AlloSchool

Physique et Chimie : 2ème Année Bac

Séance 11 (Dipôle RL)

Professeur : Mr El GOUFIFA Jihad

Sommaire

I- Introduction

II- La bobine

2-1/ Définition

2-2/ Symbole

2-3/ L'inductance d’une bobine

2-4/ Tension aux bornes de la bobine

III- Détermination expérimentale de l'inductance d'une bobine

3-1/ Expérience

3-2/ Observation

3-3/ Interprétation

IV- Influence de la bobine sur le passage du courant dans un circuit

4-1/ Expérience

4-2/ Observation

4-3/ Interprétation

V- Réponse d'un dipôle RL à un échelon montant de tension (création de courant)

5-1/ Expérience

5-2/ Étude théorique (intensité i du courant)

5-3/ Constante de temps τ

5-4/ Étude théorique (tension aux bornes de la bobine)

VI- Réponse d'un dipôle RL à un échelon descendant de tension (annulation du courant)

6-1/ Expérience

6-2/ Étude théorique (intensité i du courant)

VII- Énergie magnétique de la bobine

7-1/ Expérience

7-2/ Observation

7-3/ Conclusion

IIX- Exercices

8-1/ Exercice 1

8-2/ Exercice 2

8-3/ Exercice 3

8-4/ Exercice 4

I- Introduction

Dans un moteur à explosion , un système d'allumage est nécessaire pour produire l'étincelle qui enflammera le mélange air-essence.

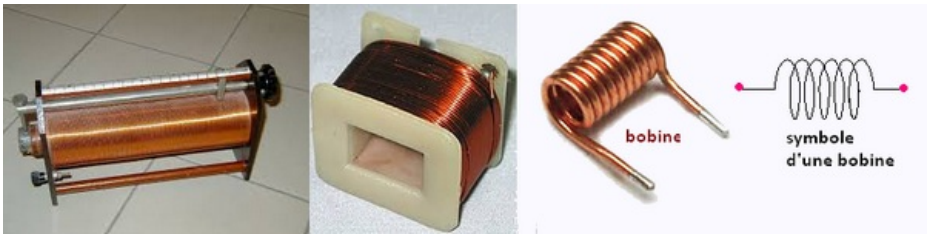
Ce système comportant une bobine.

- Qu'est ce que une bobine ?
- Quelle est son influence dans un circuit électrique ?

II- La bobine

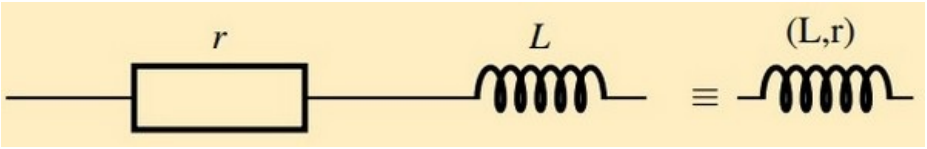
2-1/ Définition

Une bobine est un dipôle constitué par un enroulement cylindrique d'un fil conducteur recouvert d'une couche isolante (gaine ou vernie) :



2-2/ Symbole

Le symbole d'une bobine est représenté ci-dessus :



r est la résistance interne de la bobine et L est un coefficient qui la caractérise appelé inductance exprimé en henry (H).

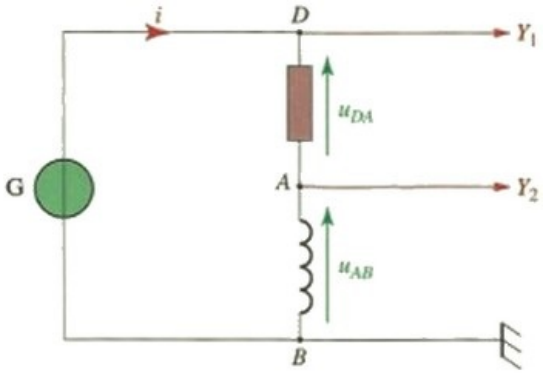
On mesure l'inductance L d'une bobine par un appareil de mesure de l'inductance .

Lorsque la résistance interne $r \simeq 0$ on considère que la bobine est pure.

2-3/ L'inductance d'une bobine

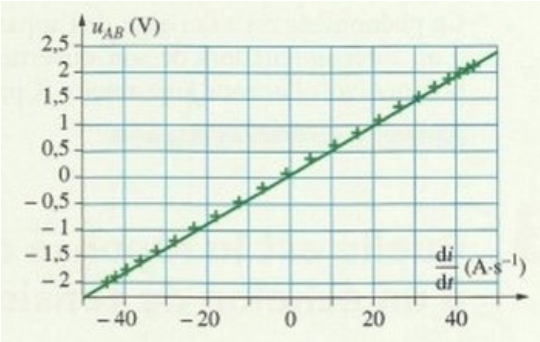
Expérience

On réalise le montage suivant en utilisant une bobine de très faible résistance et un générateur de signaux sinusoïdaux :



Observation

Le graphique représentant u_{AB} en fonction de $\frac{di}{dt}$ est une demi-droite passant par l'origine :



Conclusion

La tension u_{AB} aux homes de la bobine de faible résistance est proportionnelle à la dérivée $\frac{di}{dt}$ de l'intensité i du courant qui la traverse.

Le coefficient de proportionnalité, positif, est appelé inductance de la bobine; il est note L.

Nous avons donc : $\mathrm{U_L} = \mathrm{L}.\frac{\mathrm{di}}{\mathrm{dt}}$

2-4/ Tension aux bornes de la bobine

La tension aux bornes d'une bobine d'inductance L et de résistance r parcourue par un courant électrique d'intensité i est donnée par la relation suivante :

$$\mathrm{U_L = r.i + L\frac{di}{dt}}$$

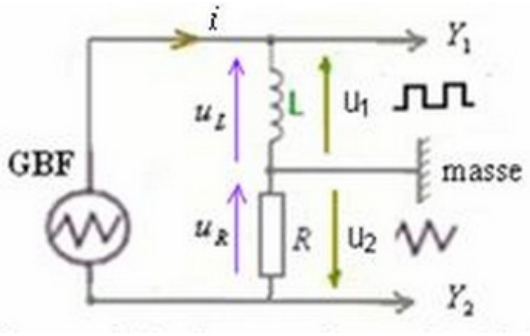
Si le courant électrique est continue l'intensité du courant est constante, donc:
$\mathrm{\frac{di}{dt} = 0}$ et $\mathrm{U_L = r.i}$

La bobine se comporte comme un conducteur ohmique dans le courant continue.

III- Détermination expérimentale de l'inductance d'une bobine

3-1/ Expérience

On réalise le montage suivant en utilisant un générateur GBF de signal triangulaire :



Le conducteur ohmique est de résistance $R = 20k\Omega$

La résistance de la bobine est négligeable devant R.

3-2/ Observation

En visualisant sur l'écran de l'oscilloscope la tension u_1 sur la voie Y_1 et la tension u_2 sur la voie Y_2 on obtient les oscillogrammes suivants :

La sensibilité horizontale utilisée est : $0,5ms/div$, la sensibilité verticale pour Y_1 : $0,05V/div$ et pour Y_2 : $1V/div$

3-3/ Interprétation

À partir du circuit on a : $u_1 = u_L = L\frac{di}{dt}$ et $u_2 = -u_R = -R.i$

donc $u_1 = -\frac{L}{R}.\frac{du_2}{dt} \Rightarrow L = \frac{-u_1.R}{\frac{du_2}{dt}}$

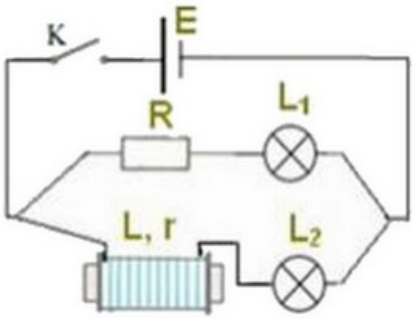
Les deux tensions sont périodiques. Il suffit donc de considérer l'intervalle $\left[0, \frac{T}{2}\right]$ pour déterminer la valeur de L :

$$L = \frac{-u_1.R}{\frac{du_2}{dt}} = \frac{-(-0{,}05).20.10^3}{4.10^3} = 0,25H$$

IV- Influence de la bobine sur le passage du courant dans un circuit

4-1/ Expérience

On réalise le montage expérimental suivant dans lequel les deux lampes sont identiques et la résistance de la bobine et celle du conducteur ohmique ont la même valeur r=R :



4-2/ Observation

On constate que :

- La lampe L_2 brille après la lampe L_1 avec un retard de quelques secondes à la fermeture et à l'ouverture de l'interrupteur.
- En régime permanent les deux lampes brillent de façon identique.

4-3/ Interprétation

On sait que la tension aux bornes de la bobine est : $\mathrm{U_L = r.i + L\frac{di}{dt}}$

Lorsqu'on ferme l'interrupteur: pendant l'établissement du courant de 0 à I, $\frac{\mathrm{di}}{\mathrm{dt}} > 0$, donc la bobine retarde l'établissement du courant.

Lorsqu'on ouvre l'interrupteur: pendant l'annulation du courant (de I à 0), $\frac{\mathrm{di}}{\mathrm{dt}} < 0$, donc la bobine retarde la rupture du courant.

En régime permanent (i = constante), on a alors: $\frac{\mathrm{di}}{\mathrm{dt}} = 0$, la bobine se comporte comme un conducteur ohmique de résistance r.

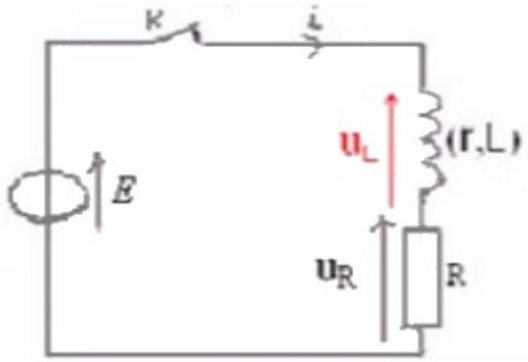
4-4/ Conclusion

La bobine s'oppose à l'établissement et à l'annulation du courant électrique, cet effet se manifeste lorsque l'intensité du courant varié (c'est à dire pendant l'ouverture et la fermeture de l'interrupteur).

V- Réponse d'un dipôle RL à un échelon montant de tension (création de courant)

5-1/ Expérience

On monte en série un conducteur ohmique de résistance R et une bobine d'inductance L et de résistance r auquel on applique un échelon montant de tension à l'aide un générateur de tension en fermant l'interrupteur à t=0 :



5-2/ Étude théorique (intensité i du courant)

D'après la loi d'additivité des tension, on peut écrire :

$$u = u_{r'} + u_B \Rightarrow E = r'i + ri + L\frac{di}{dt} = R_T i + L\frac{di}{dt}$$

On pose $\tau = \frac{L}{R}$ et on obtient l'équation différentielle suivante :

$$\tau\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_T}$$

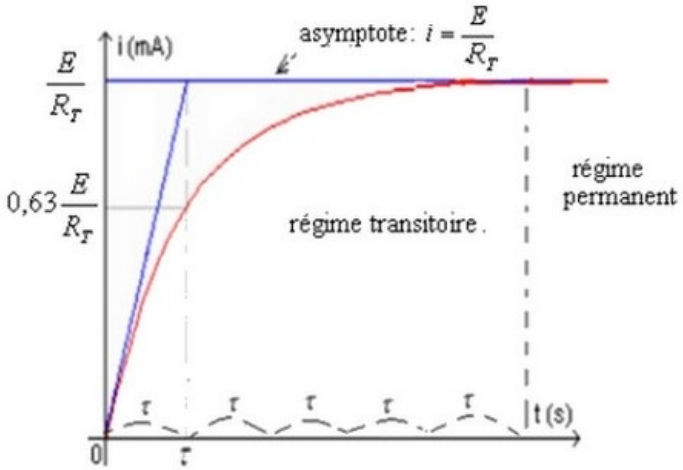
La solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme suivante :

$$i\,(t) = Ae^{-\alpha t} + B$$

tel que A, B et α sont des constantes qu'on peut déterminer.

On obtient après calcul :

$$\mathrm{i\,(t)} = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R_T}}\left(1 - \mathrm{e}^{-\mathrm{t}/\tau}\right)$$



5-3/ Constante de temps τ

Unité de la constante de temps

$$[\tau] = \frac{[L]}{[R]} = \frac{\frac{[U]}{[I]\times[t]^{-1}}}{\frac{[U]}{[I]}} = [t]$$

Détermination graphique de la valeur de τ

Méthode 1:

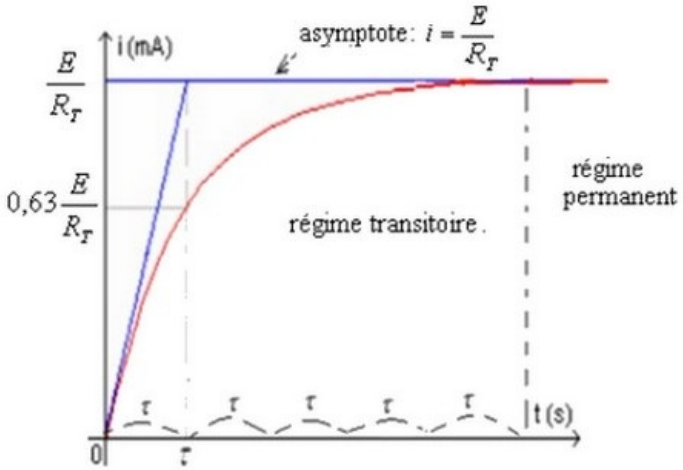
En remplaçant dans l'expression de l'intensité t par τ on obtient :

$$i(\tau) = \frac{E}{R_T}\left(1 - e^{-1}\right) = 0,63\frac{E}{R_T}$$

Puis par lecture graphique, le temps correspondent à cette valeur est $t = \tau$

Méthode 2:

La tangente à la courbe à t=0 se coupe avec l'asymptote $i = \frac{E}{R_T}$ à l'instant $t = \tau$



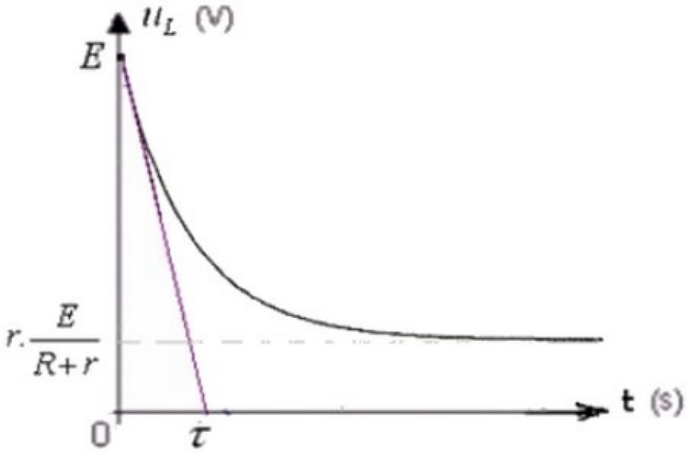
5-4/ Étude théorique (tension aux bornes de la bobine)

D'après la loi d'additivité des tensions on a :

$$E = u_L + R.i(t)$$

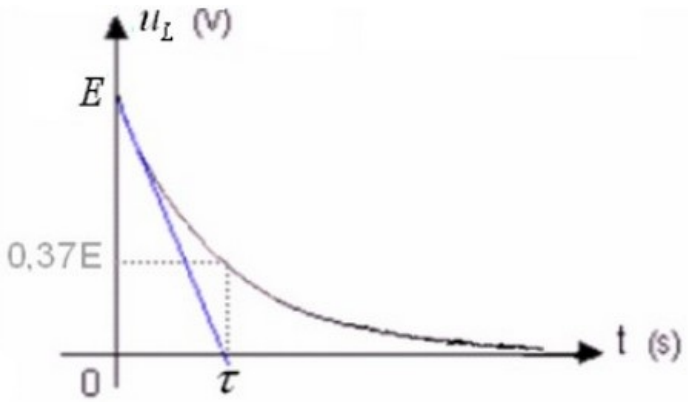
C'est à dire :

$$u_L(t) = E\left(1 - \frac{r'}{R_T}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)\right)$$



Si on néglige la résistance de la bobine r devant la résistance r′, on obtient R = r et on a :

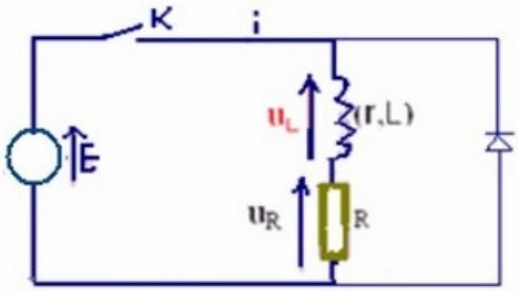
$$\mathrm{u_L(t) = Ee^{-t/\tau}}$$



VI- Réponse d'un dipôle RL à un échelon descendant de tension (annulation du courant)

6-1/ Expérience

On ajoute au circuit précédent une diode normale montée en sens inverse entre les bornes de la bobine pour éviter le phénomène de surtension :



6-2/ Étude théorique (intensité i du courant)

En appliquant la loi d'additivité des tensions on a :

$$u_L + u_R = 0$$
$$\Rightarrow L\frac{di}{dt} + R_T i = 0$$
$$\Rightarrow \tau\frac{di}{dt} + i = 0$$

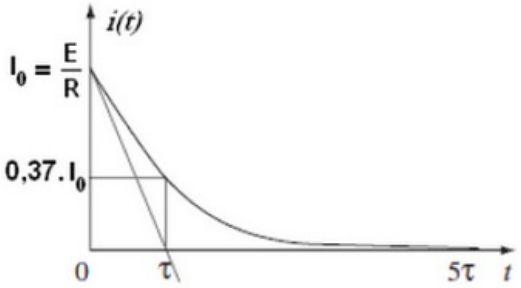
C'est l'équation différentielle que vérifie l'intensité du courant dans le circuit.

La solution de cette équation différentielle est de la forme :

$$i(t) = A.e^{-\alpha t} + B$$

Après calcul on obtient :

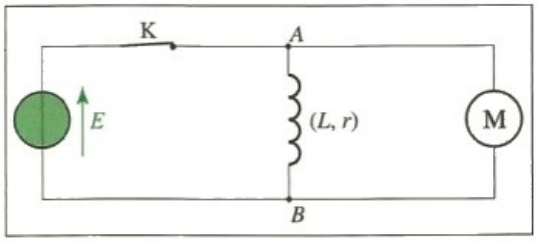
$$i(t) = \frac{E}{R_T}e^{-t/\tau}$$



VII- Énergie magnétique de la bobine

7-1/ Expérience

On réalise le montage suivant, il comporte un moteur et une bobine d'inductance importante :



On ferme l'interrupteur K, puis on l'ouvre.

On observe le moteur.

7-2/ Observation

Lorsque nous ouvrons l'interrupteur, le moteur tourne et fournit donc du travail. Cette énergie lui est fournie par la bobine.

7-3/ Conclusion

L'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine d'inductance L parcourue par un courant électrique d'intensité i est donnée par la relation suivante :

$$E_m = \frac{1}{2}.L.i^2$$

- E_m: énergie magnétique en (J)
- L: inductance de la bobine en (H)
- I: intensité du courant électrique en (A)

Démonstration

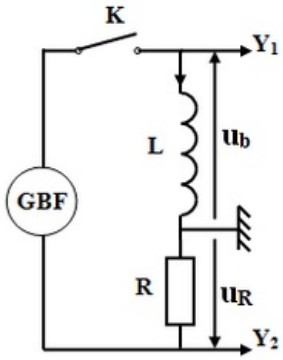
IIX- Exercices

8-1/ Exercice 1

L'étude électrique ou énergétique de quelques dipôles permet de déterminer certains paramètres qui les caractérisent, et de se rendre compte de leurs effets sur les phénomènes dont ces dipôles sont siège.

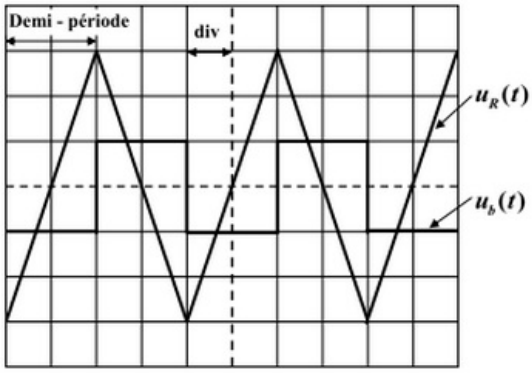
Le but de cet exercice est de déterminer l'inductance d'une bobine.

Pour déterminer l'inductance L d'une bobine de résistance négligeable, on utilise le montage représenté dans la figure ci-dessous, comprenant cette bobine, un conducteur ohmique de résistance $R = 1,5.10^3 \Omega$, un GBF qui délivre une tension triangulaire de période T et un interrupteur K :



On ferme l'interrupteur K à l'instant $t_0 = 0$ et on visualise à l'aide d'un oscilloscope la tension $u_b\,(t)$ aux bornes de la bobine, et la tension $u_R\,(t)$ aux bornes du conducteur ohmique.

On obtient l'oscillogramme de la figure suivante :

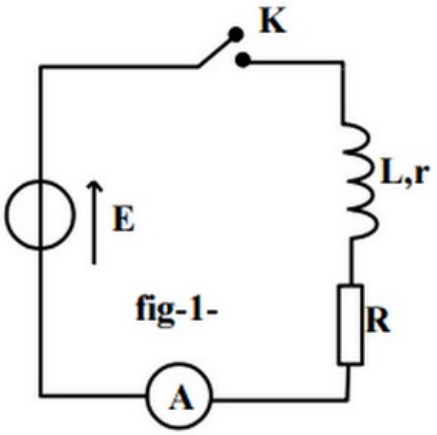


- sensibilité verticale des deux voies de l'oscilloscope : 2 V/div
- balayage horizontale 0,2 ms/div

1. Quel est le rôle de la bobine lors de la fermeture du circuit ?
2. Montrer que les tensions u_b et u_R sont liées par la relation : $u_b = -\frac{L}{R}\frac{du_R}{dt}$
3. Déterminer à partir de l'oscillogramme, les valeurs de u_b et $\frac{du_R}{dt}$ au cours de la première demi période indiquée sur l'oscillogramme.
4. Déduire que $L = 0,1H$

8-2/ Exercice 2

À l'aide d'un générateur de tension idéale de fem :$E = 6V$, une bobine d'inductance L et de résistance interne r, un conducteur ohmique de résistance R un ampèremètre de résistance négligeable et un interrupteur K on réalise le montage de la figure suivante :



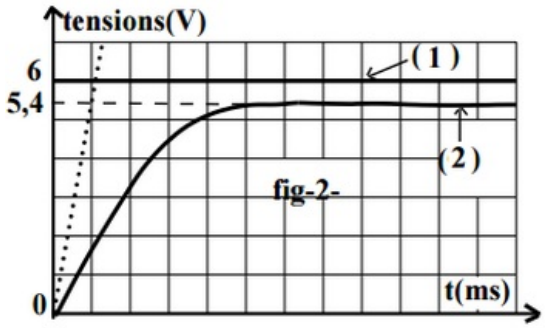
Pour étudier le comportement électrique du dipôle RL à la fermeture du circuit, on connecte le circuit à un oscilloscope numérique à mémoire à fin de visualiser la tension u_R sur la voie (II) et E sur la voie (I)

1. Reproduire le schéma du circuit et réaliser les connexions avec l'oscilloscope.

On réalise les réglages de l'oscilloscope comme suit :

- sensibilité verticale : $1v/div$ pour les deux voies
- sensibilité horizontale $1ms/div$

À $t = 0$ on ferme le circuit sur l'écran de l'oscilloscope apparaissent les deux chronogrammes de la figure suivante :



2. Vérifier que le chronogramme (2) correspond à la tension aux bornes du résistor $u_R\,(t)$.
3. En se basant sur le chronogramme (2) justifier la proportion suivante :''le courant électrique s'établit dans le dipôle RL progressivement et non instantanément''.
4. Évaluer graphiquement la durée du régime transitoire d'établissement du courant électrique dans le dipôle RL.
5. Préciser le phénomène physique qui retarde l'établissement du courant électrique dans le dipôle RL.
6. Établir l'équation différentielle qui traduit l'évolution du courant électrique dans le temps $i(t)$.

Une étude mathématique montre que l'équation établit précédemment a pour solution : $i\left(t\right) = I_P.\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ où I_P et τ sont deux constantes non nulles.

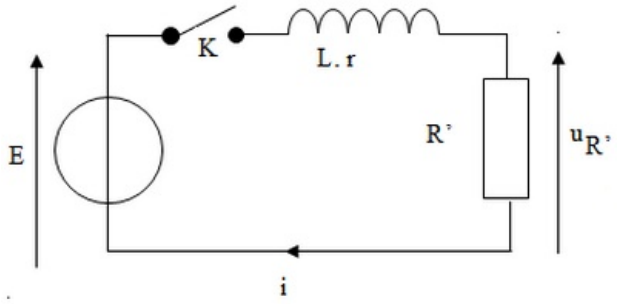
7. Montrer que $\tau = \frac{L}{R+r}$ et $I_P = \frac{E}{R+r}$ et écrire l'expression de $u_R(t)$ en fonction du temps.
8. Définir et déterminer graphiquement la constante du temps ζ du dipôle RL.
9. Si on veut augmenter la durée du régime transitoire d'établissement du courant on augmente ou on diminue la résistance du conducteur ohmique ? Justifier la réponse.

En régime permanent l'ampèremètre indique la valeur $I_P = 60mA$

10. Déterminer la valeur de L, R et r

8-3/ Exercice 3

Le circuit étudié, représenté ci-dessous, est constitué d'un générateur idéal de tension continue de force électromotrice E, d'un interrupteur K, d'une bobine de résistance r et d'inductance L et d'un conducteur ohmique de résistance R' :



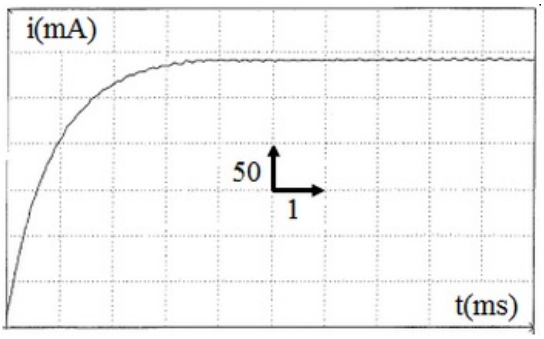
Données :

- E = 4,0V
- L = 11mH
- R'= 10 ✖

À partir de la fermeture de l'interrupteur K, on observe la tension $u_{R'}$ à l'aide d'une interface d'acquisition reliée à un ordinateur.

1. Quel est l'intérêt de faire le relevé de cette tension $u_{R'}$?

Le tableur du logiciel d'acquisition nous permet de calculer les valeurs de i et de tracer la courbe $i = f(t)$:



2. Quel est le phénomène physique mis en évidence dans ce cas ?
3. Quel élément du circuit est la cause de ce phénomène ?
4. En appliquant la loi d'additivité des tensions, déterminer l'équation différentielle vérifiée par l'intensité i du courant dans le circuit en fonction

du temps.

Lorsqu'on est en régime permanent, i vaut alors I_P.

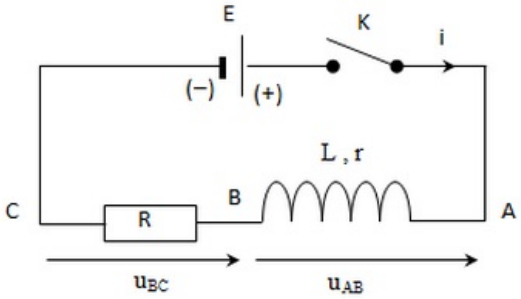
5. Que devient l'équation différentielle ?
6. En déduire l'expression littérale de la résistance r de la bobine puis déterminer sa valeur en utilisant le graphe ci-dessus.

8-4/ Exercice 4

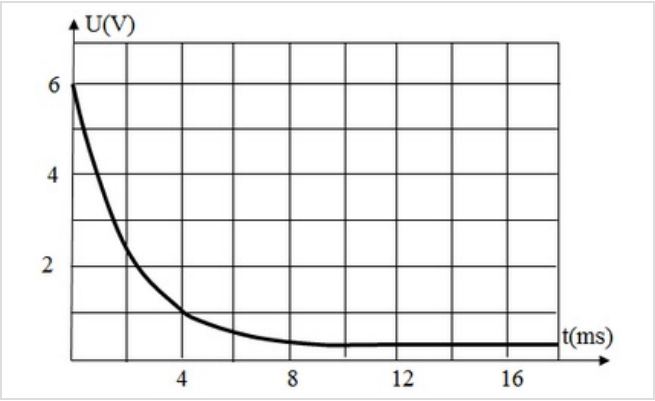
Un circuit électrique comporte, placés en série : un générateur idéal de tension continue de f.é.m. E = 6,00 V, un interrupteur K, une bobine d'inductance L et de résistance $r = 10\Omega$ et un conducteur ohmique de résistance $R = 200\Omega$.

Un ordinateur relié au montage par une interface appropriée permet de visualiser au cours du temps les valeurs des tensions u_{AB} et u_{BC}.

Le schéma du circuit ci-dessous précise l'orientation du circuit et les tensions étudiées :



A t = 0, on ferme l'interrupteur K et on procède à l'acquisition. On obtient les deux courbes suivantes :



Étude du montage

1. À défaut d'ordinateur et d'interface d'acquisition, quel type d'appareil peut-on utiliser pour visualiser le phénomène étudié ?
2. Donner l'expression de u_{AB} en fonction de i et de $\frac{di}{dt}$
3. Donner l'expression de u_{BC} en fonction de i.
4. Associer les courbes 1 et 2 aux tensions u_{AB} et u_{BC}. Justifier.

Détermination de l'intensité du courant en régime permanent

5. Appliquer la loi d'additivité des tensions pour déterminer l'expression de

l’intensité du courant qui traverse le circuit lorsque le régime permanent est établi. Calculer la valeur de I_P.

6. Exploiter l’une des courbes pour retrouver cette valeur de I_P.

Calcul de l’inductance L de la bobine

7. Exploiter l’une des deux courbes pour déterminer la constante de temps τ du montage. Expliciter votre méthode.
8. Rappeler l’expression de la constante de temps τ en fonction des grandeurs caractéristiques du circuit. Montrer que cette expression est homogène à un temps.
9. À partir de la valeur de τ mesurée, calculer l’inductance L de la bobine.