterminer $\frac{\Delta i}{\Delta t}$

En effet :
$$\frac{\Delta (R_b i)}{\Delta t} = \frac{4 \times 50 \cdot 10^{-3}}{2,5 \times 0,110^{-3}} = 800 \text{ V/s}$$

et
$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{800}{R_b} = \frac{800}{23} = 34,8 \text{ A/s}$$

D'autre part, l'oscillogramme obtenu après addition de u_1 et u_2 permet d'évaluer la f.é.m. E.

$$E = 1,5 \times 50 \cdot 10^{-3} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

Ces deux résultats donnent L

$$L = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{34,8} = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ H ou } 2,16 \text{ mH}$$

Le fabricant indique une valeur de l'ordre de 2,2 mH.

5. GÉNÉRALISATION

L'inductance de la bobine est une constante, la f.é.m. induite $e = -L \frac{di}{dt}$ peut s'écrire $e = -\frac{d}{dt}(Li)$; et en posant $\Phi = Li$ ($\Phi =$ flux d'induction), la f.é.m prend la forme $e = -\frac{d\Phi}{dt}$. Cette dernière relation, quelle que soit la valeur du flux est valable pour toute bobine possédant une inductance.

Je tiens à remercier, tout particulièrement, Mademoiselle Paulette MOREAU, aide-technique, pour la mise au point et les photographies des montages parus dans ces deux articles.