Electif SMART GRID

TEA No 6

Influence des niveaux de tension en Basse Tension

Rappels d'électromagnétisme pour la conception de transformateur

Comparaison du réseau électrique basse tension en Europe et aux USA

Depuis la création de leur réseau électrique en basse tension, les Etats-Unis ont conservé leur tension originelle à savoir les 110 volts déterminés par Thomas Edison. Il s'agissait alors de la tension optimale pour le matériel utilisé à l'époque. Dans les années 1960, la décision fut prise en Europe de basculer sur les 220 volts pour des raisons économiques. Essayons de comprendre pourquoi.
Considérons deux maisons équipées chacune d'un compteur de 6kVA. Elles sont alimentées par une ligne de 500 m présentant une résistance de 0,5 Ohm/km.

1) Comparez les pertes par effet Joule de la ligne aux USA et en Europe ainsi que par rapport à la puissance demandée par le quartier.
2) Déterminez le niveau de tension au départ (*V*) et son élévation en % pour les deux cas.
3) Aujourd'hui, les niveaux de tension sont de 120V et 230V, quantifier l'intérêt pour le gestionnaire de réseaux de cette augmentation pour le cas de ces deux maisons.

Théorème d'Ampère

L'équation de Maxwell :

$$rot\overrightarrow{H} = \vec{j} + \frac{\partial \overrightarrow{D}}{\partial t}$$

se simplifie en électrotechnique où l'on peut négliger le courant de déplacement *D*. Ainsi, cette équation devient :

$$rot\overrightarrow{H} = \vec{j}$$

L'intégration de cette relation conduit au théorème d'Ampère.
Soit un contour Γ fermé et orienté de l'espace définissant une surface orientée par un vecteur normal $\vec{n}$. La circulation du champ magnétique le long de Γ est égale à la somme algébriques des intensités enlacées par:

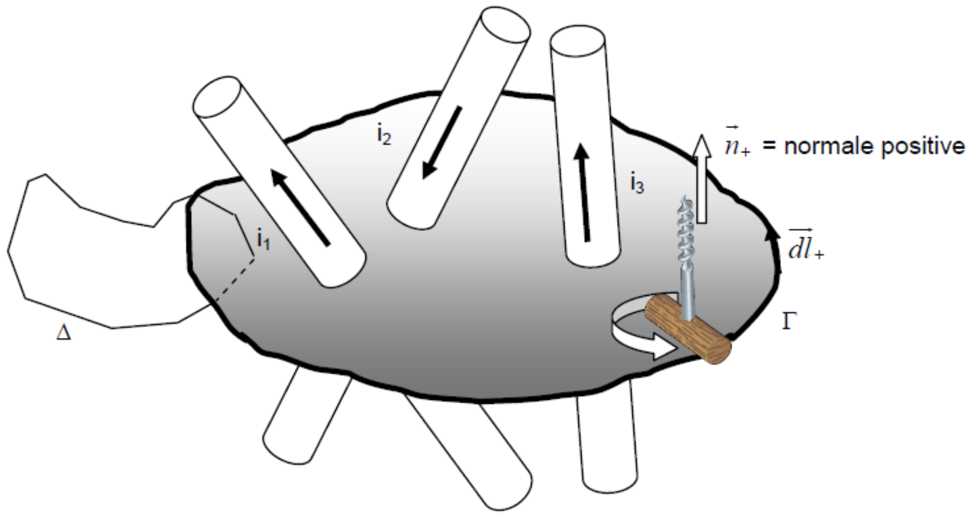
$$\begin{aligned}\oint_{\Gamma} \vec{H}.\mathrm{d}\vec{l} &= \iint_{\Sigma} \overrightarrow{\mathrm{rot}}(\vec{H}).\overrightarrow{\mathrm{d}^2 S} \\ &= \iint_{\Sigma} \vec{j}.\overrightarrow{\mathrm{d}^2 S} \\ &= \sum_k \epsilon_k i_k\end{aligned}$$

- si i_k a le même sens que $\vec{n}$: $\epsilon_k = 1$
- si i_k n'a pas le même sens que $\vec{n}$: $\epsilon_k = -1$
- si i_k n'est pas enlacé par Γ : $\epsilon_k = 0$

La somme algébrique des courants est appelée « force magnétomotrice »: $\mathcal{E}$.

La circulation du vecteur excitation magnétique H le long d'une ligne de champ Γ fermée entourant un conducteur (ou des conducteurs) parcouru par un courant i (ou des courants) est égale à la somme algébrique des intensités électriques traversant une surface quelconque supportée par ce contour (Γ).

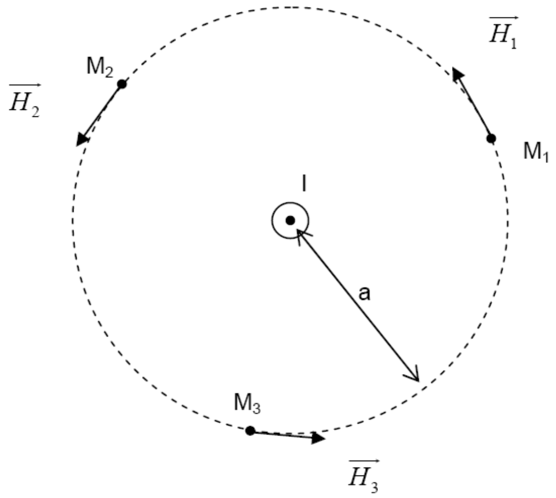
Exercice 1:



1) Sur le contour fermé Δ, démontrez que cette intégrale est nulle.
2) Sur le contour fermé orienté Γ dont le sens conduit au sens positive du vecteur excitation (H), montrez que le calcul de l'intégrale conduit à $\oint_\Gamma \vec{H} \cdot \overrightarrow{dl} = i_1 - i_2 + i_3$

Excitation magnétique créée par un fil de longueur infini parcouru par un courant

Considérons un fil électrique de longueur infinie perpendiculaire au plan de cette feuille de papier et parcouru par un courant constant. Les lignes de champ magnétique sont des cercles centrés sur le fil. La valeur de l'excitation magnétique H est constante sur une ligne d'induction de rayon a.

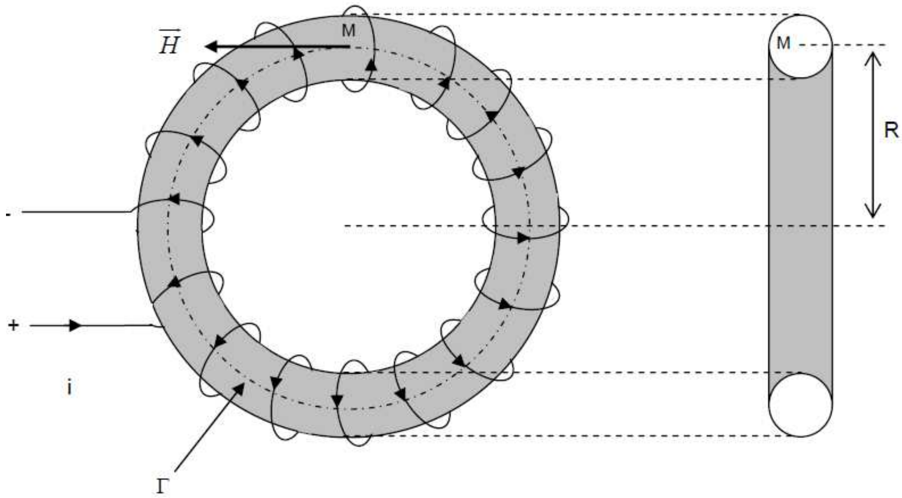


Exercice 2:

Démontrez que l'excitation magnétique vaut : $H = \dfrac{I}{2\pi\,\mathrm{a}}$.

Excitation magnétique créée dans un solénoïde torique

Considérons un bobinage parcouru par un courant *i*, régulier de *n* spires, réalisé sur un noyau en forme de tore et de nature quelconque.

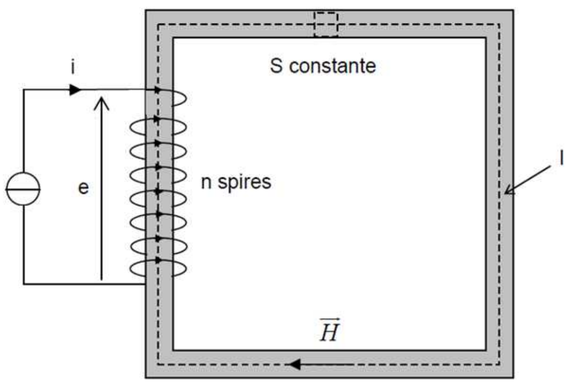


Exercice 3: En choisissant comme ligne d'induction Γ la ligne moyenne du tore, de r ayon R (en supposant le matériau homogène et isotrope), montrez que l'excitation magnétique vaut :

$$H = \frac{n\,i}{2\pi\,R}$$

F.é.m. d'auto-induction

Tout circuit électrique parcouru par un courant crée une f.é.m. d'auto-induction qui s'oppose à la source d'alimentation. Cet effet est beaucoup plus grand s'il s'agit d'une bobine (effet multiplié par le nombre de spires) et si les spires sont bobinées sur un noyau en fer qui concentre mieux le flux que l'air. Considérons une bobine autour d'un noyau de section S constante et de longueur moyenne alimentée par une source de courant variable *i(t).*



Exercice 4:

1) En appliquant le théorème d'Ampère, montrez que l'expression de l'excitation sur le contour Γ vaut $H(t) = \frac{n}{l}\,i(t)$.
2) Déterminez la relation entre le flux qui traverse le circuit et le champ d'excitation.
3) En utilisant la loi de Faraday, déterminez l'expression de la force électromotrice induite (*e(t)*) en fonction du courant *i(t).*

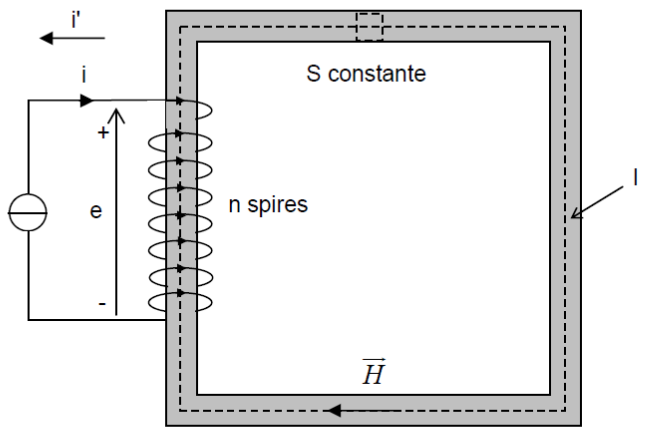
Le facteur de proportionnalité s'appelle l'inductance propre. En déduire son expression.

4) Le courant est sinusoïdal de fréquence 50Hz et de valeur efficace I_{eff}, déterminez l'expression temporelle de la f.e.m. *e(t).*
5) Proposez une représentation vectorielle (de Fresnel) de ce courant et de cette tension.

Loi de Hopkinson et Réluctance

On peut utiliser l'analogie dite "analogie de Hopkinson" (ou encore loi de Hopkinson) pour la mise en équation des circuits magnétiques afin de calculer les ampères tours nécessaires pour l'obtention d'un champ d'induction *B* donné ou inversement. Cette analogie ramène le calcul d'un circuit magnétique au calcul d'un circuit électrique, en considérant des quantités équivalentes. Il suffit, dès lors, d'appliquer les lois de Kirchhoff.

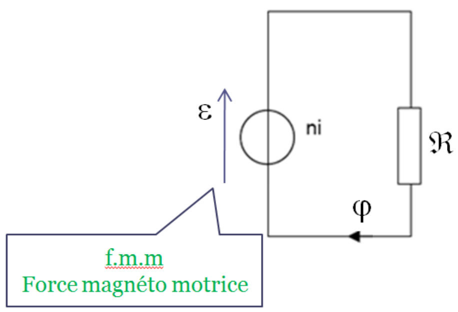
Exercice 5: Le circuit magnétique possède une maille de longueur *l*, de section *S*, constituée d'un matériau unique de perméabilité magnétique μ. Les *n* spires sont parcourues par un courant variables *i(t).*



On considère l'analogie suivante :

Magnétisme	$\leftrightarrow$	Electricité
Force magnétomotrice ε	$\leftrightarrow$	Source de tension ε
Flux φ	$\leftrightarrow$	Courant i
Réluctance $\mathscr{R}$	$\leftrightarrow$	Résistance $\mathscr{R}$

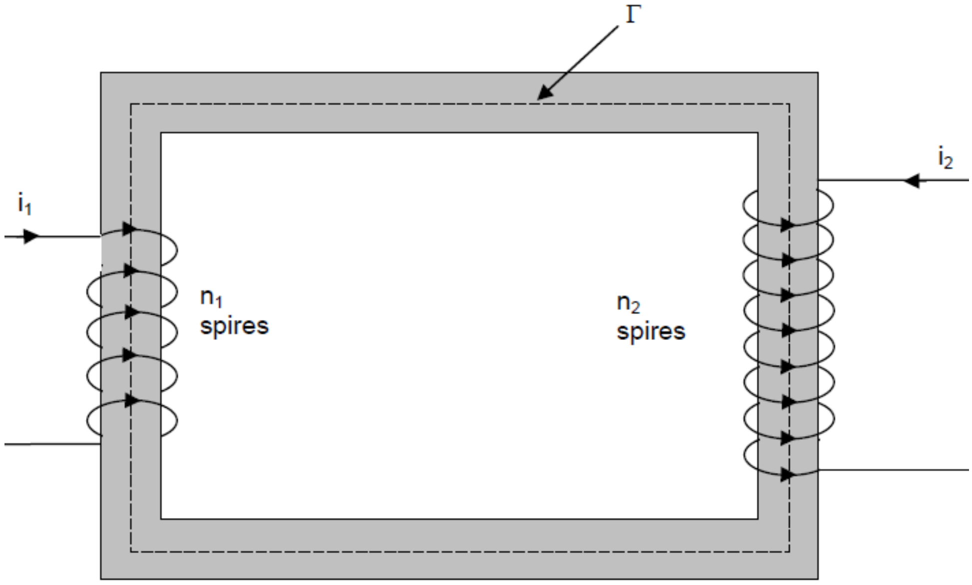
1) En appliquant les lois de Kirchhoff sur le circuit électrique équivalent suivant, établissez la relation d'Hopkinson : $\Re.\varphi = \varepsilon$.



2) Déterminez l'expression de la réluctance (en H^{-1}) en fonction de l'inductance.

Excitation magnétique
créée dans un circuit magnétique de transformateur

Considérons un circuit magnétique sur lequel est définit une ligne d'induction moyenne de longueur l et un sens positif sur Γ : le sens des aiguilles d'une montre.

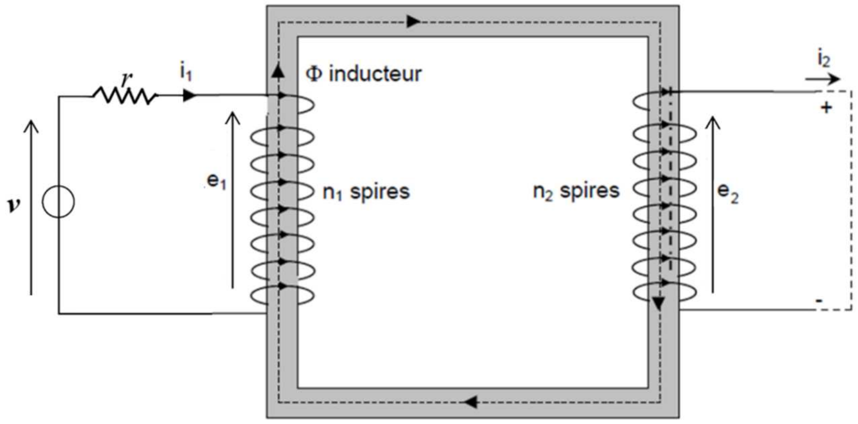


Les courants seront comptés positivement d'après la règle du tire-bouchon de Maxwell : si le tire-bouchon, que l'on tourne dans le sens de rotation de l'intensité, s'enfonce suivant le sens positif sur Γ, alors l'intensité est comptée positivement, négativement sinon. Le noyau est homogène et donc H est la même partout.

Exercice 6 : En appliquant le théorème d'Ampère, donnez l'expression de l'excitation sur le contour Γ

F.é.m. de "transformation" produite par une variation du flux "embrassé"

Une f.é.m. peut être créée aux bornes d'un circuit en faisant varier le flux qui le traverse par un moyen extérieur. Un noyau ferromagnétique sur lequel on a bobiné :
- un circuit électrique n°1 comportant n_1 spires parcourues par un courant i_1 **alternatif,**
- un circuit n°2 comportant n_2 spires en circuit ouvert.



Le flux alternatif *Φ,* dû à la circulation de i_1, traverse les deux circuits (on admet qu'il n'y a pas de fuites de flux magnétique dans l'air). Il apparaît donc aux bornes du circuit n°2 une f.é.m. e_2 dite "de transformation".

Exercice 7 :

1) Déterminez son expression.
2) Montrez que le rapport entre les deux f.e.m. d'auto induction encore appelé rapport de transformation est constant.

Les polarités instantanées de e_1 et de e_2 sont représentées sur la figure. Bien évidemment, une demi période plus tard, il faudrait tout inverser. La polarité de e_2 s'explique en considérant que si l'on fermait le circuit n°2, il circulerait un courant i_2 qui créerait un flux induit antagoniste à *Φ*.

Si le circuit n°2 était fermé, le flux "commun" aux deux circuits ne serait plus seulement constitué par le flux inducteur créé par le circuit n°1.