

**COURS DE RENFORCEMENT LES SOPHOS****SERIE D' EXERCICES ; INDUCTION MAGNETIQUE – ETUDE D' UN DIPOLE (R,L)****EXERCICE 1**

Des bobines sont souvent combinées avec d'autres composants électroniques dans une variété de dispositifs pour, entre autres usages, stocker de l'énergie et créer le pic de tension nécessaire pour allumer une lampe à décharge. On se propose d'étudier le champ magnétique à l'intérieur d'une bobine, de déterminer son inductance et l'énergie électromagnétique emmagasinée.

1/ Un solénoïde de longueur $\ell = 30$ cm, d'inductance L comportant $N = 500$ spires circulaires de rayon $r = 2,5$ cm est parcouru par un courant d'intensité $I = 25$ mA dont le sens est indiqué sur la figure 1.

On donne : la perméabilité du vide $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.

a/ Reproduire la figure 1 puis représenter le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ au point O et préciser les faces Nord et Sud du solénoïde.

Calculer la valeur de l'intensité de $\vec{B}$.

b/ L'axe horizontal du solénoïde est perpendiculaire au plan du méridien magnétique.

On place une aiguille aimantée au point O en l'absence de courant électrique.

Ensuite on fait passer un courant électrique d'intensité $I = 25$ mA dans le solénoïde.

L'aiguille tourne d'un angle α .

Reproduire la figure précédente et représenter au point O la composante horizontale $\vec{B}_H$ du champ magnétique terrestre. Déterminer la valeur de α .

On donne $B_H = 2 \cdot 10^{-5}$ T.

2/ Cette bobine d'inductance (L) et de résistance négligeable est insérée en série dans un circuit comprenant un générateur de tension continue (E) et un résistor de résistance (R) (Figure 2).

On donne $E = 12$ V et $R = 150 \Omega$.

a/ Etablir l'expression de l'inductance du solénoïde en fonction de N , ℓ , r et μ_0 .

Calculer sa valeur.

b/ Etablir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant $i(t)$.

c/ Vérifier que $i(t) = I_p \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ est solution de cette équation différentielle. Où I_p et τ sont des constantes qu'on exprimera en fonction de E , R et L .

d/ Calculer l'énergie électromagnétique emmagasinée dans le solénoïde après une durée $t = \tau$.

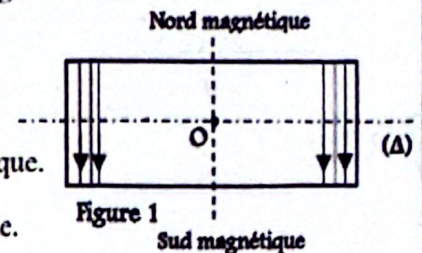


Figure 1

Sud magnétique

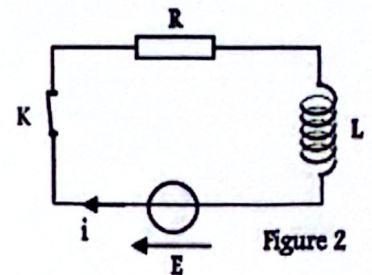


Figure 2

EXERCICE 2

On se propose d'étudier l'établissement du courant dans un dipôle série comportant une bobine d'inductance $L = 0,5$ H, de résistance interne r et un résistor de résistance R . Ce dipôle est soumis à un échelon de tension de valeur E délivrée par un générateur de tension idéal. Un oscilloscope à mémoire, permet de visualiser la tension aux bornes du générateur et du résistor. A l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K , et on procède à l'enregistrement. On obtient l'oscillogramme représenté sur la figure 2.

1/ Reprendre la figure 1 en indiquant, les branchements à réaliser pour visualiser les tensions aux bornes du générateur et du résistor sur les voies respectives (I) et (II) de l'oscilloscope ?

2/ Quelle grandeur électrique peut-être déterminée à partir de la tension aux bornes du résistor ?

3/ a/ Expliquer le retard de l'établissement du courant dans le circuit.

b/ Nommer le phénomène qui est à l'origine de ce retard.

4/ Le circuit étudié peut être caractérisé par une constante de temps τ , qui permet d'évaluer la durée nécessaire à l'établissement du régime permanent dans ce circuit.

a/ Etablir l'équation différentielle qui régit l'intensité du courant i dans le circuit.

b/ Vérifier que $i(t) = \frac{E}{R+r} (1 - e^{-t/\tau})$ est une solution de cette équation différentielle, avec

$$\tau = \frac{L}{R+r}$$

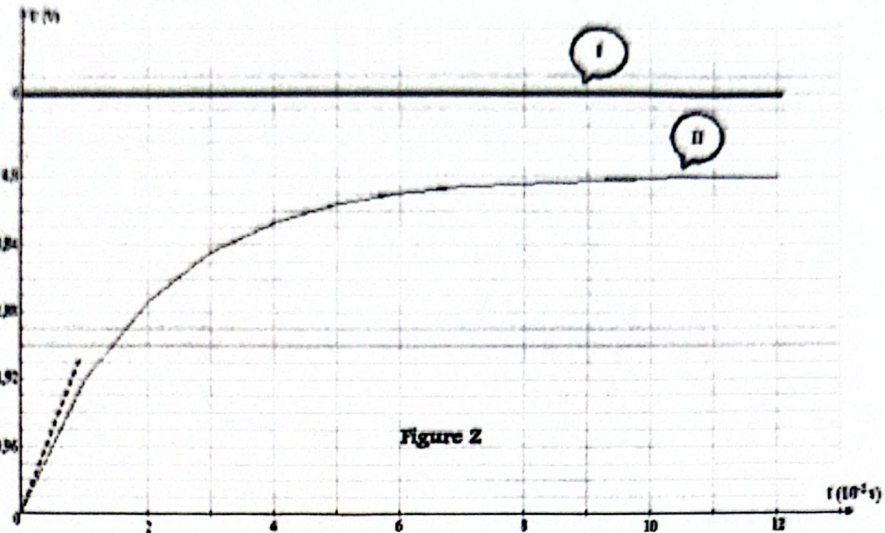
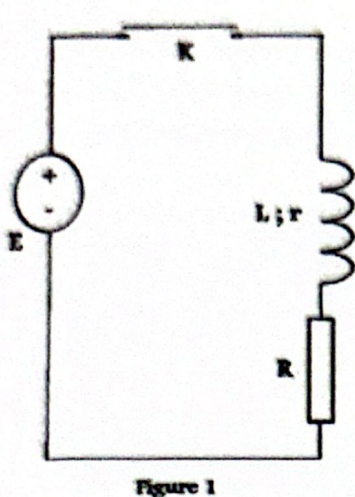
5/ a/ Quelle est l'expression I_0 de l'intensité du courant i lorsque le régime permanent est établi. En déduire que l'expression de la tension U_R aux bornes du résistor en régime permanent est $U_R = \frac{R}{R+r}E$.

b/ A partir du graphe de la figure 2, déterminer la valeur de la constante de temps τ .

c/ Déduire des questions précédentes les valeurs de la résistance interne r de la bobine et la résistance R du résistor.

6/ Calculer la valeur de l'énergie magnétique E_B à la date $t = 2 \cdot 10^{-2}$ s.

7/ Déterminer l'expression de la tension $u_R(t)$ aux bornes de la bobine puis représenter l'allure de la courbe représentant ces variations en fonction du temps. On précisera les coordonnées des points particuliers.



EXERCICE 3

Perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ S.I.

On considère un solénoïde de longueur $l = 60$ cm de résistance $R = 4 \Omega$, comprend $N = 2000$ spires.

3.1. Dans un premier temps, les extrémités du solénoïde sont branchées aux bornes d'un générateur G_0 de f.e.m $E_0 = 24$ V et de résistance interne $r = 2 \Omega$.

3.1.1. Calculer l'intensité du courant dans le circuit.

3.1.2. Faire un schéma du solénoïde et y indiquer clairement le sens du courant et le vecteur champ magnétique à l'intérieur. Préciser les caractéristiques du vecteur champ magnétique à l'intérieur du solénoïde.

3.1.3. -On introduit à l'intérieur du solénoïde une bobine plate d'aire $s = 5 \text{ cm}^2$ (par spire) comportant $n = 50$ spires. L'axe du solénoïde est orthogonal au plan de la bobine.

Calculer le flux d'induction magnétique à travers la bobine et l'inductance L de la bobine

3.2. On remplace le générateur G_0 par un autre générateur G qui débite dans le solénoïde un courant d'intensité i périodique comme l'indique la figure 3.

On relie ensuite les extrémités de la bobine intérieure à un oscilloscope.

3.2.1. Expliquer pourquoi la bobine est le siège d'un phénomène d'induction. Déterminer la f.e.m d'induction pour $t \in [0; 0,5 \text{ ms}]$ et $t \in [0,5 \text{ ms}; 1,5 \text{ ms}]$.

3.2.2. Représenter, pour $t \in [0; 3,5 \text{ ms}]$, la tension observée sur l'écran de l'oscilloscope.

La base des temps est sur la graduation $0,5 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$. La sensibilité verticale est sur la graduation $0,25 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$.

3.3. Cette fois-ci on considère une bobine plate formée de $n' = 500$ spires. Chaque spire a une surface $s' = 100 \text{ cm}^2$. La bobine tourne à vitesse angulaire constante ω autour d'un axe (Δ) diamétral et vertical dans un champ magnétique uniforme horizontal de vecteur $\vec{B}$.

Des contacts électriques mobiles permettent de relier les extrémités A et C du conducteur respectivement à l'entrée Y et à la masse M d'un oscillographe (figure 4). Le balayage horizontal étant réglé sur 10 ms.div^{-1} et la sensibilité verticale sur 1 V.div^{-1} , on observe la courbe de la figure 5 sur l'oscillographe.

3.3.1. Justifier qualitativement l'existence d'une tension entre A et C lors de la rotation de la bobine.

3.3.2. Montrer que la bobine est siège d'une f.e.m induite donnée par l'expression :

$e = e_{\max} \sin(\omega t + \theta_0)$ où $e_{\max}$ et θ_0 sont des constantes ($e_{\max} > 0$). Exprimer $e_{\max}$ en fonction de ω , n' , s' et B .

3.3.3. En déduire l'expression de la tension u_{AC} .

3.3.4. Déterminer alors, en utilisant l'oscillogramme de la figure 5, la vitesse angulaire ω de la bobine ainsi que l'intensité B du champ magnétique $\vec{B}$.

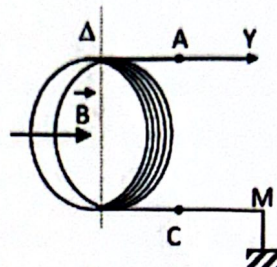
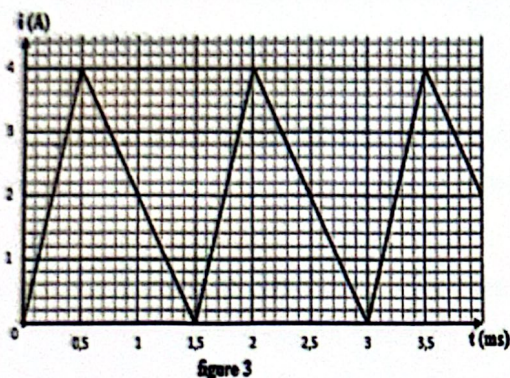


Figure 4

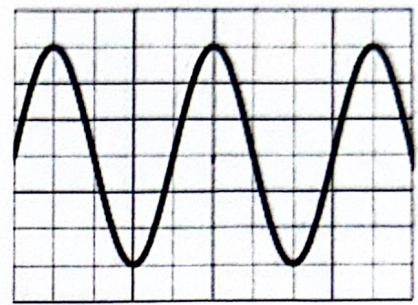


Figure 5

EXERCICE 4

Un groupe d'élèves en classe de terminale S, sous la supervision de leur professeur, se propose d'étudier expérimentalement la réponse d'un dipôle ($R ; L$) à un échelon de tension. Ils réalisent un circuit électrique en associant en série:

- Une bobine d'inductance L et de résistance r ;
 - Un résistor de résistance $R = 20 \Omega$;
 - Un générateur de force électromotrice E .
- 1/ Faire un schéma du circuit électrique réalisé par ces élèves.

2/ Que peut-on dire de l'effet de la bobine sur l'établissement du courant ?

3/ Quel nom donne-t-on au régime lorsque le courant induit s'annule dans la bobine ?

4/ Énoncer la loi qui permet de déterminer le sens du courant induit. Quel nom donne-t-on à cette loi ?

5/ La courbe ci-contre représente l'évolution de la tension $u_b(t)$ aux bornes de la bobine au cours du temps.

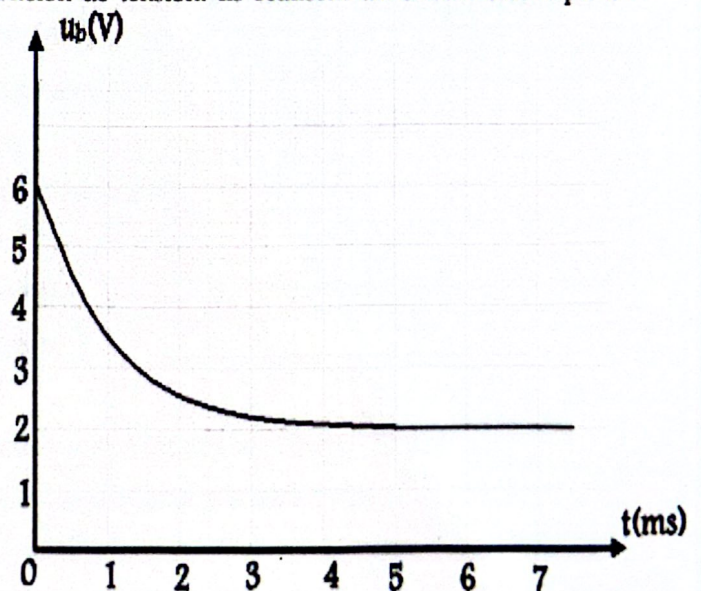
a/ Reprendre le schéma du circuit électrique de la question 1/ puis indiquer, les branchements à réaliser pour visualiser la tension aux bornes de la bobine sur la voie Y d'un oscilloscope ?

b/ L'équation différentielle à laquelle obéit l'intensité i du courant dans le circuit pendant cette phase est:

$$\frac{di}{dt} + \left(\frac{R+r}{L} \right) i = \frac{E}{L}$$

Vérifier que $i(t) = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ est solution de cette équation différentielle avec $I_0 = \frac{E}{R+r}$ et $\tau = \frac{L}{R+r}$

c/ Montrer que $u_b(t) = \frac{rE}{R+r} + \frac{RE}{R+r} e^{-\frac{t}{\tau}}$.



d/ Déterminer graphiquement la force électromotrice E .

e/ Exprimer la tension u_b aux bornes de la bobine et u_R aux bornes du résistor en régime permanent en fonction de r , R et E . Dédire du graphe leur valeur numérique.

f/ En utilisant la loi des mailles, montrer qu'à la date $t = \tau$ la tension aux bornes de la bobine est $u_b = 3,5 \text{ V}$. En déduire graphiquement la valeur de τ .

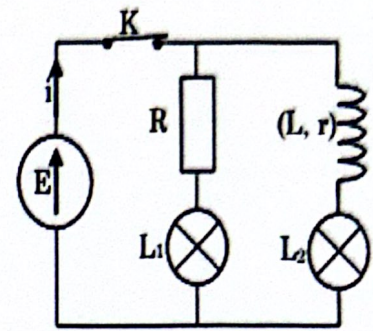
g/ Dédire des questions précédentes l'inductance L de la bobine et sa résistance interne r .

EXERCICE 5

Un groupe d'élèves effectue trois expériences décrites ci-dessous :

Expérience 1 :

4.1. Ils réalisent le circuit électrique qui comporte une bobine de résistance r , un générateur idéal de tension de f.é.m. E , un conducteur ohmique de résistance $R = r$, deux lampes identiques (L_1 et L_2) et un interrupteur K . (figure 3)



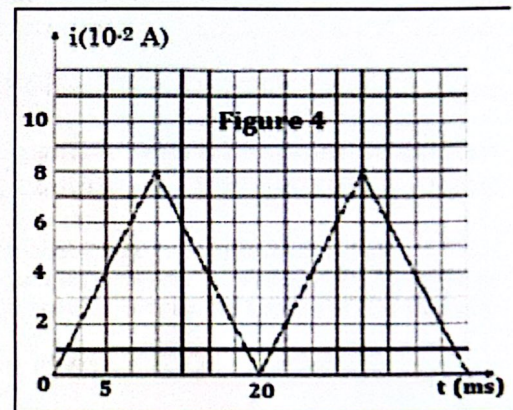
(Figure 3)

4.1.1. Qu'observent-ils lorsqu'ils ferment l'interrupteur K ? Quel est le phénomène physique mis en évidence dans cette expérience ?

4.1.2. Comparer les luminosités des lampes (L_1 et L_2), une fois le régime permanent établi ?

Expérience 2 :

4.2. La bobine précédente est insérée dans un autre circuit électrique. Elle est parcourue par un courant dont l'intensité varie en fonction du temps comme le montre la courbe de la figure 4.



4.2.1. Etablir les expressions de l'intensité i du courant électrique en fonction du temps dans les intervalles $[0, 10 \text{ ms}]$ et $[10 \text{ ms}, 20 \text{ ms}]$.

4.2.2. Déterminer la valeur de l'inductance L de la bobine sachant que dans l'intervalle de temps $[0, 10 \text{ ms}]$, la f.é.m. d'auto-induction a la valeur $e_1 = -280 \text{ mV}$.

4.2.3. En déduire la valeur e_2 de la f.é.m. d'auto-induction dans l'intervalle $[10 \text{ ms}, 20 \text{ ms}]$.

4.2.4. Calculer l'énergie magnétique emmagasinée dans cette bobine à la date $t = 10 \text{ ms}$.

Expérience 3 :

4.3. Ils réalisent maintenant le circuit électrique représenté sur la figure 5, comportant un générateur de tension continue, la même bobine de résistance r et d'inductance L et un conducteur ohmique de résistance $R = 100 \Omega$. À partir de la date $t = 0$, ils enregistrent l'évolution des tensions visualisées sur les voies Y_A et Y_B lors de la fermeture de l'interrupteur.

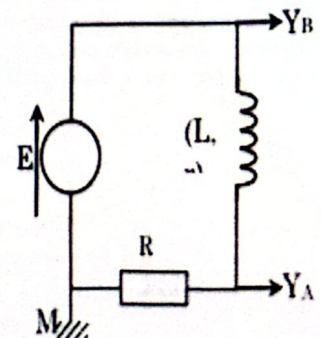


Figure 5

4.3.1. Faire correspondre à chacune des courbes (1) et (2) de la figure 6 la voie de la tension qui permet sa visualisation.

4.3.2. En utilisant les oscillogrammes de la figure 6 :

4.3.2.1 Déterminer l'intensité i_p du courant lorsque le régime permanent est établi.

4.3.2.2 Quelle est la valeur de la tension aux bornes de la bobine en régime permanent.

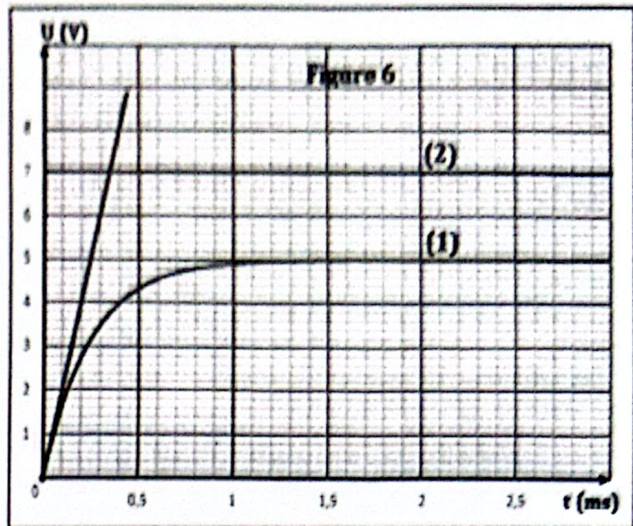
4.3.2.3 En déduire la valeur de la résistance r de cette bobine.

4.3.2.4 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ du circuit. En déduire l'inductance L de la bobine.

4.3.3. Etablir l'équation différentielle relative à l'intensité $i(t)$ du courant.

4.3.4. La solution de cette équation différentielle est de la forme : $i(t) = Ae^{at} + B$.

Etablir les expressions de $i(t)$ et de $U_{\text{bobine}} = U_b(t)$ en fonction de R , L , r et de la tension E délivrée par le générateur.



EXERCICE 6

Les bobines sont des composants électriques de très grande utilité sur lesquels le fabricant mentionne les caractéristiques (L , N , I_{max}), pour une utilisation optimale et sécuritaire. L et N représentent respectivement l'inductance et le nombre de spires de la bobine tandis que I_{max} correspond à l'intensité maximale du courant électrique qui peut traverser la bobine.

1/ Un groupe d'élèves, sous la supervision de leur professeur, se propose de vérifier quelques caractéristiques d'une bobine de leur laboratoire. Cette bobine est assimilée à un solénoïde de longueur $\ell = 0,5$ m, comportant N spires de rayon $R = 5$ cm. Pour ce faire, ils disposent la bobine horizontalement, son axe (Δ) étant orthogonal au plan méridien magnétique. Au centre de cette bobine est placée une petite aiguille aimantée horizontale mobile autour d'un axe vertical (Δ').

Le groupe d'élèves lance un courant électrique d'intensité I dans le solénoïde et constate que l'aiguille dévie d'un angle α .

a/ Faire un schéma où seront représentés la bobine en indiquant le sens du courant, le vecteur champ magnétique $\vec{B}_c$ créé par le courant, le vecteur $\vec{B}_H$ composante horizontale du champ magnétique terrestre, la position finale de l'aiguille et l'angle α .

b/ Exprimer $\tan \alpha$ en fonction de B_H , N , I , ℓ et μ_0 (perméabilité magnétique du vide)

2/ Le groupe fait varier l'intensité I du courant dans le circuit et mesure la valeur de l'angle α pour chaque valeur de I . Les résultats obtenus permettent de tracer la courbe $\tan \alpha = f(I)$. (figure 1)

a/ Déterminer à partir de cette courbe la relation entre $\tan \alpha$ et I

b/ En déduire la valeur de N que l'on notera N_0 . On donne : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI ; $B_H = 2 \cdot 10^{-5}$ T

c/ Déterminer l'inductance L du solénoïde (on prendra $N = 1195$ spires).

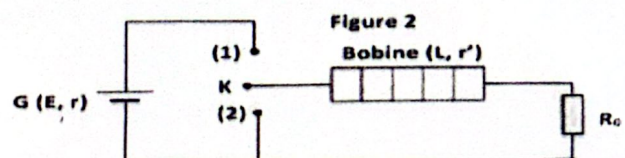
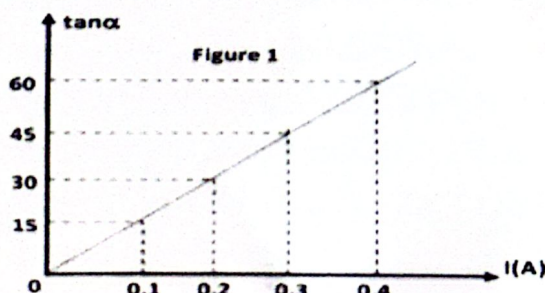
3/ Afin d'étudier le comportement de la bobine dans un circuit, les élèves réalisent avec ce solénoïde le montage ci-après (figure 2). La bobine est branchée en série avec un résistor de résistance $R_0 = 10 \Omega$. Ils utilisent un générateur de courant continu G ($E = 12$ V ; $r = 5 \Omega$). La résistance interne du solénoïde est $r' = 5 \Omega$. Le nombre de spires est $N = 1195$ spires. L'interrupteur est dans la position 1.

a/ Déterminer l'intensité i_0 du courant dans le circuit en régime permanent.

b/ En un temps très bref et à $t = 0$, on bascule l'interrupteur de la position (1) à la position (2).

► Etablir l'équation différentielle à laquelle obéit l'intensité i du courant dans le circuit.

► Vérifier que $i = A e^{-t/\tau}$ est solution de cette équation différentielle. A et τ étant des constantes à exprimer en fonction des caractéristiques des composants du circuit. Donner l'allure de la courbe $i = f(t)$.



EXERCICE 7

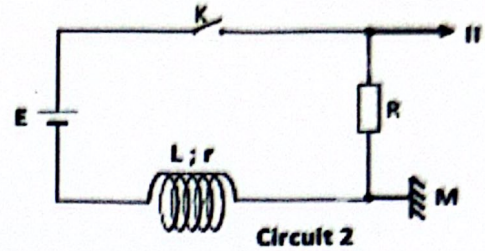
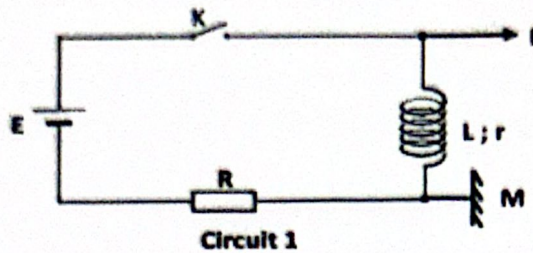
On considère les circuits ci-dessous, composés chacun d'un générateur de tension continue de f.e.m $E = 9V$, d'une bobine d'inductance L et de résistance interne r , d'un interrupteur K et d'un conducteur ohmique de résistance $R = 32 \Omega$. A $t = 0$ on ferme les interrupteurs K des deux circuits et à l'aide de deux oscilloscopes à mémoire bicourbe, branchés convenablement on obtient les courbes (a) et (b) représentées sur un même graphe (figure 2).

1/ Associer à chaque circuit la courbe correspondante.

2/ Etablir l'équation différentielle relative à l'intensité i du courant au cours de son établissement.

3/ Vérifier que $i(t) = \frac{E}{R+r} (1 - e^{-t/\tau})$ est une solution de cette équation différentielle, avec

$$\tau = \frac{L}{R+r}.$$

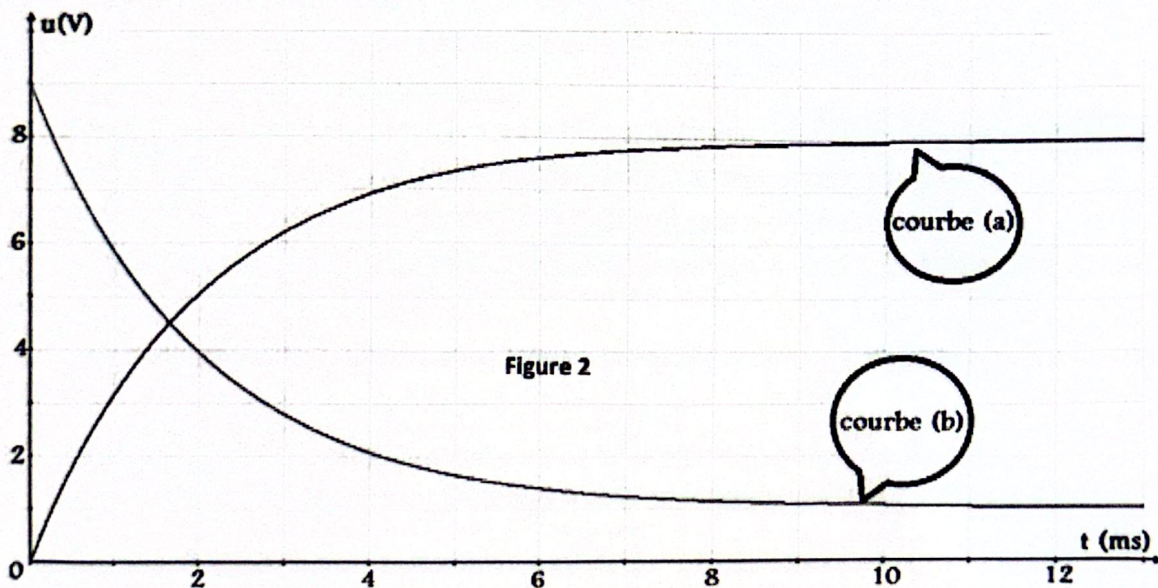


4/ Déterminer les expressions littérales en fonction du temps de la tension aux bornes du conducteur ohmique $U_R(t)$ et celle aux bornes de la bobine $U_B(t)$.

5/ En déduire les expressions de la tension aux bornes du conducteur ohmique U_R et celle aux bornes de la bobine U_B en régime permanent. Déterminer graphiquement leurs valeurs à partir de la figure 2.

6/ Déterminer graphiquement la constante de temps τ .

7/ En déduire des questions précédentes les valeurs de r et de L .



EXERCICE 8

L'histoire des bobines remonte au 19^e siècle, avec des pionniers comme Michael Faraday qui a découvert l'induction électromagnétique en 1831, jetant les bases pour le développement des premières bobines.

Les bobines jouent un rôle crucial dans l'évolution de la technologie moderne. Les avancées technologiques dans sa conception ont permis leur utilisation plus large et plus efficace dans de nombreux dispositifs allant de l'électronique de base aux systèmes de communication sophistiqués.

Un groupe d'élèves réalisent deux expériences d'étude d'une bobine dans un circuit électrique et de détermination de ses caractéristiques.

Expérience 1: Détermination de l'Inductance d'une bobine et énergie emmagasinée.

4.1. Une bobine de caractéristiques (L, r) insérée dans un circuit électrique, est parcourue par un courant variable. L'évolution de l'intensité du courant électrique en fonction du temps est donnée par la courbe de la figure 2.

4.1.1. Pour chacun des intervalles de temps, $[0, 25 \text{ ms}]$ et $[25 \text{ ms}, 35 \text{ ms}]$, exprimer l'intensité i du courant électrique en fonction du temps t . (0,5pt)

4.1.2. La f.é.m. d'auto-induction a la valeur $e_1 = -0,4 \text{ V}$ dans l'intervalle de temps $[0, 25 \text{ ms}]$. Déterminer l'inductance L de la bobine. (0,25pt)

4.1.3. En déduire la valeur e_2 de la f.é.m. d'auto-induction dans l'intervalle $[25 \text{ ms}, 35 \text{ ms}]$. (0,25pt)

4.1.4. Calculer l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine à la date $t = 25 \text{ ms}$. (0,25pt)

Expérience 2 : Etude d'un circuit (R,L)

4.2. Le groupe d'élèves réalisent maintenant le circuit électrique de la figure 3, comportant un générateur de f.é.m E et de résistance interne r_1 , la même bobine de résistance r et d'inductance L et un conducteur ohmique de résistance $R = 100 \Omega$.

A la date $t = 0$, l'interrupteur K est fermé. Les tensions électriques visualisées sur les voies Y_A et Y_B d'un oscilloscope bicourbe correspondent aux oscillogrammes de la figure 4.

4.2.1. Faire correspondre à chacune des courbes (1) et (2) de la figure 4, la voie Y_A ou Y_B de l'oscilloscope qui permet sa visualisation et la tension du dipôle correspondant. (0,5pt)

4.2.2. A partir de la courbe représentant la variation de l'intensité i du courant électrique dans le circuit, expliquer le comportement électrique de la bobine. (0,25pt)

4.2.3. Quelle est la valeur de la force électromotrice E de la pile ? (0,25pt)

4.2.4. En utilisant les oscillogrammes de la figure 4 :

4.2.4.1 Déterminer l'intensité I_p du courant lorsque le régime permanent est établi. (0,25pt)

4.2.4.2 Quelle est la valeur de la tension aux bornes de la bobine en régime permanent ? (0,25pt)

4.2.4.3 Déterminer la valeur de la résistance r de cette bobine et celle r_1 du générateur. (0,5pt)

4.2.4.4 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ du circuit. En déduire l'inductance L de la bobine. (0,5pt)

4.2.5. Etablir l'équation différentielle relative à l'intensité $i(t)$ du courant qui traverse le circuit électrique. (0,25pt)

4.2.6. La solution de l'équation différentielle est de la forme : $i(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B$.

Déterminer les expressions des constantes A et B en fonction des caractéristiques R, r, r_1 et E du circuit

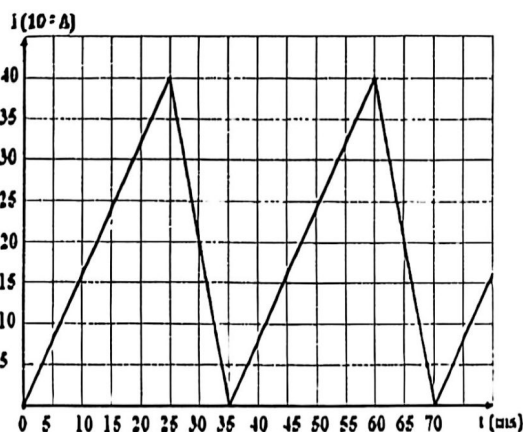
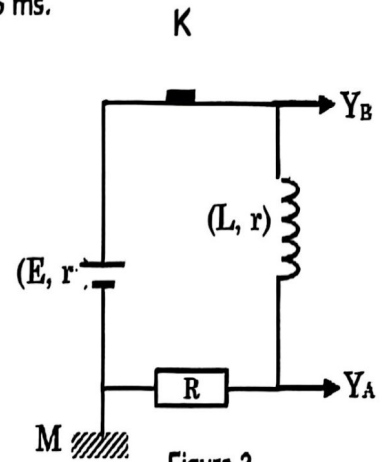


Figure 2

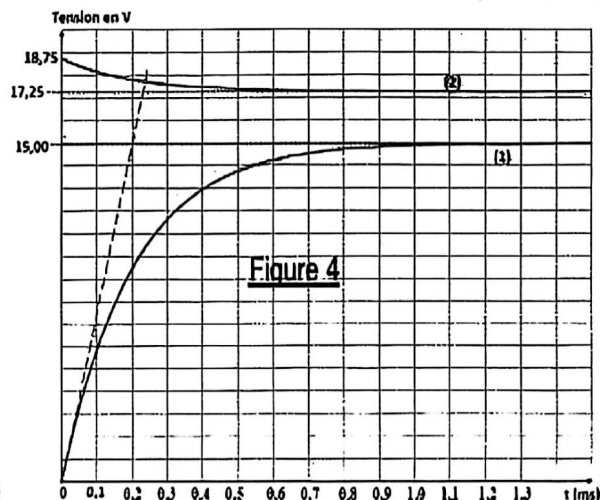


Figure 4