

LP25 : Transport de l'énergie électrique

Alexandre Koessler

Plan

1	Ordre de grandeurs	2
2	Rappels sur le ferromagnétisme	2
2.1	Aimantation, champ magnétique, excitation magnétique	2
2.2	Ferromagnétisme	2

1 Ordre de grandeurs

La puissance produite est $\mathcal{P}_p = U I$. La puissance dissipée dans les câbles est $\mathcal{P}_d = R I^2$ donc

$$\mathcal{P}_d = R \frac{\mathcal{P}_p^2}{U^2} \quad \text{ainsi} \quad \frac{\mathcal{P}_d}{\mathcal{P}_p} = R \frac{\mathcal{P}_p}{U^2}$$

Pour une puissance produite $\mathcal{P}_p$ fixée, il faut que U soit aussi grand que possible pour minimiser les pertes par effet Joule dans les câbles de transport d'électricité.

Pour un diamètre de câble en cuivre de 5 cm, d'une longueur de 50 km et une puissance donnée de 1 GW (une grande ville) :

- pour $U \approx 400$ kV (haute tension) : $\frac{\mathcal{P}_d}{\mathcal{P}_p} \approx 0,2 \%$
- pour $U \approx 63$ kV (moyenne tension) : $\frac{\mathcal{P}_d}{\mathcal{P}_p} \approx 8 \%$

2 Rappels sur le ferromagnétisme

2.1 Aimantation, champ magnétique, excitation magnétique

- Moment magnétique $\mathcal{M} = "i S"$ en A m^2 contribution "micro"
- Vecteur aimantation $\mathbf{M} = \frac{\delta \mathcal{M}}{\delta \tau}$ en A m^{-1} densité volumique en moment magnétique
- champ créé par un dipôle magnétique (genre petit aimant) de moment magnétique $\mathcal{M}$

$$B_r = \frac{\mu_0}{4\pi} \mathcal{M} \frac{2 \cos \theta}{r^3} \quad B_\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \mathcal{M} \frac{\sin \theta}{r^3} \quad B_\varphi = 0$$

- force subie par un moment magnétique $\mathcal{M}$ dans un champ extérieur $\mathbf{B}_{\text{ext}}$
 - énergie potentielle : $E_p = -\mathcal{M} \cdot \mathbf{B}_{\text{ext}}$
 - force : $\mathbf{F} = (\mathcal{M} \cdot \nabla) \mathbf{B}_{\text{ext}}$
 - couple : $\Gamma = \mathcal{M} \wedge \mathbf{B}_{\text{ext}}$
- deux contributions de courants : $\mathbf{j}_{\text{lié}} = \nabla \wedge \mathbf{M}$ et $\mathbf{j}_{\text{libre}}$
- on définit alors l'excitation magnétique $\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M}$
- l'équation de Maxwell-Ampère dans l'ARQSM s'écrit $\nabla \wedge \mathbf{H} = \mathbf{j}_{\text{libre}}$
- Théorème d'Ampère

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = i_{\text{libre, enlacé}}$$

- Les sources de $\mathbf{H}$ sont seulement les courants libres et les sources de $\mathbf{B}$ sont les courants libres et l'aimantation

2.2 Ferromagnétisme

- matériau dur (Alnico 50% fer, 10% aluminium, 10 à 20% nickel, 10 à 25% cobalt)
 - champs rémanents $B_r \approx 1.25$ T (champ qui restent après excitation dû à une aimantation rémanente)
 - excitations coercitives $H_c \approx 1 \times 10^5 \text{ A m}^{-1}$ (excitation à appliquée au ferro pour retrouver une aimantation nulle à partir de l'aimantation rémanente)
- matériau doux (Permalloy 15% fer, 80% nickel et autres)
Dans le cas d'un cycle d'hystérésis étroit

- champs rémanents $B_r \approx 0$
- excitations coercitives $H_c \approx 0$

Il y a alors une zone linéaire autour de 0 telle que $B = \mu H$ avec $\mu = \mu_0 \mu_r$ la perméabilité du matériau et μ_r sa perméabilité relative ($\mu_r \approx 10^5$ pour un Permalloy)