

## INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE :Circuit fixe dans un champ variable

On fait varier un champ magnétique au voisinage d'un circuit fixe fermé qui ne contient aucun générateur. Il y apparaît un courant qui est appelé **courant induit**. Il a pour cause une fem appelée **fem induite e**. **Cette fem doit apparaître avec une modélisation convenable dans un circuit électrique.**

### Champ électromoteur et fem

$$e = \oint \vec{E}_m \cdot d\vec{l} \text{ donne la fem en fonction du } \textbf{champ électromoteur} \quad \vec{E}_m = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

### Loi de Faraday

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ elle découle de l'équation de } \textbf{Maxwell-Faraday.}$$

$\Phi$  est le flux de  $\vec{B}$  à travers une surface **quelconque** appuyée sur le circuit filiforme (C).

### Modélisation complète de la fem induite

Sur tout circuit où il apparaît un phénomène d'induction il faut:

- ♦ bien **représenter le générateur** de tension parfait de fem e qui sera donné par la loi de Faraday
- ♦ **orienter le circuit** dans le même sens que e
- ♦ **positionner la normale** correspondant à ce sens
- ♦ calculer le flux donné par  $\Phi = \iint \vec{n} \cdot \vec{B} dS$ .

### Loi de Lenz : Loi de modération

Le phénomène d'induction produit des effets qui s'opposent à sa cause.

### Flux propre

Soit un circuit filiforme, parcouru par un courant, le flux à travers ce circuit, de son **champ propre** est le **flux propre**  $\phi_p$ . Il s'exprime  $\Phi_p = Li$  où L est appelée **coefficient d'inductance propre** (ou inductance propre). Il s'exprime en Henry noté H.

### Coefficient d'inductance mutuelle de circuits filiformes

Soient deux circuits filiformes. On notera  $\phi_{1/2}$  le flux à travers (C<sub>2</sub>) du au champ  $B_1$  créé par (C<sub>1</sub>) et  $\phi_{2/1}$  le flux à travers (C<sub>1</sub>) du au champ  $B_2$  créé par (C<sub>2</sub>). On introduit le coefficient d'inductance mutuelle M (en H) qui vérifie:

$$\Phi_{1/2} = Mi_1 \text{ et } \Phi_{2/1} = Mi_2 \text{ Le signe de M dépend des sens choisis qui doivent être précisés.}$$

### Auto-induction

C'est un cas particulier de phénomène d'induction où le circuit, siège de la fem induite, sera le circuit à l'origine du champ magnétique variable. La fem  $e(t) = -L \frac{di}{dt}$  est appelée **fem d'auto-**

**induction** car elle a pour cause le circuit lui-même. **L'expression de e est correctement algébrisée si e est dans le sens de i.**

**Energie magnétique**

On définit l'énergie magnétique d'un circuit unique comme: 
$$U_m = \frac{1}{2} L i^2$$

Rem : Une discontinuité de  $i(t)$  se traduirait par une puissance infinie. **On retrouve donc que l'intensité dans un enroulement inductif est toujours une fonction continue du temps.**

Cette énergie magnétique se calcule aussi à partir de la **densité volumique d'énergie**

magnétique 
$$u_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$$
 introduite à partir des équations de Maxwell.

**Energie d'un système de deux circuits filiformes rigides et fixes**

$$U_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2$$

L'énergie emmagasinée dans les circuits prend donc en compte leur inductance mutuelle.

**INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE circuit mobile dans un champ permanent**

On déplace dans un champ magnétique permanent un circuit électrique un champ électromoteur et une fem induite  $e$ . **Si le circuit est fermé**, un courant qui est appelé **courant induit est créé**.

**Fem**  $e = \oint \vec{E}_m \cdot d\vec{l}$

**Champ électromoteur** Il s'écrit: 
$$\vec{E}_m(M) = \vec{v}(M) \wedge \vec{B}(M)$$

**Rem:** si on mêle les deux types de problèmes d'induction, l'expression générale du champ

électrique devient: 
$$\vec{E} = -\text{grad } V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v}(M) \wedge \vec{B}(M)$$
 la fem restant  $e = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$  et le champ

électromoteur étant 
$$\vec{E}_m = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v}(M) \wedge \vec{B}(M).$$

**Rem:** dans un conducteur quelconque (non filiforme) la présence du champ électrique fait apparaître dans la masse du matériau, une densité de courant

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} = \gamma \left( -\text{grad } V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v}(M) \wedge \vec{B}(M) \right)$$
 appelés **courants de Foucault**. Ils dissipent de

l'énergie ce qui peut être mis à profit pour freiner le conducteur (freinage par induction).

**Loi de Lenz: loi de modération** Elle s'applique à tous les phénomènes d'induction.

**Loi de Faraday** 
$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$
 ne s'applique en toute rigueur qu'au cas d'un circuit fixe.

Dans de très nombreux cas, elle permet aussi de calculer la fem dans le cas étudié ici **d'un circuit mobile dans un champ permanent**.