

CIRCUITS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES

Les circuits électriques concernent les relations entre tensions et courants.

De même, les circuits magnétiques lient les différences de potentiel magnétique à la circulation du flux magnétique.

Un circuit magnétique est le support d'un phénomène magnétique. Typiquement, la culasse ferromagnétique d'un transformateur est un tel élément. (Fig. 1).

Contrairement aux circuits électriques, n'importe quel matériau, y compris l'air et le vide, peut être le support ou une partie d'un circuit magnétique. Mais seuls trois matériaux sont bons conducteurs pour des phénomènes magnétiques : le fer, le nickel, le cobalt et leurs alliages.

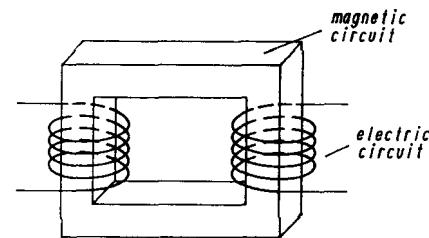


Figure 1

Il est possible de définir et analyser les circuits magnétiques par comparaisons avec les circuits électriques. Les deux colonnes ci-après décrivent en parallèle les éléments typiques des deux domaines .

	Circuits électriques	Circuits magnétiques
Vecteur champ	\vec{J} = densité de courant en $[A/m^2]$	\vec{B} = induction magnétique en $[Vs/m^2]$
Flux	$i = \iint \vec{J} \cdot d\vec{s}$ = densité de courant du flux = courant [A]	$\Phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ = flux magnétique ou Flux [Vs]
Loi de Kirchhoff pour les courants	$\sum_j i_j = 0$ pour un noeud Le courant est conservatif	$\sum_j \Phi_j = 0$ pour un noeud Le flux magnétique est conservatif
Champ	\vec{E} = vecteur de champ électrique [V/m]	\vec{H} = vecteur de champ magnétique [A/m]
Différence de potentiel scalaire	$\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} = u_{12}$ = tension [V]	$\Theta_{12} = \int_1^2 \vec{H} \cdot d\vec{l} =$ différence de potentiel magnétique $= FMM$ (force magnéto- motrice) $\Theta = \int_{S_H} \vec{J} \cdot d\vec{S} = Ni$ pour un bobinage (Fig. 2)

	Circuits électriques	Circuits magnétiques
Relations relatives aux matériaux	$\vec{E} = \rho \vec{J}$ $\rho = \text{résistivité [Vm/A]}$ ou $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ $\sigma = \text{conductivité [A/Vm]}$	$\vec{H} = \nu \vec{B}$ $\nu = \text{réductivité [Am/Vs]}$ $\vec{B} = \mu \vec{H}$ $\mu = \text{perméabilité [Vs/Am]}$
Vide	$\sigma = 0$	$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \pi$
Loi d'Ohm (matériau conducteur)	$u = Ri$	$\Theta = R_M \Phi$
Résistance	$R = \text{résistance électrique}$ $R = \frac{\ell}{\sigma S} \quad [\Omega = V/A]$ $G = 1/R = \text{conductance}$ $= \frac{\sigma S}{\ell} \quad [A/V]$	$R_M = \text{résistance magnétique ou réductance}$ $R_M = \frac{\ell}{\mu S} \quad [A/Vs]$ $\Lambda = 1/R_M = \text{perméance}$ $= \frac{\mu S}{\ell} \quad [Vs/A]$
Symboles		
Différence de potentiel		
Flux		
Résistance		
Kirchhoff Noeud	$\sum_{j=1}^n i_j = 0$	$\sum_{j=1}^n \Phi_j = 0$
Maille	$\sum_{j=1}^n u_j = 0$	$\sum_{j=1}^n \Theta_j = 0$

Loi de la tension induite : $u = Ri + d\psi / dt$

Pour un circuit :

$$S_c = \text{surface délimitée par un conducteur de } N \text{ spires} \quad \psi = Li = \text{flux totalisé} = \iint_{S_c} \vec{B} \cdot d\vec{s} = N\Phi$$

$$L = N^2 \Lambda = \text{inductance propre}$$

Pour n circuits :

$$u_j = R_j i_j + d \psi_j / dt$$

$$\psi_j = \sum_{p=1}^n L_{jp} i_p$$

$$\begin{aligned} L_{jp} &= L_{pj} = \text{inductance mutuelle entre les circuits } j \text{ et } p \\ &= \psi_{jp} / i_p \quad (i_p = \text{seule source}) \\ &= N_j N_p \Lambda_{jp} \\ \Lambda_{jp} &= \Phi_{jp} / \Theta_p \end{aligned}$$

Les circuits magnétiques ont les propriétés magnétiques spécifiques, décrites ci-après.

Les matériaux ferro-magnétiques (Fe, Ni, Co) ont une grande perméabilité comparée aux autres matériaux et à la perméabilité du vide. Ils sont de bons conducteurs magnétiques. Mais leur caractéristique n'est pas linéaire (Figure 3).

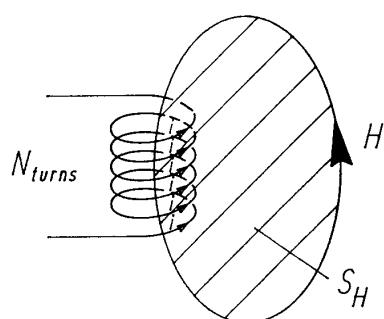


Figure 2

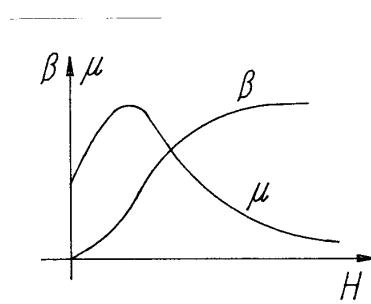


Figure 3

Lorsque l'on change de matériau, une grande perméabilité crée un effet de réfraction des lignes d'induction. Les lignes de champ magnétique sont pratiquement perpendiculaires à la surface du fer dans l'air.(Fig. 4).

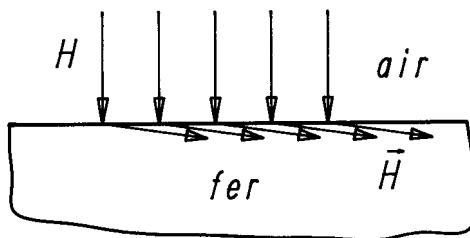


Figure 4

Pour les machines électriques, on utilise systématiquement le fer, de façon à réduire la chute de potentiel magnétique.