

Introduction à l'Electromagnétisme

Notions / Grandeurs / Unités

Basé sur le FET, Electrotechnique, Fascicule 3, ISBN 2-940025-16-9, Suisse

Les aimants

Aimants naturels:

oxydes de fer (la magnétite)

Aimants artificiels: alliages

alnico [acier/aluminium/nickel/cobalt];

ferrites durs [oxydes de fer/oxydes de cobalt]

Propriétés:

s'oriente toujours dans la même direction si on évite toute présence proche du courant électrique ou d'autre aimant.

par convention, l'extrémité qui désigne le nord géographique, est appelée pôle nord et l'extrémité opposée pôle sud.

Loi des pôles

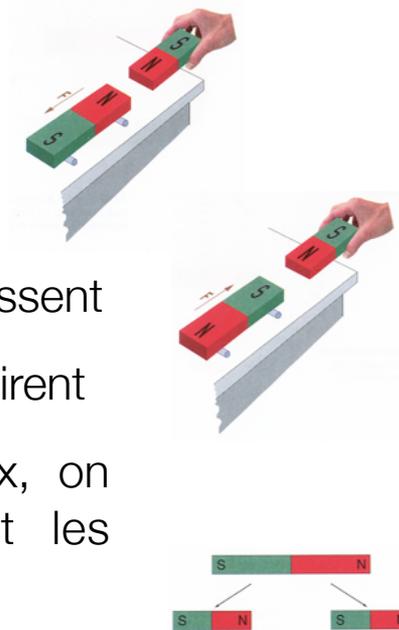
L'expérimentation montre:

deux pôles de même nom se repoussent

deux pôles de noms contraires s'attirent

en partageant un aimant en deux, on obtient deux demi-aimant ayant les mêmes propriétés.

l'aimantation est une propriété de la particule élémentaire: l'atome.



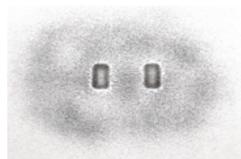
3

Le champ magnétique

Définition:

L'espace situé autour d'un aimant et dans lequel se produisent les effets magnétiques est appelé champ magnétique.

Le spectre magnétique est la mise en évidence par exemple à l'aide de limaille de fer du champ magnétique.



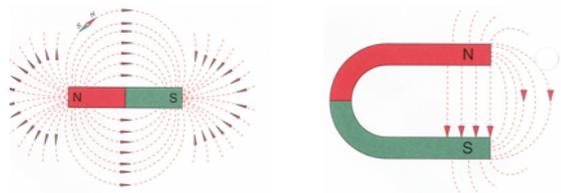
4

Propriétés des lignes de champ magnétique

Elles sont orientées du nord vers le sud à l'extérieur de l'aimant;

Elles forment des courbes fermées et non interrompues.

En un point de l'espace, il ne passe qu'une seule ligne de champ, ce qui implique que deux lignes de champ ne se croisent jamais.



5

Le Flux Magnétique

Le flux magnétique Φ (phi) est l'ensemble des lignes de champ produites par un aimant ou un électroaimant.

Il s'exprime en webers [Wb].



6

L'induction magnétique

Il est souvent utile de connaître quelle est la grandeur du flux magnétique par unité de surface. Le rapport du flux magnétique sur la section est appelée: **induction magnétique**.

L'induction magnétique est le nombre de lignes de champ magnétique par unité de surface.

L'induction magnétique B s'exprime en teslas [T].

$$B = \frac{\phi}{A}$$

B induction magnétique [T]
 Φ flux magnétique [Wb]
A surface perpendiculaire au flux [m²]

7

L'Electromagnétisme

Lorsqu'un courant circule dans un conducteur, il produit un champ magnétique.

Pour déterminer le sens de rotation du champ magnétique autour du conducteur on utilise la règle de la main droite (le pouce indiquant le sens du courant).

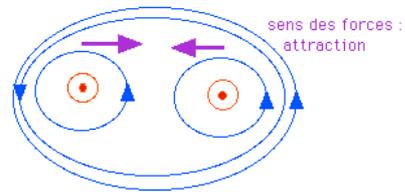


http://www.epsic.ch/pagesperso/schneiderd/Magnb/Corpus_Magn.htm

8

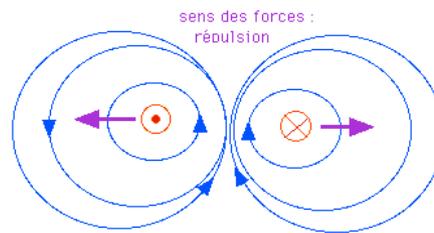
Relation flux magnétique et courant électrique

Sur deux conducteurs parallèles parcouru par un courant de même sens s'exercent des forces qui tendent à rapprocher les conducteurs.



http://www.epsic.ch/pagesperso/schneiderd/Magnb/Corpus_Magn.htm

Sur deux conducteurs parallèles parcouru par un courant de sens contraire s'exercent des forces qui tendent à éloigner les conducteurs.



densification des flux

http://www.epsic.ch/pagesperso/schneiderd/Magnb/Corpus_Magn.htm

9

Champ magnétique d'une spire

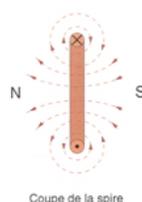
Au centre de la spire, les lignes de champ sont pratiquement des droites.

Proche du conducteur, les lignes de champ se courbent de plus en plus et forment des cercles autour du conducteur.

La détermination du sens des lignes de champ respecte là encore la règle de la main droite.



Spire



Coupe de la spire

- X signifie que le courant entre dans le conducteur (arrière de la flèche)
- signifie que le courant sort du conducteur (pointe de la flèche)

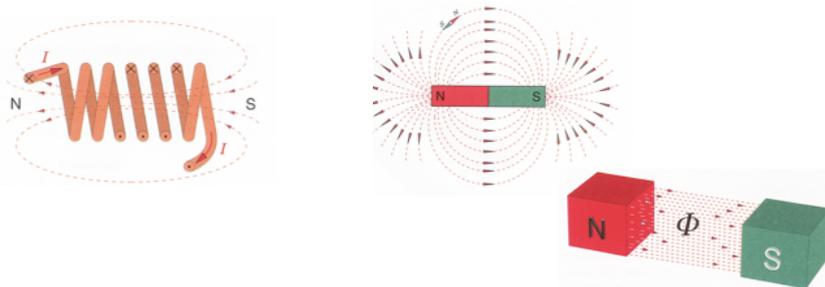
10

Champ magnétique d'une bobine

“Bobine sans noyau”

Le spectre magnétique d'une bobine ressemble à celui d'un aimant droit.

Pour le sens des lignes de champ, la même règle que celle de la spire est applicable.



11

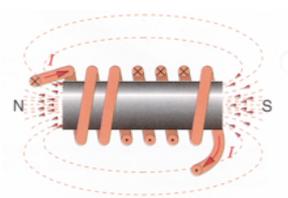
Champ magnétique d'une bobine

“Bobine avec noyau (électroaimant)”

En pratique, on munit souvent les bobines d'un noyau magnétique (fer doux).

Le champ magnétique de la bobine est ainsi multiplié par la présence des aimants élémentaires du noyau.

Le noyau joue donc le rôle d'un amplificateur de champ magnétique.



12

Excitation magnétique

On parle d'excitation magnétique (ou force magnétomotrice) lorsqu'on a affaire à un enroulement (bobine, transformateur, etc.).

L'excitation magnétique (θ) se calcul en faisant le produit du courant par le nombre de tours du conducteur autour du noyau. Son unité est l'ampère [A].

$$\theta = N * I$$

θ excitation magnétomotrice [A]
N nombre de spires [-]
I intensité du courant [A]

1. Dans l'ancien temps, l'unité du tours était symbolisée par la lettre t. Donc l'unité de l'excitation magnétique était des ampères tours [At].
2. Plus la valeur de θ est grande, plus le champ, le flux ou la force magnétique seront grands.

13

Intensité du champ magnétique (ou solénation)

L'intensité du champ magnétique (H) représente la force magnétomotrice d'un circuit magnétique par mètre de longueur et s'exprime en ampères par mètre [A/m].

$$H = \frac{\theta}{l}$$

H intensité du champ magnétique [A/m]
 θ excitation magnétomotrice [A]
l longueur des lignes de champ du circuit magnétique [m]

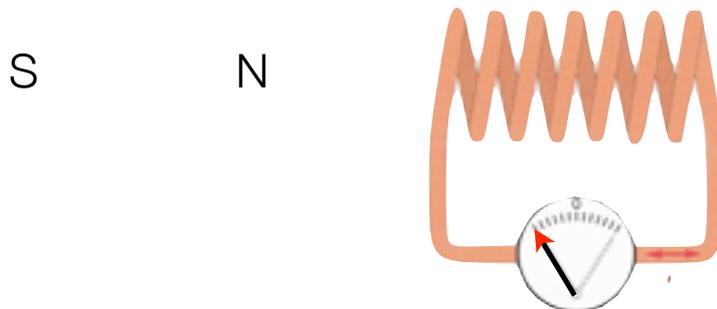
$$H = \frac{N * I}{l}$$

H intensité du champ magnétique [A/m]
N nombre de spires [-]
I intensité du courant [A]
l longueur des lignes de champ du circuit magnétique [m]

14

Induction dynamique, tension induite (FEM) par le mouvement.

Il y a production d'une **tension induite** dans un circuit aussi longtemps que le conducteur coupe des lignes de **champ magnétique variable**.



En approchant ou en éloignant un aimant d'une bobine l'aiguille du galvanomètre dévie. Il y a création d'une tension induite.

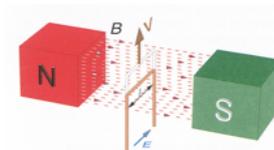
15

Induction dynamique, tension induite (FEM) par le mouvement.

Il y a production d'une **tension induite** dans un circuit aussi longtemps que le conducteur coupe des lignes de **champ magnétique variable**.

$$E = B * l * v$$

E	force électromotrice induite [V]
B	induction magnétique [T]
l	longueur active du conducteur [m]
v	vitesse de déplacement [m/s]



En approchant ou en éloignant un aimant d'une bobine l'aiguille du galvanomètre dévie. Il y a création d'une tension induite (déplacement mécanique).

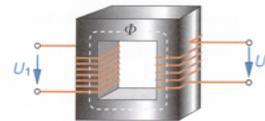
16

Induction statique, tension induite (FEM) par la variation du flux.

Il y a production d'une **tension induite** dans un circuit aussi longtemps qu'il est soumis à une variation de flux. (loi de Faraday).

$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

E force électromotrice induite [V]
 N nombre de spires [-]
 $\Delta\phi$ variation du flux [Wb]
 Δt durée de la variation du flux [s]



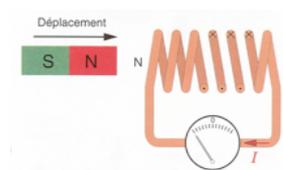
En variant la tension (courant) du primaire d'un transformateur, on crée un champ magnétique variable dans le noyau. Par répercussion, il y a création d'une tension induite dans le bobinage secondaire (sans déplacement mécanique).

17

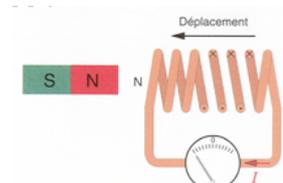
Sens du courant induit: augmentation du flux

Le courant inducteur produit du côté induit des effets qui **s'opposent** aux changements.

A l'approche du pôle nord de l'aimant, le courant induit produit un pôle nord à la bobine induite, s'opposant ainsi à l'augmentation du flux à travers la bobine.



Le résultat est le même si l'aimant est immobile et que la bobine se déplace.

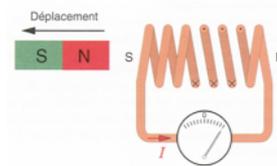


18

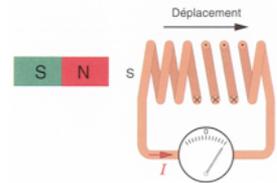
Sens du courant induit: diminution du flux

Le courant inducteur produit du coté induit des effets qui **s'opposent** aux changements.

En éloignant le pôle nord de l'aimant, le courant induit produit un pôle sud, s'opposant ainsi à la diminution du flux.



Le résultat est le même si l'aimant est immobile et que la bobine se déplace.



19

Loi de Lenz:

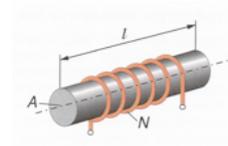
Le sens du courant induit est tel que le champ magnétique qu'il produit s'oppose toujours à la variation du flux qui lui donne naissance.

20

Self-induction

Lorsqu'une bobine est soumise à des variations de courant (donc de flux), elle est le siège d'une tension induite qui tend à s'opposer à ces variations. Ce phénomène est appelé **self-induction** (ou auto-induction).

La tension qui s'oppose à ces variations est appelée **force contre-électromotrice** E' (ou FCEM)

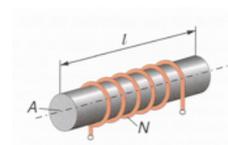


21

Self-induction

La FCEM est d'autant plus **grande** que la variation de l'intensité du courant est rapide et que le coefficient de self-induction ou inductance est grand.

L'inductance d'une bobine représente la force contre-électromotrice produite par une variation de courant pendant un temps donné.



22

Induction d'une bobine sans noyau ferromagnétique

L'inductance d'une bobine sans noyau dépend de l'intensité du champ magnétique et de la constante de perméabilité dans le vide μ_0 .

La constante μ_0 est caractéristique du milieu dans lequel se développent les lignes de champ.

Symbole de la bobine:



23

La perméabilité magnétique 1/2

La perméabilité magnétique μ d'un matériau est **définie** comme le rapport entre la norme de l'induction magnétique (B) et celle du champ magnétique (H) appliqué au matériau.

$$B_0 = \mu_0 * H$$

B_0 induction dans l'air [T]
 μ_0 perméabilité du vide [Tm/A]
H intensité du champ magnétique [A/m]

Pour des champs suffisamment grands, ce rapport n'est pas constant et tend vers μ_0 . Il peut être vu comme la perméabilité magnétique intrinsèque du vide. Cette constante physique (constante magnétique), est également nommée permittivité magnétique du vide.

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} \approx 1.25 * 10^{-6} \frac{Tm}{A}$$

24

Induction d'une bobine avec noyau ferromagnétique (électroaimant)

L'induction d'un électroaimant dépend de la matière dans laquelle se trouve le champ magnétique.

L'augmentation d'induction est caractérisée par un facteur d'amplification appelée perméabilité relative μ_r .

L'électroaimant est la principale application de la bobine avec noyau

Symbole de la bobine avec noyau:



25

La perméabilité magnétique 2/2

L'induction d'un électroaimant est de ce fait déterminée par la perméabilité du vide, la perméabilité relative et l'intensité du champ magnétique.

$$B = \mu_r * \mu_0 * H$$

B induction dans l'électroaimant [T]
 μ_r perméabilité relative [-]
 μ_0 perméabilité du vide [Tm/A]
H intensité du champ magnétique [A/m]

$$\mu = \mu_r * \mu_0$$

μ perméabilité absolue [Tm/A]
 μ_r perméabilité relative [-]
 μ_0 perméabilité du vide [Tm/A]

Valeurs usuelles (indicatives)

Matière	Perméabilité relative μ_r
Fer doux	10'000
Fer-Silicium	20'000
Fer-Nickel	90'000

26

Définition de l'unité de l'inductance

1 Henry est l'inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de **1 volt** est induite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à la raison de **1 ampère/seconde**.

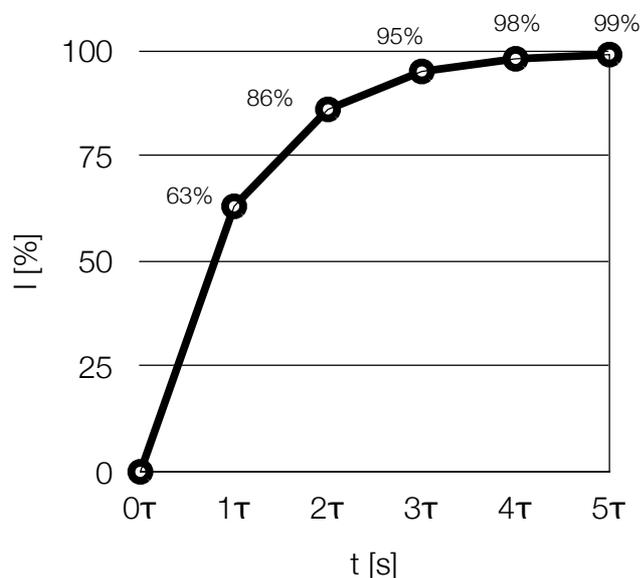
$$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$$

$$E' = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

L	inductance [H]
μ	perméabilité absolue du noyau [Tm/A]
N	nombre de spires de la bobine
A	section du noyau [m ²]
l	longueur active du conducteur [m]
E'	force contre-électromotrice [V]
L	inductance [H]
ΔI	variation de l'intensité du courant [A]
Δt	durée de la variation [s]

27

Enclenchement d'une inductance en courant continu



$$I = \frac{U}{R}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$i = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

On constate avec la courbe ci-dessus que le courant dans une bobine est en retard sur la tension.

28