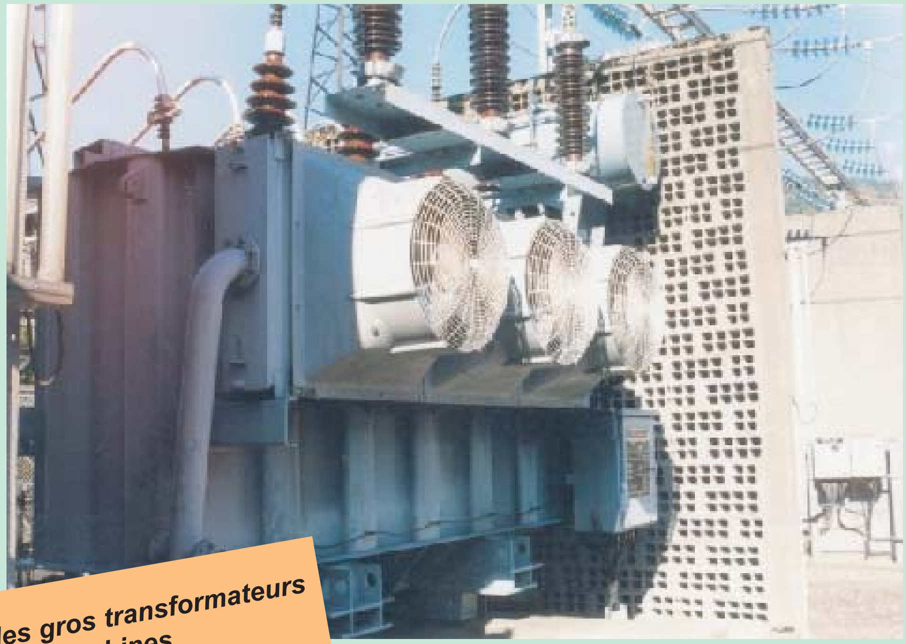
La bobine
le dipôle RL

2



Même les gros transformateurs utilisent des bobines

- Pourquoi, les transformateurs ne peuvent pas être utilisés en courant continu ?
- Comment fonctionnent les ralentisseurs électromagnétiques des véhicules "poids lourds" ?

L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Une bobine est un dipôle électrocinétique constitué d'un enroulement dans le même sens, de fil conducteur recouvert d'un vernis isolant. De ce fait, elle a une résistance électrique interne. Un tel dipôle placé dans un circuit électrique, se comporte-t-il alors comme un résistor vis à vis du courant électrique ?
La bobine est-elle, comme le condensateur, un réservoir d'énergie ?

1 LE PHÉNOMÈNE D'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

1.1- PRODUCTION D'UN COURANT INDUIT PAR DÉPLACEMENT RELATIF D'UN AIMANT ET D'UNE BOBINE

Manipulation

◆ **Expérience 1**

On réalise le montage de la figure 1, comportant une bobine reliée à un milliampèremètre à zéro central, sensible aux courants très brefs.

- En approchant l'un des pôles d'un barreau aimanté de l'une des faces de la bobine, l'aiguille du milliampèremètre dévie dans un sens (Fig.2a). L'aiguille du milliampèremètre retourne à zéro dès que cesse le déplacement de l'aimant.

- En éloignant l'aimant de la bobine, l'aiguille du milliampèremètre dévie de nouveau, mais dans le sens contraire (Fig.2b).

Les mêmes observations sont faites quand, au lieu de déplacer l'aimant, on le maintient fixe et on déplace la bobine suivant son axe disposé parallèlement au grand axe de l'aimant.

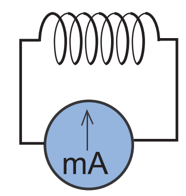


Fig.1 : Bobine en circuit fermé

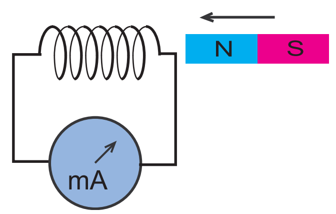


Fig.2a : Approche de l'aimant

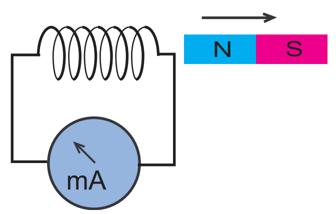


Fig.2b : Eloignement de l'aimant

Remarque

On réussirait mieux toutes ces expériences si l'on disposait d'un galvanomètre balistique au lieu du milliampèremètre à zéro central.

◆ **Expérience 2**

On réalise le circuit fermé, schématisé par la figure 3, comportant une bobine (B_1) et un résistor de résistance R.

Les deux bornes du dipôle sont reliées à l'entrée Y_1 d'un oscilloscope à mémoire. On peut visualiser ainsi l'évolution temporelle de la tension u_R aux bornes du résistor.

- En approchant le pôle nord de l'aimant de l'une des faces de la bobine, l'oscilloscope mémorise sur son écran le chronogramme 1 de la figure 4a.

- La bobine et l'aimant étant maintenus dans les mêmes dispositions, quand on éloigne l'un de l'autre, on obtient l'oscillogramme 2 de la figure 4b.

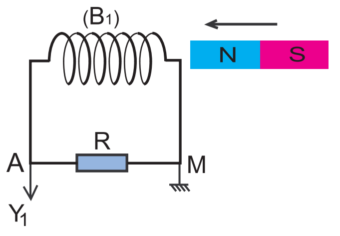


Fig.3 : Bobine fermée sur un résistor

- En approchant de nouveau, mais d'une manière plus rapide, le pôle nord de l'aimant de l'une des faces de la bobine, on obtient la même forme d'oscillogramme, avec un pic plus prononcé.

Questions

1°) Que se passe-t-il, au niveau d'une bobine en circuit fermé, lors d'un déplacement relatif aimant-bobine ?
2°) Justifier le recours à $u_R(t)$, dans l'expérience 2, pour suivre l'évolution de l'intensité i du courant circulant dans le circuit de la bobine.
3°) D'après les observations des expériences 1 et 2, énumérer les facteurs dont dépendent les propriétés du phénomène qui se produit dans une bobine, en circuit fermé, par un déplacement relatif aimant-bobine.

Conclusion

Avec un déplacement relatif bobine-aimant, on peut produire un courant électrique dans la bobine en circuit fermé. Un tel courant électrique est appelé courant induit, alors que l'aimant est appelé inducteur.
L'intensité du courant induit est d'autant plus grande que le déplacement relatif bobine-aimant est plus rapide.

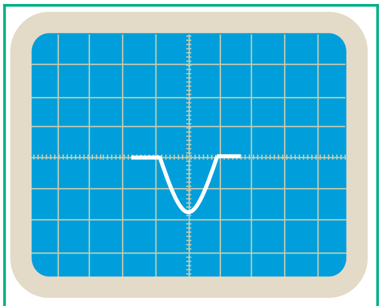


Fig.4a : Oscillogramme 1

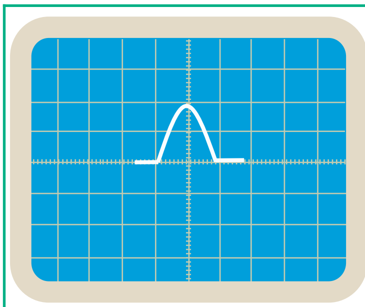


Fig.4b : Oscillogramme 2

1.2- AUTRE MODE DE PRODUCTION DU COURANT INDUIT

Manipulation

On garde le montage de la figure 3 et on remplace l'aimant par un solénoïde (B_2), de diamètre plus grand que celui de la bobine (B_1), relié à un générateur de tension variable (un GBF par exemple) et on y introduit la bobine (B_1) comme dans la figure 5.
Ayant déjà utilisé l'entrée Y_1 de l'oscilloscope pour visualiser $u_R(t)$, on utilise l'entrée Y_2 pour visualiser la tension u(t) délivrée aux bornes du générateur.
En appliquant, aux bornes du solénoïde (B_2) une tension sinusoïdale, on observe aux bornes de la bobine (B_1) une tension de forme semblable (Fig.6).

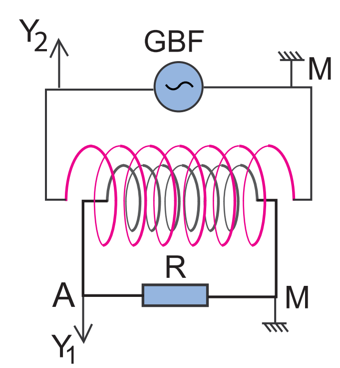


Fig.5 : Influence d'une bobine parcourue par un courant sinusoïdal

Remarque

Si l'on refait la même expérience tout en remplaçant le GBF par un générateur de tension continue, il ne se passe plus rien dans la bobine (B_1), une fois le courant y est établi.

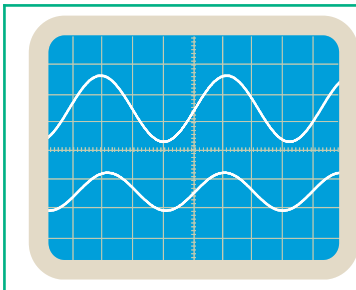


Fig.6 : Oscillogrammes aux bornes des bobines (B_1) et (B_2)

Question

Interpréter l'apparition du courant induit dans le circuit de la bobine (B_1).

Constatation

La variation de l'intensité du courant électrique i(t) dans une bobine produit un courant induit dans une autre bobine en circuit fermé à proximité de la première.

Le courant électrique variable, qui est à l'origine du courant induit, est appelé courant inducteur, tandis que le circuit dans lequel il circule est appelé circuit inducteur.

Interprétation

Lorsqu'une bobine est à proximité d'un aimant, elle est évidemment dans le champ magnétique de l'aimant. Par suite, tout déplacement relatif bobine-aimant fait varier les caractéristiques du champ où se trouve instantanément la bobine.

Lorsque la même bobine est placée dans une autre bobine parcourue par un courant électrique variable, elle se trouve aussi dans un champ magnétique variable. Il s'avère alors que, dans les deux cas étudiés expérimentalement, le courant induit produit dans le circuit fermé de la bobine est dû à une variation des caractéristiques du champ magnétique où baigne cette bobine, d'où la dénomination du champ magnétique variable comme étant le champ magnétique inducteur.

Conclusion

Toute variation de champ magnétique crée dans un circuit électrique fermé, situé à proximité du champ, un courant électrique appelé courant induit : c'est le phénomène d'induction électromagnétique.

Le courant induit est d'autant plus intense que la variation locale des caractéristiques du champ inducteur est plus rapide.

Le sens du vecteur champ magnétique inducteur est un facteur dont dépend le sens du courant induit.

2 LOI DE LENZ

Manipulation

On refait l'expérience 2 du paragraphe **1**-1, mais en orientant le pôle sud (au lieu du pôle nord) de l'aimant vers la même face de la bobine (Fig.7a et 7b).

On obtient alors les oscillogrammes des figures 7c et 7d.

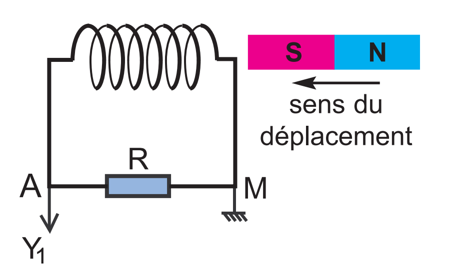


Fig.7a : Le pôle sud de l'aimant s'approche de la bobine

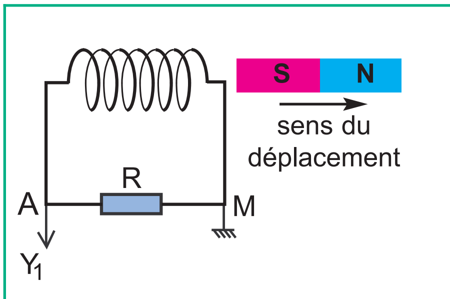


Fig.7b : Le pôle sud de l'aimant s'éloigne de la bobine

Questions

1°) A l'aide des oscillogrammes 7c et 7d de la figure 7, préciser le signe de u_R dans chacun des cas 7a et 7b ; en déduire dans chaque cas le sens du courant induit parcourant la bobine.

2°) Représenter dans chacun des cas 7a et 7b, le vecteur champ magnétique $\vec{b}$ créé par le courant induit à l'intérieur de la bobine et déduire le nom de la face que la bobine présente à l'aimant.

3°) Identifier, parmi les cas 4a et 4b de l'expérience 2 du paragraphe1, celui où le courant induit a le même sens que :
- le courant induit du cas présent 7c.
- le courant induit du cas présent 7d.

4°) Montrer que dans chaque cas, le courant induit s'oppose par son sens de circulation dans la bobine, au sens de déplacement de l'aimant, ainsi qu'au signe de variation de la valeur du vecteur champ magnétique inducteur à proximité de la bobine.

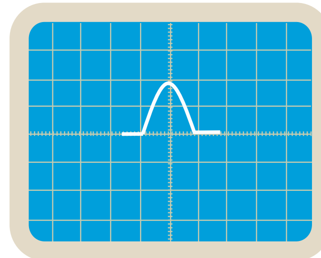


Fig.7c : Oscillogramme relatif à l'expérience 7a.

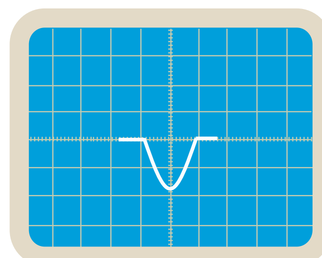
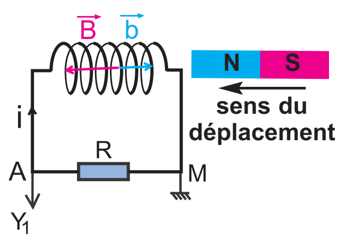
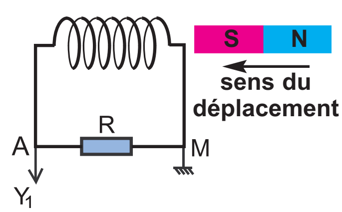


Fig.7d : Oscillogramme relatif à l'expérience 7b.

Interprétation

Lorsqu'on approche le barreau aimanté de la bobine, parallèlement à son grand axe tel que dans le cas 7a (par son pôle sud) ou dans le cas 2a de l'expérience 1 du paragraphe 1.1, le vecteur champ inducteur $\vec{b}$ à l'intérieur de la bobine augmente en valeur mais tout en étant orienté dans un sens ou bien dans l'autre.

Suivant ce sens, le courant induit circule dans la bobine dans un sens ou bien dans l'autre.

Expérience		
Sens de $\vec{B}$	de l'aimant vers la bobine	de la bobine vers l'aimant
Valeur de $\vec{B}$	$\|\vec{B}\|$ augmente	
Sens du courant induit	La bobine présente sa face nord au pôle nord de l'aimant	La bobine présente sa face sud au pôle sud de l'aimant
Effets du sens du courant induit	La bobine présente à l'aimant la face de même nom que le pôle de l'aimant qui est de son côté : répulsion bobine-aimant ⇕ Ayant le sens contraire de celui de $\vec{B}$, le vecteur champ $\vec{b}$ créé par le courant induit s'oppose à l'augmentation de $\|\vec{B}\|$.	

Question

Traiter de la même manière le cas 7b précédent et le cas 2b de l'expérience 1 du paragraphe **1**.1 où le courant induit est produit par un éloignement de l'aimant par rapport à la bobine et dégager les effets du sens du courant induit.

En effet, comme on vient de dégager que le fait d'approcher l'aimant de la bobine provoque une répulsion aimant-bobine, on montre que le fait d'éloigner l'aimant de la bobine entraîne par contre une attraction aimant-bobine. De même, le fait qu'en éloignant l'aimant de la bobine, la valeur du vecteur champ inducteur $\vec{B}$ à l'intérieur de la bobine diminue, le champ magnétique créé par le courant induit est tel que le vecteur champ $\vec{b}$ prend plutôt le même sens que $\vec{B}$ afin de compenser la diminution de la valeur de ce dernier.

Remarque

Le champ magnétique créé par le courant induit est appelé champ induit.

Conclusion : la loi de Lenz

Le courant induit a un sens tel qu'il s'oppose par ses effets à la cause qui lui donne naissance.

3 LA FORCE ÉLECTROMOTRICE D'INDUCTION

On sait que la circulation d'un courant électrique dans un circuit fermé demande la présence d'un générateur. Grâce à la f.e.m. (force électromotrice) qu'il possède, ce dernier fournit le courant au circuit extérieur. Cependant, on vient de découvrir que le courant induit est produit sans aucun générateur. Donc, il est dû à une f.e.m. délocalisée ; elle est là, partout dans le circuit induit. Elle prend naissance dans le circuit avec la cause et cesse avec la cause. Si le circuit induit est ouvert, la f.e.m. se manifeste par l'apparition d'une tension à ses bornes. Cette force électromotrice est appelée force électromotrice d'induction ou force électromotrice induite.

4 L'AUTO-INDUCTION

4.1- Mise en évidence du phénomène d'auto- induction

Manipulation

On réalise le montage de la figure 8, comportant deux dérivations ; la première est constituée d'un conducteur ohmique de résistance ajustable R et d'une lampe L_1 ; la seconde est constituée d'une bobine à noyau de fer doux et d'une lampe L_2. Les deux lampes sont identiques ; le conducteur ohmique et la bobine ont la même résistance R.

En fermant l'interrupteur K, on constate que :

- la lampe L_1 brille tout de suite,
- la lampe L_2 n'atteint son éclat maximal (identique à celui de L_1) qu'avec un retard de quelques millièmes de secondes.

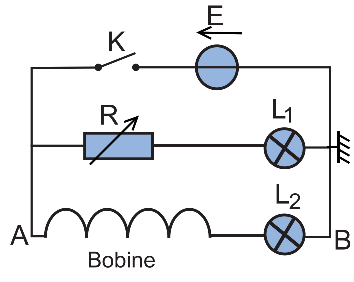


Fig.8 : Schéma du montage

Questions

1°) A la fermeture de l'interrupteur K, les deux lampes sont-elles parcourues par des courants électriques de même intensité ?

2°) Préciser l'influence de la bobine sur l'intensité du courant dans la lampe L_2 , lors de la fermeture du circuit ?

Interprétation

Lors de la fermeture de l'interrupteur K, il y a variation de l'intensité du courant électrique dans la bobine de zéro à une valeur **I** non nulle , et par suite, variation du vecteur champ magnétique propre de la bobine, celle-ci produit un courant induit qui, conformément à la loi de Lenz, s'oppose à la variation de l'intensité du courant dans la branche AB.

Une telle induction électromagnétique due à une variation du vecteur champ magnétique propre de la bobine (le circuit induit est lui même le circuit inducteur) est appelée auto-induction. Dans ce cas particulier, la f.e.m. qui est à l'origine du courant induit est appelée f.e.m. d'auto-induction (ou f.e.m. auto-induite).

Conclusion

Une bobine ne se comporte pas comme un conducteur ohmique. Placée dans un circuit fermé, elle s'oppose aux variations de l'intensité du courant électrique qui y circule.

4.2- La force électromotrice d'auto- induction

Manipulation

On réalise le montage de la figure 9, comportant en série, un résistor de résistance R_o, une bobine longue (B_1) de résistance r négligeable devant R_o et un générateur de tension variable (GBF) dont la masse est isolée de la terre (masse flottante).

On relie les points A et C respectivement aux voies Y_1 et Y_2 d'un oscilloscope bicourbe (Fig 10).

On visualise simultanément la tension u_{AB} aux bornes du résistor sur la voie Y_1 et la tension u_{BC} aux bornes de la bobine (B_1) sur la voie Y_2 de l'oscilloscope au lieu de u_{CB} (Fig.11), et ce en appuyant sur le bouton $\boxed{\text{INV}}$ de Y_2.

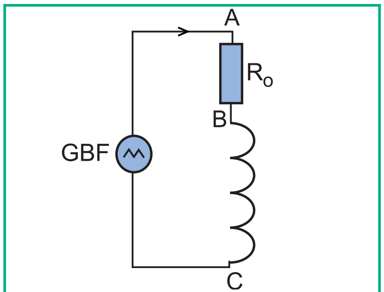


Fig.9 : Schéma du montage

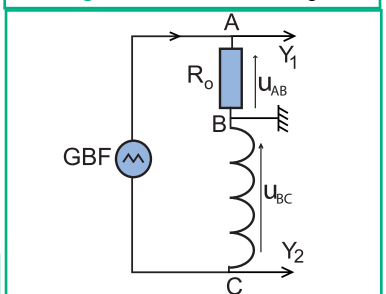


Fig.10 : Schéma du branchement de l'oscilloscope

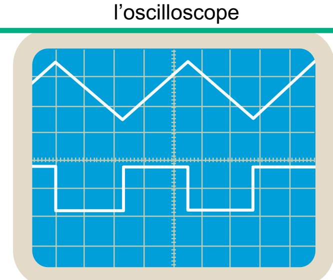


Fig.11 : Oscillogrammes des tesions u_{AB} et u_{BC}

Questions

1°) Donner les expressions des tensions u_{AB} et u_{BC} .

2°) Par exploitation des oscillogrammes de la figure 11 :

a- exprimer les tensions u_{AB} et u_{BC} , entre les instants $t_1 = 0$ et $t_2 = \frac{T}{2}$, en fonction du temps.

b- En déduire l'expression de la f.e.m. d'auto-induction en fonction de l'intensité i du courant parcourant la bobine.

Interprétation

Comme celle délivrée aux bornes du générateur BF, la tension u_{AB} aux bornes du résistor est une tension triangulaire (Fig.11). D'après la loi d'Ohm, $u_{AB} = R_o\, i$, d'où $i = \frac{u_{AB}}{R_o}$. Donc, le courant débité par le générateur BF dans le circuit extérieur constitué par le résistor de résistance R_o et la bobine est un courant variable d'intensité i(t) et de forme triangulaire. Étant parcourue par un courant d'intensité variable **i**, la bobine est le siège d'une f.e.m. d'auto-induction **e**. Par conséquent, u_{BC} aux bornes de la bobine s'écrit : $u_{BC} = -\mathbf{e} + r\,i$.
En négligeant r devant **e** on aura : $u_{BC} \simeq -\mathbf{e}$.
La forme de l'oscillogramme de la figure 11 montre que u_{BC} est une tension carrée :

- Pour $t \in [nT, nT+\frac{T}{2}]$ avec n entier, $u_{BC} = +U_o$; Donc $\mathbf{e} = -U_o$
- Pour $t \in [nT+\frac{T}{2}, (n+1)T]$, $u_{BC} = -U_o$; Donc $\mathbf{e} = +U_o$

On peut écrire alors : $\mathbf{e = \pm U_o}$ **(1)**
La f.e.m. d'auto-induction **e** est due aux variations de **i**.
Quelle relation y a-t-il alors entre **e** et **i** ?
Pour établir l'expression de i(t), il suffit d'établir celle de u_{AB}(t):

- Pour $t \in [nT, nT+\frac{T}{2}]$, $u_{AB} = a_1.t + b_1$. Donc : $i = \frac{u_{AB}}{R_o} = \frac{a_1}{R_o}t + \frac{b_1}{R_o}$
- Pour $t \in [nT+\frac{T}{2}, (n+1)T]$, $u_{AB} = a_2.t + b_2$. Donc : $i = \frac{a_2}{R_o}t + \frac{b_2}{R_o}$.

Or $a_2 = -a_1$, il vient : $i = -\frac{a_1}{R_o}t + \frac{b_2}{R_o}$. Donc, $\mathbf{\frac{di}{dt} = \pm \frac{a_1}{R_o}}$. **(2)**

Les équations (1), (2) et la loi de Lenz donnent : $\frac{e}{(\frac{di}{dt})} = -U_o\frac{R_o}{a_1}$.

Ce qui signifie : $\mathbf{e = -L\frac{di}{dt}}$, où $L = U_o\frac{R_o}{a_1}$ est une constante positive appelée inductance.

Définition
L'inductance est une grandeur caratérisant l'aptitude d'une bobine à modérer les variations de tout courant électrique qui y circule.
Dans le système international d'unités, l'inductance s'exprime en henry⊙ (H).

⊙ Nom dédié au physicien américain Joseph Henry (1797-1878)

Dans l'expression ($-L\frac{di}{dt}$), le signe (-) traduit la loi de Lenz :

- Quand **i** croît, $L.\frac{di}{dt} > 0$. Donc, $\mathbf{e} < 0$: la f.e.m. d'auto-induction s'oppose à l'augmentation de l'intensité du courant.
- Quand **i** décroît, $L.\frac{di}{dt} < 0$. Donc, $\mathbf{e} > 0$: la f.e.m. d'auto-induction s'oppose à la diminution de l'intensité du courant.

Conclusion : Expression de la f.e.m. d'auto-induction

Toute bobine d'inductance L parcourue par un courant électrique d'intensité **i** variable est le siège d'une force électromotrice **e** appelée force électromotrice auto-induite (ou d'auto-induction) $\mathbf{e = -L\frac{di}{dt}}$.

4.3- Facteurs dont dépend l'inductance d'une bobine

Manipulation

On refait l'expérience du paragraphe 4.2, mais en fixant la fréquence de la tension d'alimentation à une autre valeur et en utilisant respectivement les bobines (B_1), (B_2), (B_3) et (B_4):

Bobine	(B_1)	(B_2)	(B_3)	(B_4)
N	500	500	500	250
ℓ (cm)	20	30	20	20
D (cm)	10	10	15	10

N : nombre total de spires,
ℓ : longueur de la bobine,
D : diamètre moyen de la bobine.

En gardant les mêmes sensibilités de l'oscilloscope, on obtient les oscillogrammes des figures 12.a, 12.b, 12.c et 12.d correspondant respectivement aux bobines (B_1), (B_2), (B_3) et (B_4).

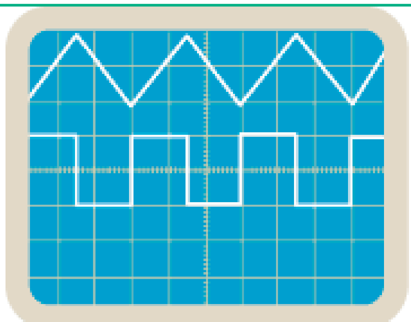


Fig.12a : Oscillogrammes obtenus avec (B_1).

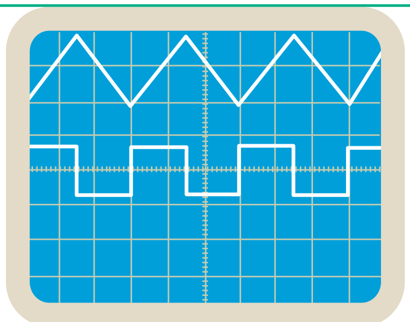


Fig.12b : Oscillogrammes obtenus avec (B_2).

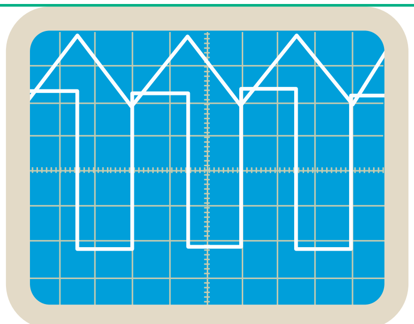


Fig.12c : Oscillogrammes obtenus avec (B_3).

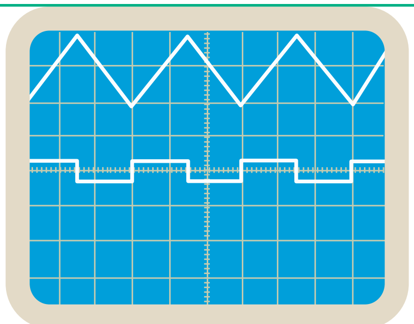


Fig.12d : Oscillogrammes obtenus avec (B_4).

Questions

1°) A l'aide des oscillogrammes de la figure 12 :

a- montrer que l'inductance **L** de la bobine augmente avec N tandis qu'elle diminue lorque ℓ augmente.

b- déterminer l'influence de la section de la bobine sur son inductance.

2°) Préciser parmi les oscillogrammes de la figure 12 ceux qu'il faut comparer avec les oscillogrammes de la figure 11 pour montrer si l'inductance de la bobine dépend de la fréquence du GBF.

Conclusion

L'inductance L d'une bobine ne dépend que de ses caractéristiques géométriques, à savoir le nombre total de spires, la longueur et la section moyenne, d'où sa qualification d'inductance propre.

Remarques

- Les bobines usuelles ont une inductance nettement inférieure à 1 H.
  Exemple : un solénoïde de 150 spires, de 15 cm de longueur et de 3 cm de diamètre a une inductance **L** = 140 μH,
- L'introduction d'un barreau de fer doux dans un solénoïde fait augmenter la valeur de son inductance **L**. Mais, dans ces conditions, l'expression $\mathbf{e = -L\frac{di}{dt}}$ n'est plus valable.
- Du fait que la f.e.m. auto-induite est due à l'inductance **L** de la bobine, toute bobine d'inductance **L** non nulle est qualifiée de bobine inductive. Si en plus, sa résistance est nulle, elle est dite purement inductive.

4.4- Relation entre la tension aux bornes d'une bobine et l'intensité du courant qui y cirule

Symbole d'une bobine

La bobine, étant caractérisée par une inductance **L** et une résistance interne r (Fig.13a), on lui attribue comme symbole celui de la figure 13.a. Ce symbole peut être normalisé comme dans la figure13.b.

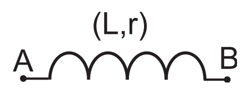


Fig.13a : Symbole d'une bobine

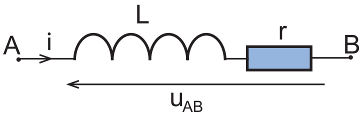


Fig.13b : Modèle équivalent

Modèle équivalent

Le dipôle bobine AB, d'inductance **L** et de résistance **r** (Fig.14a), siège d'une f.e.m. d'auto-induction **e**, est équivalent à l'association en série d'un générateur, de f.e.m. **e** et d'un résistor de résistance **r**. (Fig.14b)

Tension aux bornes de la bobine

En choisissant comme sens positif du courant parcourant la bobine le sens orienté de A vers B, la tension u_{AB} s'écrit :

$u_{AB} = u_{AC} + u_{CB}$.

Par application de la loi d'Ohm :

$u_{AB} = -e + r\,i$. Or, $e = -L\frac{di}{dt}$. Ainsi : $\boxed{u_{AB} = L\frac{di}{dt} + r\,i}$

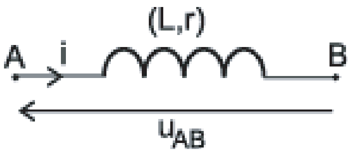


Fig.14a : Tension aux bornes d'une bobine.

Remarque

Pour une variation très brusque de l'intensité **i** du courant électrique (coupure de courant par exemple), le terme $\mathbf{L\frac{di}{dt}}$ l'emporte sur le terme **ri**. Par conséquent, la tension aux bornes de la bobine devient pratiquement égale à $\mathbf{L\frac{di}{dt}}$.

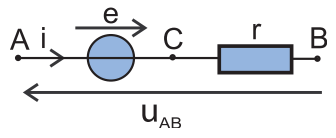


Fig.14b : Modèle équivalent

5 ÉNERGIE MAGNÉTIQUE EMMAGASINÉE DANS UNE BOBINE

Manipulation

On réalise le montage de la figure 15 qui comporte une bobine (B) d'inductance **L** = 10 mH (bobine de 500 spires par exemple) et de résistance interne **r**, un générateur de tension de f.e.m. **E** = 6 V, une diode D, un condensateur de capacité **C** = 5 μF, un voltmètre numérique et un milliampèremère.

Initialement, le voltmètre et le milliampèremètre n'indiquent rien. Quand on ferme l'interrupteur K, le milliampèremètre indique la circulation d'un courant continu d'intensité I = 240mA tandis que le voltmètre indique toujours une tension nulle aux bornes du condensateur. Après l'ouverture de l'interrupteur K, on constate que le voltmètre indique une tension u_{AB} négative.

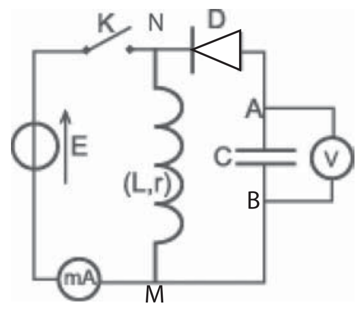


Fig.15 : Schéma du montage

Questions

1°) Lorsque le circuit est fermé, la diode est-elle passante? justifier la réponse.
2°) Déterminer la résistance interne r de la bobine.
3°) Interpréter l'apparition de la tension négative u_{AB} aux bornes du condensateur après l'ouverture de l'interrupteur K et justifier l'utilisation du voltmètre numérique.
4°) Montrer que la bobine emmagasine de l'énergie quand on ferme K.
5°) Préciser l'importance de la diode dans un circuit renfermant une bobine.

Interprétation

Initialement, les appareils de mesure utilisés dans le montage réalisé (Fig.15) n'indiquent rien parce que le condensateur ne porte aucune charge et le générateur d'alimentation est en circuit ouvert.

En fermant l'interrupteur K, la diode montée en inverse va empêcher tout courant de circuler dans la maille renfermant le condensateur; celui-ci reste déchargé.

En choisissant le sens allant de N vers M à travers la bobine comme sens positif du courant, la tension entre ses bornes s'écrit : $\boxed{u_{NM} = L\frac{di}{dt} + ri}$

Or, le courant débité par le générateur de tension dans la bobine est continu (d'intensité I= 240mA dans le cas particulier étudié).Donc, $\frac{di}{dt} = 0$, d'où u_{NM} = ri, ce qui signifie qu'en régime permanent, l'énergie mise en jeu par la bobine est une énergie consommée par effet Joule.

L'apparition d'une tension négative u_{AB} aux bornes du condensateur après ouverture de K ne peut s'expliquer que par une opération de charge due à la circulation d'un courant induit bref dans le même sens que le courant permanent qui circulait dans la bobine avant l'ouverture de K, ce qui est bien en accord avec la loi de Lenz. En d'autres termes, l'énergie électrique stockée par le condensateur est de l'énergie restituée par la bobine.
Mais, d'où provient celle-ci si la bobine ne fait que consommer de l'énergie par effet Joule, en régime permanent ?
En fait, à la fermeture de l'interrupteur K, l'intensité du courant passe rapidement de la valeur zéro à la valeur constante **I**, ce qui produit un phénomène d'auto-induction au niveau de la bobine : La puissance instantanée reçue par la bobine s'écrit : $p = + u_{NM}.i$, ce qui donne :

$$p = r.i^2 + Li\frac{di}{dt}.$$

La puissance $r.i^2$, toujours positive, est la puissance consommée par effet Joule. La puissance $L.i.\frac{di}{dt}$ est algébrique.
Toutefois, au cours de la fermeture du circuit, elle ne peut être que positive car i et $\frac{di}{dt}$ sont de même signe. Donc, la bobine ne dissipe pas toute l'énergie qu'elle reçoit du générateur par effet Joule, elle en emmagasine une partie sous une forme qualifiée comme étant magnétique.

On montre⊙ que l'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine d'inductance L s'écrit : $\boxed{E_L = \frac{1}{2} L.i^2}$

⊙ $p = ri^2 + Li\frac{di}{dt} = ri^2 + \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}Li^2)$
- ri^2 : puissance dissipée par effet Joule
- $\frac{d}{dt}(\frac{1}{2}Li^2)$: puissance magnétique p_L

Or $p_L = \frac{dE_L}{dt}$. Donc, $E_L = \frac{1}{2}L.i^2$.

Si | i | diminue, $p_L = L.\frac{di}{dt}$ diminue, ce qui signifie que l'énergie magnétique diminue : la bobine restitue à l'extérieur un peu de l'énergie qu'elle a emmagasinée avec l'augmentation de | i |, elle joue ainsi le rôle de générateur.
C'est exactement ce qui se passe lors de l'ouverture du circuit ou **i** passe de la valeur **I** à zéro: la bobine restitue toute son énergie magnétique au condensateur qui la stocke à son tour sous forme dénergie potentielle électrique, car telle qu'elle est branchée, la diode l'empêche de se décharger dans la bobine.

Conclusion
Tant qu'elle est parcourue par un courant électrique, la bobine inductive est un réservoir d'énergie dite magnétique.

Remarque
L'énergie magnétique ne peut rester stockée dans une bobine en l'absence de courant. Par contre, l'énergie potentielle électrique reste stockée dans le condensateur même hors circuit. Donc, le condensateur est un réservoir permanent d'énergie, tandis que la bobine en est un réservoir temporaire.

Exemple de manifestation de l'énergie magnétique

L'étincelle de rupture

Etant liée à l'intensité du courant circulant dans la bobine, l'énergie magnétique qui y est emmagasinée se trouve cédée brusquement à l'extérieur lors de l'ouverture du circuit de la

bobine : du fait que la durée de transfert est très courte (de l'ordre de 1ms), dans ce cas où le courant est continu, la f.e.m. d'auto-induction peut faire apparaître une tension trés élevée aux bornes de la bobine, suffisante pour créer un champ électrique important entre les contacts de l'interrupteur. Ce champ électrique ionise des molécules de l'air et provoque des étincelles appelées étincelles de rupture.
Ces étincelles de rupture peuvent être dangereuses. Par conséquent, il faut prendre les précautions nécessaires dans tout montage comportant une ou plusieurs bobines, surtout en courant continu. Pour les éviter, on peut insérer dans le montage, des condensateurs par exemple afin d'y récupérer l'énergie magnétique transférée lors de toute rupture de courant (accidentelle ou non). Par contre, l'énergie magnétique transférée par une bobine à l'environnement lors d'une variation brusque de l'intensité du courant est exploitée dans le fonctionnement de plusieurs appareils.
Exemples : Allumeur électrique de cuisinières à gaz, dispositif de soudage par arc électrique, dispositif d'amorçage de tube néon...

6 APPLICATIONS DE L'INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Les applications de l'induction électromagnétique sont très nombreuses. Ici, on cite essentiellement les alternateurs qui sont utilisés pour la production du courant électrique alternatif et les transformateurs pour élever ou abaisser une tension alternative.

6.1- Les alternateurs

Un alternateur est un appareil qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique. La production d'électricité par l'alternateur est liée à la variation du champ magnétique dans lequel baigne le circuit induit. Il existe deux types d'alternateurs: l'alternateur à induit mobile et l'alternateur à induit fixe. Comme celui d'une centrale thermique ou nucléaire, l'alternateur d'une voiture par exemple (Fig.16) est à induit fixe (le stator). L'inducteur est un aimant cylindrique multipolaire (le rotor). La rotation de l'aimant fait apparaître au niveau du circuit induit (bobinage sur la partie fixe) une f.e.m. induite. La fréquence de la tension alternative produite par l'alternateur est liée à la fréquence de rotation de l'inducteur.

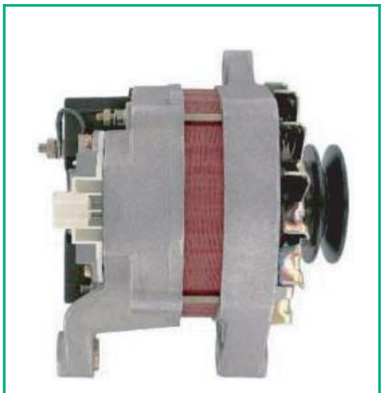


Fig.16 : Alternateur d'une voiture

6.2- Les transformateurs

Comme on a vu en deuxième année secondaire, le transformateur (Fig.17) est un quadripôle qui permet d'abaisser ou d'augmenter une tension alternative. Son principe de fonctionnement est basé sur le phénomène d'induction électromagnétique. En effet, les variations de l'intensité du courant dans le circuit primaire font apparaître au niveau du circuit secondaire une f.e.m. induite. Ainsi, on comprend pourquoi, les transformateurs ne peuvent fonctionner qu'en courant alternatif ; en courant continu, le primaire créerait un champ magnétique constant au cours du temps. Par conséquent, il ne pourrait rien induire dans le secondaire.

Fig.17 : Transformateur

LE DIPÔLE RL

On appelle dipôle RL l'association en série d'une bobine d'inductance L, de résistance r et d'un résistor de résistance R_o, R étant la résistance totale R_o + r du dipôle.

1 RÉPONSE D'UN DIPÔLE RL À UN ÉCHELON DE TENSION

1.1- ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Manipulation

Avec un générateur de tension idéal de f.e.m. E = 6 V, une bobine d'inductance L = 0,1 H et de résistance r = 10 Ω, un résistor de résistance R_o = 40 Ω, une diode D et un interrupteur K, on réalise le montage schématisé sur la figure 18. Puis, on relie les points A et B du circuit respectivement aux entrées Y_1 et Y_2 d'un oscilloscope à mémoire, (ou à une interface d'acquisition informatique de données).

En fermant l'interrupteur K, on obtient sur l'écran de l'oscilloscope les chronogrammes (1) et (2) de la figure 19.

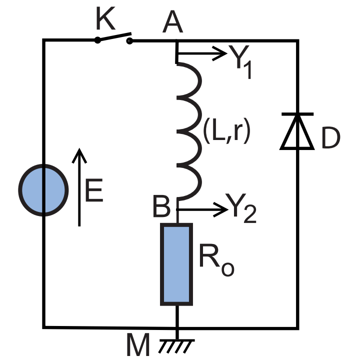


Fig.18 : Schéma du montage

Questions

1°) La réponse visualisée du dipôle RL à un échelon de tension représente une intensité d'un courant qu'on demande d'identifier.

2°) Identifier parmi les chronogrammes (1) et (2) celui qui représente l'intensité i(t) du courant électrique circulant dans la bobine.

3°) Déterminer graphiquement la valeur maximale I_0 de l'intensité du courant qui s'établit dans le dipôle RL et la comparer à la valeur $\frac{E}{R}$.

4°) Quelle est la raison pour laquelle le courant continu s'établit dans la bobine avec un certain retard par rapport à l'instant de fermeture du circuit ?

5°) Quelle serait l'allure de u_{BM} (t) ainsi que sa valeur maximale si la résistance interne de la bobine était nulle ?

6°) Quel est le rôle de la diode D insérée dans le montage de la figure 18 ?

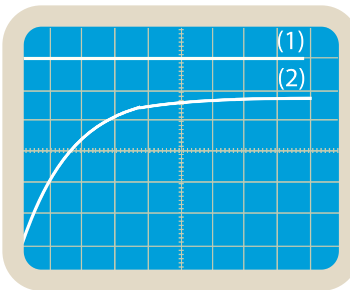


Fig.19 : Oscillogrammes des tensions u_{AM} et u_{BM}

Interprétation

Dès que l'on ferme l'interrupteur K, il s'établit instantanément aux bornes A et M du dipôle RL une tension U_{AM} = E, tandis que la tension u_{Ro} (chronogramme 2) augmente progressivement à partir de zéro jusqu'à atteindre, au bout d'une fraction de seconde, une valeur U_o inférieure à E: c'est le régime transitoire. Une fois, u_{Ro} devient égale à U_o, elle reste constante : c'est le régime permanent (Fig.20).

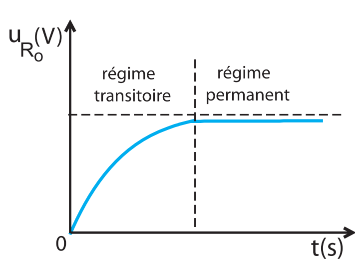


Fig.20 : Evolution de u_{Ro} au cours du temps

En prenant comme sens positif du courant le sens orienté de B vers M (Fig.18), on a $u_{BM} = u_{Ro} = R_o.i$, ce qui signifie $i = \frac{u_{R_o}}{R_o}$.

Donc, la courbe représentant $u_{BM}(t)$ traduit bien l'évolution de l'intensité i du courant parcourant la bobine. On déduit alors de $I_o = \frac{U_o}{R_o}$ son allure que le courant continu d'intensité ne s'établit pas instantanément dans la bobine.

Le retard (ou le régime transitoire) est dû à la bobine qui s'oppose à la variation de i de zéro à la valeur I_o, grâce à la f.e.m. auto-induite qui y naît avec la fermeture du circuit.

Ayant les valeurs de E, r et R_o, on peut constater que $I_o = \frac{E}{R}$, ce qui signifie qu'en régime permanent, on a aux bornes du dipôle RL : $u_{AM} = E = rI + R_oI$. Or $R_o I = u_{Ro}$, ce qui donne $u_{AB} = r I$. Alors, en régime permanent, la bobine n'est plus le siège d'une f.e.m. d'auto-induction ; elle se comporte alors comme un résistor de résistance égale à sa résistance interne r.

Si r = 0, $u_{AB} = 0$. Or $u_{AB} + u_{BM} = E$, d'où $u_{Ro} = u_{BM} = E$.

Conclusion

La réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension E est un courant continu d'intensité $I_o = \frac{E}{R}$. Celui-ci ne s'établit pas instantanément à cause de l'inductance L de la bobine. Autrement dit, la bobine s'oppose à l'établissement du courant électrique dans la portion de circuit où elle se trouve insérée.

1.2- ÉTUDE THÉORIQUE

Mise en équation

En régime transitoire et durant l'établissement du courant, en réponse à l'échelon de tension, le circuit de la figure 18 est équivalent à celui de la figure 21.

La loi des mailles s'écrit : $u_{AB} + u_{BM} - E = 0$

On obtient ainsi : $u_{AB} + u_{BM} = E$ (1)

Avec le sens positif choisi pour le courant électrique, la tension aux bornes de la bobine d'inductance L et de résistance interne r s'écrit : $u_{AB} = L\frac{di}{dt} + ri$.

La tension aux bornes du résistor s'écrit : $u_{BM} = R_o.i$

L'équation (1) devient : $L\frac{di}{dt} + Ri = E$ (2), avec $R = R_o + r$

En divisant par L, on obtient : $\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{E}{L}$.

La même équation peut s'écrire : $\mathbf{\frac{di}{dt} + \frac{1}{\tau}i = \frac{E}{L}}$ (3), avec $\tau = \frac{L}{R}$

Cette équation différentielle régit l'évolution dans le temps de l'intensité i du courant circulant dans le dipôle RL soumis à un échelon de tension E.

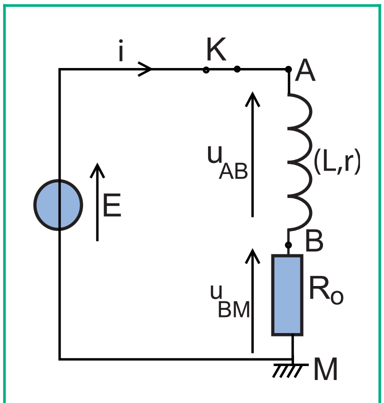


Fig.21 : Dipôle RL soumis à un échelon de tension

Expression de l'intensité du courant

La forme de l'équation différentielle (3) à coefficients constants et à second membre non nul est semblable à celle de l'équation différentielle $\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{\tau}u_C = \frac{E}{\tau}$ (équation (1) de la page 22) régissant l'évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur d'un dipôle **RC** soumis à un échelon de tension **E**.

La solution de l'équation différentielle (3) en i(t) peut être proposée sous la forme : $i(t) = Ae^{-\alpha t} + B$ où A, B et α sont des constantes à déterminer.

A t = 0, aucun courant ne circule dans le circuit, donc i(t = 0) = A + B = 0 d'où A = - B. Il vient : $i(t) = A(e^{-\alpha t} - 1)$.

Par suite, la dérivée, par rapport au temps de i(t) s'écrit :

$\frac{di}{dt} = -\alpha A.e^{-\alpha t}$.

En remplaçant i(t) et $\frac{di}{dt}$ par leur expression dans l'équation différentielle (3), on obtient : $-\frac{A}{\tau} = \frac{E}{L}$, d'où $A = -\frac{E}{R}$

Lorsque **t** tend vers l'infini, $e^{-\alpha t}$ tend vers zéro et l'équation (4)

donne: $Ae^{-\alpha t}\left(\frac{1}{\tau} - \alpha\right) - \frac{A}{\tau} = \frac{E}{L}$. (4)

D'autre part, on a : $Ae^{-\alpha t}(\frac{1}{\tau} - \alpha) = 0$ quel que soit t.

Donc, $\frac{1}{\tau} - \alpha = 0$, ce qui signifie $\alpha = \frac{1}{\tau}$.

D'où, $\mathbf{i(t) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$, avec $\tau = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{R}}$

La courbe représentant i(t) est celle de la figure 22 (courbe pouvant être tracée à l'ordinateur avec un logiciel approprié).

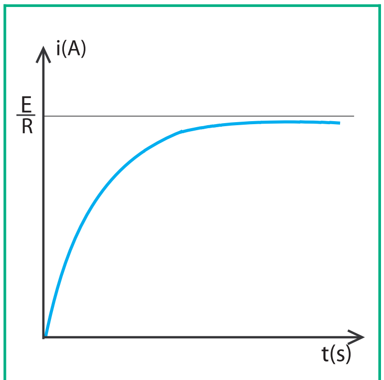


Fig.22 : Evolution de l'intensité du courant au cours du temps.

Conclusion

La réponse d'un dipôle RL en courant est constituée de deux régimes : un régime transitoire au cours duquel l'intensité augmente en exponentielle à partir de la valeur zéro en tendant vers la valeur $I_o = \frac{E}{R}$ et un régime permanent caractérisé par un courant continu d'intensité I_o.

Éxpression de la tension aux bornes de la bobine

La tension aux bornes de la bobine s'écrit :

$u_{AB} = L\frac{di}{dt} + ri$. Or $i(t) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$, on a donc :

$$u_{AB} = L\frac{E}{R\tau}.e^{-\frac{t}{\tau}} + r\frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = E.e^{-\frac{t}{\tau}} + r\frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}).$$

L'évolution de la tension u_{AB}, aux bornes de la bobine, au cours du temps est donnée par la figure 23.

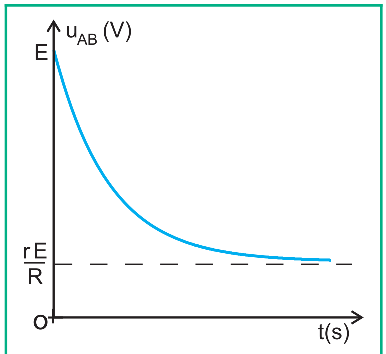


Fig.23 : Evolution de u_{AB} au cours du temps.

$\infty u_{AB}(0) = E$

$\infty \lim\limits_{t \to \infty} u_{AB} = \frac{r}{R}E$

Remarque

Si r = 0, on aura : $u_{AB} = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$. Dans ces conditions $\lim\limits_{t \to \infty} u_{AB} = 0$.

Questions

1°) Reprendre le schéma du montage de la figure 18 et y introduire les modifications de branchement indispensables à la visualisation de la tension u_{AB} aux bornes de la bobine au lieu de celle aux bornes du résistor.

2°) Refaire l'expérience et vérifier que la courbe $u_{AB}(t)$ enregistrée à l'écran de l'oscilloscope est la même que la courbe théorique de la figure 23.

Conclusion

Quand on soumet un dipôle RL à un échelon de tension E, il apparaît instantanément aux bornes de la bobine une tension égale à E mais qui décroît selon un régime transitoire pour s'annuler si la résistance de la bobine est nulle.

2 LA RUPTURE DU COURANT DANS UN DIPÔLE RL

2.1- ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Manipulation

On reprend le montage de la figure 18 tel quel. Le régime permanent y étant établi, on ouvre l'interrupteur K. L'oscilloscope enregistre alors le seul chronogramme de la figure 24.

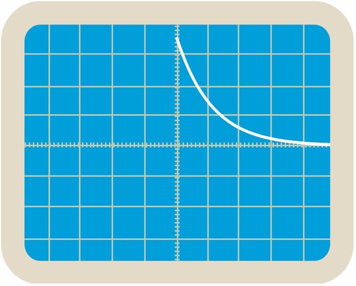


Fig.24 : Oscillogramme de u_{Ro}

Questions

1°) Expliquer l'allure de la courbe de la tension u_{Ro}.

2°) La rupture du courant dans le circuit est-elle instantanée ? Pourquoi ?

3°) Que se passerait-il au niveau de l'interrupteur K s'il n'y avait pas de diode ?

Interprétation

Lorsque le circuit est fermé, en régime permanent, la tension aux bornes du dipôle RL est $u_{AM} = E = R\,I$, $u_{BM} = R_oI$ et la diode n'est pas passante. Lorsqu'on ouvre K, le courant ne s'annule pas instantanément à cause de la bobine qui s'oppose à toute variation de l'intensité du courant avec la f.e.m. auto-induite dont elle est le siège. Celle-ci produit dans le circuit formé par la bobine, le résistor et la diode, un courant transitoire qui, d'après la loi de Lenz, va circuler dans le même sens que celui établi avant la rupture.

En l'absence de la diode, il apparaîtra aux bornes du dipôle RL une tension élevée qui provoquera au niveau de l'interrupteur K une étincelle de rupture. Par conséquent, comme il a été signalé précédemment, il faut absolument éviter de réaliser de telles expériences sans la diode (surtout avec une bobine de grande inductance).

Exemple : Avec L = 1 H, I = 500 mA,

$$e = -L\frac{di}{dt} \simeq -L\frac{\Delta i}{\Delta t}. \quad \Delta t \simeq 1 \text{ ms, ce qui donne } e \simeq 500 \text{ V !}$$

Conclusion

Lors de la rupture du courant dans un circuit comportant une bobine, celle-ci a pour effet d'assurer la continuité du courant électrique par une annulation progressive de son intensité.

2.2- ÉTUDE THÉORIQUE

En ouvrant l'interrupteur K, le circuit de la figure 18 devient équivalent à celui de la figure 25 où le résistor, la bobine et la diode forment ensemble un circuit série.

La loi des mailles s'écrit : $u_{AB} + u_{BM} = 0$ (1)

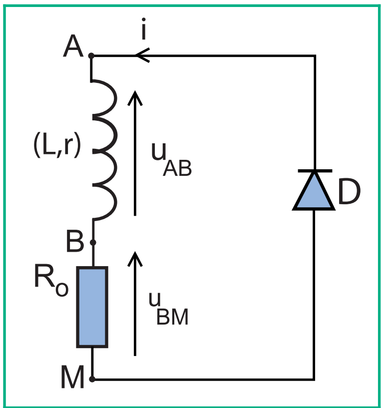


Fig.25 : Schéma du montage

avec le sens positif choisi pour le courant (Fig.25), on a :

$u_{AB} = L\frac{di}{dt} + r.i$ et $u_{BM} = R_o.i$

La relation (1) devient : $L\frac{di}{dt} + R.i = 0$ avec $R = R_o + r$.

D'où : $\mathbf{\frac{di}{dt} + \frac{1}{\tau}.i = 0}$ **(2)**, avec $\tau = \frac{L}{R}$: équation différentielle en i à coefficient constant et à second membre nul. Elle admet une solution de la forme : $i(t) = A.e^{-\alpha t}$ où les valeurs des coefficients constants A et α sont déterminées par les conditions initiales.

A t = 0, i(0) = A. Or, juste à l'ouverture du circuit (t = 0), on a :

$$I_0 = \frac{E}{R}. \text{ Donc, } A = \frac{E}{R}$$

On remplace i(t) par son expression dans l'équation différentielle (2) et par identification, on écrit :

$$-\alpha A\, e^{-\alpha t} + \frac{1}{\tau}Ae^{-\alpha t} = 0, \quad \text{d'où} \quad Ae^{-\alpha t}(-\alpha + \frac{1}{\tau}) = 0 \ \forall t.$$

$$\text{Donc } \alpha = \frac{1}{\tau}. \text{ D'où } i(t) = \frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ avec } R = R_o + r \text{ et } \tau = \frac{L}{R}$$

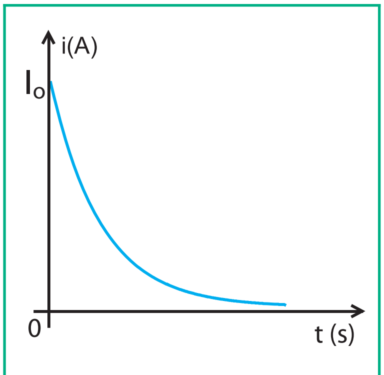


Fig.26 : Evolution de l'intensité du courant au cours du temps

Le tracé de la courbe avec un logiciel approprié donne le graphique de la figure 26.

Questions

1°) Montrer par deux méthodes différentes que, lors de la rupture du courant dans le dipôle RL du circuit schématisé dans la figure 25, la tension aux bornes de la bobine évolue selon la loi : $u_{AB} = (\frac{r}{R} - 1) E.e^{-t/\tau}$.

2°) Vérifier que la courbe d'évolution de u_{AB} est celle de la figure 27.

3°) Comparer la valeur de u_{AB} à t = 0 avec la valeur qu'elle avait juste avant l'ouverture du circuit et en déduire que si r = 0, u_{AB} passe de zéro à la valeur (-E).

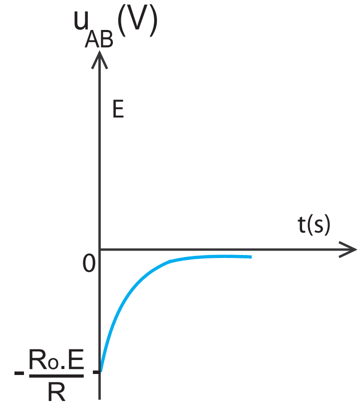


Fig.27 : Evolution de u_{AB} au cours du temps

3 INFLUENCE DES GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES D'UN DIPÔLE RL SUR LE RÉGIME TRANSITOIRE

3.1- Influence de la résistance totale R

Manipulation

On reprend le montage de la figure 18 afin de visualiser de nouveau la réponse du dipôle RL en courant avec différentes valeurs de R.

En établissant plusieurs fois le régime permanent du dipôle RL avec des valeurs différentes de R et ce en remplaçant à chaque fois le résistor par un autre de résistance R_o différente de celle du précédent, on obtient la série d'oscillogrammes de la figure 28, visualisés avec L = 0,2 H et respectivement pour R_1 = 210 Ω ; R_2 = 230 Ω , R_3 = 270 Ω et R_4 = 350 Ω, les sensibilités étant réglées comme suit : horizontalement : 1ms/div et verticalement : 1V/div.

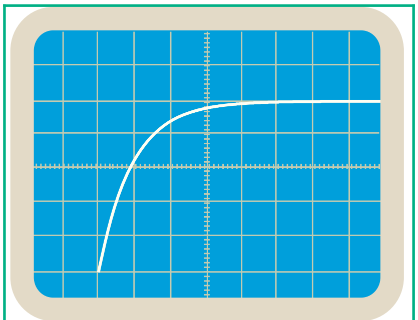


Fig.28a : R_1 = 210 Ω

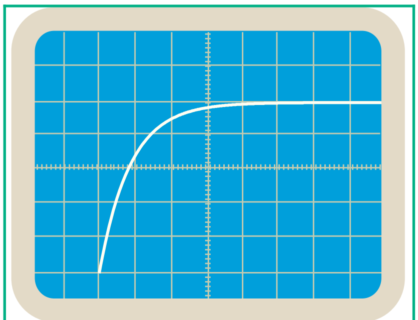


Fig.28b : R_2 = 230 Ω

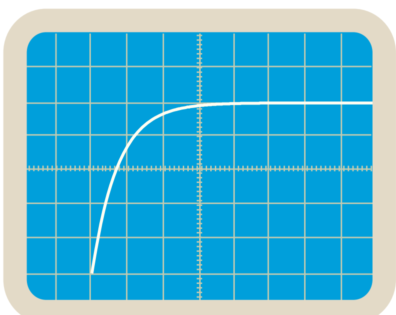


Fig.28c : R_3 = 270 Ω

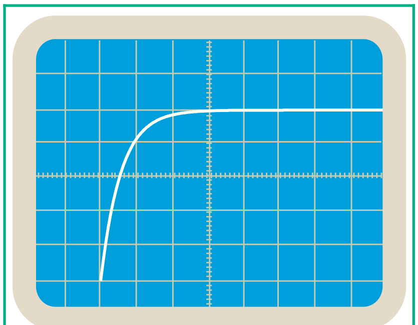


Fig.28d : R_4 = 350 Ω

Questions

1°) Dresser un tableau consignant les durées t au bout desquelles u_{R_0} atteint une valeur arbitraire 4V par exemple.

R (W)	210	230	270	350
t (ms)				

2°) À l'aide des résultats trouvés :

- préciser, qualitativement, l'influence de la valeur de la résistance totale R sur la durée t écoulée pour que u_{R_0} atteingne la valeur 4V.
- montrer que la durée t est inversement proportionnelle à R.

3.2- INFLUENCE DE L'INDUCTANCE L

Manipulation

On refait la même expérience, mais cette fois, avec une bobine d'inductance L réglable☉. En faisant varier L, on change éventuellement le résistor de résistance R_o dans le but de maintenir $R = R_o + r$ constante.

On obtient la série d'oscillogrammes de la figure 29, visualisés avec R = 210 Ω et respectivement pour : $L_1 = 0{,}10$ H ; $L_2 = 0{,}13$ H, $L_3 = 0{,}15$ H et $L_4 = 0{,}20$ H, les sensibilités étant réglées comme suit : horizontalement : 0.5 ms/div et verticalement: 1 V/div.

☉ Bobine dépourvue de tout noyau de fer doux.

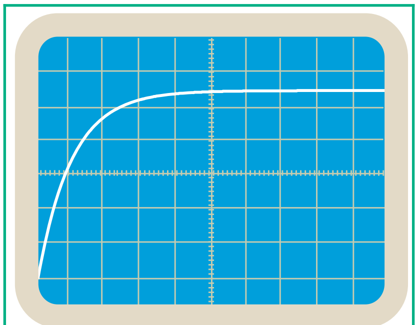


Fig.29a : L = 0,10 H

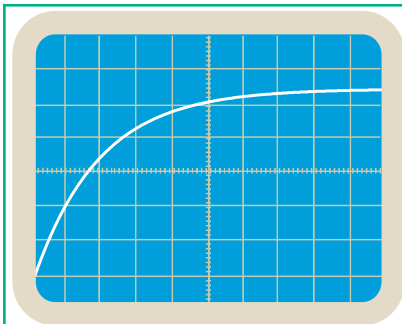


Fig.29b : L = 0,13 H

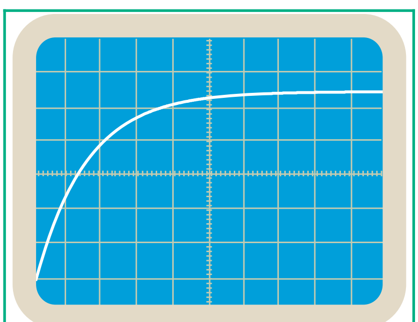


Fig.29c : L = 0,15 H

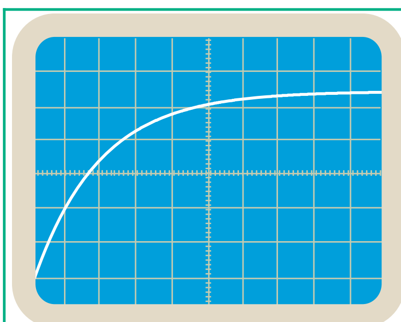


Fig.29d : L = 0,20 H

Questions

1°) a- Dresser un tableau consignant les durées t au bout desquelles u_{R_0} atteint la valeur 4 V par exemple.

L (H)	0,10	0,13	0,15	0,20
t (ms)				

b- À l'aide des résultats trouvés :

- préciser, qualitativement, l'influence de la valeur de l'inductance L de la bobine sur la durée t au bout de laquelle la tension u_{R_0} atteint la valeur 4 V.
- montrer que la durée t est proportionnelle à L.

3.3- CONSTANTE DE TEMPS D'UN DIPÔLE RL

Notion de constante de temps

On vient de montrer que toute valeur de l'intensité **i** du courant établi dans le circuit RL est atteinte au bout d'une durée t :

- proportionnelle à L , lorsque la résistance totale R n'est pas modifiée.
- inversement proportionnelle à R, lorsque l'inductance L n'est pas modifiée.

Donc, la durée d'établissement du courant dans le circuit est proportionnelle au quotient $\frac{L}{R}$.

De ce fait, le quotient $\frac{L}{R}$ est appelé constante de temps du dipôle RL ; on la note τ.

Remarque

On sait que la résistance R a la dimension du quotient d'une tension par une intensité de courant et que L a celle de $\frac{U.t}{I}$.

Donc le quotient $\frac{L}{R}$ a la dimension d'un temps, ce qui justifie encore son appéllation de constante de temps.

$$\boxed{\tau = \frac{L}{R} \quad \text{: constante de temps}}$$

Définition

La constante de temps τ est une grandeur caractéristique du dipôle RL, elle renseigne sur le retard avec lequel s'établit le régime permanent ou la rupture du courant dans le dipôle.
τ ayant la dimension d'un temps, elle s'exprime en seconde.

Détermination de la constante de temps

Les méthodes possibles pour déterminer la constante de temps sont les mêmes que celles utilisées dans le cas du dipôle RC.

▸ Par calcul direct

Connaissant les valeurs de L et de R, on peut calculer directement la valeur de la constante de temps $\tau = \dfrac{L}{R}$.

▸ Détermination graphique (1ère méthode)

Sur la courbe de i(t) représentant l'établissement du régime permanent, on trace la tangente au point d'abscisse t = 0s.
L'abscisse du point d'intersection de la tangente avec l'asymptote $I_o = \dfrac{E}{R}$ est τ . (Fig.30)

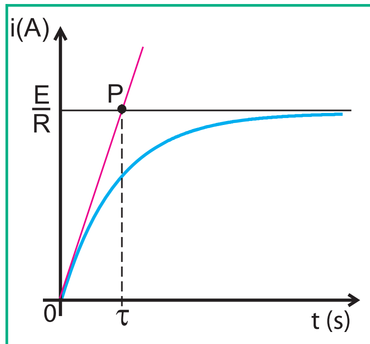


Fig.30 : Détermination de la constante de temps.

Justification :
L'équation de la tangente à la courbe i = f(t) à t = 0 est i = k t, k étant son coefficient directeur dont la valeur est donnée par

$$k = \frac{di}{dt}(t=0) = \frac{I_o}{\tau}$$

Ainsi, l'équation de la tangente à la courbe i = f(t) à t = 0 a pour équation : $i(t) = \dfrac{I_o}{\tau} t$
L'intersection de la tangente avec l'asymptote correspond donc

$$\text{à } i(t) = \frac{I_o}{\tau} t = I_o, \text{ d'où } t = \tau.$$

Remarque
La même méthode de détermination graphique de τ s'applique à la courbe i(t) relative à la rupture du courant. En effet, la tangente à l'origine des temps coupe l'axe des abscisses au point d'abscisse τ (Fig.31).

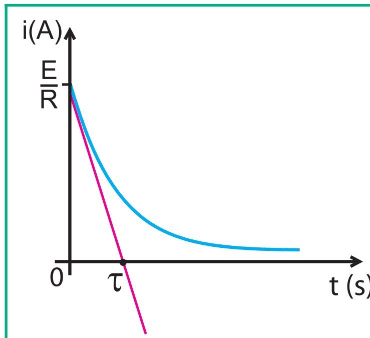


Fig.31 : Détermination de la constante de temps.

▸ Détermination graphique (2ème méthode)

En remplaçant t par τ dans l'expression de i(t) représentant l'établissement du régime permanent, on obtient :

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

Ainsi, par lecture graphique de l'abscisse du point de la courbe i(t) d'ordonnée $0{,}63\dfrac{E}{R}$, on obtient la valeur de τ (Fig.32).

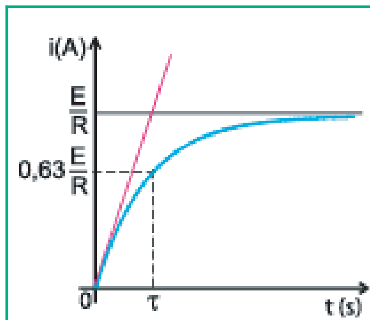


Fig.32 : Autre méthode de détermination graphique τ

Dans le cas de la rupture du courant dans le dipôle RL et en remplaçant t par τ dans l'expression de i(t), on obtient :

$$i(\tau) = \frac{E}{R}e^{-1} = 0{,}37\frac{E}{R}.$$

τ est alors l'abscisse du point de la courbe représentant i(t) d'ordonnée $0{,}37\dfrac{E}{R}$ (Fig.33).

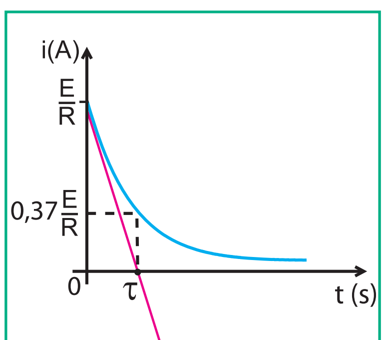


Fig.33 : Autre méthode de détermination graphique τ

L'essentiel

- Une bobine est un dipôle électrocinétique constitué généralement par un enroulement cylindrique dans le même sens, de fil conducteur recouvert d'une gaine isolante.
- Toute variation de champ magnétique à proximité d'une bobine en circuit fermé produit un courant électrique appelé courant induit.
- Loi de Lenz : Le courant induit a un sens tel qu'il s'oppose par ses effets à la cause qui lui donne naissance.
- Tout courant induit est dû à une f.e.m. délocalisée appelée f.e.m. d'induction.
- Toute bobine parcourue par un courant variable d'intensité i est le siège d'une f.e.m. d'auto-induction : $\boxed{e = -L\frac{di}{dt}}$, où L est l'inductance de la bobine.
- L'auto-induction traduit l'opposition d'une bobine à toute variation du courant électrique.
- Pour une bobine d'inductance L, de résistance interne r, parcourue de sa borne A à sa borne B par un courant variable d'intensité i, la tension à ses bornes s'écrit:

$$\boxed{u_{AB} = L\frac{di}{dt} + ri}$$

- L'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine parcourue par un courant d'intensité i est :

$$\boxed{E_L = \frac{1}{2}Li^2}$$

- L'inductance d'une bobine est une grandeur caractérisant sa faculté d'emmagasiner de l'énergie magnétique.
- Etant liée à l'intensité du courant, l'énergie magnétique stockée par une bobine est transférée à l'extérieur du circuit avec la rupture du courant.
- Un dipôle RL soumis à un échelon de tension de valeur E est parcouru par un courant continu qui ne s'établit pas brusquement, mais à la suite d'un régime transitoire, selon la loi : $\boxed{i(t) = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/\tau})}$ où $\tau = \frac{L}{R}$ est la constante de temps du dipôle RL.
- Lors de la rupture du courant dans un circuit comportant une bobine, l'intensité i du courant ne s'annule pas brusquement, mais ele diminue de manière continue selon la loi :

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

Exercices

Exercice résolu

ÉNONCÉ

Un circuit série comporte un générateur maintenant entre ses bornes une tension constante E de 6 V, un interrupteur K, une bobine d'inductance L et de résistance interne r et un résistor de résistance R_o=140 Ω.

Afin d'étudier l'évolution de l'intensité du courant susceptible de circuler dans le circuit, on utilise un oscilloscope à mémoire.

En fermant l'interrupteur K, on obtient l'oscillogramme de la figure 1, les sensibilités horizontale et verticale étant réglées respectivement à 2 ms/div et 1 V/div.

1°) - Préciser parmi les schémas (1) et (2) de la figure 2, celui du montage qui a servi à l'enregistrement de l'oscillogramme de la figure 1.

- Y ajouter les connexions faites avec l'oscilloscope.

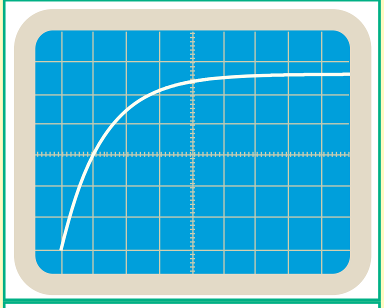


Fig. 1

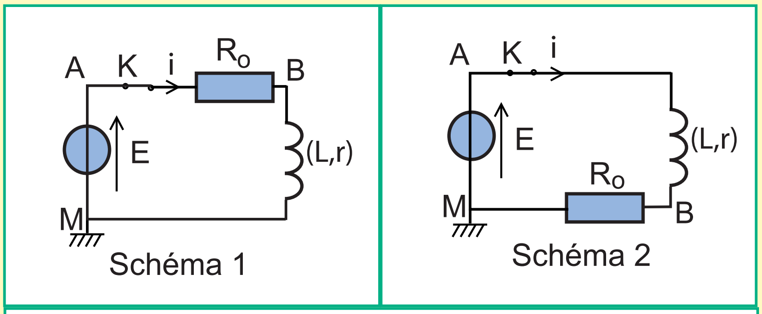


Fig. 2

2°) Expliquer qualitativement l'allure de l'oscillogramme de la figure 1.

3°) a- Montrer que la tension u aux bornes du résistor est régie par l'équation différentielle

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{\tau} u = \frac{R_o}{L} E \text{ , où } \tau = \frac{L}{R} \text{ avec } R = R_o + r.$$

b- Sachant que cette équation admet une solution de la forme : $u = Ae^{-\alpha t} + B$, déterminer les constantes A,B et α.

4°) Déterminer graphiquement les valeurs de τ, r et L.

5°) Déduire de l'expression de u, celle de l'intensité i du courant parcourant le dipôle RL.

SOLUTION

1°) Avec un oscilloscope, on ne peut visualiser directement que les tensions électriques. Pour visualiser l'évolution temporelle de l'intensité i d'un courant, il faut brancher l'oscilloscope aux bornes du résistor de résistance R_o où $u = R_o.i$. Pour ce faire, le résistor doit avoir une borne reliée à la masse. Donc, le schéma du montage avec lequel est visualisée la tension u est le schéma 2 en reliant le point B à l'une des entrées de l'oscilloscope (Fig.3).

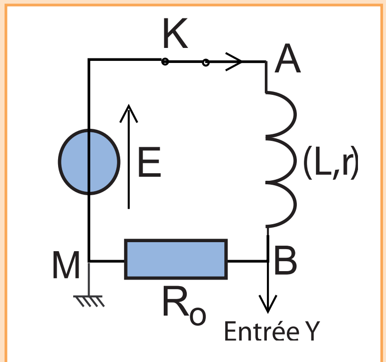


Fig.3

2°) La tension u est liée à l'intensité i du courant débité par le générateur dans le circuit par la relation $u = R_o i$. Or, i ne peut augmenter que progressivement à cause de la bobine qui s'oppose à sa variation, ce qui explique l'allure de la courbe représentant l'évolution de u au cours du temps.

3°) a- Pour le circuit série réalisé, la loi des mailles s'écrit :

$u_{AB} + u_{BM} + u_{MA} = 0$

ce qui signifie $u_{BM} + u_{AB} = u_{AM}$.

Avec le sens positif choisi pour le courant (Fig.3), on a :

$u + ri + L\frac{di}{dt} = E$ où $u = u_{BM}$.

Or, $u = R_o i$, ce qui signifie $i = \frac{u}{R_o}$. D'où $u + \frac{r}{R_o}u + \frac{L}{R_o}\frac{du}{dt} = E$.

$$u(1 + \frac{r}{R_o}) + \frac{L}{R_o}\frac{du}{dt} = E$$

$1 + \frac{r}{R_o} = \frac{R}{R_o}$ car $R = R_o + r$, d'où : $\frac{du}{dt} + \frac{R}{L}u = \frac{R_o}{L}E$.

Finalement, on a : $\boxed{\frac{du}{dt} + \frac{1}{\tau}u = \frac{R_o}{L}E}$ avec $\tau = \frac{L}{R}$.

b- $u = Ae^{-\alpha t} + B$,

à t = 0, u = A + B = 0. Donc, B = - A.

D'où $u = B(1 - e^{-\alpha t})$.

$$\frac{du}{dt} = \alpha Be^{-\alpha t}.$$

L'équation différentielle établie précédemment s'écrit donc :

$$\alpha Be^{-\alpha t} + \frac{B}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t}) = \frac{R_o}{L}E$$

$$B(\alpha - \frac{1}{\tau})e^{-\alpha t} + \frac{B}{\tau} = \frac{R_o}{L}E$$

Lorsque t tend vers l'infini, $e^{-\alpha t}$ tend vers zéro, ce qui donne :

$\frac{B}{\tau} = \frac{R_o}{L}E$, d'où $B = \frac{R_o}{R}E$ et l'équation différentielle devient :

$B(\alpha - \frac{1}{\tau})e^{-\alpha t} = 0$. Cette équation est valable quel que soit t.

Donc, $(\alpha - \frac{1}{\tau}) = 0$, ce qui signifie $\alpha = \frac{1}{\tau}$.

Finalement, on a : $\boxed{u = \frac{R_o}{R}E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$

4°) On a $U_o = \frac{R_o}{R}E$, ce qui équivaut $\frac{R_o + r}{R_o} = \frac{E}{U_o}$, d'où $r = (\frac{E}{U_o} - 1)R_o$

Donc, pour déterminer graphiquement r, il suffit d'avoir la valeur de la tension U_o.
Celle-ci est l'ordonnée du point d'intersection de l'asymptote horizontale à la courbe avec l'axe des ordonnées, graphiquement U_o = 5,6 V.

AN : $r = 10\ \Omega$

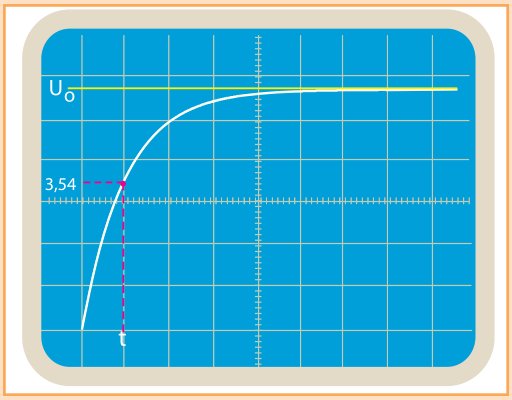
$u(\tau) = U_o(1 - \frac{1}{e}) = 0,632\ U_o = 3,45$ V.

En portant u = 3.54 V sur l'axe des tensions,

la projection sur l'axe des temps donne : $\tau = 2$ ms

$\tau = \frac{L}{R}$ ce qui signifie $L = \tau R$.

AN : L = 300 mH



5°) $u = R_o i$ ce qui signifie $i = \frac{u}{R_o}$.

Or, $u = \frac{R_o}{R}E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$.

D'où, $\boxed{i = I_o(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$ avec $I_o = \frac{E}{R} = 0,04$ A.

Exercices à résoudre

Tests rapides des acquis

1 Items "vrai ou faux"

Evaluer les propositions suivantes par vrai ou faux.

1°) Une bobine placée dans un champ magnétique variable est le siège d'une f.e.m. induite.
2°) Toute variation du courant électrique dans un circuit donne naissance à une f.e.m. induite.
3°) L'introduction d'un noyau de fer doux dans une bobine fait diminuer son inductance L.
4°) Pour abaisser la valeur d'une tension continue, on peut utiliser un transformateur.
5°) La constante de temps d'un dipôle RL caractérise la durée du régime transitoire.
6°) Pour augmenter la durée du régime transitoire dans un circuit RL, on fait augmenter la résistance totale du circuit.
7°) Lors de l'établissement du courant électrique dans un circuit RL, la tension aux bornes de la bobine diminue et tend vers une limite.
8°) Lors de l'ouverture de l'interrupteur d'un circuit RL, l'intensité du courant électrique ne subit pas une discontinuité.

2 Questions à Choix Multiples

Préciser pour chacune des questions suivantes, la (ou les) proposition(s) juste(s).

■ **I-** Une bobine inductive est un dipôle électrocinétique qui :

a- s'oppose aux variations de la tension à ses bornes.

b- s'oppose aux variations de l'intensité du courant qui y circule.

c- est équivalent, en courant continu, à un résistor de résistance égale à sa résistance interne.

■ **II-** La tension u_{AB} aux bornes d'une bobine parcourue par un courant de B vers A s'écrit :

■ **III-** L'inductance L d'une bobine dépend de :

a - $u_{AB} = L.i + r.i$ **b -** $u_{AB} = L.\frac{di}{dt} + r.i$

c - $u_{AB} = - L.\frac{di}{dt} - r.i$ **d -** $u_{AB} = - \frac{dL}{dt}.i - r.i$

a- la tension appliquée à ses bornes.

b- ses caractéristiques géométriques.

c- l'intensité du courant qui y circule.

■ **IV-** La réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension E, dans le cas où la bobine est purement inductive, est caractérisée par l'apparition d'une tension aux bornes de la bobine qui :

a- augmente sans cesse.

b- varie en tendant vers zéro.

c- prend instantanément la valeur E.

d- tend vers une valeur constante inférieure à E.

■ **V-** La réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension E, dans le cas où la bobine est caractérisée par la circulation d'un courant d'intensité i qui :

a- augmente de manière continue en tendant vers la valeur $\frac{E}{R}$.

b- diminue de manière continue en tendant vers zéro.

c- prend directement la valeur $\frac{E}{R}$.

Exercices d'application

3 Indiquer pour chaque schéma de la figure ci-dessous, le sens du courant induit produit par le déplacement de l'aimant suivant l'axe de la bobine ainsi que le nom de la face de la bobine en regard avec l'aimant.

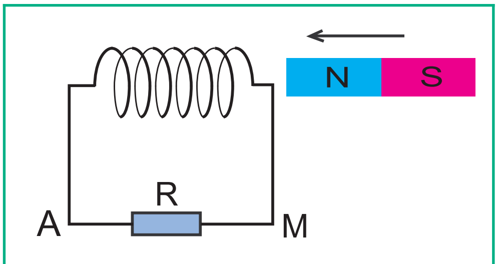


Fig.1 : L'aimant s'approche de la bobine avec son pôle nord en avant.

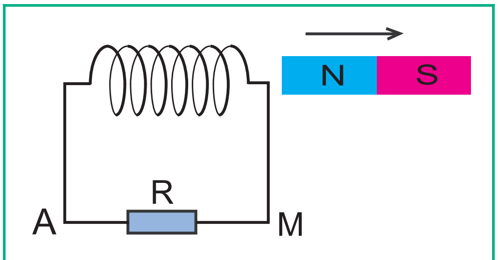


Fig.2 : L'aimant s'éloigne de la bobine avec son pôle nord en avant.

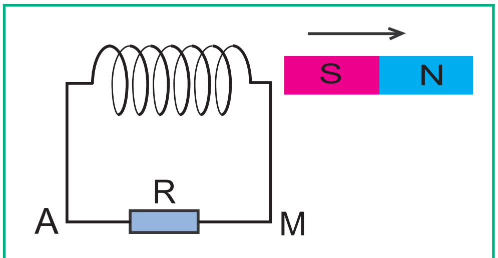


Fig.3 : L'aimant s'éloigne de la bobine avec son pôle sud en avant.

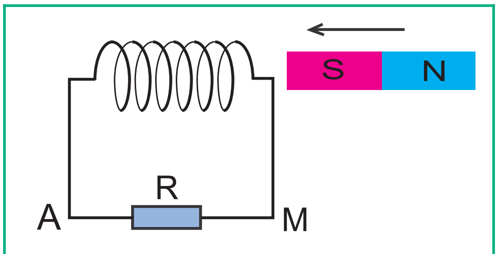
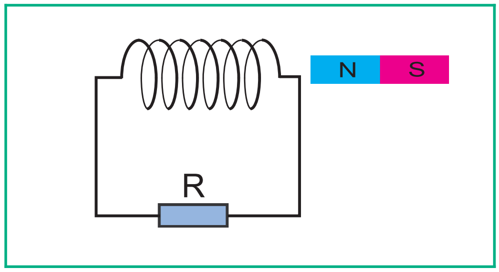


Fig.4 : L'aimant s'approche de la bobine avec son pôle sud en avant.

4 Une bobine fermée sur un résistor de résistance R est placée dans le champ magnétique d'un aimant comme il est indiqué dans la figure ci-dessous.



1°) On approche l'aimant de la bobine par son pôle nord.

a- Représenter le vecteur champ magnétique induit.

b- En déduire le sens du courant induit.

2°) On retourne l'aimant de telle sorte que le pôle en regard de la bobine soit le pôle sud, puis on l'éloigne de la bobine.

a- Représenter, au centre de la bobine, le vecteur champ magnétique inducteur et le vecteur champ magnétique induit.

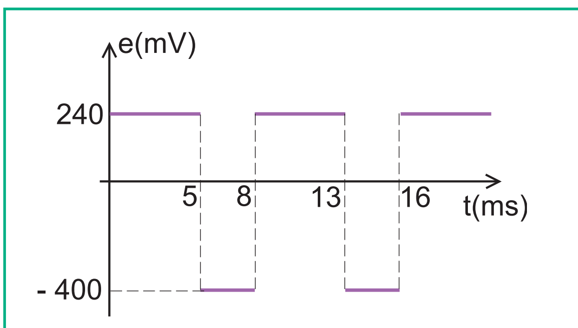
b- En déduire le sens du courant induit.

5 La f.e.m. d'auto-induction **e** créée par une bobine d'inductance **L** = 40 mH varie au cours du temps selon la loi représentée graphiquement ci-dessous.

1°) Exprimer le taux de variation $\frac{di}{dt}$ en fonction de **e** et **L**.

2°) Calculer $\frac{di}{dt}$ dans chacun des intervalles de temps [0, 5 ms] et [5 ms, 8 ms].

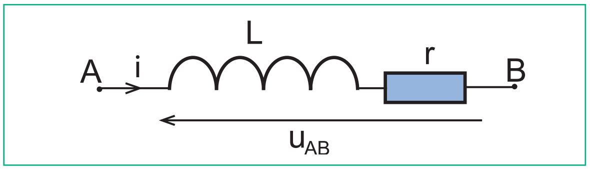
3°) Représenter graphiquement i en fonction de t sachant qu'à l'instant t = 5 ms , i = 0.



6 A l'instant t = 0, on ferme un circuit électrique renfermant une bobine d'inductance L = 470 mH et de résistance r = 10 Ω. Celle-ci se trouve parcourue de sa borne A vers sa borne B par un courant d'intensité $i(t) = 0{,}006\ t^2$.

1°) Exprimer la tension u_{AB} en fonction de L, r, et t.

2°) Calculer la valeur de u_{AB}, 10 s après la fermeture du circuit.



7 On relie une bobine AB d'inductance L = 0,1H et de résistance interne négligeable à un générateur de courant variable (Fig.1).

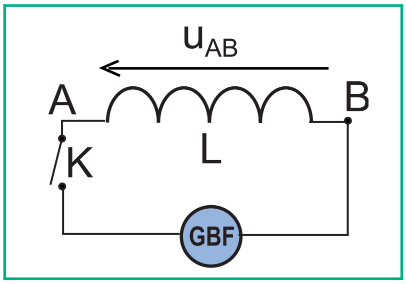


Fig.1

L'évolution au cours du temps, de l'intensité du courant i est illustrée par la courbe de la figure 2. Lors de la fermeture du circuit, un phénomène d'auto-induction prend naissance dans la bobine.

1°) Donner l'expression de la tension $u_{AB}(t)$,au cours des deux phases, pour t variant de 0 à 50ms.

2°) Tracer la courbe représentant $u_{AB}(t)$, sachant que la base de temps est réglée sur 10 ms/div et que la sensibilité verticale est 0,5 V/div.

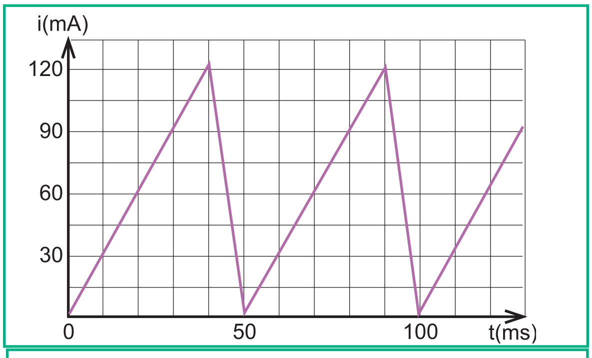
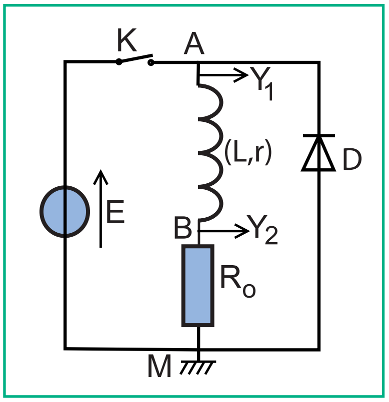


Fig.2

8 On réalise le montage de la figure ci-dessous.



1°) On ferme l'interrupteur K, expliquer le phénomène qui se produit au niveau du dipôle RL avec $R = R_o + r$.

2°) Donner l'expression de l'intensité I_o du courant électrique qui s'établit en régime permanent.

3°) Etablir l'équation différentielle, vérifiée par i(t),lors de la fermeture de l'interrupteur K.

4°) Vérifier que $i(t) = A(1 - e^{-\alpha t})$ est une solution de l'équation différentielle en i.

5°) Identifier A et α en prenant l'instant origine, l'instant de fermeture du circuit .

6°) Définir la constante de temps pour le régime transitoire et l'exprimer en fonction de α.

9 Un dipôle RL constitué d'une bobine d'inductance L, de résistance interne r nulle et d'un résistor de résistance R est branché aux bornes d'un générateur délivrant une tension continue U = 12 V.

1°) Réaliser le schéma du montage.

2°) Préciser le branchement de l'oscilloscope permettant de suivre l'établissement du courant électrique dans le circuit.

3°) Donner l'allure de la courbe d'évolution de i(t) lors de la fermeture du circuit.

4°) Calculer :

a- la valeur de l'intensité du courant en régime permanent.

b- la valeur de la constante de temps τ du dipôle RL sachant que L = 100 mH et R = 120 Ω.

Exercices de synthèse

10 Un circuit électrique comporte, placés en série, un générateur de tension de f.e.m. E = 6 V, un interrupteur K, une bobine d'inductance L et de résistance r = 10 Ω et un conducteur ohmique de résistance R = 200 Ω .
Un dispositif informatisé d'acquisition de données permet de visualiser sur l'écran d'un ordinateur, l'évolution des tensions u_{AB} et u_{BC} en fonction du temps. Le schéma du circuit ci-dessous précise l'orientation du courant et les tensions étudiées (Fig.1).

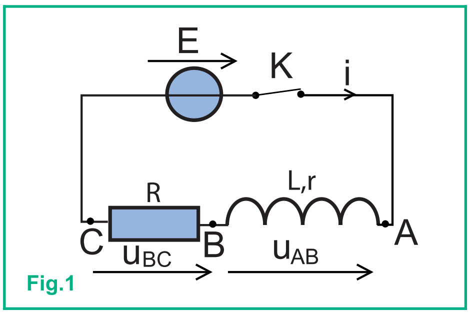


Fig.1

A t = 0, on ferme l'interrupteur K et on procède à l'acquisition. On obtient les deux courbes de la figure 2, notées courbe 1 et courbe 2.

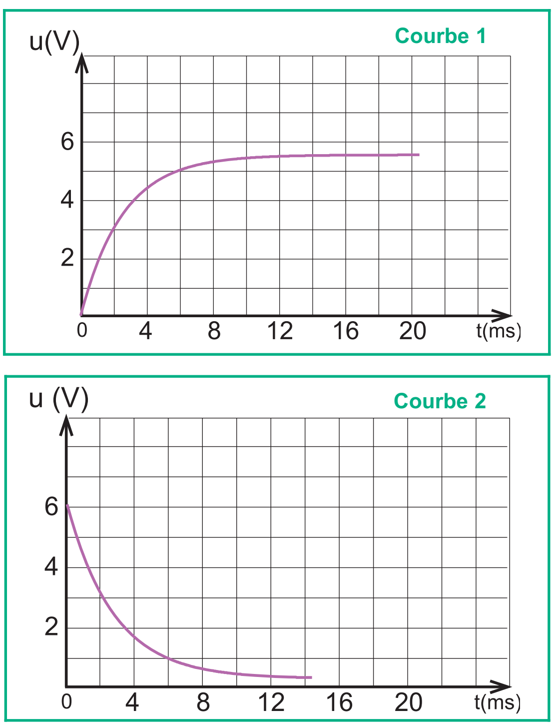


Fig.2

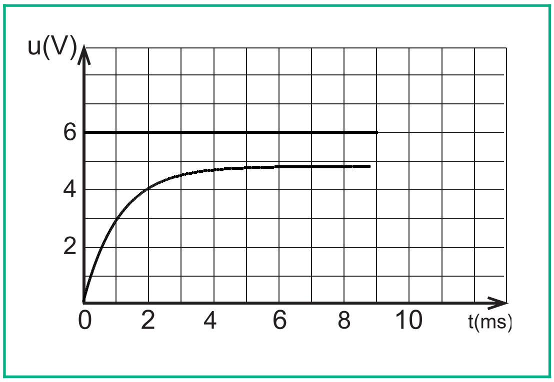
1°) Donner l'expression de u_{AB} en fonction de i et $\frac{di}{dt}$.
2°) Donner l'expression de u_{BC} en fonction de i.
3°) Associer les courbes 1 et 2 aux tensions u_{AB} et u_{BC}. Justifier la réponse.
4°) Appliquer la loi des mailles pour déterminer l'expression I_o de l'intensité du courant qui traverse le circuit lorsque le régime permanent est établi.
Calculer la valeur de I_o.
5°) Exploiter l'une des courbes pour retrouver cette valeur de I_o.
6°) Exploiter l'une des deux courbes pour déterminer la constante de temps τ du montage. Expliciter la méthode utilisée.
7°) 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.
8°) À partir de la valeur de τ mesurée, calculer l'inductance L de la bobine.
9°) A défaut de dispositif informatisé d'acquisition de données, quel type d'appareil peut-on utiliser pour visualiser le phénomène étudié ?

11 Un dipôle AB est constitué par l'association en série, d'une bobine d'inductance L, de résistance r et d'un résistor de résistance r' = 50 Ω. Le dipôle AB est alimenté par un générateur de tension idéal de force électromotrice E = 6 V.
A l'aide d'un oscilloscope à mémoire, on visualise simultanément les tensions aux bornes du générateur et aux bornes du résistor r'. On obtient simultanément les oscillogram-mes de la figure ci-après.
1°) Schématiser le montage électrique et préciser le branchement de l'oscilloscope.
2°) Donner lavaleur de la tension aux bornes de la bobine en fonction de L,r et i.
3°) A l'aide des oscillogrammes obtenus :
a- déterminer l'intensité I_o du courant électrique qui s'établit dans le circuit en régime permanent.
b- calculer la valeur de la résistance r de la bobine.

4°) Déterminer graphiquement la constante de temps du dipôle RL

5°) En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.

6°) Calculer la valeur de l'énergie emmagasinée dans la bobine en régime permanent.



12

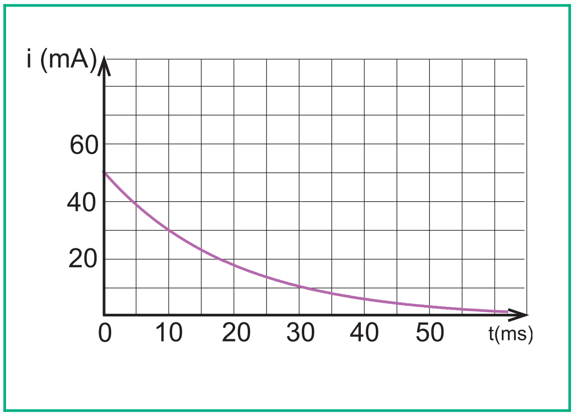
Une bobine de résistance r très faible et d'inductance L est branchée en série avec un résistor de résistance R_o. Lors de la rupture du courant dans le circuit, on visualise la courbe de décroissance de l'intensité du courant électrique, donné par la figure ci-dessous.

1°) Déterminer la valeur de l'intensité i du courant électrique à l'instant initial.

2°) Déterminer de deux façons différentes la constante de temps τ du dipôle RL.

3°) En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine sachant que $R_o = 50\ \Omega$.

4°) Calculer la valeur de la f.e.m. d'auto-induction e à t = 0.



13

Un générateur de force électromotrice E = 6 V et de résistance interne r = 2 Ω alimente un circuit constitué d'une bobine AB d'inductance L = 1,8 H et de résistance interne R = 8 Ω, aux bornes de laquelle on a placé un petit moteur en série avec une diode au silicium D (Fig.1).

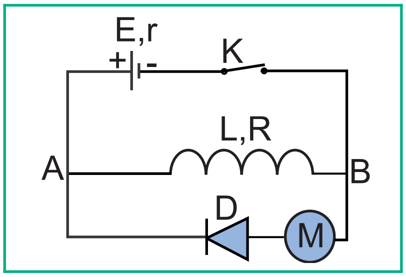


Fig.1

1°) Lorsqu'on ferme l'interrupteur K, indiquer le sens du courant qui s'établit dans le circuit. Montrer que son intensité maximale prend la valeur **I** = 0,6 A.

Pourquoi le moteur ne fonctionne-t-il pas ?

2°) Lorsqu'on ouvre l'interrupteur K, on constate que le moteur se met à tourner pendant quelques secondes. Quel est le sens du courant qui le parcourt ? D'où provient l'énergie électrique qui l'a fait fonctionner ? Quel est le phénomène physique qui est mis en évidence ?

3°) Pendant son fonctionnement, le moteur est capable de soulever un corps de masse m =20 g à une hauteur h = 18,5 cm par l'intermédiaire d'une poulie qu'il entraîne (Fig.2).

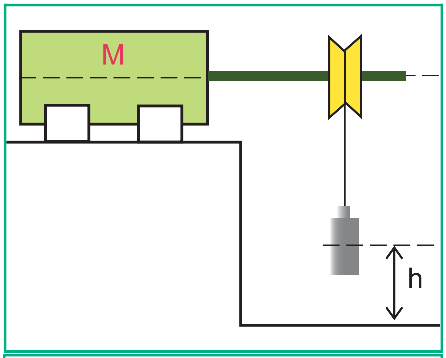


Fig.2

Calculer le travail mécanique fourni par le moteur ; le comparer à l'énergie magnétique emmagasinée par la bobine. En déduire le rendement de l'opération.

On donne g = 9,8 $N.kg^{-1}$

Étude de texte
La cuisson par induction

14 Les plaques de cuisson par induction (ou plaques à induction) ont un principe de fonction-nement nettement différent de celui des plaques de cuisson classiques. La première caractéristi-que frappante de ces plaques à induction réside dans le fait qu'en fonction-nement, elles sont froides ou très peu chaudes !

A l'inverse des plaques classiques, ce ne sont pas les plaques qui chauffent mais la casserole, elle-même.

Ce type de plaque fonctionne grâce au phéno-mène d'induction électromagnétique.

En effet, il y a apparition d'un courant électrique dans un conducteur lorsque ce dernier est placé dans un champ magnétique variable.

C'est exactement ce qui se passe lorsqu'on approche la casserole de la plaque, le champ magnétique variable créé par le générateur placé au dessous de la plaque engendre un courant électrique induit dans la paroi de la casserole. Celle-ci joue le rôle de noyau pour la bobine source de champ magnétique variable, ce qui fait augmenter, l'intensité du courant induit. La circulation du courant induit chauffe la casserole par effet Joule.

Une bonne partie de l'énergie thermique de la casserole est transférée à son contenu, et c'est ainsi que les aliments vont être cuits.

Plaque de cuisson à induction

Questions

1°) Préciser l'inducteur et l'induit dans le dispositif de la plaque de cuisson par induction.

2°) Décrire, brièvement, le principe de fonction-nement d'une plaque de cuisson par induction.

3°) Quelle est la source d'énergie d'une plaque à induction ?

4°) Justifier, l'augmentation de la température des aliments placés dans une casserole et sur une plaque cuisson par induction.

En savoir plus

Les pouvoirs de l'induction électromagnétique

De tous les moyens de cuisson, le plus singulier est la plaque à induction, où la chaleur est créée directement dans le métal de la casserole. Ce prodige est le résultat de l'induction électromagnétique, une des plus efficaces façons de transmettre de l'énergie sans contact. Si on place un morceau de cuivre près d'un aimant, que se passe-t-il ? Rien ! En revanche, si on déplace le morceau de cuivre par rapport au champ magnétique, un courant électrique apparaît dans le cuivre qui s'échauffe. Cet effet, découvert par Foucault et Faraday, est source de multiples applications comme les plaques de cuisson à induction et les ralentisseurs électromagnétiques.

Dans un conducteur comme le cuivre, les électrons délocalisés sont libres de se mouvoir, et leur mouvement d'ensemble, sous l'effet d'une force, engendre le courant électrique. Nous savons qu'un aimant crée un champ magnétique qui exerce une force sur les charges en mouvement, force perpendiculaire au mouvement des charges, qui tend à incurver leurs trajectoires. Quand nous déplaçons le morceau de cuivre, les électrons subissent cette force et sont animés d'un mouvement que l'on désigne par “courant de Foucault”. L'intensité du courant est proportionnelle à la vitesse de déplacement du matériau et à la valeur du vecteur champ magnétique. Les courants de Foucault ont des parcours compliqués au sein de la matière où aucun fil ne les guide. On sait toutefois qu'ils forment des lacets et des boucles, d'où leur nom de “courants tourbillonnaires”.

Ces courants de Foucault se manifestent chaque fois qu'un matériau conducteur est en mouvement au sein d'un champ magnétique : ils sont induits par déplacement. Plusieurs dispositifs industriels utilisent cette induction pour transformer l'énergie mécanique en énergie électrique, puis éventuellement en énergie thermique. Lorsqu'on fait tourner un disque de cuivre dans l'entrefer d'un aimant, un tel disque est parcouru de courants de Foucault. Ces courants induits échauffent la matière qu'ils traversent car les électrons qui les composent rencontrent sans cesse les autres charges électriques présentes dans le matériau et leur transfèrent une partie de leur énergie par chaleur. Cette énergie provient de la seule source d'énergie présente, l'opérateur actionnant le disque. Il va de même dans les ralentisseurs pour camions, un type de frein magnétique qui équipe aujourd'hui la majorité des poids lourds. Leur avantage est d'être sans contact, donc sans usure! Dans ces dispositifs, des disque solidaires de l'arbre de transmission tournent entre des électroaimants alimentés par une batterie. Quand on désire freiner le véhicule, on alimente les électro-aimants en courant. Plus la vitesse du véhicule est grande, plus la vitesse de rotation des disques entre les électroaimants est grande et plus le freinage est efficace. Les ralentisseurs sont donc d'autant plus efficaces que le véhicule roule vite, ce qui, en descente, est idéal. En revanche, leur efficacité s'amoindrit aux faibles vitesses jusqu'à s'annuler à l'arrêt. C'est pourquoi, pour les faibles allures, on leur adjoint des freins mécaniques.

D'après *“Revue pour la science”*

Objectifs

- Réaliser un montage permettant de suivre les oscillations électriques libres d'un circuit RLC série.
- Reconnaître le régime pseudopériodique et le régime apèriodique.
- Reconnaître le facteur responsable de l'amortissement.
- Reconnaître les grandeurs oscillantes d'un circuit RLC série.
- Etablir l'équation différentielle des oscillations libres d'un circuit RLC série.
- Interpréter la diminution de l'amplitude des oscillations libres d'un circuit RLC série par le transfert d'énergie de l'oscillateur vers le milieu extérieur.
- Ecrire l'expression d'une grandeur oscillante en régime libre non amorti.
- Définir la pulsation propre ω_o et la période propre T_o d'un oscillateur RLC non amorti.
- Exprimer T_o en fonction de L et de C.
- Déterminer la période, l'amplitude et la phase initiale d'une grandeur oscillante sinusoïdale d'un circuit RLC série non amorti.
- Démontrer la conservation de l'énergie totale d'un oscillateur LC.
- Interpréter le cas particuler des oscillations libres non amorties.

Prérequis

SAVOIR	SAVOIR FAIRE
◆ Définir un phénomène périodique. ◆ Définir la période T et la fréquence N d'un phénomène périodique. ◆ Ecrire la relation $N = \frac{1}{T}$. ◆ Ecrire la relation $i = \frac{dq}{dt}$. ◆ Ecrire l'expression de la tension : - aux bornes d'un condensateur $u = \frac{q}{c}$ - aux bornes d'une bobine $u = L\frac{di}{dt} + ri$ ◆ Exprimer l'énergie potentielle électrique E_C emmagasinée par un condensateur. ◆ Exprimer l'énergie magnétique E_L emmagasinée par une bobine.	◆ Reconnaître un phénomène périodique. ◆ Distinguer entre période et fréquence d'un phénomène périodique. ◆ Utiliser la relation $i = \frac{dq}{dt}$. ◆ Expliquer la charge et la décharge d'un condensateur. ◆ Expliquer le phènomène d'auto-indution. ◆ Distinguer entre transfert et transformation d'énergie. ◆ Appliquer la loi des mailles.