

PERTES PAR COURANTS DE FOUCAULT ET HYSTÉRÉSIS DANS LE FER

1) Fer massif

Soit une structure ferromagnétique massive de section carrée (aa) et de hauteur h , parcourue par un flux alternatif de pulsation ω ($\omega = 2\pi f$) (Fig. 1).

On peut écrire :

$$\Phi = \iint B ds = Ba^2$$

L'équation de tension induite peut s'écrire :

$$u = o = Ri + d\Psi/dt$$

$$o = Ri + d\Phi/dt$$

$$o = Ri + a^2 dB/dt \quad (1)$$

$$B = \hat{B} \sin \omega t$$

En complexe, l'équation (1) peut s'écrire :

$$\underline{I} = j\omega \underline{B} a^2 / R$$

$$I = \omega B a^2 / R$$

En approchant la résistance R par la ligne moyenne de densité de courant et par la section moyenne, on peut écrire (Fig. 2) :

$$R \cong \frac{\rho \bar{\ell}}{S_R} = \frac{\rho 4a/2}{\frac{1}{2}ah} = \frac{4\rho}{h}$$

Les pertes Joule qui en résultent valent :

$$P_{Jm} = RI^2 = \frac{\omega^2 B^2 a^4 h}{4\rho}$$

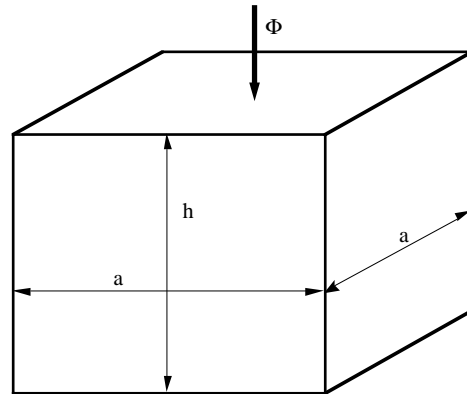


Figure 1

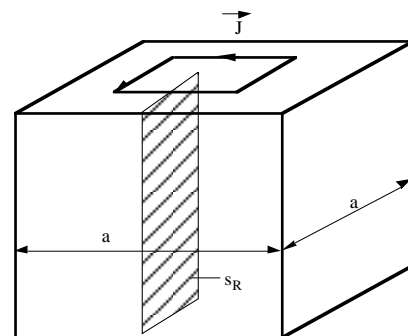


Figure 2

2) Fer feuilleté

Si la branche ferromagnétique est décomposée en tôles parallèles au champ magnétique (Fig. 3), il en résulte des pertes par tôle qui valent (indice 1) :

$$\Phi_1 = Bae$$

$$e = a/N$$

$$\Phi_1 = Ba^2/N$$

$$I_1 = \omega Ba^2/NR_1$$

R_1 = résistance d'une tôle

Conformément à la figure 4, la résistance d'une tôle peut s'exprimer comme suit :

$$R_1 = \frac{\rho \bar{\ell}_1}{S_1} = \frac{\rho (a + \frac{a}{N})}{h \frac{a}{2N}} = \frac{2\rho (N+1)}{h}$$

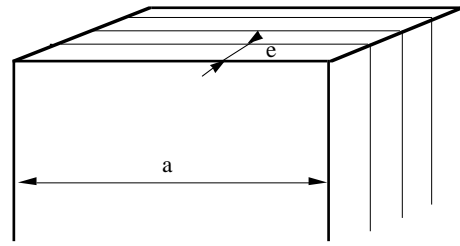


Figure 3

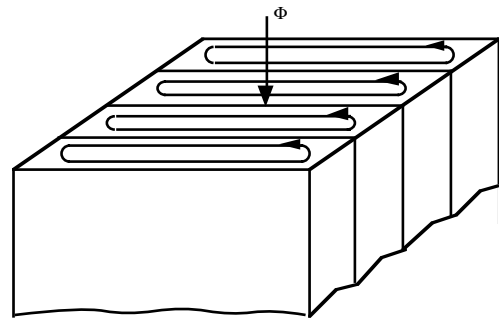


Figure 4

Les pertes Joule pour une tôle valent alors :

$$P_{J1} = R_1 I_1^2 = \frac{\omega^2 B^2 a^4}{N^2 R_1} = \frac{\omega^2 B^2 a^4 h}{2\rho N^2 (N+1)}$$

Pour N tôles, les pertes totales valent alors :

$$P_{JN} = NR_1 I_1^2 \cong \frac{\omega^2 B^2 a^2 h}{2\rho} \frac{a^2}{N^2}$$

$a/N = e =$ épaisseur d'une tôle

$$P_{JN} = \frac{\omega^2 B^2 a^2 h}{2\rho} e^2 = 2 P_{jm} \frac{e^2}{a^2}$$

On peut aussi écrire :

$$P_{JN} = k_p \omega^2 B^2 e^2$$

Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de l'induction, au carré de la fréquence et au carré de l'épaisseur des tôles.

$$P_F = C_F \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \left(\frac{\hat{B}}{\hat{B}_0} \right)^2 \left(\frac{e}{e_0} \right)^2 m$$

f_0 = fréquence de référence (50 Hz en général)

\hat{B}_0 = induction de référence (1 ou 1,5 T)

e_0 = épaisseur de référence (0.5 mm en général)

m = masse de fer

C_F = coefficient de pertes par courants de Foucault [W / kg]

3) Pertes par hystérésis

Les pertes par hystérésis sont générées en parcourant un cycle d'hystérésis, partiel ou complet.

$\oint HdB$ = énergie magnétique volumique

$\hat{\Delta}$ $\hat{=}$ surface d'un cycle (Fig. 5)

Les pertes par hystérésis sont proportionnelles au carré de l'induction et à la fréquence.

$$P_H = C_H \left(\frac{f}{f_0} \right) \left(\frac{\hat{B}}{\hat{B}_0} \right)^2 m$$

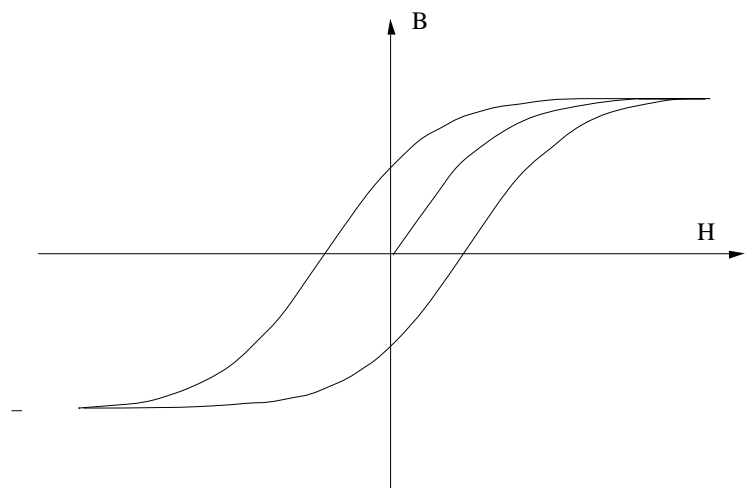


Figure 5

4) Pertes totales

Les pertes fer totales ($P_{F_{tot}}$) peuvent être exprimées comme suit :

$$P_{F_{tot}} = \left(\frac{f}{f_0} \right) \left(\frac{\hat{B}}{\hat{B}_0} \right)^2 \left[C_F \left(\frac{f}{f_0} \right) \left(\frac{e}{e_0} \right)^2 + C_H \right] m$$