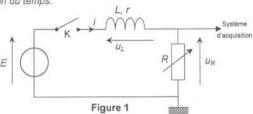
## EXERCICE II. BOBINE D'UN WOOFER (5,5 points)

Frédéric, un élève bricoleur, démonte le caisson de grave de sa chaîne Hi-fi. Cette enceinte acoustique comporte un woofer : c'est un haut-parleur de grand diamètre qui a pour fonction de reproduire les sons graves. Frédéric découvre à l'intérieur du woofer une bobine formée d'un enroulement de fil de cuivre isolé sur un cylindre en carton. Il montre cette bobine à son professeur de sciences physiques et lui demande comment trouver les valeurs de l'inductance L et de la résistance interne r de cette bobine. Le professeur lui propose de trouver expérimentalement les caractéristiques de la bobine du woofer lors d'une séance de travaux pratiques.

Frédéric dispose du matériel suivant :

un générateur de tension continue de f e m E = 6,0 V; un conducteur ohmique de résistance R réglable ; la bobine du woofer ; un interrupteur ; des fils de connexion et un système d'acquisition informatisé.

Frédéric réalise le montage représenté sur la figure 1 ci-contre. Il règle la résistance à la valeur  $R=10 \ \Omega$ . À l'instant de date t=0 s, il ferme l'interrupteur et enregistre la courbe d'évolution de la tension  $u_R$  aux bornes du conducteur ohmique en fonction du temps.



Partie A:

Le professeur : « À partir de la courbe que vous venez d'enregistrer, vous pouvez utiliser les fonctions du logiciel pour faire apparaître la courbe d'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps. »

Frédéric obtient la courbe du document 1 en ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE.

**Frédéric :** « Cette nouvelle courbe a la même allure que celle obtenue lors de mon acquisition : elle comporte deux parties correspondant au régime transitoire et au régime permanent. En utilisant le régime permanent, je devrais pouvoir trouver la valeur de la résistance interne r de la bobine. » Après quelques calculs, Frédéric trouve  $r = 4.0 \Omega$ .

Le professeur : « Il existe un appareil permettant de vérifier si votre résultat est juste. Réfléchissez. »

#### QUESTIONS 1, 2, 3, 4 et 5:

- 1. À partir de la courbe qu'il a enregistrée, expliquer comment Frédéric a pu obtenir la courbe du document 1 donnant l'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps.
- 2. Quelle est la valeur de l'intensité I du courant traversant le circuit lorsque le régime permanent est atteint ?
- 3. Montrer que l'expression de l'intensité I du courant en régime permanent est :  $I = \frac{E}{R+r}$
- 4. Vérifier la valeur de la résistance interne r de la bobine du woofer.
- Quel appareil Frédéric peut-il utiliser pour vérifier que la résistance interne de la bobine du woofer est r = 4,0 Ω?

Partio R

Le professeur : « Maintenant, comment pouvez-vous trouver l'inductance L de la bobine en utilisant encore une fois la courbe du document 1 ? »

Frédéric : « Et si je déterminais graphiquement la constante de temps τ du circuit ? »

Le professeur : « C'est une bonne idée ! Ne soyez pas étonné, ce genre de bobine a une valeur d'inductance assez faible de l'ordre du millihenry. »

#### QUESTIONS 6, 7 et 8:

- 6. À partir de la courbe du document 1 en ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE et en détaillant votre méthode, déterminer la constante de temps  $\tau$  du circuit.
- 7. Donner l'expression de la constante de temps  $\tau$  en fonction des grandeurs caractéristiques du circuit.
- 8. En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine du woofer.

Partie C:

Le professeur : « Il nous reste encore un peu de temps avant la sonnerie ; je vous propose d'étudier de manière théorique l'établissement du courant dans le circuit représenté sur la figure 1. »

Frédéric: « J'applique la loi d'additivité des tensions et j'obtiens une équation de la forme :

08 PYSCAS O Page 4/9

$$\frac{di}{dt} = A - B. i(t)$$
 (équation 1) »

Le professeur : « Vous allez résoudre numériquement l'équation 1 par la méthode d'Euler. Je vais vous donner les valeurs de A et de B. Je vous prépare un tableau pour que vous fassiez les premiers calculs à la main. » Frédéric : « Monsieur, c'est long ! »

Le professeur : « Continuez vos calculs à l'aide du tableur de l'ordinateur. »

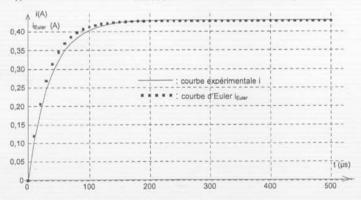
### QUESTIONS 9, 10, 11 et 12:

9

- 9. Établir l'équation 1 et vérifier que les expressions littérales de A et B sont :  $A = \frac{E}{L}$  et  $B = \frac{\left(R + r\right)}{L}$ .
- 10. Établir, à l'aide d'une analyse dimensionnelle, l'unité de B dans le système international. On donne  $A = 1.2 \times 10^4 \text{ A.s}^{-1}$  et  $B = 2.8 \times 10^4 \text{ SI}$
- 11. La méthode d'Euler permet de calculer successivement les valeurs de i(t) et de  $\left(\frac{di(t)}{dt}\right)$  à des instants de

date t séparés par des intervalles de temps réguliers  $\Delta t$ .  $\Delta t$  est le pas de résolution du calcul, ici  $\Delta t = 1,0 \times 10^{-5}$  s. Compléter le tableau du document 2 de l'ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE.

12. À l'aide d'un tableur, Frédéric continue les calculs jusqu'à l'instant de date t = 500 µs. Il place les valeurs expérimentales i(t) et les valeurs calculées i<sub>Euler</sub>(t) par la méthode d'Euler sur le graphe ci-dessous.



Comment Frédéric peut-il améliorer la précision de la méthode d'Euler ?

#### Partie D:

Frédéric : « Monsieur, que s'est-il passé ? J'ai une courbe supplémentaire sur mon écran ! »

Le professeur : « Pendant que vous faisiez vos calculs à la main, j'ai effectué une nouvelle acquisition. J'ai gardé dans le circuit la bobine de votre woofer et je n'ai modifié qu'une seule grandeur caractéristique du circuit. »

Frédéric : « Vous avez changé soit la valeur de la f e m E du générateur, soit la valeur de la résistance réglable

Le professeur : « Eh oui ! Comparez les constantes de temps des deux courbes et vous trouverez ce que j'ai modifié dans votre montage. »

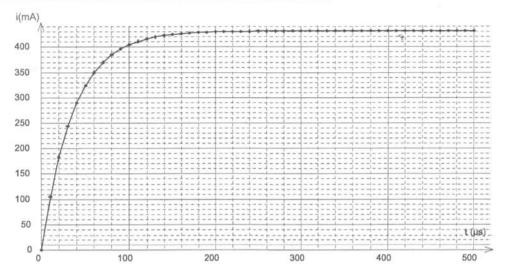
#### QUESTION 13:

La courbe obtenue par le professeur est représentée sur le document 3 en ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE.

13. Quelle grandeur caractéristique du circuit (E ou R) le professeur a-t-il changée pour obtenir la courbe n°1 du document 3 de l'ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE ? Justifier.

## ANNEXE DE L'EXERCICE II À RENDRE AVEC LA COPIE

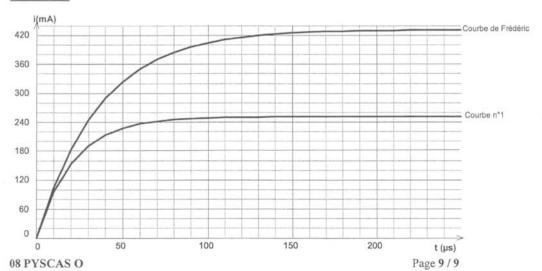
## Document 1 : Évolution de l'intensité du courant en fonction du temps



## Document 2

t en s	i(t) en A	$\left(\frac{di(t)}{dt}\right)$ en A.s <sup>-1</sup>
0	0	
1.0×10 <sup>-5</sup>	0,12	
$1.0 \times 10^{-5}$ $2.0 \times 10^{-5}$	100 400 54 400	6,1×10 <sup>3</sup>

## Document 3



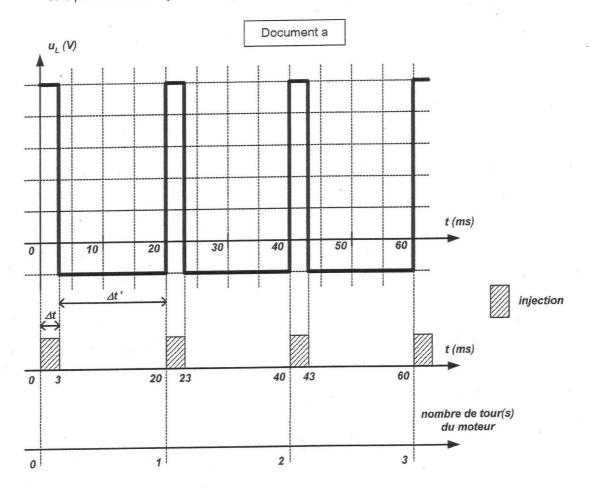
## 2008 Amérique du sud

# EXERCICE II. ALIMENTATION SIMPLIFIÉE D'UN INJECTEUR D'AUTOMOBILE (4 points)

Dans les moteurs d'automobile moderne, le carburant est introduit à l'aide d'injecteurs. L'ouverture et la fermeture de l'injecteur sont commandées par un électroaimant.

Dans cet exercice, on s'intéresse à la bobine (composant de l'électroaimant).

Le document ci-dessous représente l'évolution de la tension  $u_L(t)$  aux bornes de l'électroaimant et la périodicité de l'injection lorsque le moteur fonctionne à « 3 000 tours par minute ».



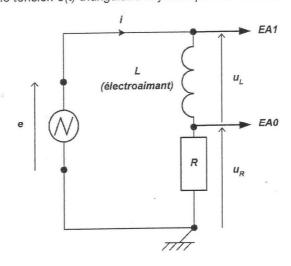
## 1. Étude de la tension aux bornes de la bobine

- 1.1. Déterminer la période T de la tension  $u_L(t)$  à partir du document a.
- 1.2. La période T' du cycle de l'injection vaut-elle :  $\Delta t$ ,  $\Delta t'$  ou  $\Delta t + \Delta t'$ ?
- 1.3. Comparer T et T'.
- 1.4. Montrer que la valeur de T' est en accord avec les "3 000 tours par minute" effectués par le moteur.

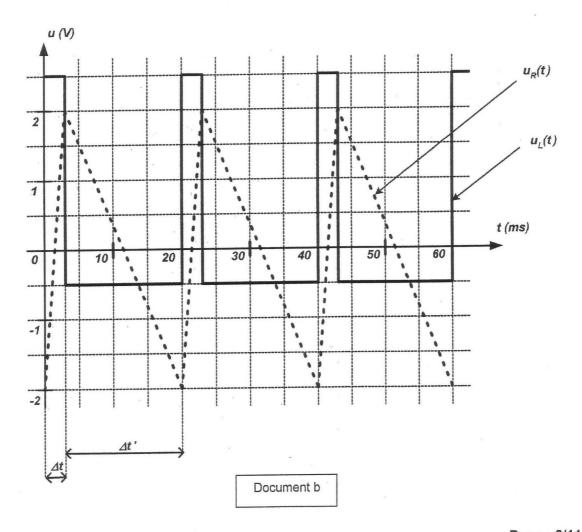
Page: 5/11

# 2. Détermination de l'inductance de la bobine de l'injecteur

Pour déterminer l'inductance L de la bobine (supposée idéale) on réalise le circuit ci-après. Le générateur utilisé délivre une tension e(t) triangulaire asymétrique. La résistance R vaut 1,00 kΩ.



Un système d'acquisition et son logiciel de traitement permettent d'obtenir les courbes suivantes :



Page: 6/11

- 2.1. Visualisation des tensions
  - 2.1.1. Quelle tension visualise-t-on sur l'entrée EA0 du système d'acquisition ?
  - 2.1.2. Quelle tension visualise-t-on sur l'entrée EA1 du système d'acquisition?
- 2.2. Comment a-t-on obtenu la courbe  $u_L(t)$  à partir des tensions enregistrées en EA0 et EA1 ?
- 2.3. Exploitation des acquisitions
  - 2.3.1. Donner l'expression littérale de  $u_R(t)$  en fonction de i(t). En déduire l'expression de  $\frac{di(t)}{dt}$ .
  - 2.3.2. À l'aide du document b, compléter le tableau fourni en ANNEXE 1 page 10.
  - 2.3.3. Dans le tableau fourni en **ANNEXE 1 page 10**, préciser les unités, dans le système international, de  $\frac{di(t)}{dt}$  et de L.
- 2.4. À partir de l'expression littérale de  $u_L(t)$  et des valeurs du tableau fourni en **ANNEXE 1 page 10**, en déduire la valeur de l'inductance L sur l'intervalle  $\Delta t$  et  $\Delta t'$ . Sachant que le constructeur annonce  $L\approx 2,0\,$  S.I., commenter brièvement les deux valeurs obtenues.

Page: 7/11

# ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

	Δt	$\Delta t'$
$\frac{du_{R}(t)}{dt} \text{ (V.s}^{-1})$	1,3.10 <sup>3</sup>	
di(t) ()	1,3	*
<i>u</i> <sub>L</sub> (t) (V)		
L ()		

Page: 10/11

## **EXERCICE II. UN RÉVEIL EN DOUCEUR (5,5 points)**

On commercialise aujourd'hui des réveils « éveil lumière / éveil douceur ». Le concept utilisé est le suivant : lorsque l'heure du réveil programmé est atteinte, la lampe diffuse une lumière dont l'intensité lumineuse augmente progressivement jusqu'à une valeur maximale. On évite de cette façon un réveil trop brutal. La durée nécessaire pour atteindre la luminosité maximale est modifiable.

Lors d'un atelier scientifique, deux élèves décident de construire un circuit électrique permettant de faire varier doucement la luminosité d'une lampe, en utilisant les propriétés électriques d'une bobine.

Dans une première partie, ces propriétés sont mises en évidence de façon qualitative. Dans une seconde partie, les élèves déterminent l'inductance de la bobine utilisée. Le fonctionnement est ensuite étudié expérimentalement à l'aide d'une acquisition informatique.

Certaines données ne sont pas utiles à la résolution de l'exercice.

## 1. Influence d'une bobine dans un circuit électrique.

Les élèves réalisent le circuit représenté sur la figure 4. Ce circuit est constitué d'une source de tension idéale de force électromotrice (fem)  $E_1$ , d'une bobine d'inductance L et de résistance r, d'un conducteur ohmique de résistance  $R_1$  de même valeur que r et de deux lampes identiques  $(L_1)$  et  $(L_2)$ .

## Données :

Valeur de la fem :  $E_1$  = 24 V.

Valeurs données par le constructeur : L = 1 H ;  $r = R_1 = 7 \Omega$ .

**Dans cette partie seulement**, pour simplifier l'analyse qualitative, on suppose que chaque lampe a le même comportement électrique qu'un conducteur ohmique de résistance R<sub>Lampe</sub>.

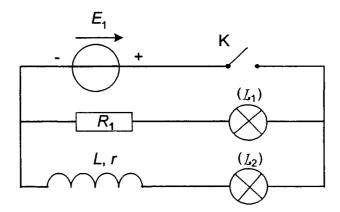


Figure 4

- 1.1. Immédiatement après la fermeture de l'interrupteur K, les deux lampes ne s'allument pas simultanément : une lampe brille quasi-instantanément, l'autre brille avec retard.

  Quelle lampe s'allume la première ? Pourquoi l'autre lampe s'allume-t-elle avec retard ?
- 1.2. Dans la branche du circuit contenant la bobine, on peut observer successivement deux régimes différents pour le courant électrique.

  Nommer ces deux régimes.
- 1.3. Que peut-on dire de la luminosité des deux lampes en fin d'expérience ? Justifier.
- 1.4. On appelle  $\tau$  la constante de temps caractérisant l'évolution temporelle de l'intensité du courant électrique lors de l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'une bobine

8PYOSME1 Page 6/12

d'inductance L. Dans le cas étudié  $R = R_1 + R_{Lampe}$ . La durée nécessaire pour atteindre la luminosité maximale est de l'ordre de 5  $\tau$ .

- 1.4.1. Exprimer la constante de temps  $\tau$  en fonction de l'inductance L et de la résistance R.
- 1.4.2. Vérifier par analyse dimensionnelle, que l'expression obtenue est bien homogène à un temps.
- 1.4.3. Justifier par un calcul d'ordre de grandeur le fait que ce phénomène est détectable par un observateur. On prendra  $R \approx 10 \ \Omega$ .
- On précise que l'œil est capable de distinguer deux images consécutives séparées d'au moins 0,1 s.

## 2. Vérification de la valeur de l'inductance L de la bobine utilisée.

Dans cette partie, les élèves cherchent à déterminer précisément la valeur de l'inductance L de la bobine qui est utilisée. Ils réalisent le montage, représenté sur la figure 5, permettant d'enregistrer la décharge d'un condensateur de capacité  $C = 22 \ \mu F$  à travers la bobine. Le condensateur est initialement chargé sous une tension  $E_2 = 6,0 \ V$  (commutateur en position 1).

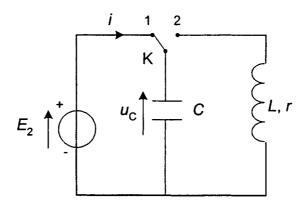


Figure 5

Après avoir basculé le commutateur en position 2, on enregistre l'évolution de la tension aux bornes du condensateur au cours du temps ; la courbe obtenue est représentée sur la figure 6.

- 2.1. Comment nomme-t-on le régime correspondant à cette évolution de la tension  $u_{\mathbb{C}}(t)$  aux bornes du condensateur ?
- 2.2. Quelle est la cause, en termes d'énergie, de l'amortissement des oscillations observé sur l'enregistrement donné en figure 6 ?
- 2.3. Qualifier l'évolution temporelle de l'énergie totale emmagasinée dans le circuit en choisissant un ou plusieurs adjectifs parmi : périodique ; croissante ; décroissante ; sinusoïdale.
- 2.4. On rappelle que la période propre  $T_0$  d'un circuit LC est égale à  $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$  et que dans le cas où l'amortissement est faible, la pseudo-période T des oscillations est proche de la période propre  $T_0$ . Déterminer la valeur de la pseudo-période T des oscillations puis l'inductance L de la bobine.
- 2.5. La valeur de l'inductance L calculée est-elle compatible avec les données du constructeur ?

8PYOSME1 Page 7/12

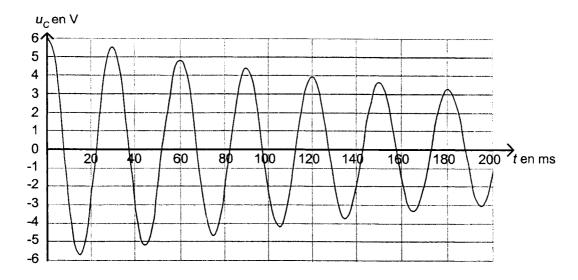


Figure 6

# 3. Étude expérimentale de la luminosité d'une lampe dans un circuit électrique contenant une bobine.

La luminosité de la lampe est liée à la puissance électrique qu'elle reçoit. On rappelle l'expression, en convention récepteur, de la puissance électrique instantanée p(t) reçue par un dipôle soumis à la tension u(t) et traversé par un courant d'intensité i(t): p(t) = u(t).i(t)

Pour étudier l'évolution temporelle de la puissance électrique reçue par la lampe, les élèves réalisent maintenant le circuit représenté sur la figure 7 et procèdent à une acquisition informatique des données à l'aide d'une interface possédant deux bornes d'entrée notées  $(Y_1)$  et  $(Y_2)$  et une masse notée (M). Ils utilisent la lampe  $(L_1)$ , la bobine d'inductance L, un conducteur ohmique dont la résistance a pour valeur  $R_0 = 1$   $\Omega$  et une source de tension continue de fem E.

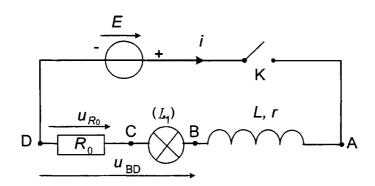


Figure 7

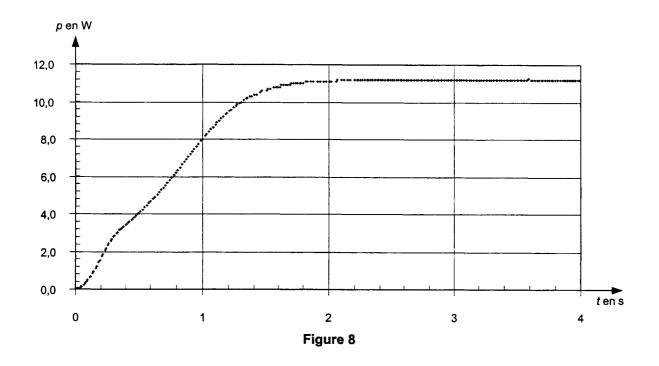
- 3.1. De quelle(s) manière(s) l'énergie électrique reçue par la lampe est-elle transférée à l'environnement ?
- 3.2. À quels points du circuit (A, B, C ou D) peut-on brancher  $(Y_1)$ ,  $(Y_2)$  et (M) pour enregistrer les tensions  $u_R$  et  $u_{BD}$  sur l'interface d'acquisition ?
- 3.3. Les élèves souhaitent suivre l'évolution temporelle de la puissance électrique reçue par la lampe  $(L_1)$ . À partir des grandeurs mesurées  $u_{R_0}$ ,  $u_{BD}$  et de la résistance  $R_0$ , exprimer :
  - 3.3.1. la tension  $u(t) = u_{BC}$  aux bornes de la lampe;
  - 3.3.2. l'intensité i(t) du courant électrique ;
  - 3.3.3. la puissance électrique p(t) reçue par la lampe.

8PYOSME1 Page 8/12

- 3.4. Pourquoi les élèves ont-ils choisi un conducteur ohmique dont la valeur de résistance est très faible ?
- 3.5. La figure 8 représente l'évolution temporelle de la puissance électrique p(t) reçue par la lampe  $(L_1)$ . On estime que pour réveiller un individu, la lumière est suffisante lorsque cette puissance atteint 90 % de sa valeur maximale.

À partir de cette courbe, déterminer la durée nécessaire pour permettre le réveil.

3.6. Cette durée est-elle compatible avec l'utilisation d'un tel montage pour une « lampe à diffusion douce » ? Quels paramètres faudrait-il pouvoir modifier pour contrôler la durée du phénomène ?



8PYOSME1 Page 9/12