Module d'Electrotechnique ET2
Circuits magnétiques

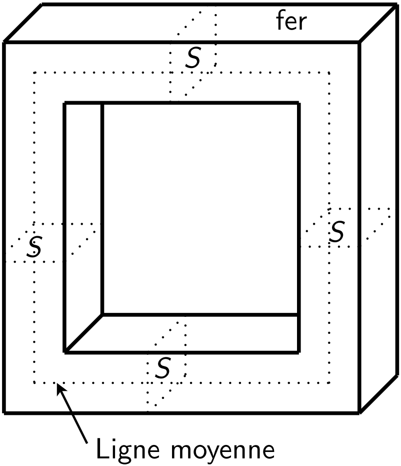
A.De Carvalho

IUT Cergy Pontoise
Dép Génie Electrique
Informatique Industrielle de Neuville

Septembre 2010

Description

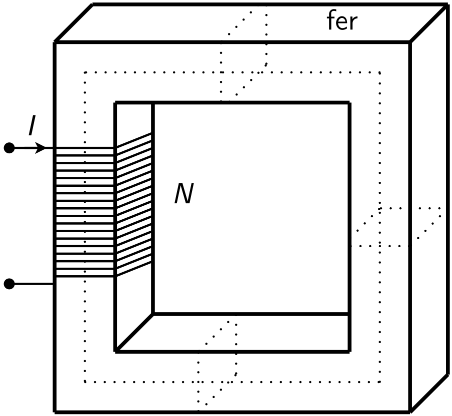
Soit un circuit magnétique de type ferromagnétique de section S en m^2 considéré comme parfait :



Loi d'Hopkinson

Description

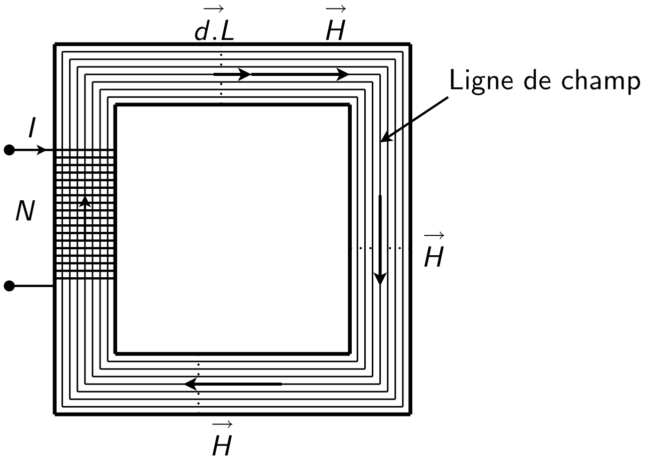
Sur ce circuit on place un bobinage de fil de cuivre de N spires.
Ce dernier est parcouru par un courant continu noté I.



Loi d'Hopkinson

Description

Ce courant est à l'origine de ligne de champ magnétique.
Leur orientation est donnée par la règle de la *main droite*.



Loi d'Hopkinson

Appliquons le théorème d'Ampère sur le contour moyen.

$$\oint \overrightarrow{H} \bullet \overrightarrow{d.L} = N \times I$$

Supposons qu'en tout point les vecteurs $\overrightarrow{H}$ et $\overrightarrow{d.L}$ sont colinéaires donc :

$$\oint H \times d.L = N \times I$$

Loi d'Hopkinson

Il existe une relation entre l'induction magnétique notée $\overrightarrow{B}$ en Tesla et le champ magnétique $\overrightarrow{H}$ en A/m.

$$B = \mu_0 \times \mu_R \times H$$

$$\left\{\begin{array}{lcl} \mu_0 & = & \text{Perméabilité du vide} \\ \mu_0 & = & 4 \times \pi \times 10^{-7} \\ & & \\ \mu_R & = & \text{Perméabilité relative du circuit ferromagnétique} \\ \mu_R & = & 1 \text{ pour l'air} \\ \mu_R & > & 500 \text{ pour le fer} \end{array}\right.$$

Loi d'Hopkinson

Le théorème d'Ampère peut alors s'exprimer :

$$\oint \frac{B}{\mu_0 \times \mu_R} \times d.L = N \times I$$

Loi d'Hopkinson

Flux magnétique

Les lignes de champ à travers la section S, sont à l'origine d'un flux magnétique noté Φ en Weber (Wb) :

$$\Phi = B \times S$$

Le théorème d'Ampère peut alors s'exprimer :

$$\oint \frac{\Phi}{\mu_0 \times \mu_R \times S} \times d.L = N \times I$$

Loi d'Hopkinson

Propriété du flux

Dans un circuit magnétique on montre que le flux magnétique est conservatif ($\neq$ constant).

Le théorème d'Ampère peut alors s'exprimer :

$$\Phi \oint \frac{d.L}{\mu_0 \times \mu_R \times S} = N \times I$$

Réluctance

Posons :

$$\Re = \oint \frac{d.L}{\mu_0 \times \mu_R \times S}$$

Définition

$\Re$ est appelée **réluctance** du circuit magnétique.
Son unité est A/Wb ou H^{-1}

Force magnéto motrice

Posons :

$$\epsilon = N \times I$$

Définition

ϵ est appelée **force magnéto motrice**.
Son unité est l' Ampère tour $(A \times t)$

Loi d'Hopkinson

Définition

On obtient la loi d'Hopkinson :

$$\epsilon = N \times I = \Re \times \Phi$$

Définition

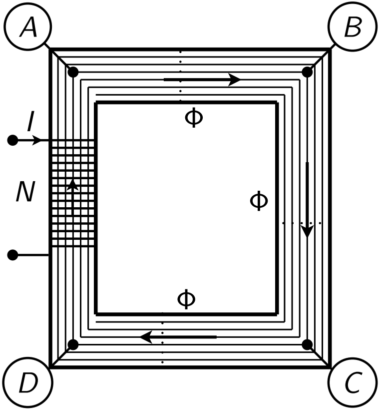
On appelle **perméance** notée A_L (*en H*) :

$$A_L = \frac{1}{\Re}$$

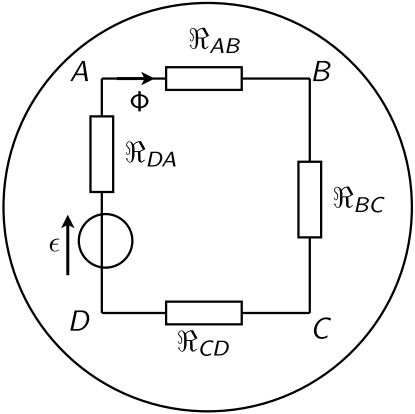
Modèle magnétique équivalent

Description

Le circuit magnétique peut être modélisé par le schéma équivalent :



Modéle

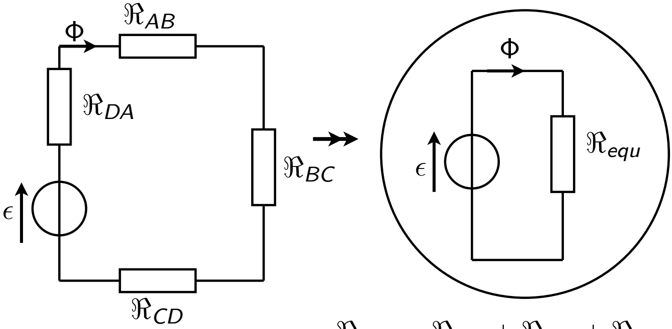


Modèle magnétique équivalent

$$
\begin{aligned}
\Re_{AB} &= \frac{L_{AB}(\text{ en } m)}{\mu_0 \times \mu_R \times S(\text{ en } m^2)} \\
\Re_{BC} &= \frac{L_{BC}}{\mu_0 \times \mu_R \times S} \\
\Re_{CD} &= \frac{L_{CD}}{\mu_0 \times \mu_R \times S} \\
\Re_{DA} &= \frac{L_{DA}}{\mu_0 \times \mu_R \times S}
\end{aligned}
$$

Modèle magnétique équivalent

On montre que les réluctances en séries s'ajoutent.
Le schéma peut se simplifier de la façon suivante :

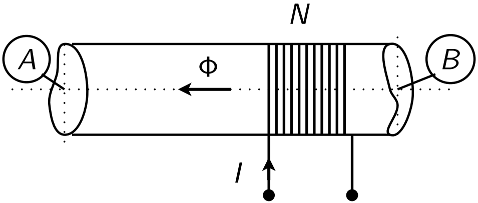


$$\Re_{equ} = \Re_{AB} + \Re_{BC} + \Re_{CD} + \Re_{DA}$$

Potentiel magnétique

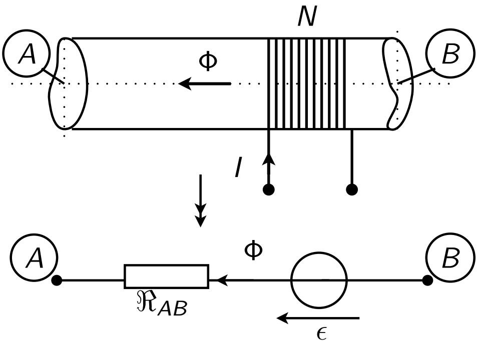
Description

Soit une portion de circuit magnétique, comportant un bobinage de N spires, parcouru par un courant continu I.



Potentiel magnétique

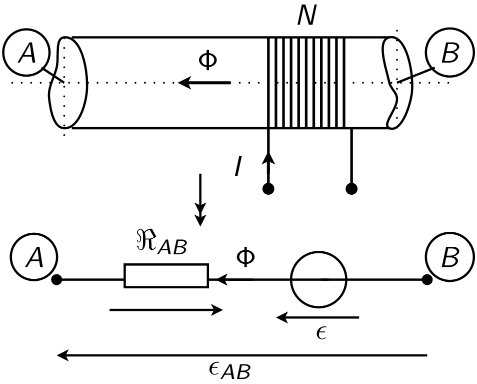
Le schéma magnétique équivalent d'une telle structure est :



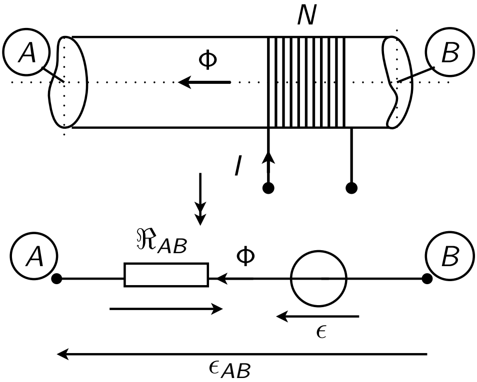
Potentiel magnétique

Définition

On peut définir aux points A et B une différence de potentiel magnétique notée ϵ_{AB}



Différence de potentiel magnétique

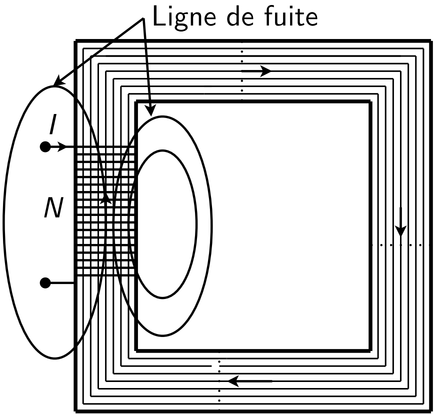


$$\epsilon_{AB} = \epsilon - \Re_{AB} \times \Phi$$

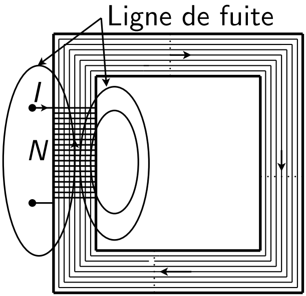
L'unité de ϵ_{AB} est l'Ampère tour $(A.t)$.

Description

Le circuit magnétique n'est plus considéré comme parfait.



Inductances



Description

Sur le schéma il apparaît :

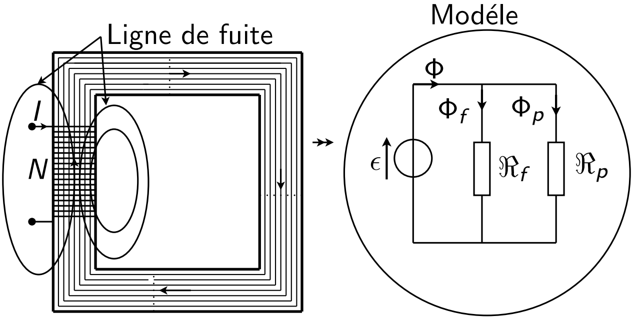
- Des lignes de champ de fuites. Ces dernières sont à l'origine d'un flux de fuite noté Φ_f.
- Des lignes de champ présentes totalement dans le circuit magnétique. Elles sont à l'origine d'un flux principal noté Φ_P.

Modélisation

Posons

- $\Re_f$ la réluctance de fuite.
- $\Re_p$ la réluctance principale.

Le modèle d'Hopkinson d'un tel circuit est :



Inductance propre

On appelle inductance principale ou propre (*self en anglais*) notée L_p le rapport :

$$L_p = \frac{N \times \Phi_p}{I}$$

D'après le modèle d'Hopkinson :

$$N \times I = \Re_p \times \Phi_p$$

$$L_p = \frac{N^2}{\Re_p} = N^2 \times A_L$$

Inductances

Inductance de fuite

On appelle inductance de fuite notée L_f le rapport :

$$L_f = \frac{N \times \Phi_f}{I}$$

D'après le modèle d'Hopkinson :

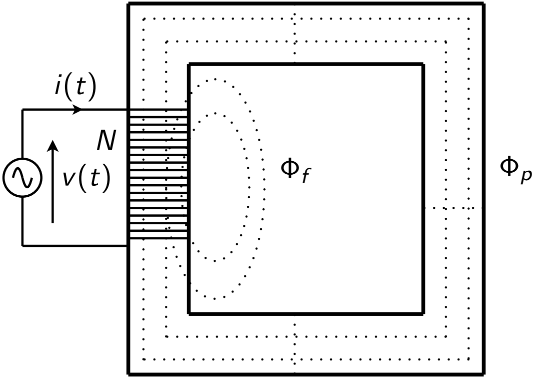
$$N \times I = \Re_f \times \Phi_f$$

$$L_f = \frac{N^2}{\Re_f}$$

Un circuit magnétique avec son bobinage sera dit parfait si :

$$L_f = 0$$

Circuit magnétique en sinusoidal



Inductance de fuite

Le bobinage est alimenté par un courant de type sinusoidal. La relation de Faraday donne :

Circuit magnétique en sinusoidal

$$v(t) = r \times i(t) + N \times \frac{d.\Phi(t)}{d.t}$$

$$\begin{cases} r & = & \text{Résistance électrique du bobinage.} \\ N & = & \text{Nombre de spire.} \\ \Phi & = & \Phi_f + \Phi_p \end{cases}$$

Circuit magnétique en sinusoïdal

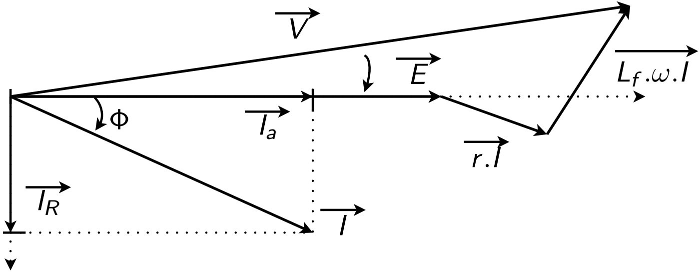
Soit l'inductance de fuite $L_f = \dfrac{N^2}{\Re_f}$

$$\begin{aligned} v(t) &= r \times i(t) + L_f \times \frac{d.i(t)}{d.t} + N \times \frac{d.\Phi_p(t)}{d.t} \\ e(t) &= N \times \frac{d.\Phi_p(t)}{d.t} \end{aligned}$$

$e(t)$ est la f.e.m induite dans le bobinage due à la variation du flux en fonction du temps.

Vecteurs de Fresnel

Traçons les vecteurs de Fresnel du système, avec $\overrightarrow{E}$ en référence des phases.



Circuit magnétique en sinusoïdal : Vecteurs de Fresnel

On peut introduire 2 courants fictifs :

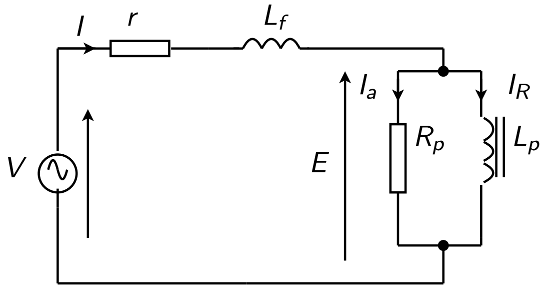
$$\begin{cases} \overrightarrow{I_a} & : \quad \text{En phase avec } \overrightarrow{E}. \\ \overrightarrow{I_R} & : \quad \text{En quadrature arrière avec } \overrightarrow{E}. \end{cases}$$

Circuit magnétique en sinusoïdal : Modèle éléctrique

Modèle

$$\begin{cases} \overrightarrow{I_a} & : \quad \text{Peut être modélisé par une résistance notée } R_p. \\ \overrightarrow{I_R} & : \quad \text{Peut être modélisé par l'inductance propre du circuit (\textit{inductance magnétisante}).} \end{cases}$$

Le modèle électrique est alors :



I
r
L_f
I_a
I_R
R_p
L_p
V
E

Que modélise R_p ?

Résistance R_p

La résistance R_p modélise les pertes ferromagnétiques ayant deux origines :

- Perte par courant de Foucault.
- Perte par hystérésis.