Lois de l'induction

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

samedi 11 juin 2022

Lois de l'induction

Julien Cubizolles

Lycée Louis le Grand

samedi 11 juin 2022

1. Induction d'une force électromotrice

2. Lois de l'induction

Aimant mobile devant une bobine fixe

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant
- le signe de la tension varie avec :

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant
- le signe de la tension varie avec :
  - le sens du déplacement

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant
- le signe de la tension varie avec :
  - le sens du déplacement
  - le sens de l'aimant

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant
- le signe de la tension varie avec :
  - le sens du déplacement
  - le sens de l'aimant
- le champ magnétique produit par la bobine s'oppose aux variations de celui de l'aimant à travers la bobine

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant
- le signe de la tension varie avec :
  - le sens du déplacement
  - le sens de l'aimant
- le champ magnétique produit par la bobine s'oppose aux variations de celui de l'aimant à travers la bobine
- aucune induction si l'aimant reste immobile

Aimant mobile devant une bobine fixe

- on mesure la tension u aux bornes d'une bobine
- le mouvement d'un aimant colinéaire à l'axe de la bobine y induit une tension/du courant
- le signe de la tension varie avec :
  - le sens du déplacement
  - le sens de l'aimant
- le champ magnétique produit par la bobine s'oppose aux variations de celui de l'aimant à travers la bobine
- aucune induction si l'aimant reste immobile
- induction beaucoup plus plus faible si l'aimant est orthogonal à l'axe

Aimant mobile devant une bobine fixe

Définition (Induction de Neumann)

L'induction de Neumann est la production d'une force électromotrice au sein d'un circuit fixe par la variation d'un champ magnétique extérieur appliqué à travers le circuit.

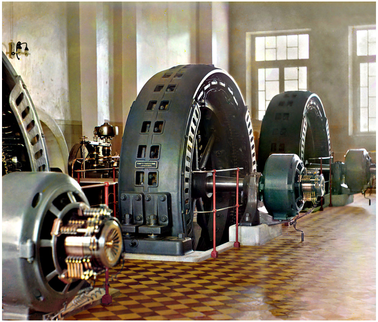
Champ variable produit par un électroaimant

un électroaimant parcouru par un courant variable produit également un champ magnétique variable dans un circuit fixe

- un courant sinusoïdal dans la bobine produit un champ $\vec{B}$ sinusoïdal
- le noyau en fer doux canalise les lignes de champ magnétique
- le champ magnétique variable dans le creuset induit un courant sinusoïdal dans le conducteur
- l'effet Joule dans un petit conducteur est suffisant pour faire fondre l'étain ($230°$C)

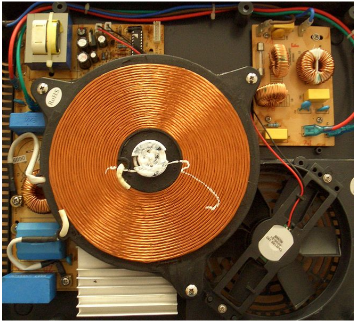
Applications

alternateurs production de courant alternatif à partir de la rotation d'une aimant ou électroaimant (centrale, « dynamo de vélo ») devant un circuit fixe



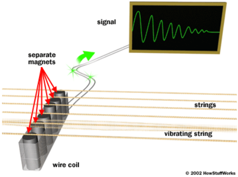
Applications

chauffage plaques et fours à induction : le chauffage provient de l'effet Joule du courant induit



Applications

pickups de guitare /piano électriques le mouvement de la corde en acier change le champ magnétique produit par l'aimant et induit du courant dans la bobine



Origine

les équations de Maxwell (2^{e}année) associent à une variation temporelle d’un champ magnétique un champ électrique, et donc une force électromotrice sur les électrons

Bobine mobile devant un aimant fixe

Bobine mobile devant un aimant fixe

- on observe les mêmes phénomènes en déplaçant la bobine devant l'aimant

Bobine mobile devant un aimant fixe

- on observe les mêmes phénomènes en déplaçant la bobine devant l'aimant
- de nouveau le champ magnétique produit par la bobine s'oppose aux variations du champ produit par l'aimant

Bobine mobile devant un aimant fixe

- on observe les mêmes phénomènes en déplaçant la bobine devant l'aimant
- de nouveau le champ magnétique produit par la bobine s'oppose aux variations du champ produit par l'aimant

Définition (Induction de Lorentz)

L'induction de Lorentz est la production d'une force électromotrice au sein d'un circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire.

Bobine mobile devant un aimant fixe

en se plaçant dans le référentiel de la bobine, on retrouve le cas de Neumann

Applications et origine

dynamo la rotation d'une spire dans un champ magnétique uniforme y induit un courant, on peut l'utiliser pour produire un courant continu

Applications et origine

dynamo la rotation d'une spire dans un champ magnétique uniforme y induit un courant, on peut l'utiliser pour produire un courant continu

haut parleur électrodynamique une tension sinusoïdale dans une bobine soumise au champ d'un aimant fixe provoque un déplacement de la bobine à la même fréquence

Applications et origine

dynamo la rotation d'une spire dans un champ magnétique uniforme y induit un courant, on peut l'utiliser pour produire un courant continu

haut parleur électrodynamique une tension sinusoïdale dans une bobine soumise au champ d'un aimant fixe provoque un déplacement de la bobine à la même fréquence

- la décomposition en $\vec{E}$ et $\vec{B}$ du champ électromagnétique dépend du référentiel
- dans le référentiel dans lequel le conducteur est immobile, il apparaît un $\vec{E}$ dû à la variation de $\vec{B}$

- dans une spire : la direction du courant est imposée par la géométrie filiforme
- dans un conducteur massif, des courants peuvent se développer dans différentes directions

- dans une spire : la direction du courant est imposée par la géométrie filiforme
- dans un conducteur massif, des courants peuvent se développer dans différentes directions

Définition (Courants de Foucault)

Les courants de Foucault sont des courants induits dans la masse

- d'un conducteur mobile dans un champ magnétique
- d'un conducteur soumis à un champ magnétique variable

Définition (Courants de Foucault)

Les courants de Foucault sont des courants induits dans la masse

- d'un conducteur mobile dans un champ magnétique
- d'un conducteur soumis à un champ magnétique variable

- chauffage par induction
- freins sans contact mécanique

1. Induction d'une force électromotrice

2. Lois de l'induction

Cas de la bobine + aimant :

- le circuit a une extension finie : différents points voient différents $\vec{B}$

Cas de la bobine + aimant :

- le circuit a une extension finie : différents points voient différents $\vec{B}$
- l'effet de l'aimant est maximal quand $\vec{B}$ est « en moyenne » orthogonal au plan du circuit

Cas de la bobine + aimant :

- le circuit a une extension finie : différents points voient différents $\vec{B}$
- l'effet de l'aimant est maximal quand $\vec{B}$ est « en moyenne » orthogonal au plan du circuit
- comment quantifier « variation du champ magnétique » sur le circuit ?

Flux élémentaire

Définition (Flux élémentaire)

On définit le flux élémentaire $\delta\Phi$ d'un champ de vecteurs $\overrightarrow{X}$ à travers une surface élémentaire orientée $\delta\overrightarrow{S} = \overrightarrow{n}\delta S$ au voisinage de M par :

$$\delta\Phi = \overrightarrow{X}(M) \cdot \overrightarrow{\delta S} = \overrightarrow{X}(M) \cdot \overrightarrow{n}\delta S.$$

Flux élémentaire

Définition (Flux élémentaire)

On définit le flux élémentaire $\delta\Phi$ d'un champ de vecteurs $\overrightarrow{X}$ à travers une surface élémentaire orientée $\delta\overrightarrow{S} = \overrightarrow{n}\delta S$ au voisinage de M par :

$$\delta\Phi = \overrightarrow{X}(M) \cdot \overrightarrow{\delta S} = \overrightarrow{X}(M) \cdot \overrightarrow{n}\delta S.$$

- le flux élémentaire dépend de l'orientation relative des lignes de champ de $\overrightarrow{X}$ et $\overrightarrow{\delta S}$,

Flux élémentaire

Définition (Flux élémentaire)

On définit le flux élémentaire $\delta\Phi$ d'un champ de vecteurs $\vec{X}$ à travers une surface élémentaire orientée $\delta\vec{S} = \vec{n}\delta S$ au voisinage de M par :

$$\delta\Phi = \vec{X}(M)\cdot\overrightarrow{\delta S} = \vec{X}(M)\cdot\vec{n}\delta S.$$

- le flux élémentaire dépend de l'orientation relative des lignes de champ de $\vec{X}$ et $\overrightarrow{\delta S}$,
  - norme maximale si $\overrightarrow{\delta S} \parallel \vec{X}$

Flux élémentaire

Définition (Flux élémentaire)

On définit le flux élémentaire $\delta\Phi$ d'un champ de vecteurs $\vec{X}$ à travers une surface élémentaire orientée $\delta\vec{S} = \vec{n}\delta S$ au voisinage de M par :

$$\delta\Phi = \vec{X}(M)\cdot\overrightarrow{\delta S} = \vec{X}(M)\cdot\vec{n}\delta S.$$

- le flux élémentaire dépend de l'orientation relative des lignes de champ de $\vec{X}$ et $\overrightarrow{\delta S}$,
  - norme maximale si $\overrightarrow{\delta S} \parallel \vec{X}$
  - nul si $\overrightarrow{\delta S} \perp \vec{X}$

Flux élémentaire

Définition (Flux élémentaire)

On définit le flux élémentaire $\delta\Phi$ d'un champ de vecteurs $\vec{X}$ à travers une surface élémentaire orientée $\delta\vec{S} = \vec{n}\,\delta S$ au voisinage de M par :

$$\delta\Phi = \vec{X}(M)\cdot\overrightarrow{\delta S} = \vec{X}(M)\cdot\vec{n}\,\delta S.$$

- le flux élémentaire dépend de l'orientation relative des lignes de champ de $\vec{X}$ et $\overrightarrow{\delta S}$,
  - norme maximale si $\overrightarrow{\delta S} \parallel \vec{X}$
  - nul si $\overrightarrow{\delta S} \perp \vec{X}$
  - positif si l'angle $\widehat{(\vec{n},\vec{X})}$ est aigu

Flux à travers une surface finie

Définition (Flux à travers une surface finie)

On définit le flux Φ d'un champ de vecteurs $\vec{X}$ à travers une surface finie Σ par :

$$\Phi = \iint_{\Sigma} \delta\Phi = \iint_{\Sigma} \vec{X}(M) \cdot \overrightarrow{\delta S}.$$

- $\overrightarrow{\delta S}$ est la normale en tout point à la surface
- en hydrodynamique : le flux du champ de vitesse $\vec{v}$ d'un fluide à travers une surface est le volume de fluide traversant la surface par unité de temps
- grandeur scalaire formée à partir d'un champ de vecteurs et d'une surface géométrique

Flux à travers une surface finie

Définition (Flux à travers une surface finie)

On définit le flux Φ d'un champ de vecteurs $\overrightarrow{X}$ à travers une surface finie Σ par :

$$\Phi = \iint_\Sigma \delta\Phi = \iint_\Sigma \overrightarrow{X}(M) \cdot \overrightarrow{\delta S}.$$

Définition (Flux d'un champ uniforme à travers une surface plane)

Le flux d'un champ de vecteur uniforme $\overrightarrow{X}_0$ à travers une surface plane d'aire S orientée par un vecteur normal $\overrightarrow{n}$ est :

$$\Phi = S\overrightarrow{X_0} \cdot \overrightarrow{n} = S\|\overrightarrow{X_0}\| \cos(\widehat{\overrightarrow{X_0}, \overrightarrow{n}})$$

Cas du champ magnétique

Cas particulier du flux de $\vec{B}$:

Cas du champ magnétique

Cas particulier du flux de $\vec{B}$:

- le flux s'exprime en weber : Wb, $1\,\mathrm{Wb} = 1\,\mathrm{T}\cdot\mathrm{m}^2$

Cas du champ magnétique

Cas particulier du flux de $\vec{B}$:

- le flux s'exprime en weber : Wb, $1\,\text{Wb} = 1\,\text{T}\cdot\text{m}^2$
- le flux à travers toute surface s'appuyant sur un même contour fermé est le même (conséquence de la loi de Maxwell-Thomson) : on peut donc parler de flux à travers un « circuit »

Cas du champ magnétique

Flux d'un champ magnétique uniforme à travers un circuit fermé plan

Le flux d'un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B_0}$ à travers un circuit fermé plan orienté par un vecteur normal $\overrightarrow{n}$ est :

$$\Phi = S\|\overrightarrow{B_0}\|\cos(\widehat{\overrightarrow{B_0}, \overrightarrow{n}}),$$

avec S l'aire de la surface plane enlacée par le circuit.

Cas du champ magnétique

Flux d'un champ magnétique uniforme à travers un circuit fermé plan

Le flux d'un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B_0}$ à travers un circuit fermé plan orienté par un vecteur normal $\vec{n}$ est :

$$\Phi = S\|\overrightarrow{B_0}\|\cos(\widehat{\overrightarrow{B_0}, \vec{n}}),$$

avec S l'aire de la surface plane enlacée par le circuit.

Cas du champ magnétique

Flux d'un champ magnétique uniforme à travers un circuit fermé plan

Le flux d'un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B_0}$ à travers un circuit fermé plan orienté par un vecteur normal $\vec{n}$ est :

$$\Phi = S\|\overrightarrow{B_0}\|\cos(\widehat{\overrightarrow{B_0}, \vec{n}}),$$

avec S l'aire de la surface plane enlacée par le circuit.

- l'orientation définit $\vec{n}$ et le sens positif de circulation du courant

Cas du champ magnétique

Flux d'un champ magnétique uniforme à travers un circuit fermé plan

Le flux d'un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B_0}$ à travers un circuit fermé plan orienté par un vecteur normal $\vec{n}$ est :

$$\Phi = S\|\overrightarrow{B_0}\|\cos(\widehat{\overrightarrow{B_0}, \vec{n}}),$$

avec S l'aire de la surface plane enlacée par le circuit.

- l'orientation définit $\vec{n}$ et le sens positif de circulation du courant
- les électrons ne « sentent » que le champ le long du circuit mais les caractéristiques de $\vec{B}$ permettent de relier l'effet global de la force magnétique sur l'ensemble du circuit à sa « moyenne spatiale » sur toute la surface

la notion de flux permet de quantifier les variations de $\vec{B}$ sur le circuit, pour en déduire la force électro motrice

Énoncé

Loi de Faraday

Soit un circuit $\mathscr{C}$ fermé et orienté par un vecteur $\vec{n}$ et Σ une surface s'appuyant sur $\mathscr{C}$, orientée par $\vec{n}$. Une variation du flux du champ magnétique, noté Φ à travers Σ induit dans $\mathscr{C}$ une force électromotrice :

$$e = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t},$$

orientée de la même manière que le sens de parcours défini par $\vec{n}$.

- on aura toujours un circuit plan, et on utilisera la surface plane correspondante
- on vérifie la dimension
- on remplace un problème de force de Lorentz par un problème d'électrocinétique avec une source de tension : on utilise un circuit électrique équivalent
- dans le cas d'une bobine à N tours, équivalent à N spires en série, la tension entre les deux extrémités est multipliée par N

Illustration

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\overrightarrow{e_z}$
- en translation selon $\overrightarrow{e_x}$ à la vitesse $v\overrightarrow{e_x}$,

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\vec{B_0} = B_0\vec{e_x}$

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\overrightarrow{e_z}$
- en translation selon $\overrightarrow{e_x}$ à la vitesse $v\overrightarrow{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\overrightarrow{B_0} = B_0\overrightarrow{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\overrightarrow{e_z}$
- en translation selon $\overrightarrow{e_x}$ à la vitesse $v\overrightarrow{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\overrightarrow{B_0} = B_0\overrightarrow{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\overrightarrow{B_0} = B_0\vec{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :
  - $\Phi = NB_0ax$, croît avec x

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\overrightarrow{B_0} = B_0\vec{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :
  - $\Phi = NB_0ax$, croît avec x
  - $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -NB_0av$

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\vec{B_0} = B_0\vec{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :
  - $\Phi = NB_0ax$, croît avec x
  - $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -NB_0av$
- flux constant tant que $\vec{B_0}$ recouvre toute la spire : $e = 0$

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\overrightarrow{B_0} = B_0\vec{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :
  - $\Phi = NB_0ax$, croît avec x
  - $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -NB_0av$
- flux constant tant que $\overrightarrow{B_0}$ recouvre toute la spire : $e = 0$
- flux décroissant quand la bobine sort du champ magnétique : $e = +NB_0av$

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\overrightarrow{B_0} = B_0\vec{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :
  - $\Phi = NB_0 ax$, croît avec x
  - $e = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -NB_0 av$
- flux constant tant que $\overrightarrow{B_0}$ recouvre toute la spire : $e = 0$
- flux décroissant quand la bobine sort du champ magnétique : $e = +NB_0 av$
- dans tous les cas, le champ magnétique créé par la bobine s'oppose aux variations du flux de $\overrightarrow{B_0}$

Illustration

- bobine rectangulaire $a \times b$ à N tours, orientée par $\vec{e_z}$
- en translation selon $\vec{e_x}$ à la vitesse $v\vec{e_x}$,
- champ magnétique uniforme par morceaux : nul ou $\vec{B_0} = B_0\vec{e_x}$
- loin des aimants : aucune tension
- recouvrement sur une longueur x :
  - $\Phi = NB_0ax$, croît avec x
  - $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = -NB_0av$
- flux constant tant que $\vec{B_0}$ recouvre toute la spire : $e = 0$
- flux décroissant quand la bobine sort du champ magnétique : $e = +NB_0av$
- dans tous les cas, le champ magnétique créé par la bobine s'oppose aux variations du flux de $\vec{B_0}$
- sauf cas exceptionnel, on aura toujours $B_{\text{induit}} \ll B_0$

Sens des courants induits

- la loi de Faraday est quantitative, et nécessite de définir soigneusement des orientations
- on peut, sans calcul, déterminer qualitativement le sens des courants induits

Sens des courants induits

- la loi de Faraday est quantitative, et nécessite de définir soigneusement des orientations
- on peut, sans calcul, déterminer qualitativement le sens des courants induits

Loi de modération de Lenz

Les phénomènes d'induction s'opposent par leurs effets aux causes qui leur donnent naissance.

Sens des courants induits

Loi de modération de Lenz

Les phénomènes d'induction s'opposent par leurs effets aux causes qui leur donnent naissance.

- un courant induit crée un champ magnétique
- ce champ magnétique « compense » partiellement la variation de flux qui lui donne naissance : cette variation est « modérée »
- la compensation ne peut être parfaite que dans les matériaux supraconducteurs, pas si le conducteur possède une résistivité

Quel champ prendre pour Φ ?

- le phénomène d'induction dû à un champ $\overrightarrow{B_0}$ (de flux Φ_0) crée un courant dans le circuit

Quel champ prendre pour Φ ?

- le phénomène d'induction dû à un champ $\overrightarrow{B_0}$ (de flux Φ_0) crée un courant dans le circuit
- ce courant crée un champ $\vec{B}_{\text{propre}}$ (de flux Φ_{propre})

Quel champ prendre pour Φ ?

- le phénomène d'induction dû à un champ $\overrightarrow{B_0}$ (de flux Φ_0) crée un courant dans le circuit
- ce courant crée un champ $\overrightarrow{B}_{\text{propre}}$ (de flux Φ_{propre})
- les électrons sont sensibles à $\overrightarrow{B_0} + \overrightarrow{B}_{\text{propre}}$

Quel champ prendre pour Φ ?

- le phénomène d'induction dû à un champ $\overrightarrow{B_0}$ (de flux Φ_0) crée un courant dans le circuit
- ce courant crée un champ $\overrightarrow{B}_{\text{propre}}$ (de flux Φ_{propre})
- les électrons sont sensibles à $\overrightarrow{B_0} + \overrightarrow{B}_{\text{propre}}$
- la loi de Faraday s'écrit : $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi_0}{\mathrm{d}t} - \dfrac{\mathrm{d}\Phi_{\text{propre}}}{\mathrm{d}t}$

Quel champ prendre pour Φ ?

- le phénomène d'induction dû à un champ $\overrightarrow{B_0}$ (de flux Φ_0) crée un courant dans le circuit
- ce courant crée un champ $\overrightarrow{B}_{\text{propre}}$ (de flux Φ_{propre})
- les électrons sont sensibles à $\overrightarrow{B_0} + \overrightarrow{B}_{\text{propre}}$
- la loi de Faraday s'écrit : $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi_0}{\mathrm{d}t} - \dfrac{\mathrm{d}\Phi_{\text{propre}}}{\mathrm{d}t}$
- le plus souvent, on aura $\dfrac{\mathrm{d}\Phi_0}{\mathrm{d}t} \gg \dfrac{\mathrm{d}\Phi_{\text{propre}}}{\mathrm{d}t}$: si $\overrightarrow{B_0}$ est assez important (on l'a fait dans l'exemple précédent)

Quel champ prendre pour Φ ?

- le phénomène d'induction dû à un champ $\overrightarrow{B_0}$ (de flux Φ_0) crée un courant dans le circuit
- ce courant crée un champ $\overrightarrow{B}_{\text{propre}}$ (de flux Φ_{propre})
- les électrons sont sensibles à $\overrightarrow{B_0} + \overrightarrow{B}_{\text{propre}}$
- la loi de Faraday s'écrit : $e = -\dfrac{\mathrm{d}\Phi_0}{\mathrm{d}t} - \dfrac{\mathrm{d}\Phi_{\text{propre}}}{\mathrm{d}t}$
- le plus souvent, on aura $\dfrac{\mathrm{d}\Phi_0}{\mathrm{d}t} \gg \dfrac{\mathrm{d}\Phi_{\text{propre}}}{\mathrm{d}t}$: si $\overrightarrow{B_0}$ est assez important (on l'a fait dans l'exemple précédent)
- sinon, on doit prendre en compte le phénomène d'autoinduction (chapitre suivant)

Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine

- la bobine parcourue par un courant induit est formellement analogue à un aimant

Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine

- la bobine parcourue par un courant induit est formellement analogue à un aimant
- rapprochement : « l'aimant induit » est de sens opposé à l'aimant permanent

Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine

- la bobine parcourue par un courant induit est formellement analogue à un aimant
- rapprochement : « l'aimant induit » est de sens opposé à l'aimant permanent
- éloignement : « l'aimant induit » est de même sens que l'aimant permanent

Freinage par courants de Foucault

Observations : un conducteur métallique en mouvement dans $\vec{B}$ stationnaire est freiné :

- induction de Lorentz

Freinage par courants de Foucault

Observations : un conducteur métallique en mouvement dans $\vec{B}$ stationnaire est freiné :

- induction de Lorentz
- les courants induits subissent des forces de Laplace

Freinage par courants de Foucault

Observations : un conducteur métallique en mouvement dans $\vec{B}$ stationnaire est freiné :

- induction de Lorentz
- les courants induits subissent des forces de Laplace
- leurs effets s'opposent à leur cause : le mouvement ; il y a donc freinage

Freinage par courants de Foucault

Observations : un conducteur métallique en mouvement dans $\vec{B}$ stationnaire est freiné :

- induction de Lorentz
- les courants induits subissent des forces de Laplace
- leurs effets s'opposent à leur cause : le mouvement ; il y a donc freinage

Interprétation

- la loi de Lenz permet de prédire le freinage sans qu'on ait besoin de connaître la répartition des courants induits
- ils doivent cependant tourner autour des lignes de $\vec{B}$ car on peut les réduire significativement en choisissant la géométrie du conducteur
- la force de frottement est ici proportionnelle à la vitesse (cf T.P.)

Indispensable

- flux du champ magnétique
- loi de Faraday : ☠ aux orientations
- principe du circuit équivalent
- loi de Lenz pour vérifier les signes