



TRAVAUX DIRIGÉS DE TRAITEMENT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

CÂBLE DE TRANSPORT D'ÉNERGIE

Objectifs du TD : - comprendre l'intérêt d'utiliser du courant continu pour le transport d'énergie électrique à distance par câble ;
- travailler sur un composant réel.

Un ensemble de câbles de transport d'énergie électrique courant continu haute tension relie la France à l'Angleterre (Cf. photocopié "Introduction à l'électrotechnique et à l'électronique de puissance").

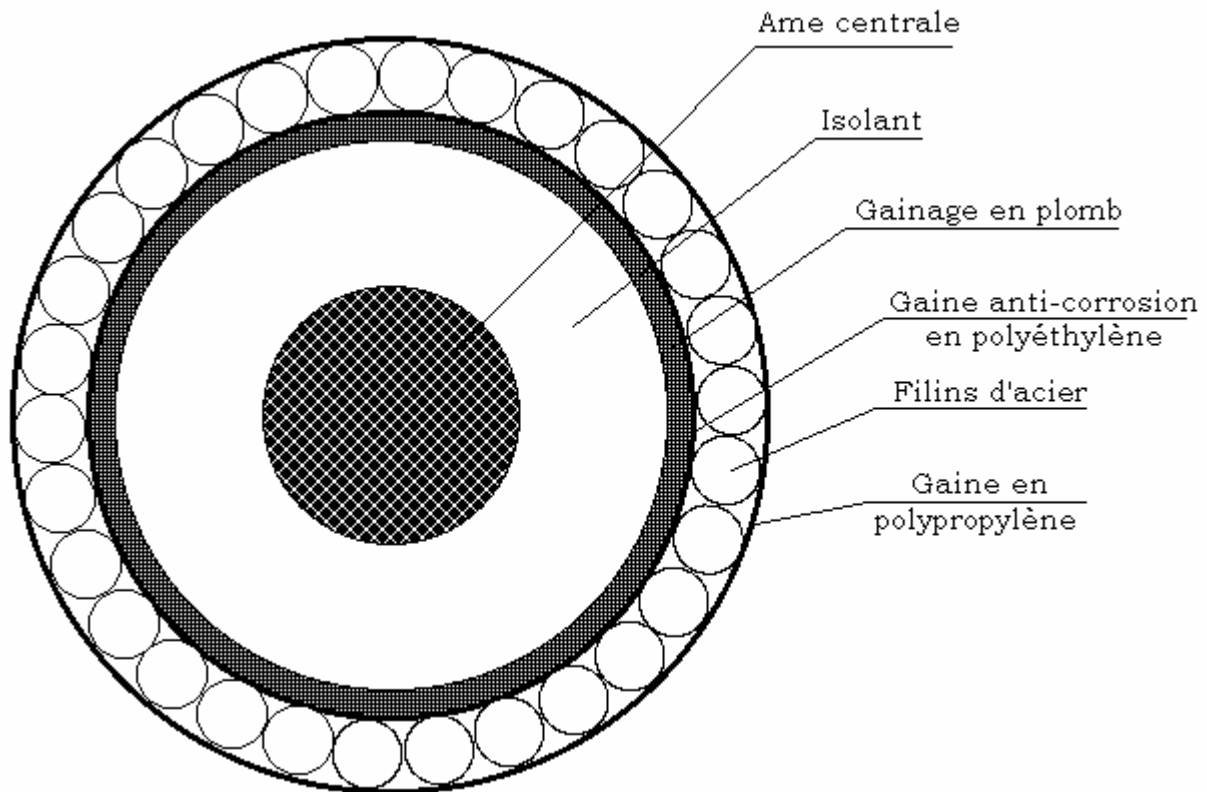
Ces câbles relient deux stations de conversion (une en France, l'autre en Grande-Bretagne) distantes de 50 km. Ces câbles sont posés au fond de la Manche.

Nous allons étudier un de ces câbles de transport d'énergie et montrer l'intérêt d'utiliser du courant continu pour le transport d'énergie électrique à distance par câble.

Un tel câble est constitué d'un conducteur (âme centrale) en cuivre. Ce conducteur est entouré d'un isolant constitué de nombreuses couches de papier imprégné. Pour assurer l'étanchéité du câble, l'isolant est entouré d'un gainage de plomb. Une gaine anti-corrosion en polyéthylène est placée autour de cette gaine en plomb. Pour assurer la tenue mécanique de l'ensemble au moment de la pose, une armure constituée de filins d'acier entoure l'ensemble. Enfin, le tout est recouvert de deux couches de polypropylène.

.../...

La coupe d'un tel câble est dessinée ci-dessous (échelle 1) :



Données techniques du câble

L'âme du câble est en cuivre de section 900 mm^2 . La résistivité du cuivre vaut $1,724 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.

L'isolant en papier imprégné a une permittivité relative $\epsilon_r = 4$.

Les rayons extérieurs des différentes couches sont donnés dans le tableau ci-après :

Nature	Rayon extérieur
Isolant (papier imprégné)	33,5 mm
Gaine de plomb	36,5 mm
Gaine de polyéthylène	39 mm
Armature en filins d'acier	49 mm
Gaine polypropylène	50 mm

Formulaire

La capacité **par unité de longueur** d'un condensateur cylindrique est donné par la relation :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\text{Ln} \frac{R_{\text{ext}}}{R_{\text{int}}}}$$

les rayons intérieurs et extérieurs de la partie isolante.

ϵ_0 est la permittivité du vide et a pour valeur $10^{-9}/36.\pi \text{ F/m}$.

ϵ_r est la permittivité relative du matériau et n'a pas d'unité.

Questions

1. Quelle est, en continu, la résistance de l'âme centrale d'un câble ?

$$R = \rho \frac{\ell}{S} = 1,724 \cdot \frac{5000000}{9} = 0,96 \Omega$$

2. Parcouru par un courant continu de 925 A, quelle est la puissance dissipée par l'âme d'un câble ?

$$P = RI^2 = 0,82 \text{ MW pour } 250 \text{ MW transportés}$$

3. En alternatif, la résistance du conducteur est-elle modifiée ?

Effet de peau. Épaisseur de peau (qui correspond à une atténuation de 1/e) :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

Exemples d'épaisseur de peau pour du cuivre (à multiplier par deux pour diamètre) :

50 Hz	9 mm
1 kHz	2 mm
100 kHz	0,2 mm
1 MHz	66 μm
100 MHz	6,6 μm

Rappeler $r = \rho \cdot \ell / S$ pour montrer que R augmente car S diminue. Cela permet aussi de parler de σ comme $1/\rho$ (normalement déjà fait avec réductance).

Effet de peau : 9 mm inférieur au rayon (16,9 mm).

Un pôle de l'alimentation est relié à l'âme centrale du câble. L'autre pôle est relié à la terre. Le gainage de plomb et les filins d'acier sont aussi reliés à la terre.

4. Quelle est la capacité du condensateur que constitue le câble ?

Il faut d'abord calculer le diamètre de l'âme. On a la section : 900 mm². On en déduit le rayon : 16,9 mm.

Le rayon extérieur du condensateur est 33,5 mm (isolant).

Soit, en appliquant la relation

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\text{Ln}e \frac{R_{\text{ext}}}{R_{\text{int}}}} \cdot \ell = \frac{2\pi 10^{-9} \cdot 4}{36\pi \text{Ln} \frac{33,5}{16,9}} \cdot 50000 = \frac{200}{18 \text{Ln} \frac{33,5}{16,9}} \mu = 16,2 \mu\text{F}$$

5. Alimenté en 190 kV (270 kV / $\sqrt{2}$) alternatifs 50 Hz, quel courant entre dans le câble, l'autre extrémité n'appelant aucune puissance ?

$$I = UC\omega = 190\,000 * 16,2388 \cdot 10^{-6} * 314,1592 = 970 \text{ A}$$

6. À quoi correspond ce courant ? Est-il utile pour le transport d'énergie entre les deux stations ?

Il s'agit d'un courant réactif qui ne transporte pas d'énergie.

Le câble ne véhiculerait que ce courant capacitif. Il ne reste plus de rien pour transporter de l'énergie.

7. Indiquer pourquoi il est nécessaire d'alimenter le câble en courant continu.

Il faut éliminer ce courant capacitif donc alimenter le câble en continu.

8. Le câble étant alimenté en continu sous 270 kV, quelle puissance peut-il transporter quand il est parcouru par un courant de 925 A (on négligera toutes les pertes) ?

$$P = UI = 270\,000 \cdot 925 = 250 \text{ MW (exactement } 249,75)$$

9. Calculer le rapport des pertes Joule par rapport à la puissance transportée.

$$P = RI^2 = 0,82 \text{ MW pour } 250 \text{ MW transportés (exactement } 249,75) \text{ soit } 3,3 \%$$