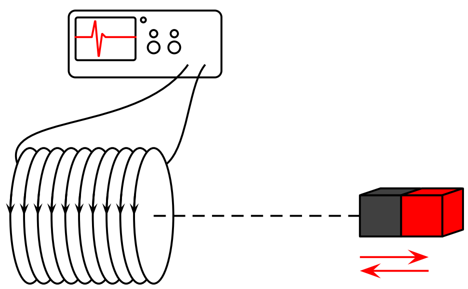
Chapitre I.2

Auto - Induction et couplages inductifs

L'auto induction est le nom du phénomène à l'origine du fonctionnement d'une bobine. Ce chapitre permettra ainsi de démontrer la relation constitutive de ce composant. Ce même phénomène peut également avoir lieu entre deux circuits distincts, auquel cas leurs évolutions temporelles seront couplées. Une application importante de ces concepts est le transformateur, qui permet à la fois d'isoler une partie d'un circuit d'un autre, pour éviter, par exemple, des problèmes de masse en TP, puis surtout de modifier l'amplitude, à la hausse ou à la baisse, d'une tension en régime sinusoïdal forcé.

I Principe de l'induction

I.1 Expérience



Depuis l'expérience d'Ørsted en 1820, on sait qu'un courant électrique, qui circule dans une bobine, génère un champ magnétique. À l'inverse, peut-on faire apparaître un courant à l'aide d'un champ magnétique ?

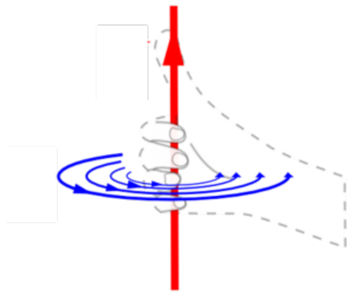
On réalise les observations expérimentales suivantes [*Expérience de Michael Faraday en 1831*] :

- Aimant et bobine immobiles → absence de courant dans la bobine.
- Aimant ou bobine mobile → un courant apparaît.
- Aimant retourné ou déplacé dans le sens opposé → le courant change de signe.

Il y a un phénomène d'induction dans les cas où le circuit est fixe et que le champ magnétique varie au cours du temps, ou bien si le champ magnétique est stationnaire et que le circuit est mobile.

I.2 Calcul de flux magnétiques

Cette année, on se restreint au cas de champs $\vec{B}$ uniformes et de surface plane, donc $\phi = \oiint_{\mathscr{S}} \vec{B} \cdot \overrightarrow{\mathrm{d}S} = \vec{B} \cdot \vec{S} = SB\cos(\vec{B}, \vec{S})$. Le flux d'un champ magnétique s'exprime en weber (Wb).

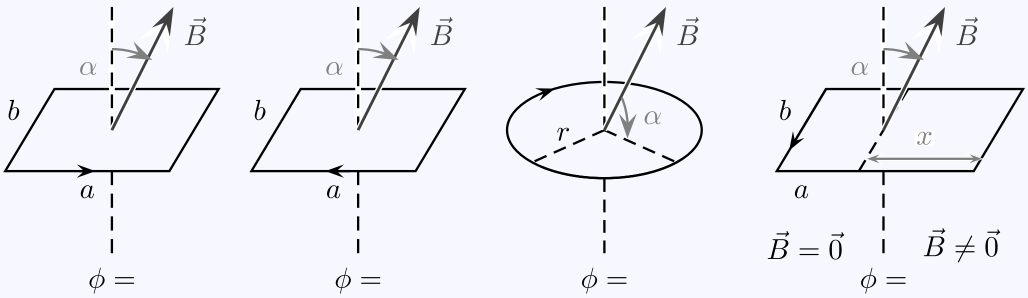


Les différentes étapes pour calculer le flux sont :

1. Faire un schéma clair.
2. Choisir une orientation pour le contour.
3. Orienter le vecteur surface en respectant la règle de la main droite.
4. Représenter l'angle entre le champ magnétique et le vecteur surface.
5. Calculer le produit $\vec{B} \cdot \vec{S}$

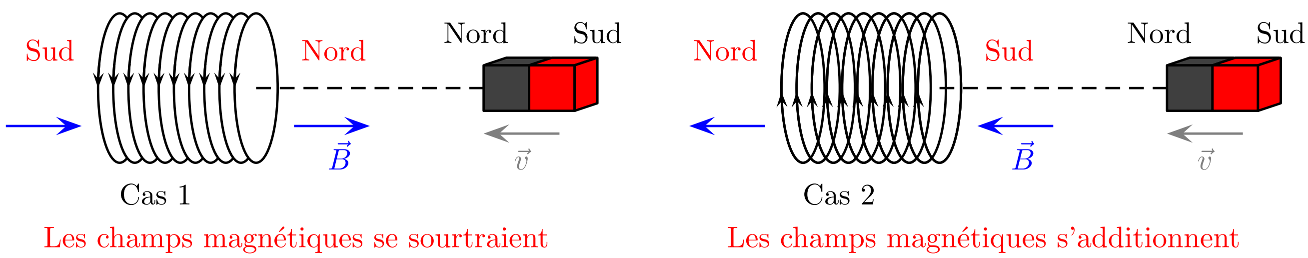
Application de cours n°1

Exprimez le flux de $\vec{B}$ à travers la surface en respectant l'orientation du contour en fonction de B, a, b, r, α, x selon les cas (dans le dernier cas, B n'est présent que dans une partie de l'espace)



I.3 Sens du courant

L'intensité du champ magnétique induit augmente lorsque le pôle nord se rapproche de la bobine. Le courant induit dans la bobine va, lui aussi, générer un champ magnétique. Deux cas sont envisageables :



Dans le second cas, l'utilisation de plusieurs bobines côte à côte permettrait d'atteindre des champs B très intenses sans effort, ce qui serait donc peu probable. La situation observée expérimentalement correspond systématiquement au cas 1 [*Heinrich Lenz 1834*].

***Loi* : Loi de Lenz** | ♡

Les phénomènes d'induction s'opposent (par leurs effets) aux causes qui les ont provoqués .

I.4 Loi de Faraday

Loi : Loi de Faraday | ♡

Un circuit C immobile soumis à un flux magnétique ϕ variable est le siège d'une force électromotrice e, en convention générateur, telle que :

$$e = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$$

Cette f.e.m. va ensuite induire un courant dans le circuit dont l'expression reste à déterminer en fonction des divers composants présents.

Remarques :

- *Le signe − dans la loi de Faraday traduit la loi de Lenz.*
- *Le flux reçu par une bobine longue, constituée de N spires, vaut N fois celui reçu par une seule spire. En effet, $\vec{B}$ est uniforme dans une bobine longue.*
- *En pratique, cette formulation de la loi de Faraday à plutôt été proposée par Oliver Heaviside, vers la fin des années 1860, en honneur de Faraday, qui a mis en évidence les phénomènes d'induction.*

Application de cours n°2

Soit une spire carrée de côté $a = 10\,\mathrm{cm}$ contenue dans le plan xOy. Le champ magnétique est uniforme et s'écrit $\vec{B} = B_0 e^{-t/\tau}\vec{e}_z$, $\forall t \geq 0$, $B = 0$ sinon ($B_0 = 0{,}1\,\mathrm{T}$ et $\tau = 3\,\mathrm{s}$). La résistance totale de la spire est $R = 0{,}1\,\Omega$. Que vaut l'intensité au cours du temps ? Réalisez l'A.N. lorsque ce courant est maximal en valeur absolue.

II Auto-induction

II.1 Définition

Un circuit fermé (bobine, spire) parcouru par un courant crée un champ magnétique. Ce dernier se superpose au champ extérieur. Ainsi, le flux à travers le circuit provient à la fois du champ extérieur (noté $\vec{B}_{\mathrm{ext}}$) et du champ propre (créé par le circuit lui-même et noté $\vec{B}_{\mathrm{p}}$).

Définition

On appelle flux propre, ϕ_p, le flux à travers le circuit qui vient du champ magnétique créé par le circuit lui-même. On le différencie des flux extérieurs, ϕ_ext, générés par d'autres sources de champ magnétique.

Pour une forme de spire quelconque, le champ magnétique $\vec{B}$ créé par la spire est proportionnel à l'intensité parcourant la spire : $\vec{B}(M) = f(M) \times i \times \vec{u}(M)$ où $\vec{u}(M)$ est un vecteur unitaire qui pointe dans la direction du champ et $f(M)$ est une fonction qui ne dépend que de la position. Le flux de $\vec{B}$ à travers le circuit vaut ainsi :

$$\phi_\mathrm{p} = \iint \vec{B}(M)\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \left(\iint f(M) \times \vec{u}(M)\cdot \mathrm{d}\vec{S}\right) \times i$$

Définition

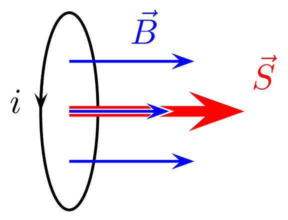
Pour un circuit fermé, on appelle inductance propre le rapport entre le flux propre à travers le circuit et le courant parcourant le circuit, qui est à l'origine du flux :

$$L = \frac{\phi_p}{i} \Leftrightarrow \phi_p = Li \Leftrightarrow L = \frac{\partial \phi}{\partial i}$$

Remarque:

Compte tenu des orientations, si $i > 0$, alors le champ magnétique créé, $\vec{B}$, est orienté selon la règle du tire-bouchon, donc dans le même sens que le vecteur de surface $\vec{S}$. Donc $i > 0 \Rightarrow \phi_\mathrm{p} > 0 \Rightarrow L > 0$

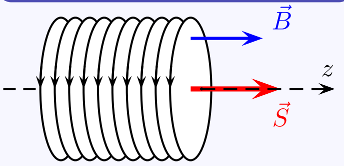
L'unité d'une inductance est le henry (H), en hommage à joseph Henry, qui a été le premier à étudier le phénomène d'induction propre dès 1832.



II.2 Inductance propre d'une bobine de grande longueur

Application de cours n°3

On suppose que la bobine contient $N = 500$ spires uniformément réparties sur une longueur de $h = 25\,\mathrm{cm}$ et d'un rayon de $R = 2{,}5\,\mathrm{cm}$.



1. Établissez le champ $\vec{B}$ créé par la circulation d'un courant d'intensité i dans cette bobine ; on la supposera infiniment longue.
2. Établissez ensuite l'expression du flux propre ϕ_p à travers les N spires de la bobine.
3. En déduire l'inductance de la bobine longue.

Ainsi, l'inductance d'une bobine croît fortement avec le nombre de spires, car $B \propto N$ et $\Phi \propto BN$ soit $L \propto N^2$

Loi : Inductance propre d'un solénoïde (bobine longue) | ♡

Une bobine de longueur h et de rayon R est dite longue dès lors que $h \gg R$. Il règne alors à l'intérieur de cette dernière un champ magnétique uniforme puis son inductance propre est donnée par :

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{h} \pi R^2$$

avec N le nombre de spires.

II.3 Loi caractéristique

Le phénomène d'induction par le champ créé par le circuit lui-même est appelé **auto-induction**. On a ainsi :

$$e = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}Li}{\mathrm{d}t} = -L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

En convention récepteur, on retrouve la loi constitutive d'une bobine de résistance nulle déjà rencontrée cette année : $u_L = +L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$.

Remarques :

- *Dans le cas général, il faut non seulement prendre en compte le flux propre, mais aussi le flux extérieur*

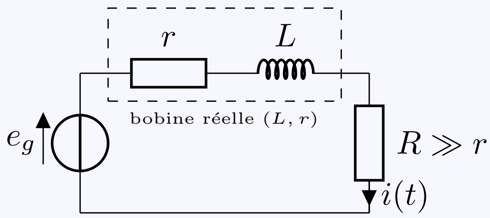
$$e = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t} = -L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} - \frac{\mathrm{d}\phi_{\text{ext}}}{\mathrm{d}t}$$

- *Le phénomène d'auto-induction est très faible pour de petits nombres de spires. C'est pourquoi de nombreux circuits ne comportent pas de bobines, car le phénomène d'auto-induction peut y être négligé.*

Application de cours n°4

On cherche à déterminer l'inductance de la bobine longue à l'aide d'un circuit LR alimenté par un générateur de f.e.m. e_g mis sous tension à $t = 0$.

Établissez l'équation différentielle dont le courant $i(t)$ est solution. En déduire l'expression de l'inductance L en fonction du temps de réponse à 63% τ et réalisez l'A.N. pour $R = 1\,\mathrm{k\Omega}$, $r = 1\,\Omega$ et $\tau = 0{,}1\,\mathrm{ms}$.



Conformément à la loi de Lenz, le flux propre s'oppose aux variations de courant dans le circuit. Sans la bobine, le courant aurait varié instantanément.

II.4 Étude énergétique

On considère le circuit de l'application précédente :

$$ei = L i \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri^2 \Rightarrow \mathscr{P}_G = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}Li^2\right) + \mathscr{P}_R$$

On en déduit l'énergie reçue par la bobine entre t_1 et t_2 :

$$W_{\mathrm{el}} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}Li^2\right)\mathrm{d}t = \frac{1}{2}Li^2(t_2) - \frac{1}{2}Li^2(t_1)$$

Comme pour les forces conservatives, le travail électrique reçu par la bobine entre deux instants ne dépend que des états final et initial du circuit, et non du chemin suivi. On peut donc (re)définir l'énergie présente dans une bobine à un instant donné :

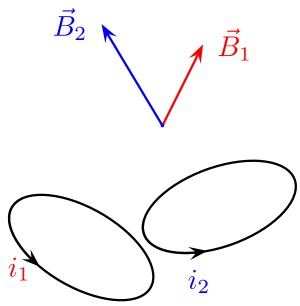
$$\mathscr{E}_L = \frac{1}{2}Li^2$$

Remarques:

- *On sait maintenant que cette énergie est stockée dans le champ magnétique. En effet,* $E_L \propto B^2 > 0$.
- *Il ne faut pas confondre l'énergie* $E_L(t)$ *présente à l'instant* t *avec l'énergie (travail) reçue pendant un régime transitoire,* $W_{\mathrm{el}} = E_L(+\infty) - E_L(0)$.

III Couplage inductif et inductance mutuelle

III.1 Définition



On se place dans un cas où deux circuits électriques sont proches l'un de l'autre.
Le champ magnétique $\vec{B}$ est la superposition des champs créés par les deux circuits, $\vec{B}_1$ et $\vec{B}_2$. On en déduit :

$$\phi_{\mathscr{S}_1,\mathrm{total}} = \underbrace{\phi_{\mathscr{S}_1}(\vec{B}_1)}_{L_1 i_1} + \underbrace{\phi_{\mathscr{S}_1}(\vec{B}_2)}_{M_{21} i_2} \quad ; \quad \phi_{\mathscr{S}_2,\mathrm{total}} = \underbrace{\phi_{\mathscr{S}_2}(\vec{B}_1)}_{M_{12} i_1} + \underbrace{\phi_{\mathscr{S}_2}(\vec{B}_2)}_{L_2 i_2}$$

On admet que le coefficient de proportionnalité est le même dans les deux cas : $M_{21} = M_{12} = M$

Définition

Les flux magnétiques échangés à travers deux circuits $\mathscr{C}_1$ et $\mathscr{C}_2$ s'expriment :

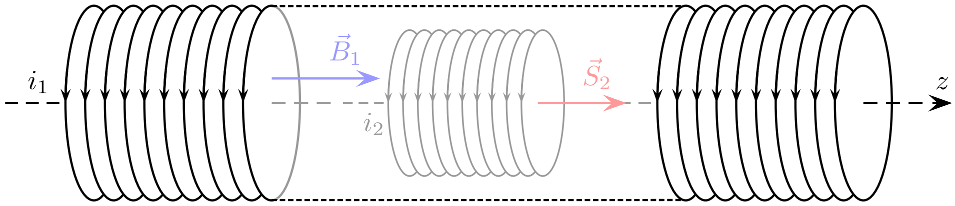
$$\phi_{\mathscr{S}_1}(\vec{B}_2) = \phi_{2\to 1} = Mi_2 \quad ; \quad \phi_{\mathscr{S}_2}(\vec{B}_1) = \phi_{1\to 2} = Mi_1$$

Le coefficient de proportionnalité, appelé inductance mutuelle M, est le même pour les deux circuits. Il s'exprime en henry (H).

Ainsi les deux flux deviennent :

$$\phi_{\mathscr{S}_1,total} = L_1 i_1 + Mi_2 \quad ; \quad \phi_{\mathscr{S}_2,total} = Mi_1 + L_2 i_2 \quad \text{avec} \quad M = \frac{\partial \phi_{S_1}}{\partial i_2} = \frac{\partial \phi_{S_2}}{\partial i_1}$$

Remarque:
L'inductance mutuelle M *peut être positive ou négative et dépend de l'orientation des circuits.*



III.2 Cas de deux bobines en interaction

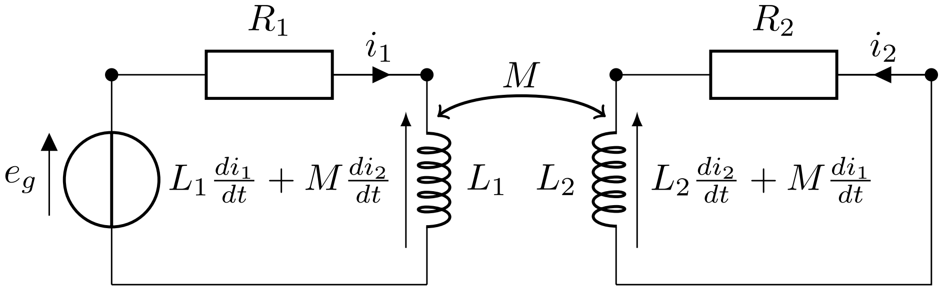
On considère deux bobines de même axe Oz et de grande longueur ($h \gg R$). La deuxième bobine est située à l'intérieur de la première. On note h_k, N_k, S_k et i_k la longueur, le nombre de spires, la surface et l'intensité de la bobine k, avec $S_2 < S_1$ et $h_2 < h_1$. La même orientation est choisie pour les intensités des deux bobines.

Application de cours n°5

1. Exprimez l'inductance mutuelle entre ces deux bobines.
2. Que devient-elle si l'on change l'orientation de i_2 ou de i_1 ?
3. Comparez son carré au produit des deux inductances propres $L_1 L_2$.

Pour des géométries plus complexes, il est souvent très difficile d'exprimer l'inductance mutuelle M.

III.3 Schéma électrique équivalent



On obtient ainsi un système de deux équations à deux inconnues qui peut être résolu soit par la méthode des complexes en RSF, soit par un changement de variable en régime transitoire. Ainsi, dans le cas d'un générateur alimenté par une tension harmonique $e_g = E\cos(\omega t)$, on obtient en RSF pour le courant i_2 dans le circuit de droite :

$$\left\{\begin{array}{rcl} E & = & R_1\underline{i}_1 + j\omega L_1\underline{i}_1 + j\omega M\underline{i}_2 \\ 0 & = & R_2\underline{i}_2 + j\omega L_2\underline{i}_2 + j\omega M\underline{i}_1 \end{array}\right. \Rightarrow \left\{\begin{array}{rcl} E & = & (R_1 + jL_1\omega)\underline{i}_1 + j\omega M\underline{i}_2 \\ \underline{i}_1 & = & \frac{R_2 + jL_2\omega}{jM\omega}\underline{i}_2 \end{array}\right. \Rightarrow \underline{i}_2 = \frac{jM\omega E}{(R_2 + jL_2\omega)\times(R_1 + jL_1\omega) - M^2\omega^2}$$

On obtient alors un comportement de type passe-bande pour le courant i_2. À basse fréquence, il n'y a pas de phénomène d'induction ni de courant dans le circuit secondaire. De plus, à haute fréquence, les bobines se comportent comme des interrupteurs ouverts et le courant cesse de circuler.

III.4 Étude énergétique

Comme souvent, pour mener l'étude énergétique à partir des équations différentielles, on essaie d'obtenir un produit $e \times i$ (puissance électrique) :

Loi : Énergie dans un circuit couplé | ♡

L'énergie magnétique de deux circuits couplés par mutuelle induction est

$$E_{\text{mag}} = \frac{1}{2}L_1 i_1^2 + \frac{1}{2}L_2 i_2^2 + M i_1 i_2$$

Il s'agit en fait de l'énergie liée au champ magnétique ($\propto B^2$) stockée dans l'espace environnant. Elle doit donc être positive pour tous les courants i_1 et i_2. Ainsi, si l'on pose $\alpha = i_1/i_2$, on obtient :

$$\frac{E_{mag}}{(i_2)^2} \geq 0 \Rightarrow L_1\alpha^2 + 2M\alpha + L_2 \geq 0\ ,\ \forall\alpha$$

Pour que cette inégalité soit vérifiée $\forall(i_1, i_2)$, il faut que $\Delta = 4M^2 - 4L_1L_2 \leq 0$ soit au final :

$$M^2 \leq L_1L_2 \Leftrightarrow |M| \leq \sqrt{L_1L_2}$$

Ainsi, l'approche énergétique fixe une limite à la valeur absolue du coefficient de couplage $|M|$. On remarque que ce résultat est cohérent avec la précédente application. En cas d'égalité, on parle de couplage parfait (transformateur).

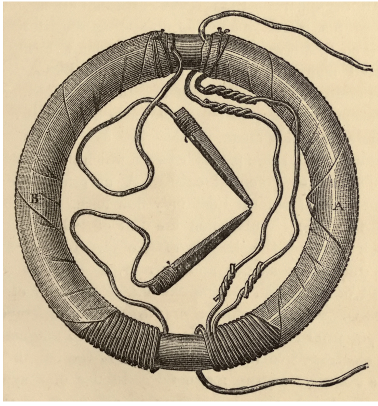
IV Transformateur

IV.1 Constitution et loi des tensions

Un transformateur [*Zipernowsky, Bláthy et Déri vers 1885*] est un appareil permettant de modifier l'amplitude d'une tension et d'un courant en régime sinusoïdal forcé. Il est utilisé, entre autres, pour permettre de changer la tension entre une centrale électrique et les lignes à haute tension,ou pour ramener la tension de 230 V à quelques dizaines de volts

dans un appareil ménager.
Il permet aussi (cf. TP) d'isoler une partie d'un circuit afin de régler d'éventuels problèmes de masse.

Transformateur de puissance (triphasé) ERDF

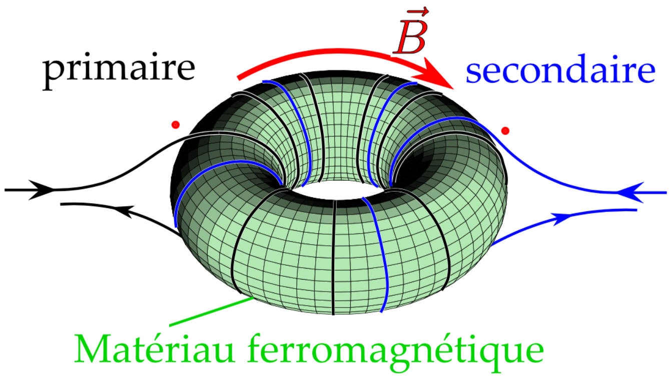


Transformateur de Faraday

Il est généralement constitué d'un matériau ferromagnétique, souvent de forme torique, et de deux fils s'enroulant autour de celui-ci. Chacun des fils se comporte comme une bobine avec N_1 et N_2 enroulements. Le matériau ferromagnétique permet de canaliser les lignes de champ.

Ici, les circuits électriques sont orientés dans le même sens : ils créent tous les deux un champ magnétique (algébrique) qui tourne dans le sens horaire [a].

a. Cela est vrai lorsque les deux courants ont le même signe. Pour un fonctionnement usuel, la loi de Lenz implique $i_2 i_1 < 0$ en l'absence d'autre générateur côté secondaire.



Le matériau ferromagnétique sert à canaliser complètement les lignes de champ à travers le circuit magnétique, donc le flux à travers chacune des spires de l'enroulement un est le même que celui à travers chacune des spires de l'enroulement deux.

Si on appelle ϕ_0 le flux à travers une spire, alors les flux à travers les enroulements 1 et 2 sont :

$$\phi_1 = N_1\phi_0 \quad \text{et} \quad \phi_2 = N_2\phi_0$$

En utilisant la loi de Faraday, les forces électromotrices en convention générateur sont donc :

$$e_1 = -N_1\frac{\mathrm{d}\phi_0}{\mathrm{d}t} \quad \text{et} \quad e_2 = -N_2\frac{\mathrm{d}\phi_0}{\mathrm{d}t}$$

Puisque le flux par spire est le même, $\frac{e_2}{e_1} = \frac{N_2}{N_1} = m = \frac{u_2}{u_1}$, où m est appelé le rapport de transformation. Cela n'est vrai qu'en régime alternatif,car on a divisé par $\dfrac{\mathrm{d}\phi_0}{\mathrm{d}t} \neq 0$.

Loi : Rapport de transformation | ♡

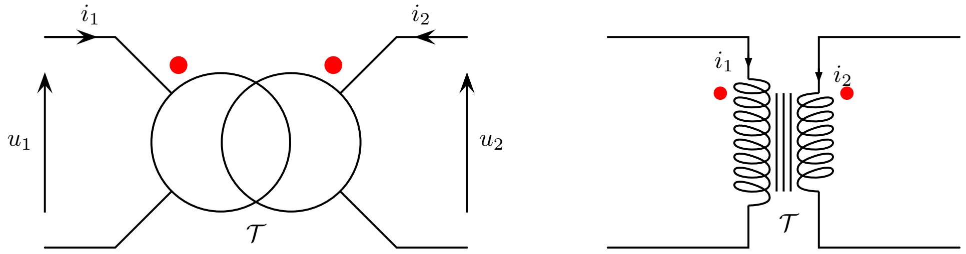
Dans un transformateur en régime alternatif avec un nombre de spires N_1 au primaire et N_2 au secondaire, les tensions v_1 et v_2 sont reliées par la relation

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{N_2}{N_1} = m \qquad ; \qquad m \text{ est appelé rapport de transformation}$$

Un transformateur ne laisse pas passer le courant continu.

IV.2 Schéma électrique

Il existe deux symboles pour représenter un transformateur sur un schéma électrique. Deux possibilités existent pour le sens d'enroulement des spires. On représente donc par un point la position où les courants entrants sont positifs.



Dans l'exemple précédent, les deux bobinages sont dans le même sens; les points se situent donc tous deux du même côté. En inversant le secondaire, les flux reçus par chaque spire seraient de sens opposés (orientations des surfaces différentes). On obtiendrait ainsi $\frac{v_2}{v_1} = -\frac{N_2}{N_1} = -m$

Dans le cas où le transformateur est idéal (pas de pertes d'énergie), l'énergie reçue par le bobinage un est transmise au bobinage deux, qui se comporte alors comme un générateur (ce qui revient à dire que la somme algébrique des puissances reçues est nulle). Ainsi :

$$+u_1 i_1 = -u_2 i_2 \Rightarrow \frac{i_2}{i_1} = -\frac{N_1}{N_2}$$

IV.3 Courants de Foucault

Dans un matériau conducteur non filiforme comme le fond d'une casserole par exemple, on peut imaginer des contours fermés. Si le matériau est soumis à un champ magnétique variable, alors sur chacun des contours fermés, il est possible de calculer une variation de flux magnétique et donc une force électromotrice induite. Le matériau étant conducteur, des courants vont apparaître et circuler dans le volume, tournant autour des lignes de champ : c'est ce que l'on appelle les courants de Foucault [*Léon Foucault en 1851*].

Ces courants vont dissiper de l'énergie par effet Joule ce qui peut être :

- l'effet recherché : chauffage par induction, freinage de camion par courant de Foucault
- un effet parasite : transformateur

Si on considère une boucle de courant circulaire de rayon h, alors l'énergie dissipée par effet Joule est $\frac{e^2}{R} = \frac{e^2}{\alpha h}$, mais la force électromotrice est proportionnelle au flux, et donc à la surface πh^2. Ainsi, la puissance dissipée par une boucle de rayon h dans notre modèle simple est proportionnelle à $\frac{h^4}{h} = h^3$.

Pour limiter les courants de Foucault dans les transformateurs, on vise à réduire au maximum le rayon des boucles de courant et, pour ce faire, on utilise du fer feuilleté. Il s'agit de fines lamelles de fer séparées par une très fine couche d'isolant.

Éléments essentiels du chapitre I.2

- ⋆ **Loi de Lenz :** Les phénomènes d'induction s'opposent (par leurs effets) aux causes qui les ont provoqués .
- ⋆ **Loi de Faraday (conv. générateur.) :** $e = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- ⋆
  - Flux magnétique créé par un champ extérieur : $\vec{B}_{\text{ext}} \rightarrow \phi_{\text{ext}}$.
  - Flux magnétique créé par le circuit lui-même : $i \rightarrow \vec{B}_{\text{p}} \rightarrow \phi_{\text{p}}$).
  - Flux total : $\phi = \phi_{\text{p}} + \phi_{\text{ext}}$
- ⋆ **Définition de l'inductance :** $L = \frac{\phi_p}{i} \Leftrightarrow \phi_p = Li \Leftrightarrow L = \dfrac{\partial \phi}{\partial i}$
- ⋆ **Circuits couplés :** $\phi_{\mathscr{S}_1,total} = L_1 i_1 + M i_2$; $\phi_{\mathscr{S}_2,total} = M i_1 + L_2 i_2$ avec $M = \dfrac{\partial \phi_{S_1}}{\partial i_2} = \dfrac{\partial \phi_{S_2}}{\partial i_1}$
- ⋆ **Valeur limite pour l'inductance mutuelle :** $M^2 \leq L_1 L_2 \Leftrightarrow |M| \leq \sqrt{L_1 L_2}$
- ⋆ **Transformateur idéal :** $\frac{v_2}{v_1} = \frac{N_2}{N_1} = m$; m est appelé rapport de transformation

Conseils & méthodes

Dans le modèle du transformateur idéal, on suppose que le couplage est parfait : $M^2 = L_1 L_2$. Lorsque ce dernier est placé dans une maille comportant plusieurs dipôles, il ne faudra pas hésiter à utiliser cette relation aux niveaux primaire et secondaire.

Il ne faut surtout pas compter deux fois une bobine dans un circuit électrique. **Soit** vous utilisez la f.e.m. d'induction $e = -L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ avec le symbole d'un générateur, **soit** vous utilisez la bobine avec son symbole habituel et donc $u_L = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ en convention récepteur. Il en va de même en cas de couplage avec un autre circuit.

L'étude de circuits couplés doit être maîtrisée : il faut appliquer la loi des mailles à chaque maille (en général, deux) et surtout ne pas oublier le terme de couplage M. Faites attention aux conventions sur les signes ! Une fois les équations couplées obtenues, on les résout soit en RSF (méthode des complexes) soit en effectuant des combinaisons linéaires des courants pour obtenir deux équations découplées ($s = i_1 + i_2$ et $d = i_1 - i_2$ si les circuits sont symétriques par exemple).

Une fois vos calculs terminés, vérifiez toujours que la loi de Lenz est bien respectée. Le courant induit dans un circuit doit engendrer un champ magnétique dont le flux va atténuer la variation du flux induit par le champ magnétique extérieur.

- — Si le flux extérieur est constant, il n'y a pas de phénomène d'induction.
- — Si le flux extérieur augmente, un champ magnétique opposé apparaît pour réduire le flux total.
- — Si le flux extérieur diminue, un champ magnétique de même sens apparaît pour compenser cette diminution.

En pratique, le sens du courant peut être choisi arbitrairement (grandeur algébrique). Ce choix va jouer sur le signe du flux (orientation du circuit) et sur la f.e.m. induite e (convention générateur qui dépend du sens du courant). En pratique, un autre choix d'orientation du courant aboutira au même résultat physique.

Si l'exercice ne vous impose pas d'orientations pour les courants, c'est à vous d'en choisir une et de vous y fier. Privilégiez celle pour laquelle les dipôles seront dans leurs conventions naturelles : générateurs en convention générateurs et récepteurs (résistors, condensateurs, bobines, diodes, ...) en convention récepteur.

Remarques & Notes personnelles