

Induction électromagnétique

Flux du champ magnétique

$$\Phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} \, ds$$

Φ flux du champ magnétique \vec{B} à travers une surface Σ , ds élément de surface
 \vec{n} vecteur unitaire normal à la surface

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{n} S$$

Cas d'une surface plane d'aire S dans un champ uniforme

Phénomène d'induction électromagnétique

Induction électromagnétique : apparition d'un courant électrique, appelé **courant induit**, dans un circuit placé dans un champ magnétique \vec{B} , lorsque le flux de \vec{B} à travers la surface du circuit varie. Deux causes possibles :

- champ magnétique variable au cours du temps ;
- circuit non fixe (se déplace, tourne autour d'un axe, se déforme).

Cas de Neumann : circuit fixe dans un champ magnétique variable.

Cas de Lorentz : circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire.

Cas général : variation du champ *et* mouvement du circuit. Un même phénomène peut être interprété différemment selon le référentiel utilisé.

Loi de modération de Lenz

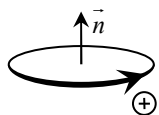
Le sens du courant induit est tel qu'il tend à s'opposer à la cause initiale :

- dans le cas d'un champ magnétique variable, le champ créé par le courant induit lui-même s'oppose à la variation du champ initial ;
- dans le cas d'un circuit mobile, les forces de Laplace dues au courant induit s'opposent au mouvement initial du circuit.

Loi de Faraday

$$e_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

e_{ind} **force électromotrice (FÉM) induite** (ou **d'induction**) dans un circuit



Φ flux du champ \vec{B} à travers la surface délimitée par le circuit, orientée en fonction du sens positif choisi sur le circuit (pour orienter la FÉM induite et le courant)

Auto-induction

Lorsque le courant dans une bobine est variable, le flux du champ magnétique créé par la bobine elle-même, dit **flux propre**, est variable, ce qui induit dans la bobine une **FÉM d'auto-induction** s'opposant à la variation de courant.

$$\Phi = Li$$

Φ flux propre, i intensité dans la bobine

L **inductance propre** de la bobine (positive)

$$e_{\text{ind}} = -L \frac{di}{dt}$$

e_{ind} FÉM d'auto-induction, orientée dans le même sens que l'intensité i

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

Cas d'un solénoïde de longueur ℓ , de section S , ayant N spires, μ_0 perméabilité du vide
 n nombre de spires par unité de longueur

$$L \sim 10^{-3} \text{ à } 10^{-1} \text{ H}$$

Ordre de grandeur de l'inductance d'une bobine usuelle (sans noyau de fer)

Bobines en interaction

$$\Phi_{12} = M i_1$$

Φ_{mn} flux du champ créé par le courant i_m (dans la bobine m) à travers la bobine n

$$\text{et } \Phi_{21} = M i_2$$

M **inductance mutuelle** (signe dépendant de l'orientation relative des deux circuits)

Inégalité de couplage (égalité dans le cas de l'influence totale ou couplage parfait)

$$M^2 \leq L_1 L_2$$

L_n inductance propre de la bobine n

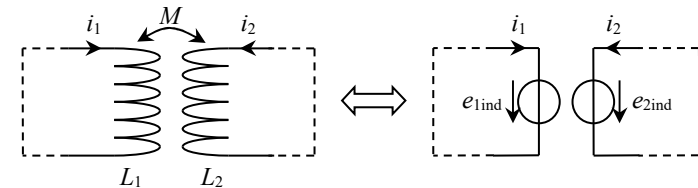
$$M = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{\ell} S$$

Cas de deux solénoïdes de longueur ℓ en influence totale, orientés dans le même sens

N_m nombre de spires du solénoïde m

Circuits électriques couplés par inductance mutuelle

Schéma électrique équivalent



$$e_{1\text{ind}} = - \frac{d\Phi_1}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$e_{2\text{ind}} = - \frac{d\Phi_2}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

$e_{1\text{ind}}$ et $e_{2\text{ind}}$ FÉM d'induction dans les deux circuits, orientées comme les intensités des courants i_1 et i_2 , et dues à la fois aux flux propres et aux flux mutuels

Transformateur

Un **transformateur** comporte deux bobines, le **primaire** (N_1 spires) et le **secondaire** (N_2 spires), enroulées sur une même carcasse en fer doux. Quand le primaire est soumis à une tension variable, il crée un champ magnétique variable qui traverse le secondaire, où apparaît donc une tension induite.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Loi du transformateur parfait
 U_1, U_2 amplitudes des tensions du primaire et du secondaire

Autres appareils avec induction de Neumann

Appareils avec bobines émettrice et réceptrice : boucle auditive (émettrice dans les murs d'une pièce, réceptrice dans une prothèse), détecteur de métaux, appareil de contrôle de pièces métalliques.

Appareil avec bobine émettrice et masse métallique : chauffage par induction.

FÉM induite d'un circuit mobile dans un champ fixe

$$e_{\text{ind}} = \pm v B \ell$$

Cas des rails de Laplace
 v, ℓ vitesse et longueur de la barre

$$e_{\text{ind}} = B S \omega \sin(\omega t + \varphi)$$

Cas d'une spire rectangulaire d'aire S en rotation à la vitesse angulaire ω , autour d'un axe orthogonal au champ \vec{B}

Bilan énergétique dans le cas de Lorentz

$$\mathcal{P}_{\text{Laplace}} + \mathcal{P}_{\text{fém}} = 0$$

$\mathcal{P}_{\text{Laplace}}$ puissance des forces de Laplace
 $\mathcal{P}_{\text{fém}}$ puissance fournie par la FÉM induite

Appareils usuels avec induction de Lorentz

Conversion de puissance mécanique en puissance électrique : génératrice de courant électrique, microphone électrodynamique.

Conversion de puissance électrique en puissance mécanique : moteur à courant continu (lecteur de disques, démarreur de voiture, modélisme, outillage, gros engin de levage ou d'enroulage), haut-parleur électrodynamique.

Courants de Foucault

Les **courants de Foucault** sont des courants induits dans tout le volume d'un conducteur non filiforme :

- carcasse en fer d'un transformateur (d'où effet Joule gênant) ;
- pièce métallique proche d'un **détecteur de métaux** ou d'un appareil de contrôle de surface (d'où champ induit dans la boucle détectrice) ;
- pièce ou récipient pour **chauffage par induction** (d'où effet Joule utile) ;
- rotor d'un **frein à induction** (ralenti par les forces de Laplace créées).