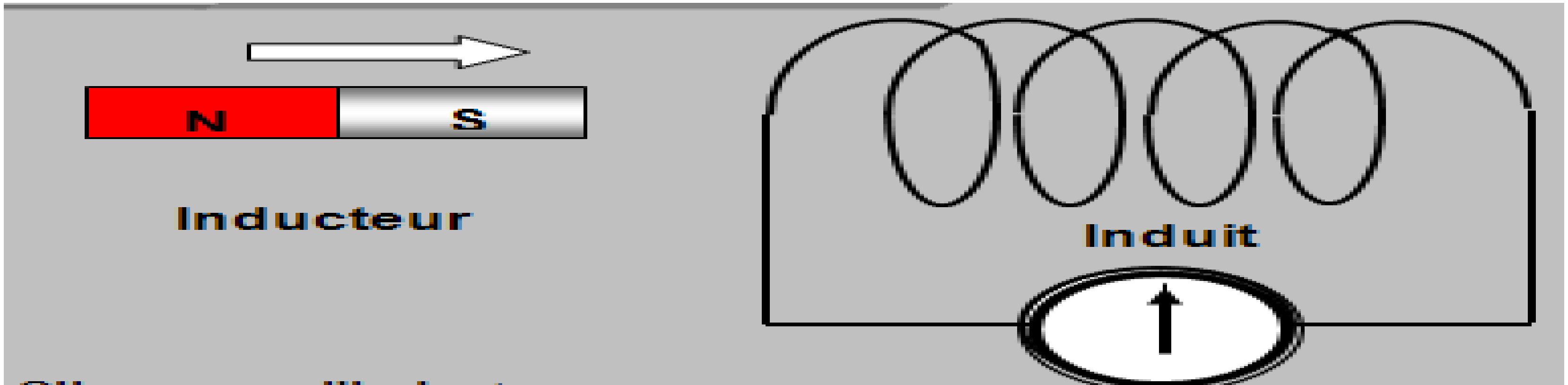
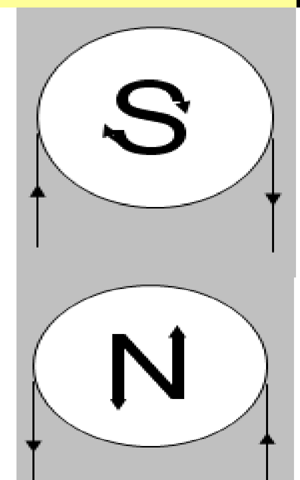


Si on approche un aimant d'une bobine, il apparaît un courant qui est visualisé par un milli-ampèremètre.

A l'aller le courant i crée une face Sud qui tend à repousser l'aimant.
Au retour le courant i crée une face Nord qui tend à retenir l'aimant.

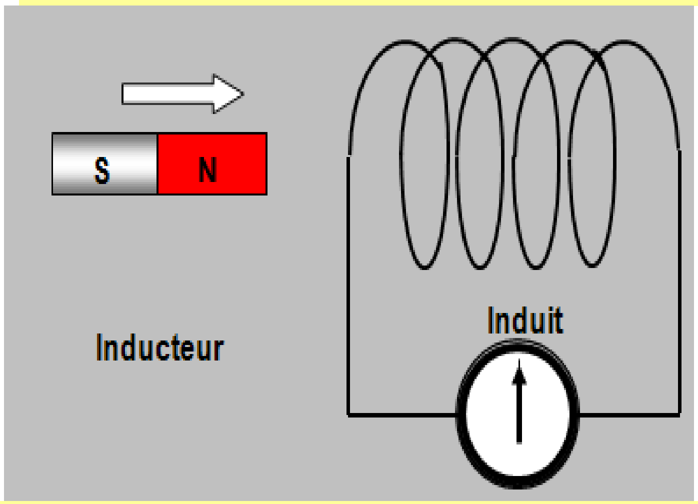


Applications de l’induction électromagnétique

Loi de Faraday

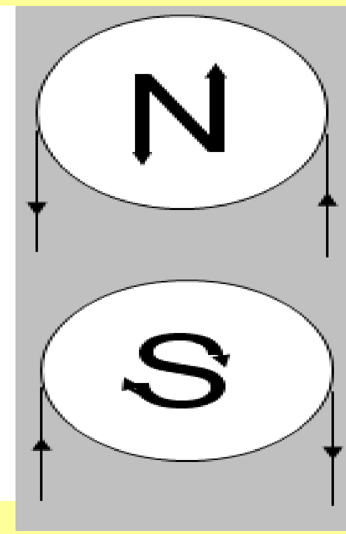
Toute variation du flux magnétique à travers un circuit fermé s'accompagne de la production d'un courant induit dans ce circuit.

L'expérience montre que le sens du courant dépend du sens du mouvement et du pôle approché.



A l'aller le courant i crée une face Nord qui tend à repousser l'aimant.

Au retour le courant i crée une face Sud qui tend à retenir l'aimant.



Loi de Lenz

Le courant induit i tend par ses effets à s'opposer à la cause qui leur donne naissance.

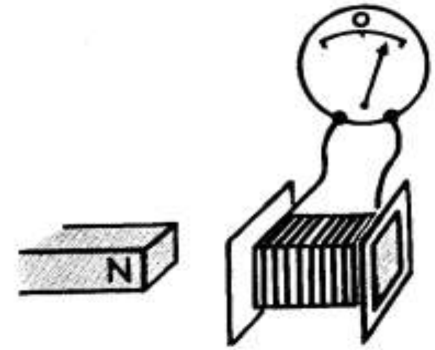
La force électromotrice d’induction(f e m induction ou f e m induite).

Considérons une bobine raccordée à un voltmètre à zéro central.

Si l'on enfonce dans la bobine le pôle nord d'un aimant droit,

le voltmètre dévie, décelant l'apparition d'une f e m

L'aiguille revient à zéro dès que l'aimant ne se déplace plus.



En éloignant l'aimant de la bobine, le voltmètre dévie en sens inverse.

Le circuit est donc le siège d'une f e m induite égale au quotient de la variation du flux à travers le circuit par la durée de cette variation:

Si la variation est faible $e = - d\Phi / dt$

Si la bobine est fermée sur un circuit, la f e m. induite produit un courant dit: courant induit, de même sens que la f e m. qui le crée. Son sens est donné par une règle générale, que l'on appelle **loi de Lenz**, et qui s'énonce:

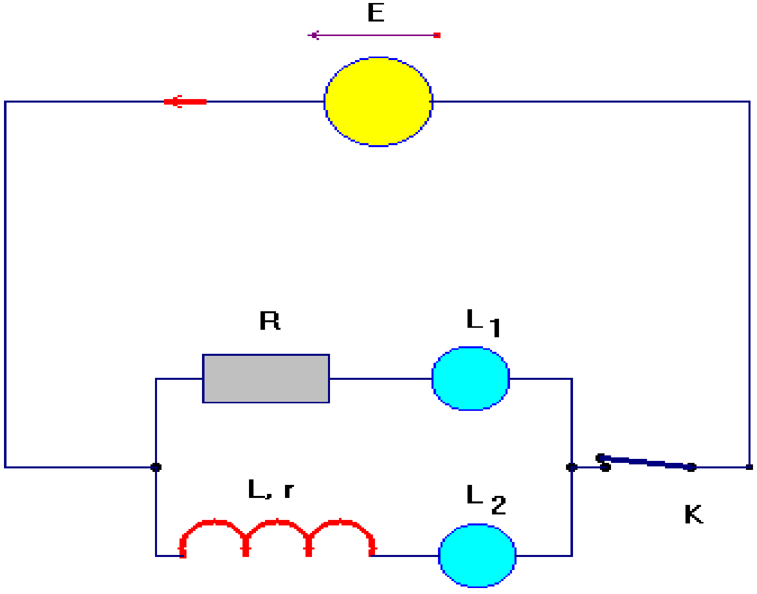
le courant induit s'oppose toujours à la cause qui le produit

L'AUTO-INDUCTION

Mise en evidence du phénomène d'auto-induction

Influence d'une bobine dans un circuit.

Expérience : Retard à l'établissement du courant.



Montage

Observations :

La lampe L_2 s'allume avec un retard sur la lampe L_1.

- Il se produit un retard à l'établissement du courant dans la portion de circuit qui comporte la bobine.

- Une bobine s'oppose transitoirement à l'établissement du courant dans un circuit.

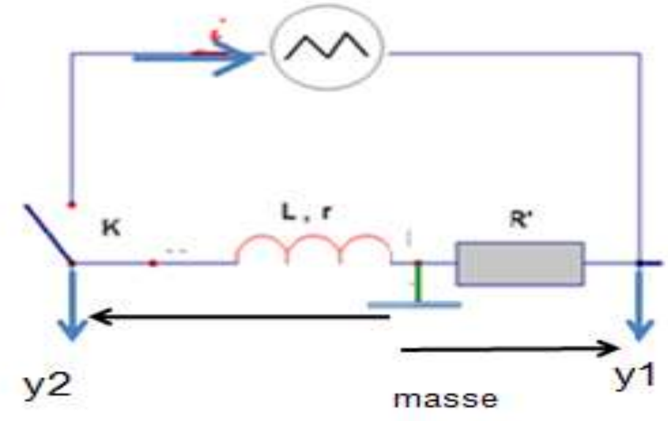
- En régime permanent, la bobine se comporte comme un conducteur ohmique de résistance r.

La force électromotrice d'auto-induction

Étude expérimentale

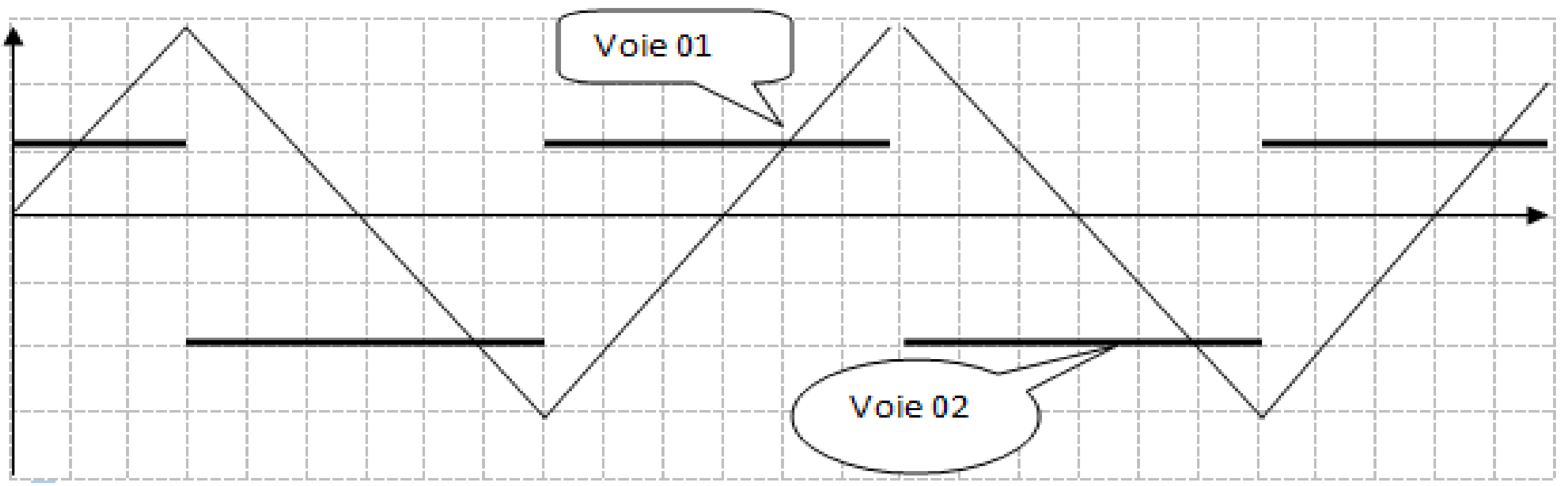
Note bien : il faut appliquer le bouton INV sur la voie2

$u_R = (R\,i)$ donc $i = u_R/R$



$u_{Bobine} = -e + ri$ si $r \approx 0\Omega$ on aura $u_{Bobine} = -e$

u_{Bobine} est une tension carrée alors que la tension d'entrée est triangulaire



Comment peut-on expliquer la tension aux bornes de la bobine par rapport à la tension d'entrée

Pour la première demi période t ϵ [0,T/2] ,on $u_{Bobine}=U_0$ donc $e=-U_0$

Pour la deuxième demi période t ϵ [T/2,T] ,on $u_{Bobine}=-U_0$ donc $e=U_0$

Donc $e=\pm U_0$

La f e m d'auto-induction e est dues aux variations de i

Quelle relation y a-t-il entre e et i ?

Traitons la tension triangulaire $u_R=(R\,i)$

Pour la première demi période t ϵ [0, T/2] on aura $i=u_R/R=(a1/R)\,t+(b1/R)$

$d\,i/dt=+a1/R$ et $e=-U_0$

$e/(d\,i/dt)=-U_0/(a1/R)$

$e=[U_0/(-a1/R)].\,d\,i/dt=-\,\mathbf{[RU_0/a1]}.\,d\,i/dt=-L.\,d\,i/dt$ avec $\mathbf{L=U_0/(a1/R)=RU_0/a1}$

L est une constante ; c'est L'inductance de la bobine

Pour la deuxième demi période $t \in [T/2, T]$, on aura $i= u_R/R = (a2/R)t+(b2/R)$

On $a1=-a2$ donc $i= u_R/R = (-a1/R)\, t+ (b2/R)$

$d\, i/dt=-a1/R$ et $e=U_0$

On trouve de même

$e= [U_0/ (-a1/R)].\, d\, i/dt= \mathbf{- [RU_0/a1]}.\, d\, i/dt =-L.\, d\, i/dt$ avec $\mathbf{L= RU_0/a1}$

On peut refaire l'étude pour la demi période qui suit

Définition :

L'inductance est une grandeur caractérisant l'aptitude d'une bobine à modérer les variations de tout courant électrique qui y circule.

L'inductance noté L et s'exprime en Henry (H) dans le système international

Remarque :

Le signe (-) dans l'expression **e=-L di/dt** traduit la loi de LENZ.

Quand

***le courant i croit ; di/dt >0 alors e<0 (s'oppose à l'augmentation du courant).**

***le courant i décroit ; di/dt <0 alors e>0 (s'oppose à la diminution du courant).**

Conclusion

Toute bobine d'inductance L parcourue par un courant électrique <u>d'intensité i variable</u> est le siège d'une force électromotrice appelée *<u>force électromotrice –induite</u>* (f e m induite) ou *<u>auto-induction</u>*.

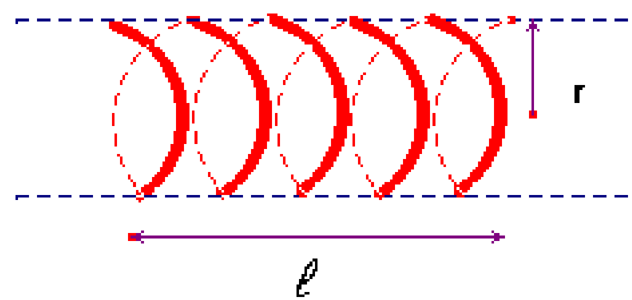
$$e=-L\ di/dt$$

Facteurs dont dépend l'inductance d'une bobine

- <u>Une bobine</u> est constituée d'un enroulement de fil conducteur, recouvert d'un vernis isolant, sur un cylindre de rayon r.

-On désigne par ℓ la longueur de l'enroulement et par r le rayon d'une spire :

- *Si* ℓ **est petit devant** r, **la bobine est plate.**
- *Si* ℓ **est voisin de** r **la bobine est appelée : solénoïde.**
- *Si* ℓ **est plus grand que** $10\ r$, **le solénoïde est dit infini.**



L’inductance d’une bobine.

- Une bobine est un dipôle, de bornes **A** et **B**, caractérisé par son inductance **L** exprimée en henry (symbole H). On utilise souvent le millihenry (mH).

- L'inductance **L** de la bobine est une constante positive qui ne dépend que des caractéristiques géométriques de la bobine

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

ou $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$

pour une bobine de longueur ℓ, qui possède N spires de surface S

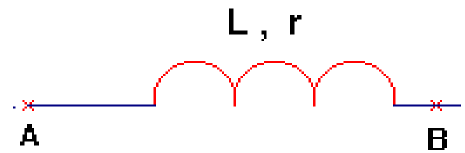
Remarques :

•l’introduction d’un barreau de fer doux dans la bobine augmente son inductance L donc e=-L di/dt n’est plus valable

* Si $r_B \approx 0\Omega$ la bobine est dite purement inductive car $u_{Bobine} = -e = L\,di/dt$

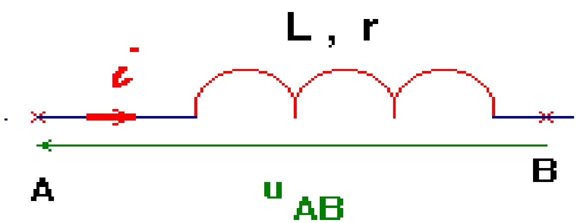
Relation entre la tension aux bornes d'une bobine et l'intensité du courant qui y circule

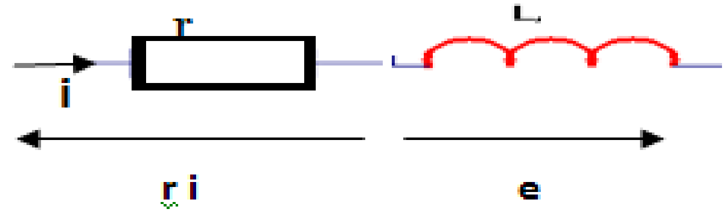
Représentation symbolique d'une bobine.



Expression de la tension aux bornes d'une bobine.

- Une bobine est caractérisée par son inductance **L** et sa résistance **r**.
- La bobine étant orientée de **A** vers **B**, la tension **u** $_{AB}$ aux bornes de la bobine est donnée par la relation :





$$u_{AB} = -e + ri$$

$$u_{AB} = L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i \quad \begin{cases} u_{AB} & \text{tension en volt V} \\ i & \text{intensité en ampère A} \\ r & \text{résistance en ohm } \Omega \\ L & \text{inductance en henry H} \end{cases}$$

- Remarque : cas d'une bobine idéale (**r** = 0)

$$u_{AB} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

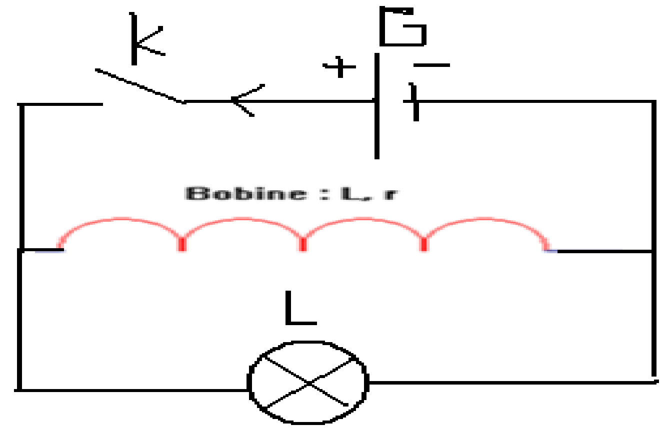
-

Énergie emmagasinée dans une bobine

Activités

Question

-Décrire vos observations au moment de la fermeture et de l'ouverture de l'interrupteur



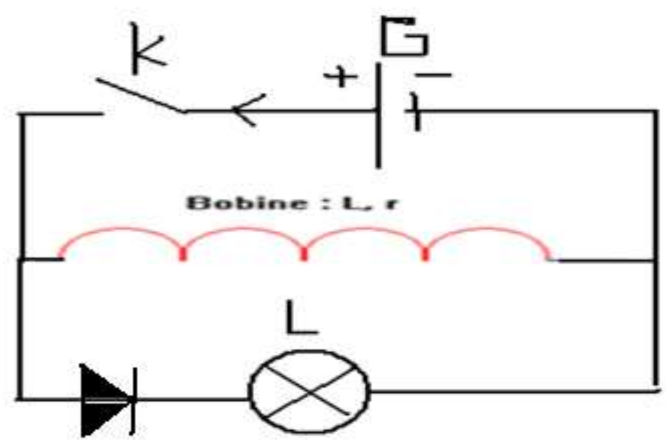
Réponse

* Au moment de la fermeture: la lampe brille avec un éclat faible qui se présente

* Au moment de l'ouverture : la lampe brille d'un éclat intense brusquement(pendant un temps bref)

Question

-Décrire vos observations au moment de la fermeture et de l'ouverture de l'interrupteur



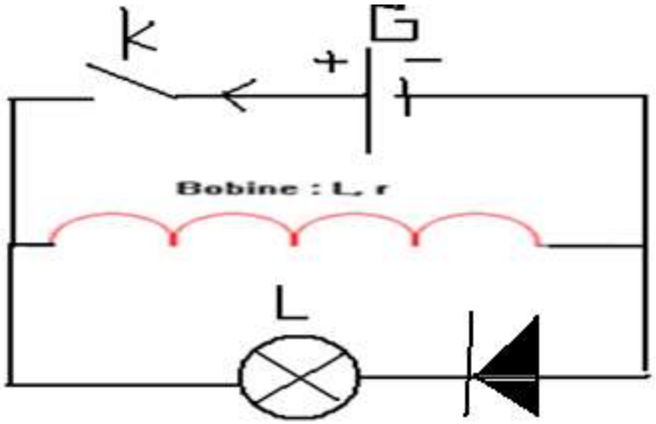
Réponse

* Au moment de la fermeture: la lampe brille avec un éclat faible qui se présente

* Au moment de l'ouverture : la lampe ne brille pas

Question

Décrire vos observations au moment de la fermeture et de l’ouverture de l’interrupteur



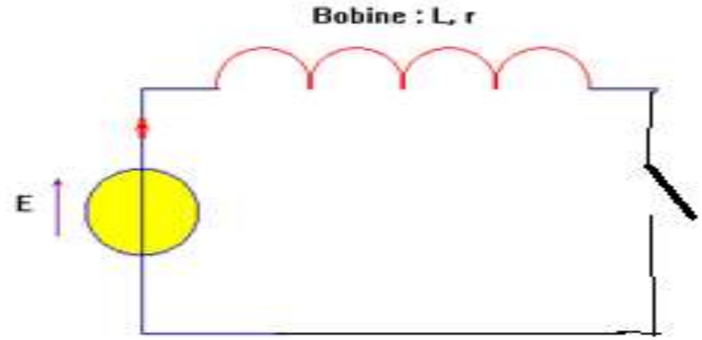
Réponse

* Au moment de la fermeture: la lampe ne brille pas

* Au moment de l’ouverture : la lampe brille d’un éclat intense(flash très court) brusquement(pendant un temps bref)

Étincelle au moment de rupture du courant d'un circuit fermé comportant un générateur avec bobine et noyau de fer doux

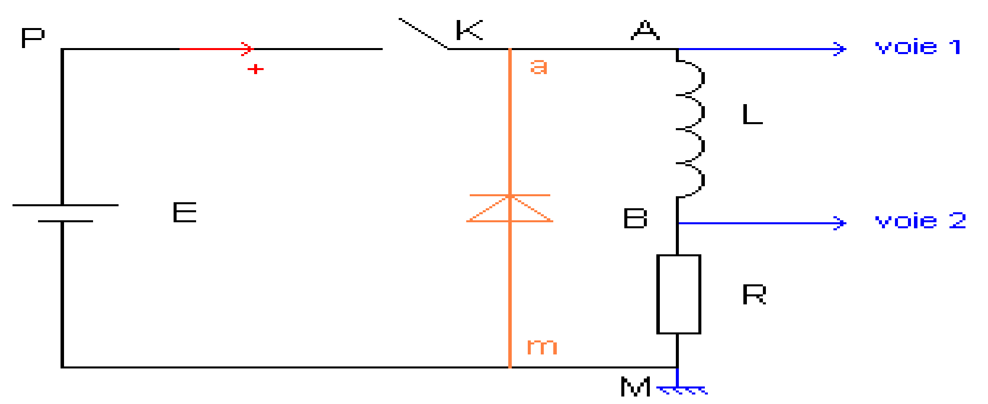
Montage:



Quand on ferme l'interrupteur un courant circule dans la bobine ;au moment de l'ouverture on remarque une étincelle au voisinage de l'interrupteur qui est due au courant d'auto-induction qui se forme dans la bobine

Proposer une solution pour protéger l'utilisateur de ses dangers

solution



Expression de l'énergie emmagasinée dans une bobine.

-Une bobine d'inductance **L,** traversée par un courant d'intensité **i,** emmagasine de l'énergie.

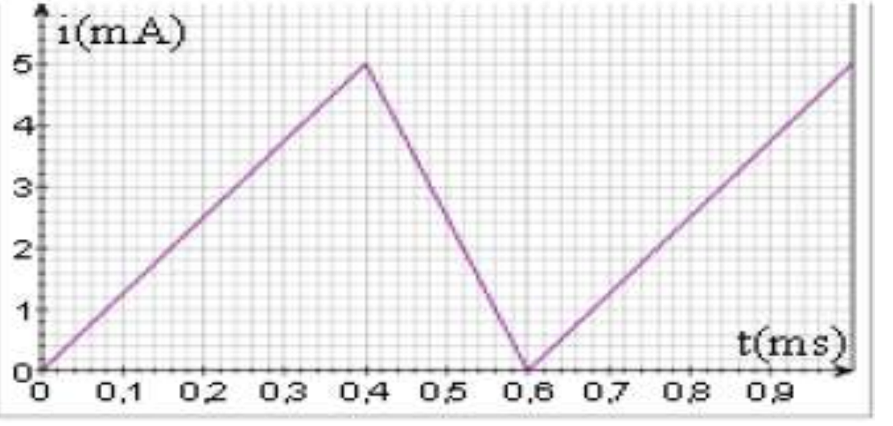
C'est de l'énergie magnétique que l'on note E_m ou W_L.

$$E_m = W_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 \quad \begin{cases} E_m & \text{énergie en joule J} \\ L & \text{inductance en henry H} \\ i & \text{intensité en ampère A} \end{cases}$$

-L'intensité du courant électrique dans un circuit comportant une bobine ne subit pas de discontinuité. Le courant s'établit de façon progressive et s'annule de la même façon. L'intensité du courant électrique ne peut pas passer de façon instantanée de la valeur zéro à la valeur **I**.

Exercice

On réalise un circuit électrique en série constitué d'une résistance $R = 200\ \Omega$, d'une bobine idéale (c'est-à-dire : de résistance interne nulle) d'inductance $L = 60$ mH et d'un générateur de courant. Les variations de l'intensité en fonction du temps sont représentées ci-dessous :



Questions

1- Schématiser le montage d'étude

2- Représenter sur la figure par des flèches les tensions u_R; u_B et u_G
on utilise la convention récepteur pour la bobine et la résistance

3-A l'aide d'un oscilloscope bicourbe on visualise les tensions u_R et u_B ,préciser sur le schéma les branchements sachant que le générateur doit être à masse flottante

4°) A quel problème aurait-on été confronté si l'on n'avait pas utilisé un générateur à masse flottante ?

5- Donner l'expression littérale de chaque tension u_R et u_B pour $t \leq 1$ms

6- Sur le même graphe donner la représentation des tensions u_R et u_B

7- Donner la valeur de l' énergie magnétique emmagasinée dans la bobine à t=0,4ms

II) Etude d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension

1) Etude expérimentale

a- Montage d'étude

- On réalise le montage ci-contre :
- On choisit un générateur de tension continu E

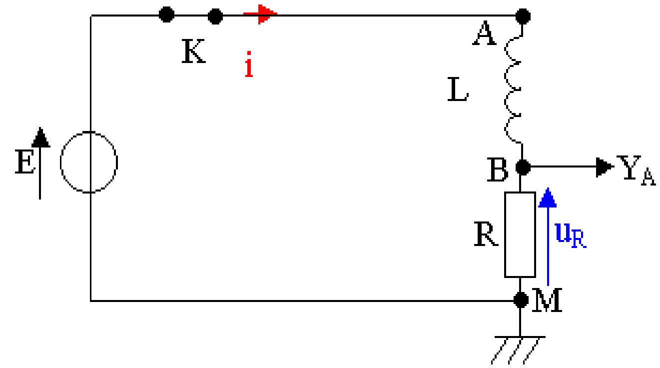
et oscilloscope à mémoire Ou une tension créneaux avec un oscilloscope digitale

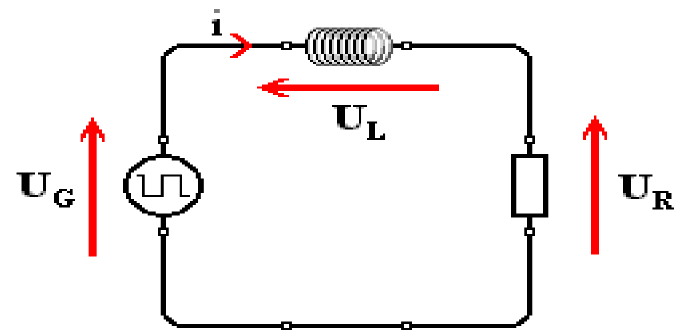
- On visualise la courbe i = f(t)
- ($i = u_R / R$)

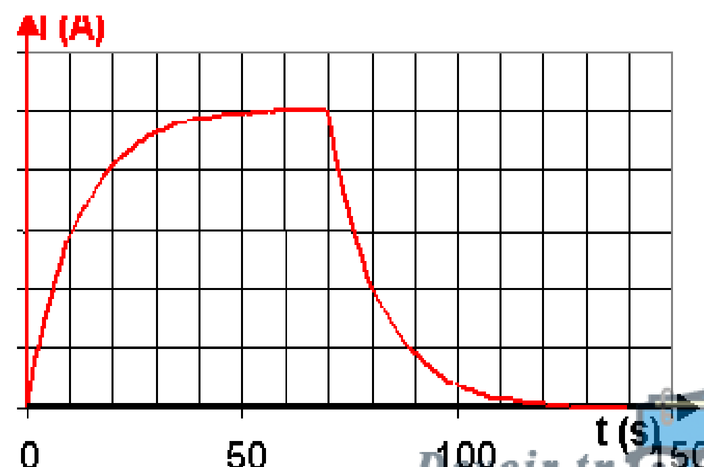
b-Observations :

- Lorsqu'on ferme l'interrupteur, l'intensité i croît progressivement de manière asymptotique jusqu'à une va leur maximale.

- Lorsqu'on ouvre l'interrupteur, l'intensité i décroît progressivement de manière asymptotique jusqu'à une valeur minimale.







c-Interprétations :

- Lorsqu'on ferme l'interrupteur, le courant s'installe progressivement, sans la bobine, il aurait instantanément la valeur finale. La bobine s'oppose à l'apparition du courant.
- Lorsqu'on ouvre l'interrupteur, le courant diminue progressivement, sans la bobine, il s'annulerait instantanément, la bobine s'oppose à la disparition du courant.

d- Conclusion:

Une bobine s'oppose aux variations de l'intensité du courant dans le circuit.

2) Etude théorique

a) A l'établissement du courant :

Etude de l'intensité i :

Loi d'additivité : $u_R + u_L = E$

R.i + L.di/dt = E (1) (équation différentielle pour i)

solution de l'équation : $i = a + b.e^{-t/\tau}$

Identifier a ,b et t

$di/dt = - b.e^{-t/\tau}/\tau$

(1) $R.(a + b.e^{-t/\tau}) – L. - b.e^{-t/\tau}/\tau = E$

Ceci est valable quelque soit l'instant t

donc :

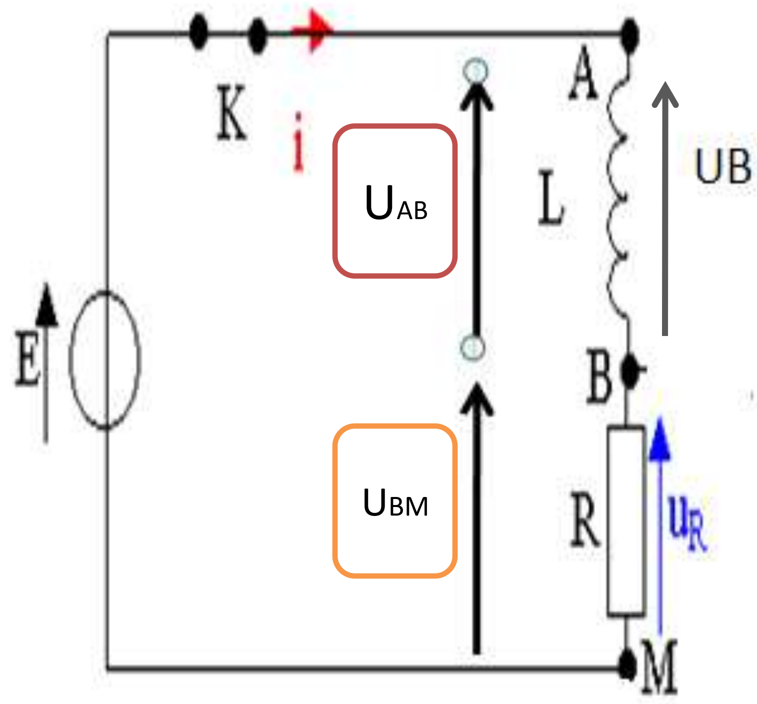
R.a = E et R.b – L.b / τ = 0 **alors** a = E / R et τ = L / R

τ est la constante de temps du dipôle RL

Pour déterminer b, on utilise la valeur de i à t = 0 s

$i = 0 = E / R + b.e^{0}$ **donc** b = - E / R

$i = E/R (1 – e^{-t/\tau})$ avec $\tau = L / R$ (en s)



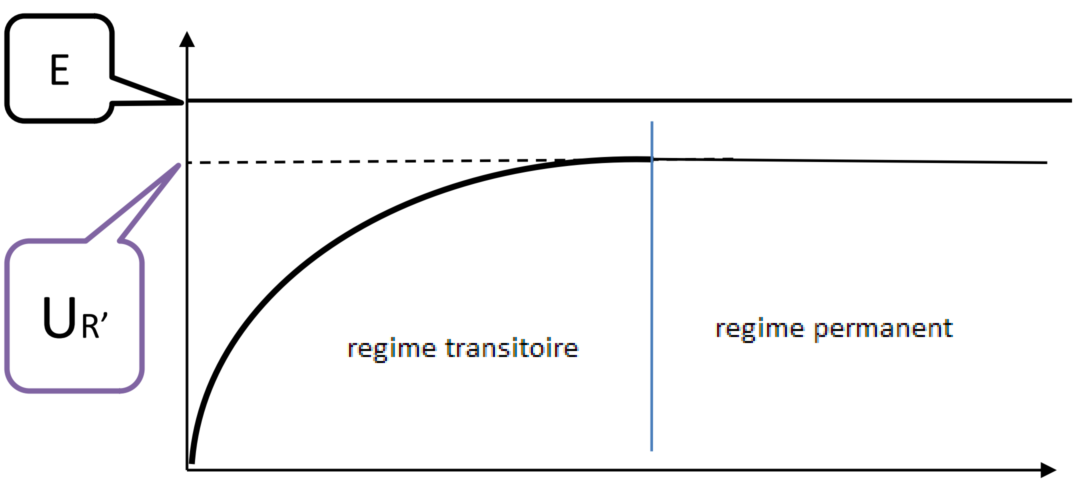
Etude de la tension u_L.

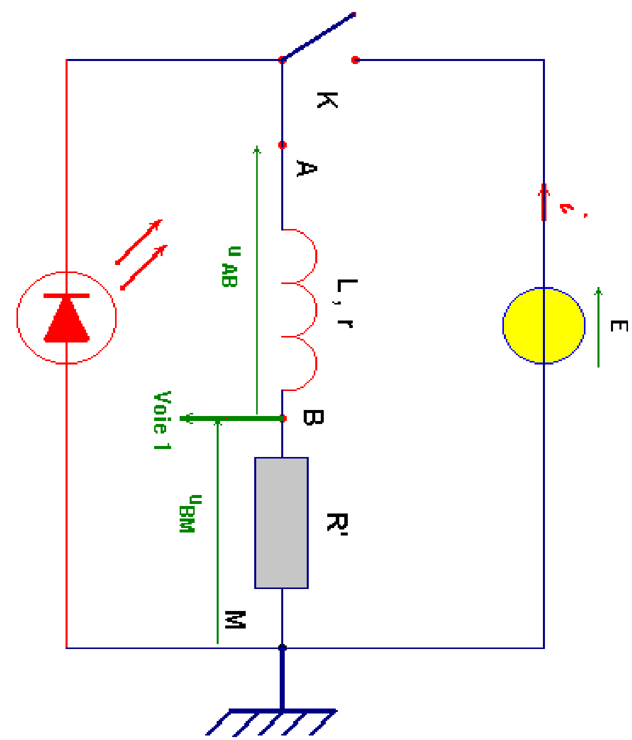
- $u_L = L.di/dt = L.E/R.e^{-t/\tau}/\tau$ avec $\tau = L / R$ donc $u_L = E.e^{-t/\tau}$
- On peut aussi utiliser la loi des tensions : $u_L + u_R = E$ **alors** $u_L = E - R.(E/R\ (1 - e^{-t/\tau}) = E.e^{-t/\tau}$

$u_L = E.\ e^{-t/\tau}$ avec $\tau = L / R$

Remarque: Si on suppose que la résistance r de la bobine n'est pas nulle

Le circuit comprend : Un générateur idéal de tension E; un conducteur ohmique de résistance R', une bobine d'inductance L et de résistance r et un interrupteur K. Au temps t = 0 s, on ferme l'interrupteur en le basculant sur la position 1.





Équation différentielle vérifiée par l'intensité **i**.

On ferme l'interrupteur. On oriente le circuit et on étudie le dipôle (**R**, **L**).

- La loi d'additivité des tensions dans le circuit série permet d'écrire :

$$E = u_{AB} + u_{BM}$$

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

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

En posant : $R = r + R'$

$$E = L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i \quad (1)$$

-On reconnaît une équation différentielle du premier ordre .
avec deuxième membre qui admet une solution du type :

$$i(t) = A \cdot e^{k \cdot t} + B$$

où **A**, **B** et **k** sont des constantes avec.

$$\begin{cases} k = -\dfrac{R}{L} \\ \text{et} \\ B = \dfrac{E}{R} \end{cases}$$

Et

$$A = -B = -\frac{E}{R}$$

- **Relation donnant l'intensité traversant le dipôle (R, L) soumis à un échelon de tension E**

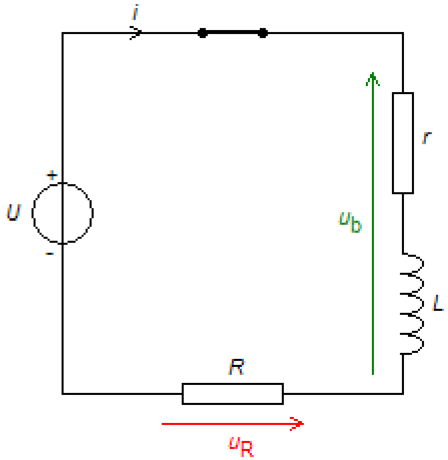
$$i(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t}\right)$$

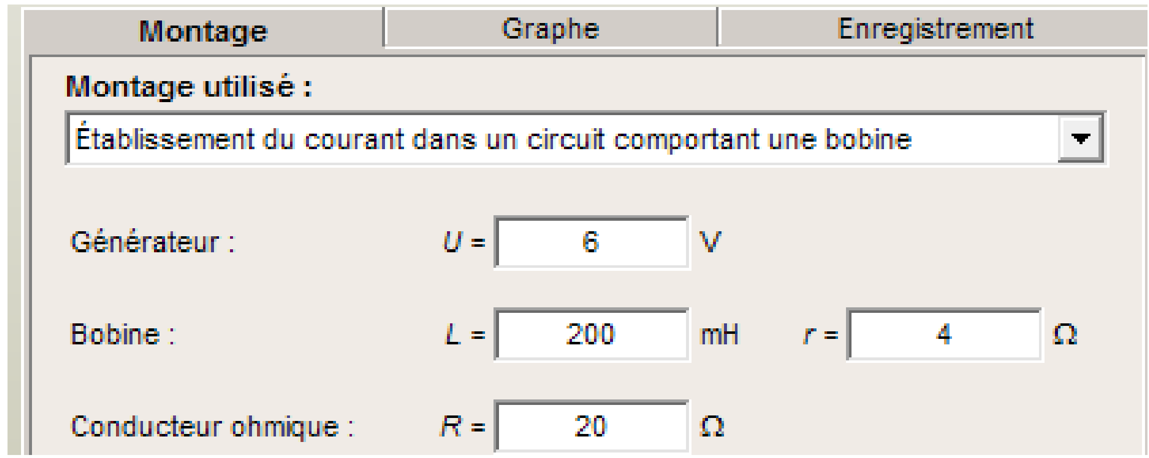
Expression de la tension aux bornes de la bobine en fonction du temps.

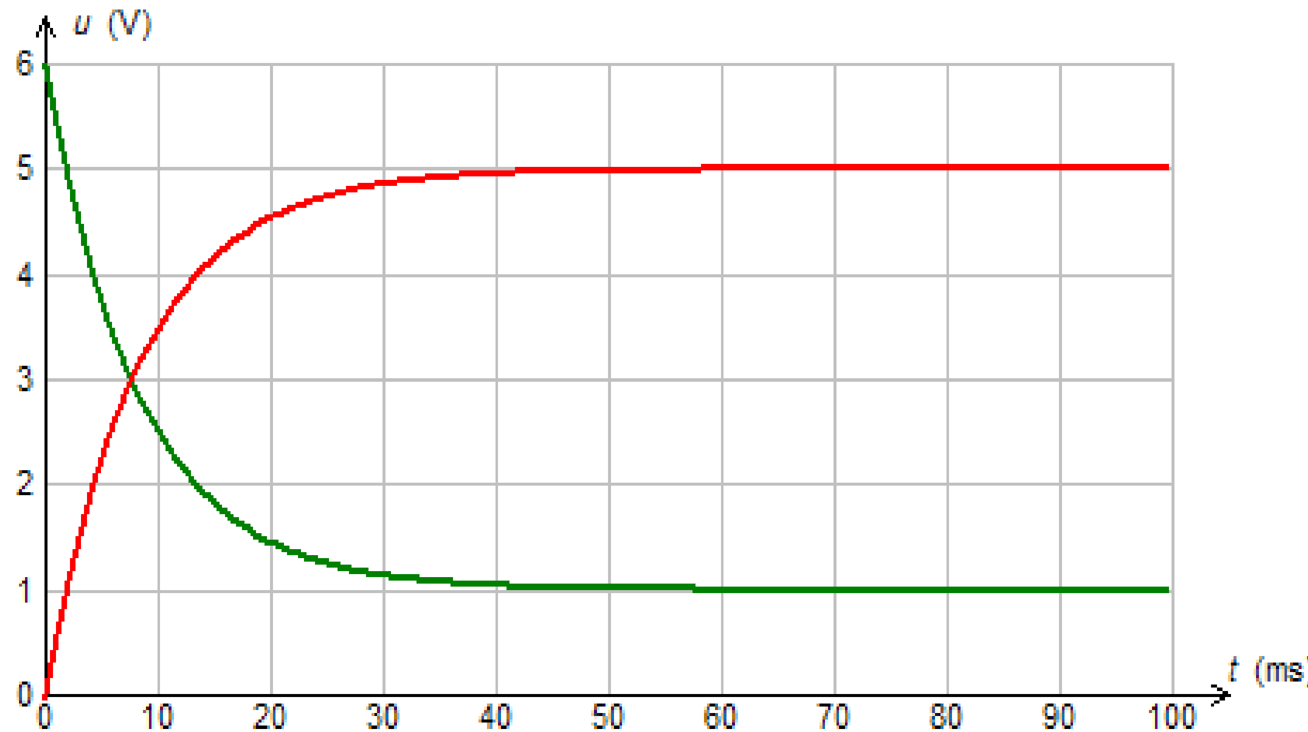
$$u_{AB} = E \cdot \left(1 - \frac{r}{R}\right) \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t} + r \cdot \frac{E}{R}$$

Expression de la tension aux bornes du conducteur ohmique de résistance R', en fonction du temps

$u_{R'} = \left(R' E/R \, (1 - e^{-t/\tau})\right)$


i
U
+
-
r
u_b
L
R
u_R

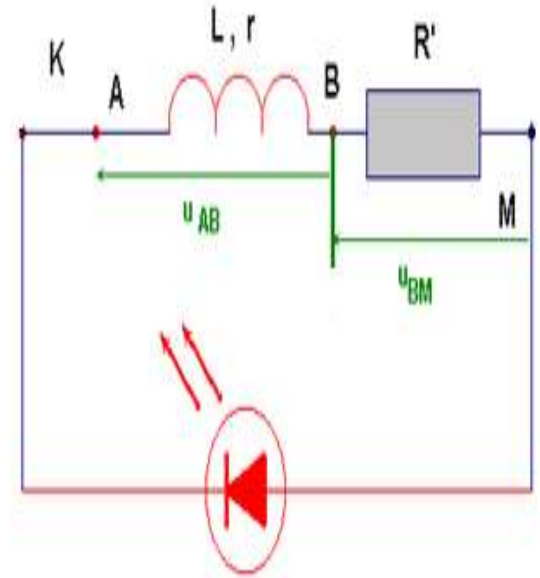

Montage
Graphe
Enregistrement
Montage utilisé :
Établissement du courant dans un circuit comportant une bobine
Générateur : U = 6 V
Bobine : L = 200 mH r = 4 Ω
Conducteur ohmique : R = 20 Ω


u (V)
6
5
4
3
2
1
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
t (ms)

b) A la rupture du courant :on traitera le cas général ou r(résistance de la bobine) est non nulle

- Etude de l'intensité i :
- Loi d'additivité : $u_R + u_B = 0$
- R.i + L.di/dt = 0 avec R=R'+r (1) (équation différentielle pour i)
- solution de l'équation : $i = a + b.e^{-t/\tau}$; $di/dt = -(b.e^{-t/\tau})/\tau$
- (2) $R.(a + b.e^{-t/\tau}) - L.b.e^{-t/\tau}/\tau = 0$
- Ceci est valable quelque soit l'instant t, il faut donc :
- R.a = 0 et R.b – L.b / τ = 0 **alors** a = 0 et τ = L / R
  τ est la constante de temps du dipôle RL .
- Pour déterminer b, on utilise la valeur de i à t = 0 s :
- $i = E / R = b.e^{0}$ **donc** b = E / R

$i = E/R\ e^{-t/\tau}$ avec τ = L / R (en s)

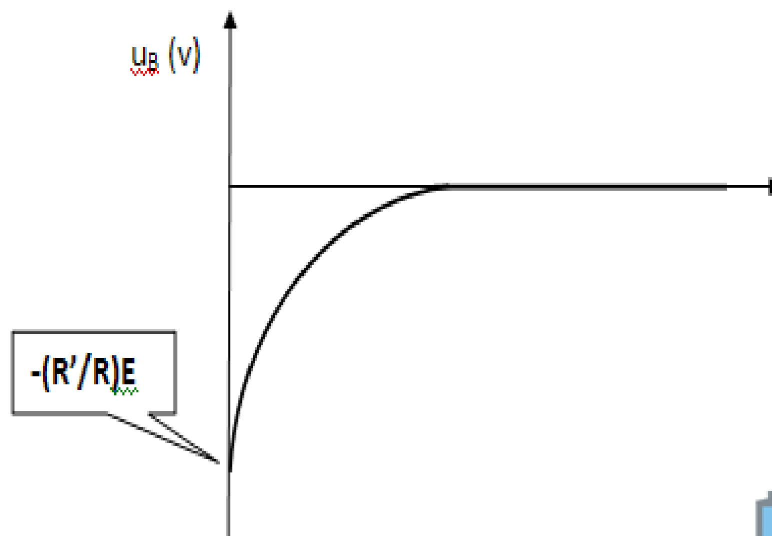


- Etude de la tension u_B :
- $u_B = L.\ di/dt+ri = -L.E/R.[(e^{-t/\tau})/\tau]+rE/R\ e^{-t/\tau}$
- vec τ= L / R

on aura $u_B = -E.e^{-t/\tau} + rE/R\ e^{-t/\tau} = E.e^{-t/\tau}[r/R-1]$

ou R=R'+r

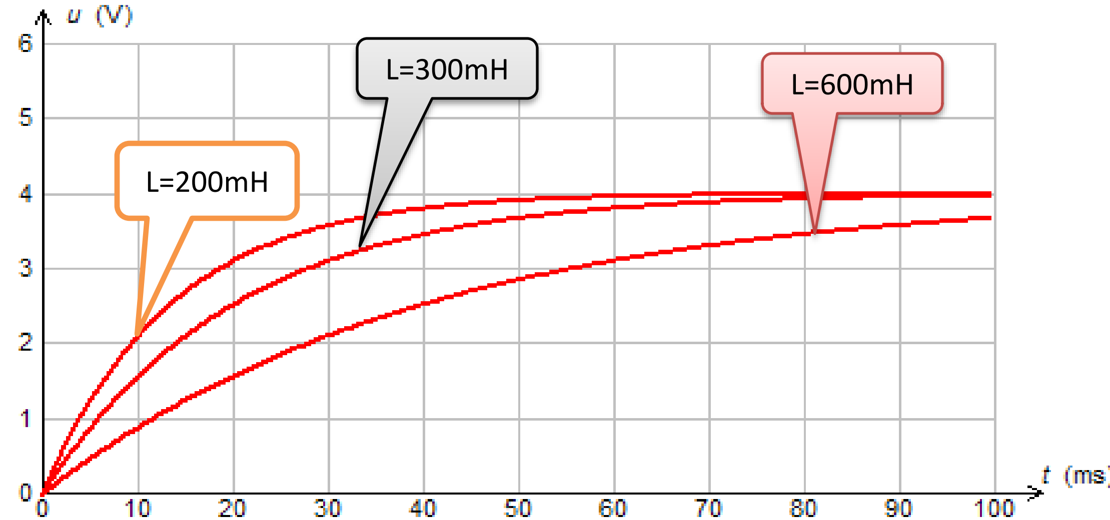
- $u_B = -(R'/R)E.e^{-t/\tau}$



3-Influence des grandeurs R et L sur le régime transitoire

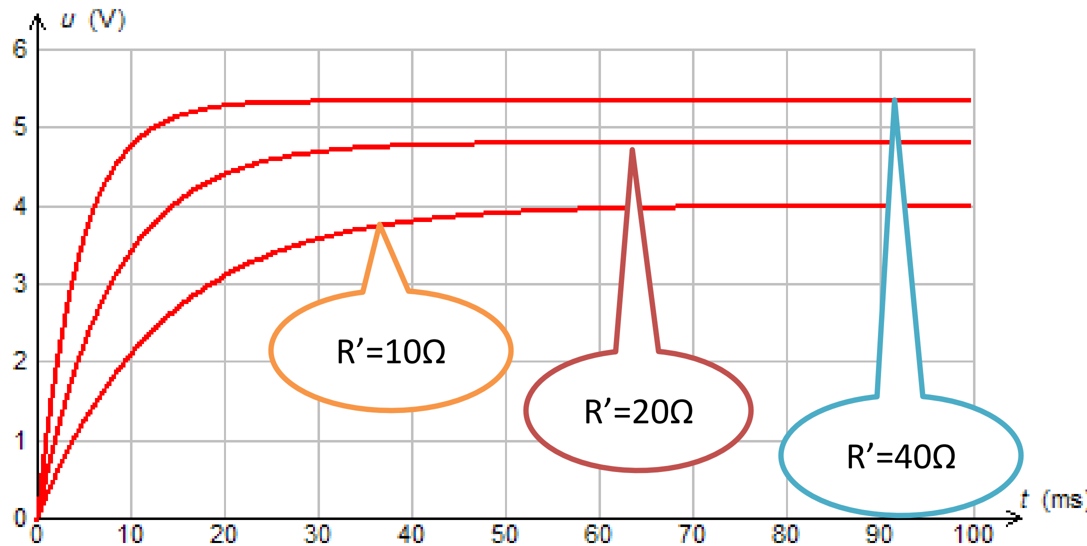
Influence de L

U=6v ;R’=10Ωet r=5Ω



Influence de R

U=6v ;L=200mHet r=5Ω



Détermination graphique de la constante de temps τ

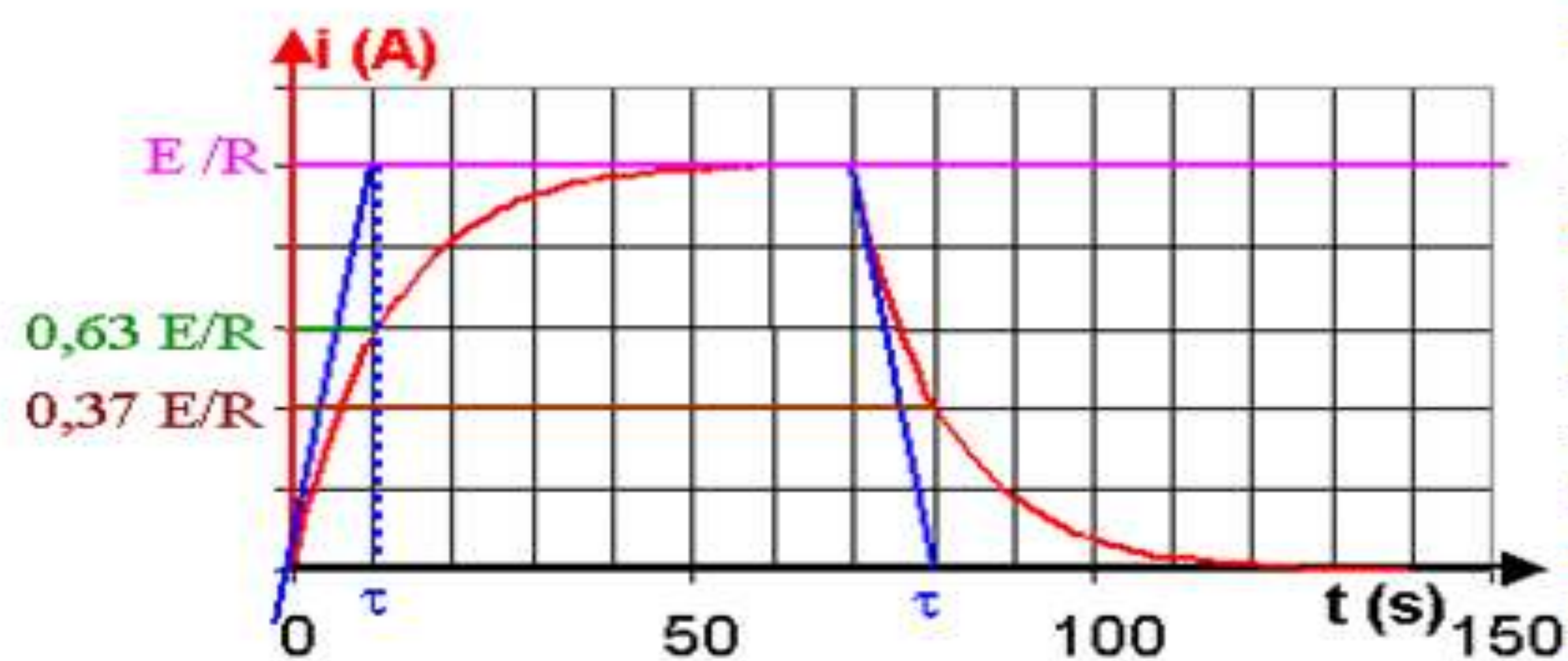
- ***1ère méthode :***

Lors de l'apparition du courant (fermeture du circuit), pour trouver τ, on trace la tangente à l'origine, elle coupe l'asymptote ($i = E/R$) à l'instant τ.

Lors de la disparition du courant, on trace la tangente à la courbe à l'instant t_0 d'ouverture du circuit, elle coupe l'axe des abscisses à l'instant $t_0 + \tau$ (on considère t_0 comme nouvelle origine)

2ème méthode :

Lors de l'apparition du courant, à l'instant t, l'intensité vaut 63% de sa valeur maximale E/R. Lors de la disparition du courant, à l'instant t_0+t, l'intensité vaut 37% E/R.



Dimension de la constante de temps τ du dipôle RL

- $[L / R] = [L] / [R]$ or $R = U / I$ donc $[R] = U.I^{-1}$
- $u_L = L.di/dt$ alors $[L] = U.T.I^{-1}$ **on aura** $[L / R] = (U.T.I^{-1}).(U.I^{-1})^{-1}$

par suite $[L / R] = T$

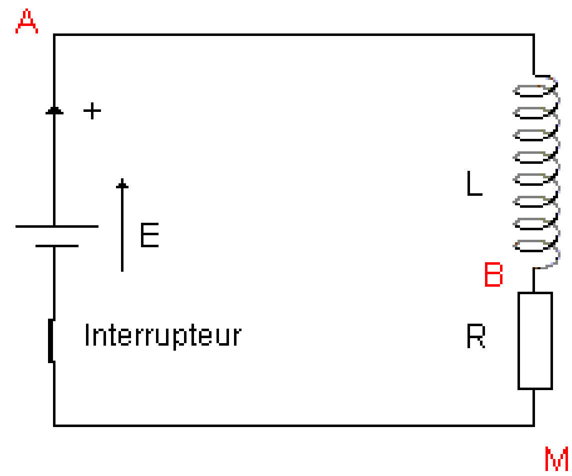
- $\tau = L / R$ a la dimension d'une durée, est appelé constante de temps du dipôle RL et s'exprime en seconde (si R est en ohm (Ω) et L en henry (H)).

NB:
Variation de l'intensité traversant une bobine :
L'intensité traversant une bobine ne subit pas de brusque variation, c'est une fonction continue.

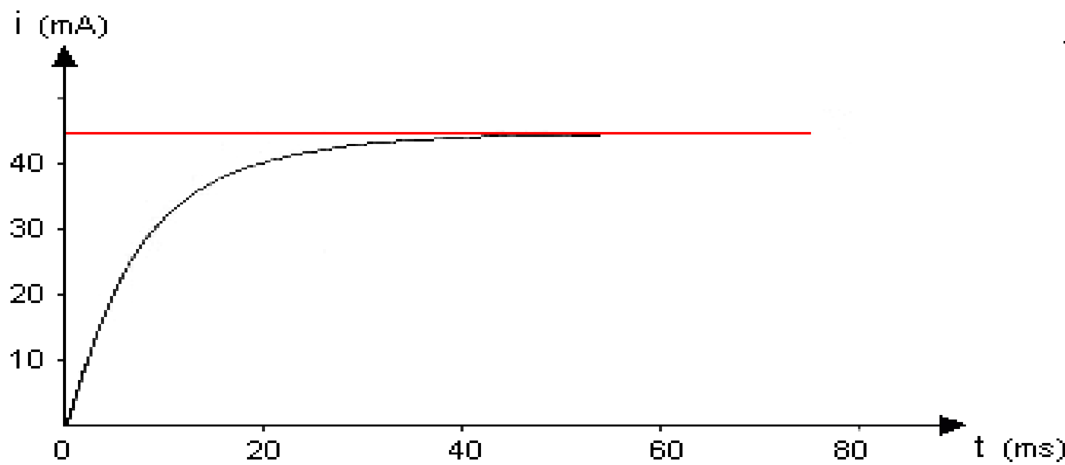
Exercice d'application

ENONCE :

Une bobine AB de résistance négligeable et d'inductance L est placée en série avec un conducteur ohmique BM de résistance R et avec une source de tension parfaite de f e m E. A la date t = 0 un interrupteur permet de fermer le circuit.



Au cours d'une séance de travaux pratiques, on a réalisé la courbe ci-dessous donnant, en fonction du temps t, l'intensité du courant dans le circuit.



·1- Faire un schéma d'un montage expérimental qui permettrait de réaliser cette expérience.
Ecrire l'équation différentielle à laquelle obéit l'intensité i du courant électrique.

·2- Tracer la tangente à la courbe à l'instant t = 0.
En déduire la valeur de la constante de temps τ du circuit. Justifier la réponse.

·3- Indiquer la durée Δt au bout de laquelle l'intensité a atteint 63 % de sa valeur maximale.
Comparer la valeur de Δt à la valeur de τ.

·4- Le générateur délivrait une tension constante E = 5,10 V lors de cet essai.

Déterminer la résistance R du circuit.

·5- En déduire la valeur de l'inductance L.

·6- Calculer l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine lorsque le régime permanent est atteint.