



TITRE DE LA LEÇON : AUTO-INDUCTION

I) SITUATION D'APPRENTISSAGE

Salimata est élève en classe de T^{le} C du Lycée Moderne HKB2 de Daoukro. Il a observé que le voyant lumineux, témoin d'allumage de certains appareils s'allume ou s'éteint quelques instants après avoir appuyé le bouton de mise sous tension. En cherchant à comprendre ce phénomène elle apprend que cela est dû à l'auto-induction dans les bobines que ces appareils contiennent.

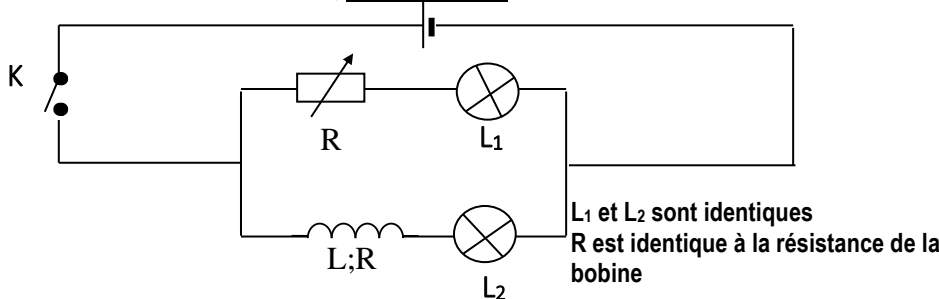
Toute contente, elle partage l'information avec ses camarades de classe. Sous la supervision de leur professeur; la classe décide de s'informer sur le phénomène de l'auto-induction, de déterminer la f-é-m d'auto-induction, la tension aux bornes d'une bobine, l'énergie emmagasinée dans une bobine et d'appliquer la loi de l'auto-induction.

II) CONTENU DE LA LEÇON

1- MISE EN ÉVIDENCE DE L'AUTO-INDUCTION

1.1. Retard à l'allumage d'une ampoule

1.1.1) Expérience



1.1.2) Observations

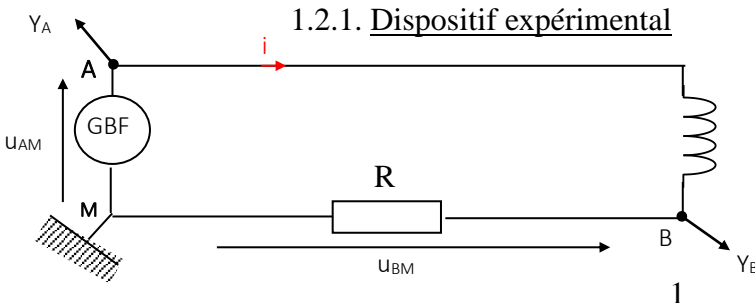
- K fermé : L₁ s'allume instantanément tandis que L₂ s'allume progressivement.
- À l'ouverture de K, L₁ s'éteint avant L₂.

1.1.3) Conclusion

La bobine s'oppose à l'installation et à l'annulation du courant électrique dans le circuit. Ce phénomène porte le nom d'auto-induction.

1.2. Visualisation à l'oscilloscope

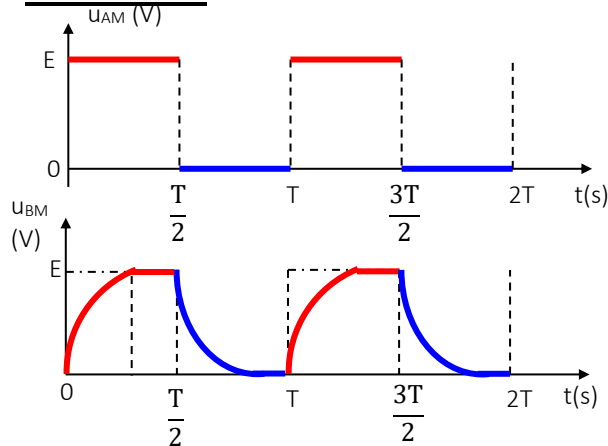
1.2.1. Dispositif expérimental



Y_A : Visualisation de la tension U_{AM} aux bornes du générateur
Y_B : Visualisation de la tension $u_{BM} = Ri$ aux bornes du conducteur ohmique.

N.B : $u_{BM} = Ri$ donc la courbe représentant u_{BM} à la même forme que i .

1.2.2. Observations



1.2.3. Interprétation

- A la fermeture du circuit électrique :

La tension aux bornes du générateur passe de 0 à E tandis que l'intensité du courant électrique dans le conducteur ohmique de résistance R croît progressivement pour atteindre sa valeur maximale qu'au bout d'un certain temps.

- À l'ouverture du circuit électrique :

La tension aux bornes du générateur s'annule tandis que l'intensité du courant électrique décroît progressivement pour s'annuler au bout d'un certain temps.

Remarque :

Le régime au cours duquel i varie (croît ou décroît) est appelé régime transitoire.

Le régime où i est constant ($i = I_{max}$) est appelé régime permanent.

1.2.4. Conclusion

La bobine s'oppose aux variations (installation ou annulation) du courant électrique i . Ce phénomène est appelé auto-induction.

L'auto-induction résulte de la variation du flux magnétique à travers la bobine.

2- FLUX PROPRE ET INDUCTANCE D'UNE BOBINE

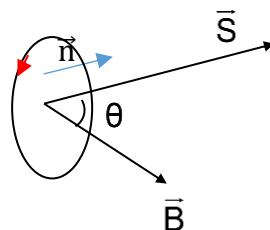
2.1. Définition du flux magnétique propre

On appelle flux magnétique propre Φ_p , le flux créé par le champ magnétique \vec{B} , dans la bobine à travers la surface fermée S. C'est une grandeur algébrique définie par : $\Phi_p = \vec{B} \cdot \vec{S}$
Où $\vec{S} = S \vec{n}$: vecteur surface. Il est normal au plan défini par le circuit.

soit :

$$\Phi_p = B S \cos \theta$$

weber
T
m²
(Wb)



L'expression du flux créé à travers une spire de la bobine est :

$$\Phi_p = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \quad \text{or} \quad B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

Soit $\Phi_p = \mu_0 \frac{N}{\ell} I \cdot S$ où S représente la surface d'une spire.

Pour les N spires de la bobine, on a :

$$\Phi_p = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} I \cdot S$$

Exercice d'application 1 :

Un solénoïde comporte N spires uniformément enroulées sur un cylindre de longueur L et de section S.

1 – Donne les caractéristiques du champ \vec{B} à l'intérieur de la bobine lorsqu'elle est parcourue par un courant d'intensité $I = 100 \text{ mA}$.

2 – Calcule le flux à travers les spires de la bobine.

Données : $N = 100$ spires; $\ell = 40 \text{ cm}$; $S = 20 \text{ cm}^2$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ S.I}$

Solution :

1. Donnons les caractéristiques du champ \vec{B} à l'intérieur de la bobine :

Point d'application : Centre du solénoïde

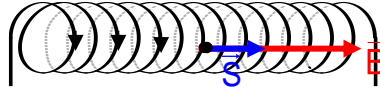
Direction : L'axe du solénoïde

Sens : De la face sud vers la face nord

Norme : $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$; $B = 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

2. Calculons le flux à travers la bobine :

$$\Phi = B \cdot S; \quad \Phi = 6,28 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$



2.2. Inductance d'une bobine

L'inductance L d'une bobine est égale au quotient du flux propre Φ_p à l'intérieur de la bobine par l'intensité I du courant électrique qui la traverse.

$$L = \frac{\Phi_p}{I} = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} \cdot S$$

henry (H)

Remarque : L est le coefficient de proportionnalité entre le flux propre Φ_p et l'intensité du courant électrique I.

Exercice d'application 2

Un solénoïde de longueur $\ell = 0,5 \text{ m}$ et de diamètre $d = 5 \text{ cm}$ comporte $2 \cdot 10^4$ spires. L'inductance L de ce solénoïde vaut :

a) 0,97 H ;

b) 1,5 H ;

c) 1,97 H.

Entoure la lettre correspondant à la bonne réponse.

Solution

c) 1,97 H.

2.3. Force électromotrice d'auto-induction

La variation du flux engendre un courant induit qui donne naissance à une force électromotrice induite d'induction e.

La spire se comporte comme un générateur en opposition avec le générateur d'alimentation du circuit.

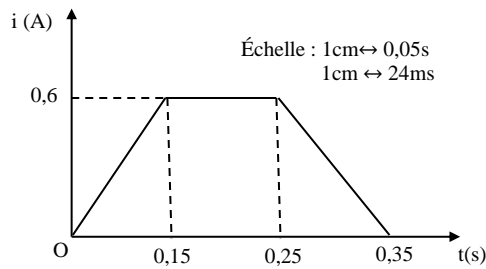
La force électromotrice d'auto-induction e a pour expression :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ or } \Phi_p = L \cdot i$$

$$e = -L \cdot \frac{di}{dt} \text{ e s'exprime en volts (V).}$$

Exercice d'application 3

Une bobine d'inductance $L = 12 \text{ mH}$ et de résistance négligeable est parcourue par un courant dont les variations sont représentées ci-dessous



1- Calcule la f.é.m. de la bobine dans chaque intervalle de temps.

2- Représente la fonction $e = f(t)$ de la f.é.m. auto-induite aux bornes de la bobine.

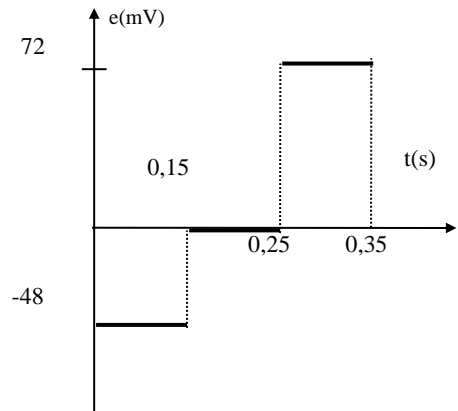
Solution

* pour $0 < t < 0,15 \text{ s}$ $\frac{di}{dt} = \frac{\Delta i}{\Delta t} = 4 \text{ A/s} \Rightarrow e = -48 \text{ mV}$

* pour $0,15 < t < 0,25 \text{ s}$ $\frac{di}{dt} = 0 \text{ A/s} \Rightarrow e = 0 \text{ V}$

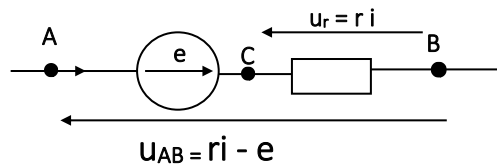
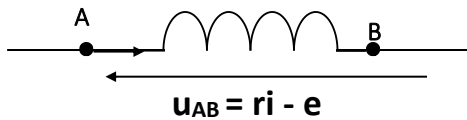
* pour $0,25 < t < 0,35 \text{ s}$ $\frac{di}{dt} = -6 \text{ A/s} \Rightarrow e = 72 \text{ mV}$

(Voir schéma ci-dessus pour la représentation)



3) - TENSION AUX BORNES D'UNE BOBINE

3.1. Schéma d'une bobine



3.2. Loi d'Ohm

$$u_{AB} = ri - e \quad \text{or} \quad e = -L \frac{di}{dt}$$

$$\text{d'où: } u_{AB} = r i + L \frac{di}{dt}$$

Remarques:

- Si $r = 0$: on a une inductance pure et $u_{AB} = -e$
- En régime continu ou permanent, I est constante, la bobine se comporte comme une résistance pure : $U_{AB} = r I$

Activité d'application 4

Une bobine d'auto-inductance $L = 0,5 \text{ H}$ et de résistance $r = 8 \Omega$ est parcourue par un courant dont l'intensité varie selon la loi $i = 5 - 2,5 t$ (i en A).

1) Détermine la tension à ses bornes.

2) Calcule cette tension à la date $t = 1 \text{ s}$.

Solution :

- 1) $u = 38,75 - 20 t$
 2) $u = 18,75 V$

4)- ÉNERGIE MAGNÉTIQUE EMMAGASINÉE DANS UNE BOBINE

4.1. Puissance échangée

La puissance électrique reçue par une bobine est :

$$P = u_{AB} \cdot i = r i^2 + L i \frac{di}{dt} \quad \text{car } u_{AB} = r i + L \frac{di}{dt}$$

$$P = r i^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 \right)$$

Avec :

- $r i^2$: puissance dissipée par effet joule
- $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 \right)$ puissance emmagasinée par la bobine

4.2. Énergie emmagasinée

$$\varepsilon = \int_0^t P \cdot dt = \int_0^t r i^2 dt + \int_0^t \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 \right) dt$$

$$E = r i^2 t + \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{avec } \begin{cases} r i^2 t : \text{énergie dissipée par effet joule} \\ \frac{1}{2} L i^2 : \text{énergie emmagasinée par la bobine} \end{cases}$$

Activité d'application 6

Calcule l'énergie emmagasinée E dans une bobine d'inductance $L = 1,5 H$ parcourue par un courant d'intensité $I = 2 A$.

Dis ce que devient cette énergie lorsque l'intensité du courant double.

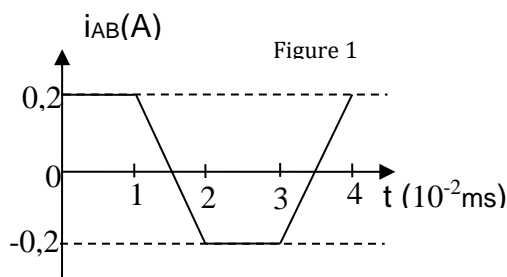
Solution

$$E = \frac{1}{2} L i^2 = 3 J ; E \text{ est multipliée par } 4.$$

SITUATION D'ÉVALUATION

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves est chargé de déterminer la tension u_{AB} aux bornes d'une bobine AB sans noyau, d'inductance $L = 5mH$ et de résistance $r = 2\Omega$.

Dans une expérience, le groupe utilise un générateur de courant variable dont l'intensité visualisée est représenté comme l'indique la figure 1.



Appartenant au groupe, tu es désigné pour répondre aux consignes.

- 1) Donne l'expression de l'inductance L de la bobine fonction du flux propre Φ et de l'intensité du courant i .

- 2) Calcule la valeur du flux propre à travers cette bobine quand elle est parcourue par un courant $i_{AB} = 0,2A$.
- 3)
- 3.1) Détermine les intervalles de temps durant lesquels il y a variation du flux propre Φ_p à travers la bobine dans l'intervalle $0 \leq t \leq 4 \cdot 10^{-2} s$.
 - 3.2) Calcule cette variation $\Delta\Phi$ dans chaque cas.
 - 3.3) Détermine la force électromotrice d'auto induction e dans la bobine dans chaque intervalle de temps.
 - 3.4) Établis l'expression littérale de la tension u_{AB} aux bornes de la bobine dans chaque intervalle.
 - 3.5) Représente-la graphiquement en fonction du temps. (Précise les échelles choisies)

III. EXERCICES

Exercice 1

Réarrange les mots et groupe de mots ci-dessous de sorte à obtenir une phrase ayant un sens :

- 1) s'oppose/ ou à sa rupture;/ Une bobine/ à l'établissement d'un courant / placée dans un circuit/ le nom d'auto-induction./ ce phénomène porte
- 2) comportant une bobine / une f.é.m. e / du courant dans un circuit / appelé force électromotrice d'auto-induction./ de l'intensité / fait apparaitre dans la bobine / La variation/

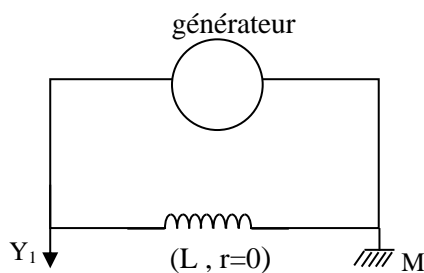
Correction

1) Une bobine placée dans un circuit s'oppose à l'établissement d'un courant ou à sa rupture ; ce phénomène porte le nom d'auto induction.

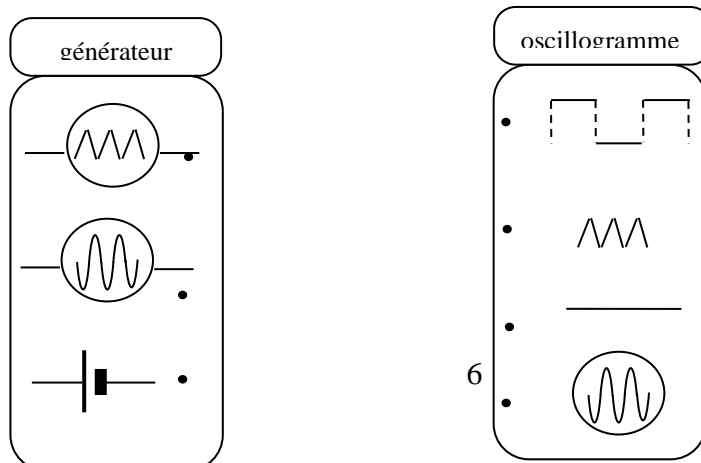
2) La variation de l'intensité du courant dans un circuit comportant une bobine fait apparaitre dans la bobine une f.é.m. e appelé force électromotrice d'auto-induction

Exercice 2

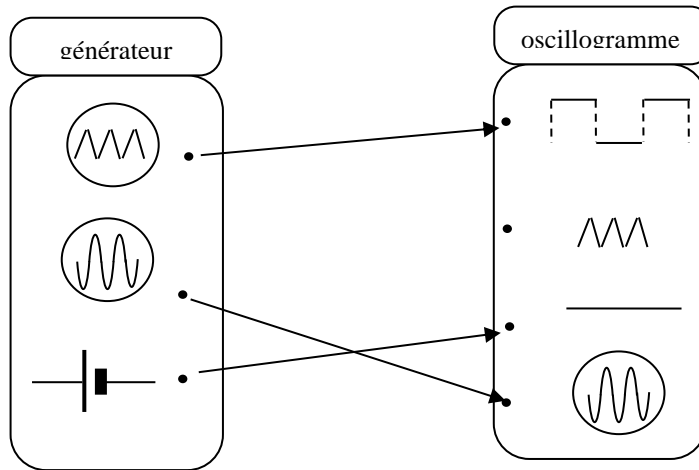
Tu considères le circuit électrique suivant :



Relie le générateur à l'oscillogramme qui lui correspond :



Correction :



Exercice 3 :

Une bobine, de résistance $R = 4 \Omega$ et d'inductance $L = 0,5 \text{ H}$, est parcourue par un courant dont l'intensité varie selon la loi : $i = 0,63.t$ (i en ampères) dans l'intervalle $0 \leq t \leq 2 \text{ s}$.

- 1) Calculer la valeur u de la tension aux bornes de la bobine à la date $t = 1 \text{ s}$.
- 2) Calculer l'énergie emmagasinée dans la bobine à la date $t=1\text{s}$.

Correction :

1). Valeur de la tension u aux bornes de la bobine à la date $t=1\text{s}$: $u=ri + L\frac{di}{dt} = ri + 0,63L$
A.N : $u = 4 \times 0,63 + 0,63 \times 0,5$

$$u = 2,835 \text{ V.}$$

2). Energie emmagasinée dans la bobine à la date $t=1\text{s}$: $E = \frac{1}{2} Li^2$

$$\text{A.N : } E = 0,5 \times 0,5 \times (0,63)^2$$

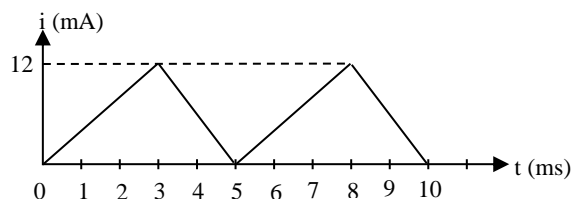
$$E = 9,92 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

Exercice 4

L'intensité du courant dans une bobine d'inductance

$L = 0,1 \text{ H}$ varie en fonction du temps selon la loi indiquée par la figure ci-contre :

- 1.) Ecris l'expression de la f.é.m. d'auto induction ;
- 2.) Calculer la f.é.m. dans les différents intervalles de temps.
- 3.) Représenter graphiquement la variation de la f.é.m. en fonction du temps.
- 4.) Calculer l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine.



Correction :

1) Expression de la f.e.m : $e = -L\frac{di}{dt}$

2) Calcul de la f.e.m dans les différents intervalles :

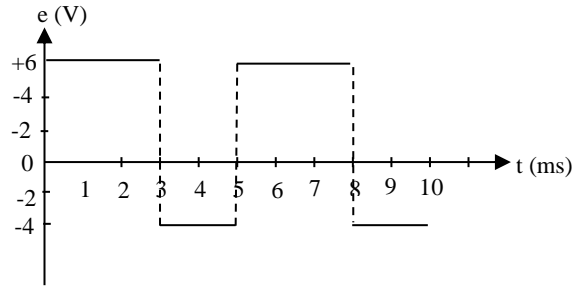
$$t \in [0 ; 3] \text{ on a : } \frac{di}{dt} = \frac{(12-0)}{(3-0)} = 4 \Rightarrow e = -0,1 \times (4) = -0,4 \text{ V}$$

$$t \in [3 ; 5] \text{ on a : } \frac{di}{dt} = \frac{(0-12)}{(5-3)} = -6 \Rightarrow e = -0,1 \times (-6) = +0,6 \text{ V}$$

$$t \in [5 ; 8] \text{ on a : } \frac{di}{dt} = \frac{(12-0)}{(8-5)} = 4 \Rightarrow e = -0,1 \times (4) = -0,4 \text{ V}$$

$$t \in [8; 10] \text{ on a : } \frac{di}{dt} = \frac{(0-12)}{(10-8)} = -6 \Rightarrow e = -0,1 \times (-6) = +0,6V$$

3) *Représentation graphique:*



4) *L'énergie maximale emmagasinée*

$$E = \frac{1}{2} Li^2 \Rightarrow E = 0,5 \times 0,1 \times 12 \cdot (10^{-3})^2 = 0,6mJ$$

Exercice 5 :

Au cours d'une séance de travaux pratiques, ton professeur de physique met à la disposition de ton groupe un solénoïde (A, C) de longueur $\ell = 41,2$ cm et de résistance négligeable. Il comporte $N = 400$ spires de rayon $r = 2,5$ cm. Il est orienté arbitrairement de A vers C.

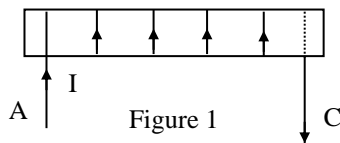


Figure 1

Vous réalisez les expériences ci-dessous :

- Expérience 1 :

le solénoïde est parcouru par un courant continu d'intensité $I = 5$ A.

- expérience 2 :

Le solénoïde est maintenant parcouru par un courant électrique $i(t)$ dont l'intensité varie avec le temps comme l'indique la figure 2. Un phénomène d'auto-induction y prend naissance.

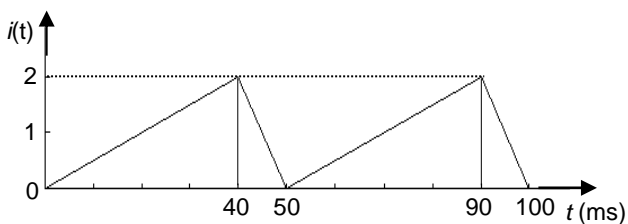


Figure 2

Il vous est demandé de déterminer l'inductance de la bobine et de représenter la courbe $u_{AC}(t)$ aux bornes de la bobine dans la deuxième expérience.

Données : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI.

Tu es le rapporteur de ton groupe. Tu utiliseras au besoin l'échelle suivante :

1 cm \leftrightarrow 50 mV

1 cm \leftrightarrow 10 ms

1. Expérience 1.

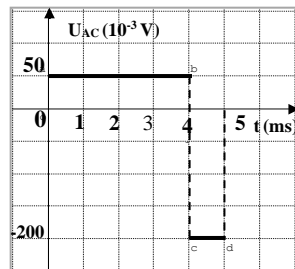
- 1.1 Représente quelques lignes du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde ainsi que le vecteur champ \vec{B} (direction et sens).
- 1.2 Donne l'expression littérale de l'intensité B du champ magnétique, à l'intérieur du solénoïde en fonction de μ_0 , N , ℓ et I .
- 1.3 Calcule la valeur de B .
- 1.4 Donne l'expression littérale du flux propre Φ de la bobine en fonction de N , B et r , puis calcule le.
- 1.5 Calcule la valeur de l'inductance L de la bobine.
2. Expérience 2.
 - 2.1 Donne l'expression de la tension u_{AC} en fonction de L et $\frac{di}{dt}$ (se référer à la figure 3).
 - 2.2 Calcule u_{AC} sur une période : $t \in [0; 50\text{ms}]$ en prenant $L = 10^{-3}$ H.
 - 2.3 Trace la courbe $u_{AC}(t)$.

CORRECTION



1.
 - 1.1
 - 1.2 $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$
 - 1.3 $B = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{T}$
 - 1.4
 - 1.5
 - 2.1 $u_{AC} = L \frac{di}{dt}$
 - 2.2 $t \in [0; 40\text{ms}]$: on a $i(t) = a t$
 $a = \frac{2}{40 \cdot 10^{-3}} = 50 \text{A/s}$
 $u_{AC} = 5 \cdot 10^{-2} \text{V}$
 - $t \in [40; 50\text{ms}]$: on a $i(t) = c t + d$
 $c = \frac{-2}{10^{-2}} = -\frac{200 \text{A}}{\text{s}}$ à $t = 0$ $i(0) = 2 \text{A}$
 $\Rightarrow i(t) = -200 t + 2$
 $u_{AC} = -0,2 \text{V}$

2.3



EXERCICE 6 :

1. On considère une bobine assimilable à un solénoïde théorique ayant les caractéristiques suivantes :
 - Rayon moyen des spires $R = 10$ cm.
 - Nombre total des spires $N = 500$
 - Longueur de la bobine $\ell = 1$ m
 - a. Déterminer les caractéristiques du vecteur champ magnétique B créé à l'intérieur de ce solénoïde lorsqu'il est parcouru par un courant d'intensité $I = 5 \text{A}$.
 - b. Calculer l'inductance du solénoïde.
 - c. Quelle est l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine
2. L'intensité du courant qui circule dans la bobine est caractérisée successivement par les valeurs suivantes exprimées en ampères :

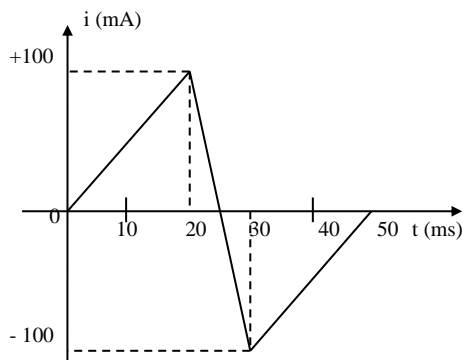
$$i_1 = 2 ; i_2 = 5t + 2;$$

$$i_3 = 2\sqrt{2} \sin(100\pi.t)$$

$$i_4 = \sqrt{3} \cos(50\pi.t + \varphi)$$

Calculer la force électromotrice d'auto-induction produite dans chacun des cas.

3. Un courant d'intensité $i(t)$ traverse la bobine (voir graphique)



a- Exprimer la tension U_{MN} aux bornes de la bobine en fonction du temps.

b- Représenter graphiquement U_{MN} . On prendra le sens positif du conducteur de M vers N et on négligera la résistance interne de la bobine.

CORRECTION :

1.a. Caractéristique du champ \vec{B} :

Direction : Axe du solénoïde

Sens : De la face sud A vers la face nord vers C.

Intensité: $B = \mu_0 \cdot \frac{N}{\ell} \cdot I ; B = 3mT$

1. b. $L = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{\ell} \cdot S = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{\ell} \cdot \pi r^2 = 0,01 H;$

1. c. $E_m = \frac{1}{2} Li^2 = 375 mJ ; 2. e = -L \frac{di}{dt}$

Cas 1 : $e_1 = -L \frac{di_1}{dt} = 0V$; Cas 2: $e = -0,15 V$;

Cas 3: $e =$

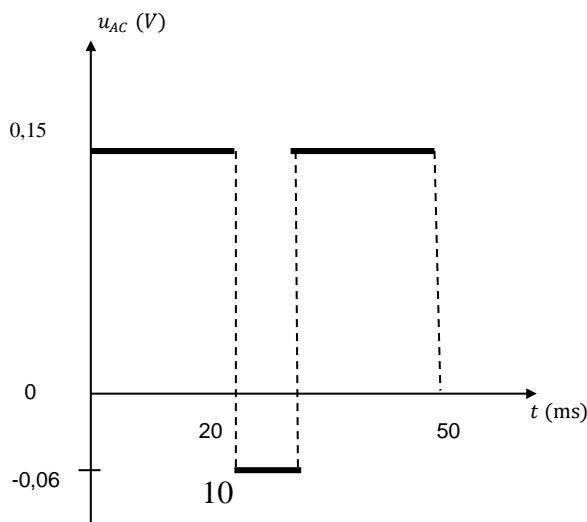
$6\pi\sqrt{2} \cos(100\pi t)$; Cas 4: $e = 1,5\pi\sqrt{3}\sin(50\pi t + \frac{\pi}{4})$;

3.a. $u_{MN} = L \frac{di}{dt}$; $0 < t < 20ms : u_{MN} = 0,15 V$; $20ms < t < 30ms :$

$u_{MN} = -0,06 V$; $30ms < t$

$< 50ms : u_{MN} = 0,15 V$

3.b. voir représentation ci-dessus



IV. DOCUMENTATION

L'étincelle de rupture

Lorsqu'on débranche brusquement des appareils ménagers comportant des moteurs donc des bobines, Il apparait de fortes étincelles au niveau de la prise de courant. Ces étincelles de rupture sont utilisées dans les allumeurs. La plupart du temps ce phénomène doit être atténué, en particulier au niveau des balais et des lames du collecteur dans les dynamos et les moteurs et au niveau de l'interrupteur de haute tension. On remédie à cet inconvénient en plaçant en parallèle aux bornes de la bobine une résistance et une diode ou aux bornes de l'interrupteur, un condensateur. On supprime ainsi les parasites gênants pour les récepteurs radio: les étincelles de rupture provoquent des ondes électromagnétiques qui sont interceptées par l'antenne.

Livre de PHYSIQUE: Collection EURIN. Terminales C, E