CHAPITRE : 01 BOBINE A NOYAU DE FER

Contenu :

La bobine à noyau de fer

1°-Rappels

1°.1-Electromagnétisme

- Circuit magnétique

C'est un ensemble de milieux comprenant principalement des substances ferromagnétiques (des alliages de fer, de nickel et de cobalt) canalisant les lignes de champ magnétique.

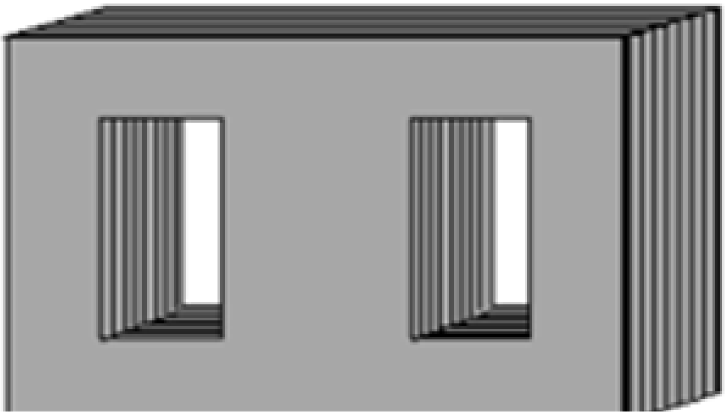

Figure 1.1 : Circuit magnétique d'un transformateur monophasé

- Vecteur champ et vecteur induction magnétique

Le vecteur induction magnétique est noté $\vec{B}$, son module (B) est exprimé en tesla[T].La relation entre l'induction et le champ magnétique $\vec{B}$ dépend du milieu :

- Dans le vide $\vec{B}_0 = \mu_0 * \vec{H}$ avec $\nu_0 = 4*\pi*10^{-7}$ [H*m^{-1}] ; μ_0 : Perméabilité de vide
- Dans une substance ferromagnétique : $\vec{B} = \mu * \vec{H}$; μ : Perméabilité du milieu de même unité que μ_0 . On pose $\mu = \mu_0 * \mu r$ avec μ_r est la perméabilité relative du milieu. On vérifie que $\vec{B} = \mu_r * \vec{B}_0$

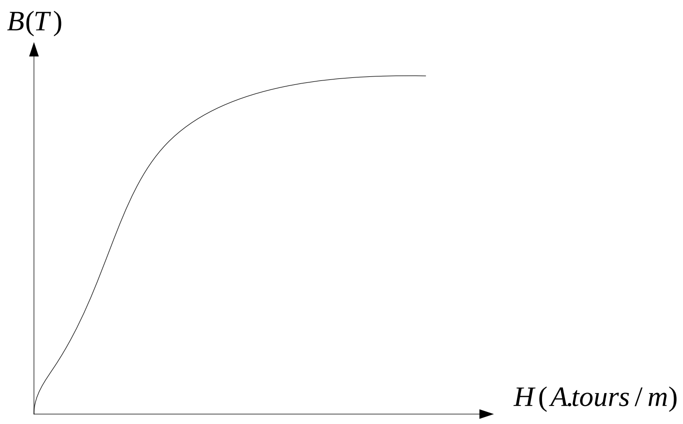

Figure 1.2 : Courbe d'aimantation

- Inductance propre

Par définition l'inductance propre L_1 d'une bobine de N_1 spires (représenté par la figure suivante) est donnée par la relation $L_1 = \frac{N_{1*}\phi_1}{I_1}$, elle est exprimée en Henry [H]

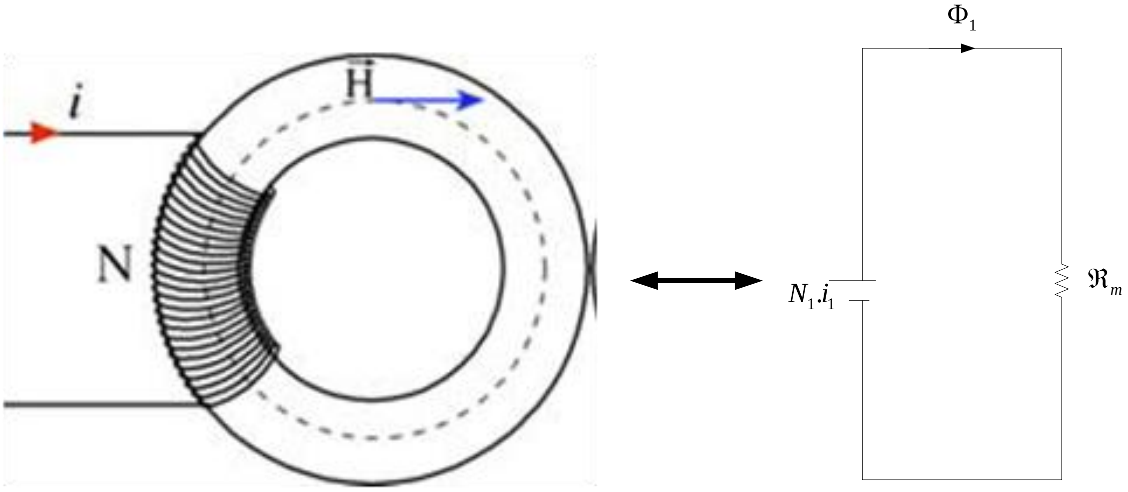

Figure 1.3 : Circuit magnétique équivalent

En appliquant la loi d'Hopkinson on aura $\phi_1 = \frac{N_{1*}I_1}{\Re_1}$ donc $L_1 = \frac{N_1^{\ 2}}{\Re}$ avec $\Re$ est la reluctance du circuit magnétique [H^{-1}].

1°.2-Représentation de Fresnel

- Pour toute grandeur sinusoïdale on associe un vecteur de Fresnel

Exemple à $i(t) = I * \sqrt{2} * \sin(wt + \varphi)$ on associe un vecteur $\vec{I}$

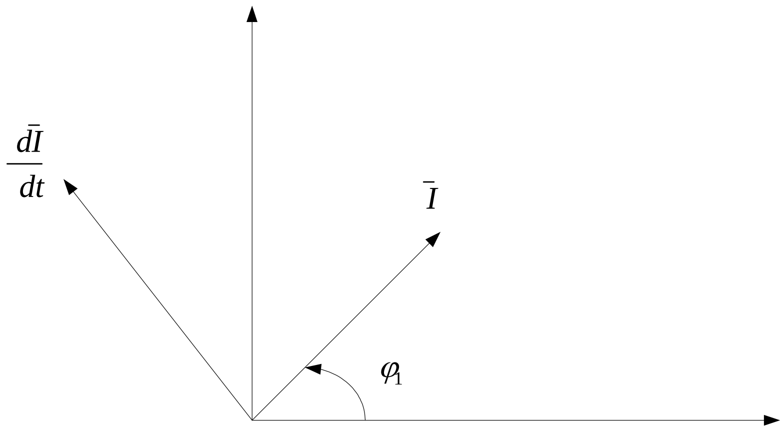

Figure 1.4 : Diagramme vectoriel

<u>2°-Constitution</u>

La bobine à noyau de fer est constitué essentiellement :

- D'un circuit magnétique formé d'un empilement de tôles magnétiques minces isolées entre elles par une couche de vernis
- D'une bobine de N spires

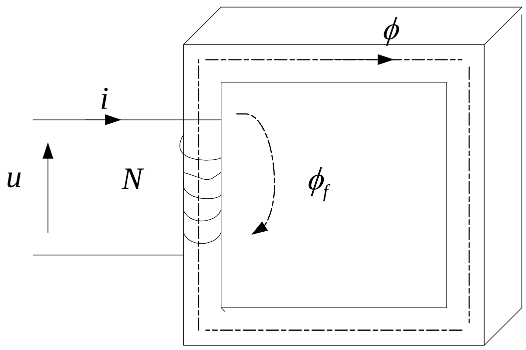

Figure 1.5 : Constitution

<u>3°-Etude de fonctionnement</u>

Si on alimente la bobine à noyau de fer par une tension $u(t) = U * \sqrt{2} * \cos(wt + \varphi)$, la force magnétomotrice $F = N * I$ engendre un flux $\varphi_1 = \varphi + \varphi_f$ avec :

- φ : flux dans le fer
- φ_f : flux de fuite(en grande partie passe par l'air)

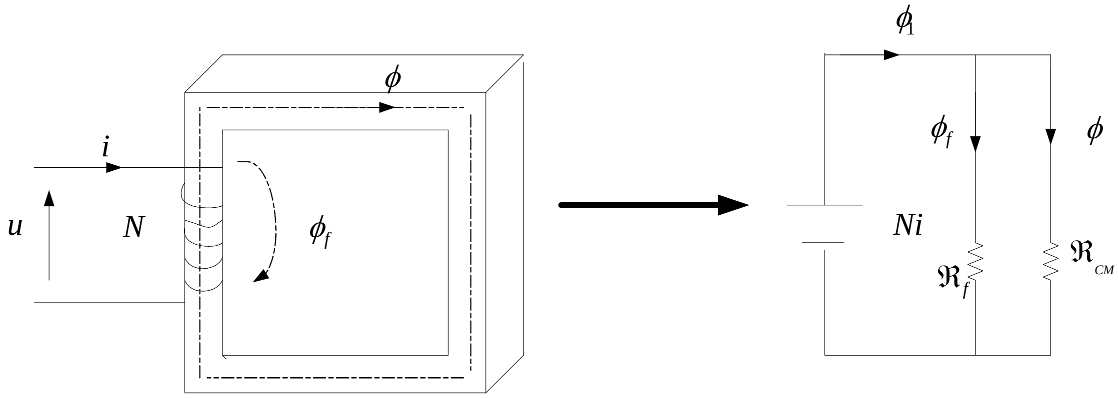

Figure 1.6: Circuit magnétique équivalent

Dans ces conditions l'inductance de fuite(l) est donnée par : $l = \dfrac{N*\phi_1}{i}$

Or d'après la loi d'Hopkison appliquée au schéma magnétique équivalent, on aura :

$N*i = \Re_f*\phi_f = \Re_{CM}*\phi$ Avec $\Re_f$: reluctance de fuites et $\Re_{CM}$: reluctance du circuit magnétique $l = \dfrac{N^2}{\Re_f}$ **(1)**

3°.1-Equations électriques

La loi des mailles appliquée au schéma électrique équivalent (voir ci dessous) donne :

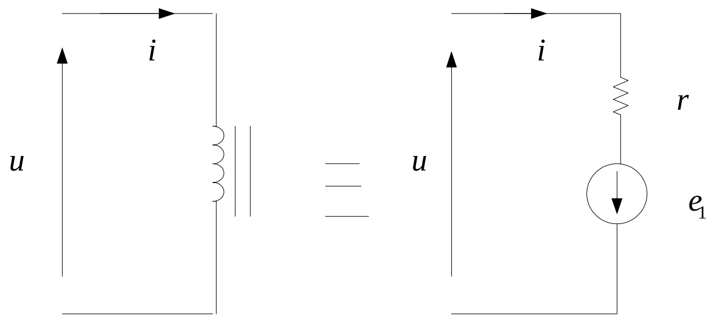

Figure 1.7: Circuit électrique équivalent

$u + e_1 = r + i$ Avec $e_1 = -N*\dfrac{d\phi_1}{dt} = -N*\dfrac{d\phi}{dt} - N*\dfrac{d\phi_f}{dt}$ **(2)**

D'après l'équation (1)⇨ $N*\phi_f = l*i$ ⇨ $N*d\phi_f = l*di$

L'équation (2) devient $e_1 = -N * \frac{d\phi}{dt} - l\frac{di}{dt}$

Donc $u = N * \frac{d\phi}{dt} + l\frac{di}{dt} + r * i$ **(3)**

En écriture complexe $\overline{U} = j * N * w * \overline{\phi} + j * l * w\overline{I} + r * \overline{I}$ **(4)**

3°2-Forme d'onde du courant absorbé

Hypothèse : on suppose que toutes les chutes de tension sont négligeables, on aura d'après (3) $u = N * \frac{d\phi}{dt}$ ⇨si $u(t)$ est sinusoïdale, $\phi(t)$ est aussi sinusoïdal mais il est en retard de 90° .On sait que dans un circuit magnétique alimenté en alternatif B=f(H) aura la forme d'un cycle d'hystérésis.

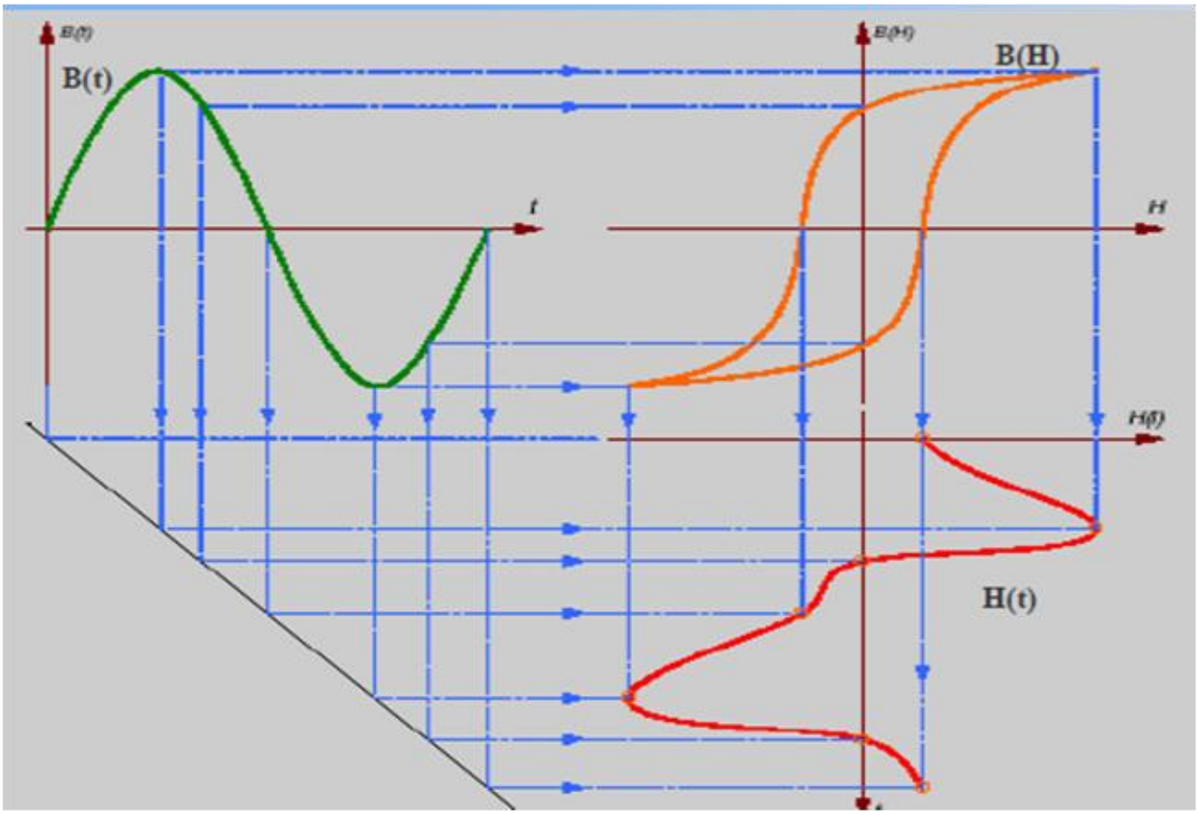

Figure 1.8 : Cycle d'hystérésis et allure de courant

On peut construire l'allure de i(t) à partir de b(t) de la manière suivante :

A un instant t_1 ⟶ b_1 ⟶ h_1 donc i_1 que l'on porte à la verticale de t_1.on refait cette opération pour plusieurs points on aura $i_1(t)$

La chose qu'on peut constaté rapidement que i(t) n'est pas sinusoïdale à cause de la saturation et un peu décalé par rapport à l'induction ⇨la puissance moyenne n'est pas nulle pour chaque cycle décrit.

3°.3-Pertes fer d'un circuit magnétique

La présence d'un circuit magnétique va entrainer des pertes supplémentaires. On note par P_f les pertes dans le fer d'un circuit magnétique. Ces pertes vont se traduire par un échauffement du circuit magnétique .Les pertes fer s'écrivent $P_f = P_H + P_{CF}$ **(5)** avec P_H : pertes par hystérésis et P_{CF} : pertes par courants de Foucault

3°.3.1-Pertes par hystérésis

L'énergie perdue par unité de volume W_H est proportionnelle à l'aire du cycle d'hystérésis. D'autre part , ces pertes magnétiques augmentent avec la fréquence et l'induction maximale $B_{\max}$. Cette puissance est donnée par l'expression empirique (formule de Richter) suivante : $P_H = a*V*f*B_{\max}{}^2 + b*V*f*B_{\max} + k*V*f^2*B_{\max}{}^2$ **(6)** avec : V :volume du matériau ,f : fréquence et a,b et k sont des coefficients Donnés.

- ✓ Remarque :

Pour réduire les pertes par Hystérésis on doit choisir toles qui ont des cycles étroits (tôles au silicium).

3°.3.2-Pertes par courants de Foucault

Les courants de Foucault sont des courants induits dans les masses métalliques du circuit magnétique. Pour une induction périodique $b(t)$ ces pertes peuvent être traduites par la formule suivante : $P_{CF} = K*V*f^2*B_{\max}{}^2$ **(7)** avec K : coefficient donné

Pour réduire les pertes par courant de Foucault on doit feuilleter les tôles et les isoler les unes des autres.

3°.3.3-Pertes totales

En réalité, pour estimer les pertes dans le fer P_F , les fabricants des tôles fournissent la courbe de qualité pour chaque tôle.

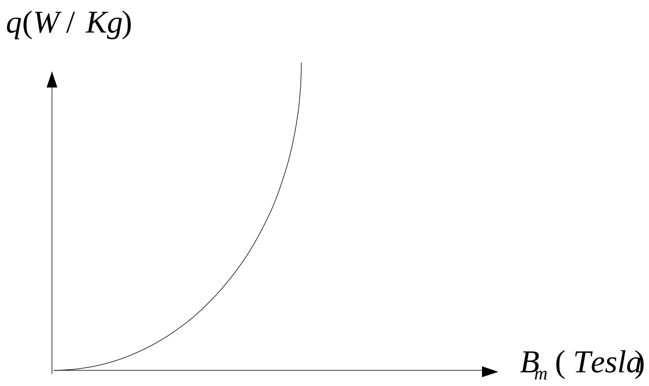

Figure 1.10: Courbe des qualités

$P_F = q * M$ **(8)** avec M : masse du circuit magnétique et q : facteur de qualité

- ✓ Remarque :

D'après l'équation **(8)** et pour M donnée on aura $P_F \cong B_{\max}{}^2$ et on démontre par la suite que $B_{\max} \cong U$ (tension efficace aux bornes de la bobine) ⇨ $P_F \cong U^2$ **(9)**

3°.4-Relation de Boucherot

D'après l'équation **(3)** on a $u_1(t) = N_1 * \frac{d\phi}{dt}$, la tension $u_1(t)$ est sinusoïdale (elle est imposée par le réseau) soit $u_1(t) = U_1 * \sqrt{2} * \sin(wt)$ on aura donc : $\frac{d\phi}{dt} = \frac{U_1}{N} * \sin(wt)$ ⇨

$\phi(t) = \frac{U_1 * \sqrt{2}}{N_1 * w} * \sin(wt - \pi/2) = \phi_{\max} * \sin(wt - \frac{\pi}{2})$ Sachant que $\phi_{\max} = B_{\max} * S$ (S :section droite du circuit magnétique)

On aura $U_1 = 4.44 * N_1 * f * B_{\max} * S$ **(10)**

L'équation **(10)** est appelée : Relation de Boucherot

La relation **(10)** permet de calculer le nombre de spires.

L'induction maximale dépend de la valeur efficace de la tension.

3°.5-Schéma équivalent et diagramme vectoriel

Le modèle équivalent de la figure suivante traduit le fonctionnement électrique et énergétique de la bobine à noyau de fer

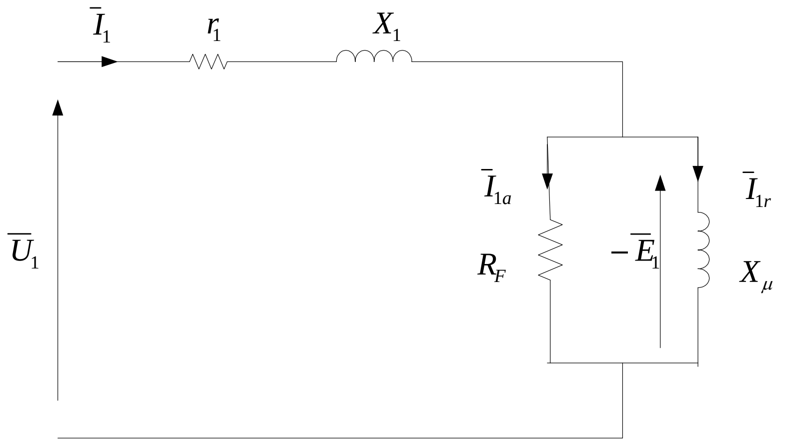

Figure 1.11: Schéma équivalent

Ou :

- r_1 : résistance de la bobine

$X_1 = l_1 * w$: réactance de fuites de la bobine

-X_μ:reluctance magnétisante

-R_μ : Résistance fictive traduisant les pertes fer

D'autre part on peut calculer X_μ et R_μ

$$P_F = P_{10} - r_1 * I_{10}{}^2 \approx R_\mu * I^2{}_{0a} \Rightarrow R_\mu = \frac{P_F}{I_{10a}{}^2} \approx \frac{U_1{}^2}{P_F} \qquad \textbf{(11)}$$

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_{10r}} \approx \frac{U_1{}^2}{Q_F} \qquad \textbf{(12)}$$

En appliquant la loi des mailles au schéma équivalent. On retrouve bien la relation **(4)**

$\bar{U}_1 = j * N_1 * w * \dot{\bar{\phi}} + j * l * w * \bar{I} + r * \bar{I}$ Avec $\bar{E}_1 = -j * N_1 * w * \dot{\bar{\phi}}$

Le diagramme vectoriel suivant est une traduction de la relation **(4).**

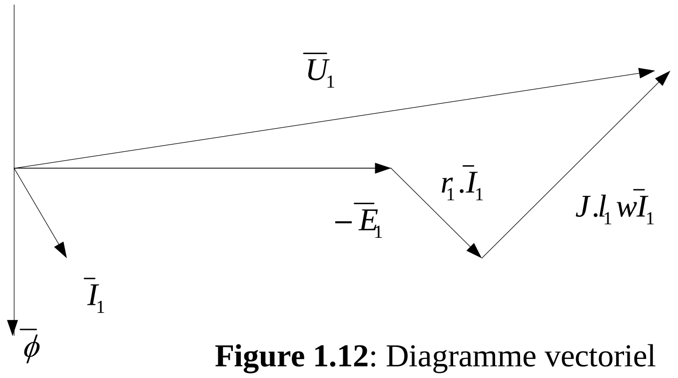

Figure 1.12: Diagramme vectoriel