DEFINITIONS TECHNIQUES

● Conductivité thermique

Vitesse à laquelle la chaleur passe à travers un matériau lorsqu'une différence de température lui est appliquée, les températures étant stationnaires en chaque point (voir ci-après).

● Radiation thermique

Radiation électro-magnétique émise par tout corps dont la température est au-dessus du zéro absolu.

● Temps de réponse

Intervalle de temps nécessaire pour que l'application d'un changement brusque de température sur une sonde se traduise en une sortie donnée. Le changement est fréquemment donné comme étant 63,2 % de la valeur finale.

● Point de Curie

Température à laquelle un matériau magnétique devient non magnétique.

● Point de glace

Température de la glace fondant à une pression de 1 atmosphère. O °C de l'échelle internationale simplifiée de température IPTS.

● Recuit

Traitement thermique de matériaux pour supprimer les contraintes internes, dislocations, etc.

CONDUCTIVITE THERMIQUE ET ELECTRIQUE

Propriété physique qu'ont les corps à transmettre plus ou moins facilement d'un point à un autre de leur masse, la chaleur ou l'électricité. En général, les corps bons conducteurs de la chaleur le sont aussi de l'électricité.

● Conductivité thermique intérieure

La théorie donnée par Fournier repose sur l'hypothèse du rayonnement moléculaire. Le problème est connu en physique sous le nom de MUR. On recherche la quantité de chaleur qui traverse un mur d'épaisseur e dont les deux faces sont à des températures T1 et T2.

La valeur est donnée par : $\boxed{Q = K \dfrac{T1 - T2}{e}}$

K = coefficient de conductivité thermique intérieure.

● Conductivité thermique extérieure

On tient compte de l'échange de chaleur entre la surface et le milieu extérieur. Formule de Biot et Lambert.

$\boxed{t = Te^{-ax}}$

T = température de l'élément le plus chaud sur l'air ambiant.
e = base de logarithmes Neperiens.
x = distance du point considéré, à l'extrémité la plus chaude.
Le coefficient a est fonction de la section (S) et du périmètre (P) ainsi que des 2 coefficients de conductivité intérieure et extérieure (K et H).

$\boxed{a = \dfrac{HP}{KS}}$

● Conductivité électrique

Propriété qu'ont les corps à transmettre plus ou moins facilement d'un point à un autre de leur masse un courant électrique.

Elle est donnée par la formule : $\boxed{C = \dfrac{\gamma\, s}{L}}$

s = section

$\gamma = \dfrac{1}{\rho}$

ρ = résistivité
L = longueur

GRADIENT DE POTENTIEL

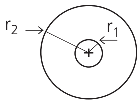
Le gradient de potentiel est la relation donnant la valeur du champ électrique en tout point de l'isolant, en fonction de la position de ce point.

Notations :
U_o = tension simple (phase-neutre) en volts.
r_1 = rayon de l'âme (y compris couche conductrice éventuelle sur âme), en mm.
r_2 = rayon sur l'enveloppe isolante d'un conducteur (non compris couche conductrice éventuelle sur isolant en mm).

CABLE A CHAMP RADIAL (avec âme ronde)

Les lignes du champ électrique sont radiales et déterminent des surfaces équipotentielles cylindriques et concentriques à l'âme. Le gradient en un point distant de x (mm) du centre du conducteur est donné par la relation :

$\boxed{U_x = \dfrac{U_o}{x \ln \dfrac{r_2}{r_1}} \text{ (V/mm)}}$



Le potentiel est maximal sur l'âme ($x = r_1$) et minimal à la périphérie de l'enveloppe isolante ($x = r_2$).

Ces résultats ne sont valables que dans le cas d'une tension alternative où la répartition du champ est d'origine capacitive. Par contre, sous l'effet d'une tension continue, le gradient se répartit en fonction de la résistance de l'isolant. Selon la variation de celle-ci avec la température et le gradient, il peut se produire une uniformisation de la contrainte diélectrique dans l'isolant, ou même, un report du gradient maximum vers la périphérie.

PHENOMENES DE CONCENTRATION DU CHAMP ELECTRIQUE

Au voisinage d'une partie conductrice de faible rayon de courbure, les lignes de champ subissent une concentration et la valeur du gradient peut croître dans de grandes proportions. Ce phénomène est désigné sous le nom d'**effet de pointe**.

Ainsi, dès que la tension de service devient importante, il est nécessaire de prévoir sur l'âme une couche conductrice pour éviter cet effet de pointe.

De même, dans les boîtes d'extrémité, il convient, à partir d'une certaine valeur de la tension, de limiter le gradient à l'arrêt d'écran et de le répartir régulièrement le long de la ligne de fuite, au moyen d'un déflecteur ou d'un système répartiteur de champ.

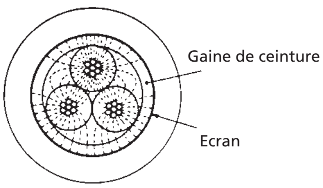
ECRAN METALLIQUE

Il constitue la partie métallique de l'écran sur l'enveloppe isolante et doit être capable d'écouler le courant de court-circuit monophasé de l'installation.

Les matériaux employés à cet effet sont le cuivre et l'aluminium.

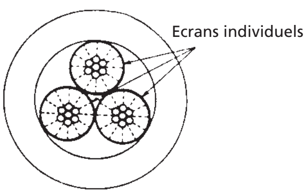
Les écrans en cuivre ou en aluminium se présentent sous la forme de rubans, enroulés en hélice ou posés longitudinalement, ou de tresses en fils de cuivre.

Selon la disposition de l'écran et la répartition correspondante dans l'isolant du champ électrique en régime triphasé, on distingue les câbles à champ radial ou non. Un câble est dit à **champ non radial** lorsque l'écran entoure l'ensemble des conducteurs. Dans une telle disposition, en effet, si les âmes sont alimentées par un système polyphasé, le champ électrique en un point quelconque de l'isolant est constamment variable, non seulement en grandeur, mais aussi en direction. Il présente notamment une composante tangentielle non négligeable.



Répartition, à un instant donné, des lignes de force dans un câble à champ non radial.

Pour supprimer la composante tangentielle du champ et obtenir par conséquent un câble à **champ radial**, on entoure chaque conducteur d'un écran conducteur.



Répartition, à tout instant, des lignes de force dans un câble à champ radial.

T

RESISTANCE D'ISOLEMENT

C'est la résistance opposée au passage du courant à travers l'enveloppe isolante. Pour les isolants traditionnels, les pertes thermiques correspondantes sont négligeables aux fréquences industrielles. La résistance d'isolement n'a pas, dans l'absolu, de rapport étroit avec la qualité diélectrique de l'isolant et ne permet pas, à la différence des essais de tenue diélectrique, de préjuger de manière formelle du comportement du câble en service. Toutefois, sa variation éventuelle dans le temps, ou en fonction d'autres paramètres, peut indiquer une modification des caractéristiques de l'isolant.

La résistance d'isolement d'un conducteur d'un câble à champ radial est donnée par :

$$R_i = K_i \log \frac{r_2}{r_1} \quad M\Omega.km$$

r_1 = rayon de l'âme (y compris couche conductrice éventuelle sur âme), mm

r_2 = rayon sur l'enveloppe isolante (non compris couche conductrice éventuelle sur isolant), mm

k_i = constante d'isolement, exprimée en MΩ.km, caractéristique du matériau isolant et dépendant de sa résistivité transversale (exprimée en Ω.cm)

Elle peut varier sensiblement selon la nature ou la formulation du matériau et en sens inverse de la température.

La relation précédente peut être étendue en première approximation au calcul de :

- la résistance d'isolement d'un conducteur d'un câble à champ non radial, avec :
  $r_2 = r_1$ + épaisseur de l'enveloppe isolante individuelle + épaisseur de la gaine de ceinture.
- la résistance d'isolement entre deux conducteurs, avec :
  $r_2 = r_1$ + épaisseur totale d'isolant entre les deux âmes.

Remarques :

- La résistance d'isolement est inversement proportionnelle à la longueur du câble.
- La résistance d'isolement mesurée sur une liaison installée est souvent inférieure à celle du câble seul, en raison des accessoires de réseau (influence par exemple de la présence d'humidité sur la surface des extrémités).

CONSTANTES LINEIQUES DES LIGNES ELECTRIQUES

RESISTANCE LINEIQUE EN COURANT CONTINU

- La résistance linéique d'une ligne est donnée par la relation :

$$R = \frac{\rho}{s}$$

R étant exprimé en $\Omega.m^{-1}$ ou en $\Omega.km^{-1}$
s = section ρ = résistivité

- La résistivité ρ d'un métal est fonction de la température :

$$\rho_\theta = \rho_{20} \times [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)]$$ avec ρ_{20} = résistivité à 20 °C

Pour le cuivre $\alpha_{20} = 3.93.10^{-3}$; $\rho_{20} = 1.724$ μΩ.cm
Pour le nickel $\alpha_{20} = 5.10^{-3}$; $\rho_{20} = 9.0$ μΩ.cm
Le tableau ci-contre donne la valeur du coefficient $1 + \alpha_{20} (\theta - 20)$ en fonction de θ.

- En courant alternatif, il faut tenir compte de l'effet pelliculaire (effet Kelvin) qui se traduit par une variation exponentielle de la densité de courant, dont la constante δ, appelée profondeur de pénétration, est :

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

avec $\mu = \mu_O \mu_r$ perméabilité magnétique
$\sigma = 1/\rho$ conductivité électrique
f = fréquence du courant alternatif

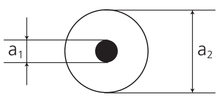
Pour le cuivre $\mu = \mu_O \mu_r \simeq 4.\pi.10^{-7} \times 1 = 4.\pi.10^{-7}$ Hm^{-1}
$\sigma = 1/\rho = 6.10^{7}\ \Omega^{-1}.m^{-1}$

θ Température du conducteur °C	$1 + \alpha_{20} (\theta - 20)$	
	CUIVRE	NICKEL
0	0,921	0,900
20	1,000	1,000
100	1,314	1,400
150	1,511	1,700
200	1,707	2,080
250	1,904	2,530
300	2,100	2,970
350	2,297	3,400
400	2,493	3,810
450	2,690	4,020
500		4,240
550		4,450
600		4,650

Pour le nickel α_{20} est variable en fonction de la température au-dessus de 100 °C

CAPACITE LINEIQUE D'UNE LIGNE ELECTRIQUE

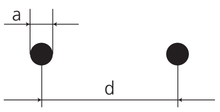
- Cas d'un câble coaxial



$$C = \frac{2\pi \;_0 \;_r}{\ln \frac{a_2}{a_1}} \; (F.m^{-1})$$

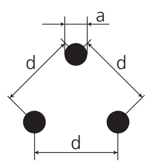
a_1 = diamètre de l'âme
a_2 = diamètre de la couche isolante comprise entre les conducteurs
$_0$ = permittivité du vide $\simeq \frac{10^{-9}}{36\,\pi}$ F.m^{-1}
$_r$ = permittivité relative de l'isolant

- Capacité d'une ligne bifilaire isolée dans l'espace



$$C = \frac{\pi \;_0 \;_r}{\ln\left(\frac{d - a}{a}\right)} \; (F.m^{-1})$$

- Capacité d'une ligne triphasée symétrique isolée dans l'espace



$$C = \frac{2\pi \;_0 \;_r}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)} \; (F.m^{-1})$$

INDUCTANCE LINEIQUE D'UNE LIGNE ELECTRIQUE

- Inductance linéique intérieure de chaque conducteur

$$L_i = \frac{\mu_0 \mu_r}{8\pi} \; (H.m^{-1})$$

- Inductance linéique extérieure de la ligne : elle est donnée par la relation générale, toujours valable

$$L_e C = \mu_0 \;_0 \;_r = \text{constante}$$

On peut donc, connaissant la capacité linéique de la ligne, trouver la valeur L_e.

- L'inductance linéique de la ligne est donc, si les conducteurs sont tous identiques,

$$L = L_e + n\, L_i$$

avec n = nombre de conducteurs.
Remarque : en haute fréquence, on a $L_i \simeq 0$ d'où $L = L_e$.

Zone Industrielle - F 63600 AMBERT
Tél. : (33) 04 73 82 50 00 - Fax : (33) 04 73 82 50 10
omerin@omerin.com - www.omerin.com

omerin
division principale