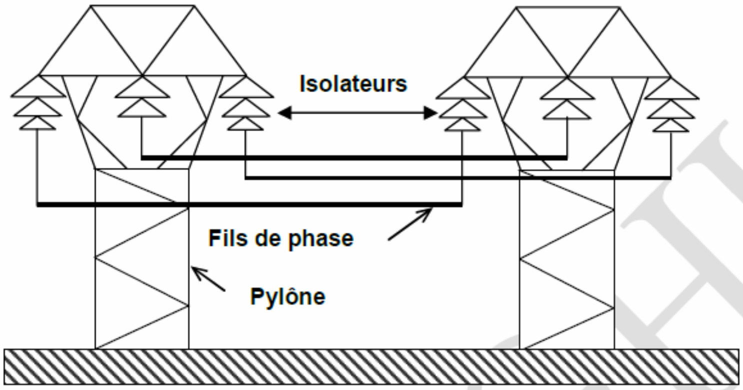
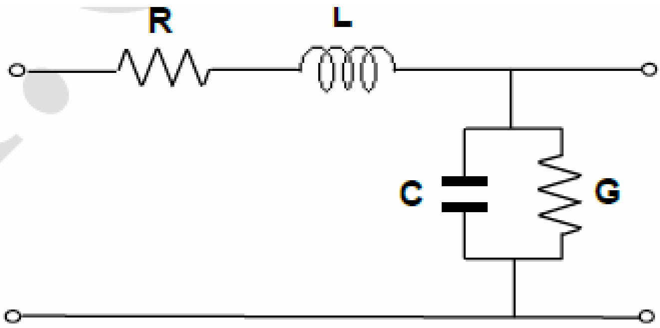
PARAMETRES DES LIGNES ELECTRIQUES

Une ligne électrique est un ensemble de conducteurs, d'isolants et d'éléments accessoires destinés au transport de l'énergie électrique.



Une ligne électrique de transport peut être représentée par une résistance R, une inductance L en série et par une conductance G et capacité C en parallèle.

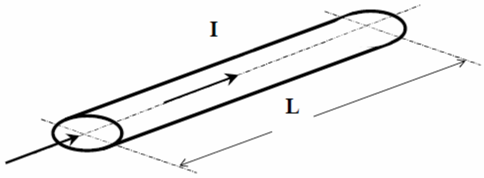


$r :: \Omega/Km,\quad l : H/Km$

$c : F/Km,\quad g : Mho/Km$

RESISTANCE D'UNE LIGNE ELECTRIQUE

La résistance d'un conducteur représente les pertes joules dans ce dernier quand il est parcouru par un courant I



$$R = \frac{Pertes.\,joules}{I^2}$$

En courant continu (f=0),la résistance est donnée par

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

ρ : Résistivité du métal constituant le conducteur

$\rho = 1,77.10^{-8}\ \Omega.m$ pour le cuivre

$\rho = 2,83.10^{-8}\ \Omega.m$ pour l'aluminium

S : section du conducteur (mm^2)

l : longueur du conducteur (m)

En alternatif la résistance est majorée par:

L'effet de peau (skin effect), l'effet pédiculaire qui se traduit par une densité de courant beaucoup plus grande à la périphérie qu'au centre et par conséquent une augmentation de la résistance.

La résistance est parfois majorée par l'effet de proximité des conducteurs (faisceaux de deux ou plusieurs conducteurs élémentaires).En effet plus la fréquence est élevée, plus le courant alternatif a tendance à choisir des chemins aller et retour aussi voisin que possible. Le courant alternatif se répartit différemment que le courant continu résultant en une augmentation de la résistance.

CONDUCTANCE D'UNE LIGNE ELECTRIQUE

La conductance d'une ligne électrique (L.E.A) se traduit généralement par un courant actif (résistif) de fuite entre la phase et la terre et varie en fonction de certains éléments tel que la pollution, le climat, l'humidité etc.

Elle est aussi le résultat de l'effet couronne pour certaines tension (T.H.T).

Si la tension est supérieure à une certaine tension critique $U > U_{cr}$, il apparaît une gaine lumineuse entourant le conducteur. Cette gaine se traduit par des pertes en plus sur la ligne, qui sont exprimées par la relation:

$$\Delta P = \frac{241}{\delta}(f + 25)\sqrt{r / D_m}(U - U_{cr})^2.10^{-5} \ \text{(KW / Km/phase)}$$

$$U_{c.r} = 84 m_1 m_2 \delta . r . \log\frac{D_m}{r}$$

Avec:

$m_1 = 0,8\text{--}0,95$ fonction de la surface

$m_2 = 1$ pour un beau temps et 0,8 pour un temps pluvieux

$\delta = 1$ densité relative de l'air

D_m = distance moyenne entre les fils de phase

r = rayon du conducteur d'une phase

Cependant la conductance est généralement négligée dans les conditions de fonctionnement normales. Aussi la résistance et la conductance sont moins important dans le calcul de la capacité totale de transmission d'une ligne, mais sont très important dans le calcul du rendement car elles déterminent les pertes réelles dans la ligne.

REACTANCE D'UNE LIGNE ELECTRIQUE

La réactance d'une ligne ($X=\omega L$) est le paramètre le plus important du point de vue engineering d'une L.E.A parce que c'est elle qui détermine la capacité de transmission de la ligne ainsi que la chute de tension sur la ligne. La réactance d'une ligne dépend de la position relative de ses conducteurs dans l'espace et du rayon du conducteur.

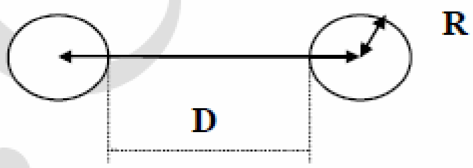
INDUCTANCE D'UNE LIGNE MONOPHASE

L'inductance d'une ligne est composée de deux inductances :

- Une composante Li due au champ magnétique à l'intérieur du conducteur.
- Une composante Lex due au champ magnétique à l'extérieur du conducteur.

$$L_I = \frac{\Psi_{in}}{I} = \frac{\mu_0.\mu_r}{8\pi}$$

$$L_{ex} = \frac{\mu_0}{2\pi} Ln \frac{D_2}{D_1}$$

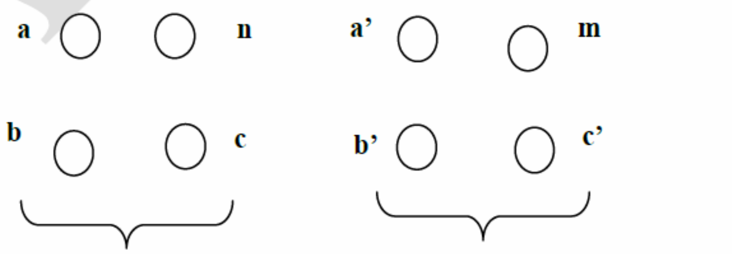


$$L = 4.10^{-7} \ln \frac{D}{R'}$$

avec $R' = R.e^{1/4} = 0{,}7788R$

CAS D'UNE LIGNE EN FAISCEAU

Généralement en T.H.T on utilise beaucoup les lignes en faisceaux c'est à dire chaque phase comporte 2, 3,4, ou plusieurs conducteurs écartés convenablement dont la disposition permet de réduire l'effet couronne. Considérons une ligne monophasée dont la configuration est.



X
Chaque conducteur est parcouru par un courant I /n

Y
Chaque conducteur est parcouru par un courant -I /m

$$L_X = 2.10^{-7}.\ln \frac{\sqrt[mn]{(D_{aa'}\dots D_{am}).(D_{ba'}\dots D_{bm})\dots.(D_{na'}..D_{nm})}}{\sqrt[n^2]{(D_{aa}.D_{ab}\dots D_{an}).(D_{ba}.D_{bb}\dots D_{bn})\dots(D_{na}.D_{nb}\dots D_{nn})}}$$

Le numérateur $D_m = \sqrt[mn]{(D_{aa'}...D_{am})...............(D_{na'}..........D_{nm})}$

Est appelé distance moyenne géométrique

Le dénominateur $R_m = \sqrt[n^2]{(D_{aa}....D_{an})..........(D_{na}......D_{nn})}$

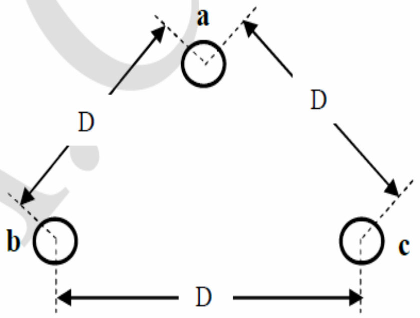
est appelé rayon moyen géométrique

D'une manière générale

$$L_X = 2.10^{-7}.\ln\frac{D_m}{R_m} \quad \text{henry/mètre}$$

De la même manière on détermine L_Y et 'inductance totale de la ligne est $L = L_X + L_Y$

CAS D'UNE LIGNE TRIPHASE SYMETRIQUE



Les trois phases sont disposées en triangle équilatéral c'est à dire symétriques $I_a+I_b+I_c=0$

$$\Psi_a = 2.10^{-7}(I_a \ln\frac{1}{R'} + I_b \ln\frac{1}{D} + I_c \ln\frac{1}{D})$$

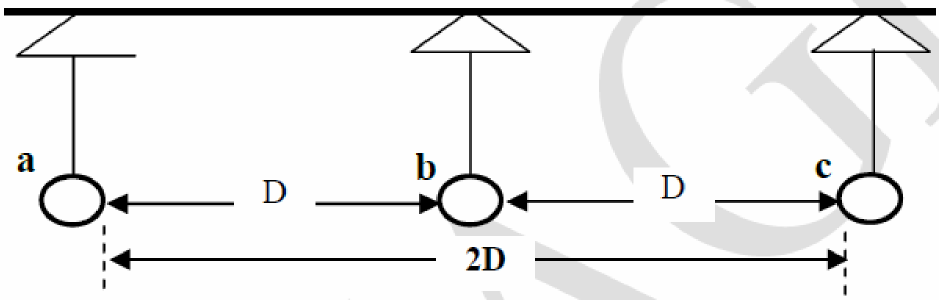
$$I_b + I_c = -I_a$$

$$\Psi_a = 2.10^{-7}(I_a \ln\frac{1}{R'} - I_a \ln\frac{1}{D}) \quad 2.10^{-7} \ln\frac{D}{R'} \quad \text{(Wb.tr/m)}$$

$$L_a = \frac{\Psi_a}{I_a} = 2.10^{-7} \ln\frac{D}{R'}$$

avec $D_m = \sqrt[3]{D^3} = D$ et $R_m = 0{,}7788\sqrt[3]{r^3} = 0{,}7788r$

LIGNE TRIPHASE DISPOSEE EN NAPPE HORIZONTALE



La distance moyenne géométrique D_m dans ce cas sera

$$D_m = \sqrt[3]{2D^3} = \sqrt[3]{2}.D = 1{,}26.D$$

Le rayon moyen géométrique R_m est

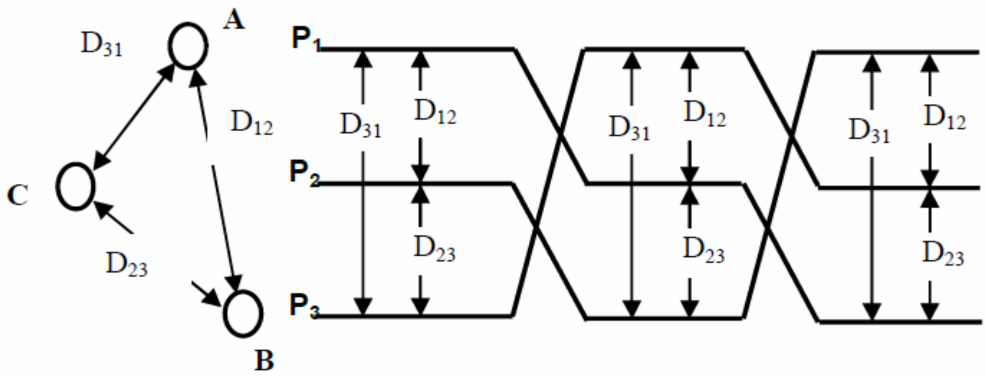
$$R_m = \sqrt[3]{r^3} = r$$

L'inductance de la ligne sera donnée par

$$L_a = 2.10^{-7}.\ln\frac{1{,}26.D}{0{,}7788.r} \quad \text{H/m}$$

LIGNE TRIPHASE TRANSPOSEE

Quand les conducteurs d'une ligne ne sont pas symétriques, les flux d'induction et les inductances de chaque phase ne sont pas égaux, pour rendre la ligne symétrique on transpose les conducteurs de phases de manière que la ligne occupe diverses positions c'est à dire si comme on lui donnerait un écartement D unique égale à la moyenne géométrique des trois écarts réels afin de balancer l'inductance des phases.



L'inductance sera la valeur moyenne de l'inductance d'une phase

Soit la phase A dans la position 1 , B dans la position 2 et C dans la position 3 ,le flux d'induction ψ_{a1} est

$$\Psi_{a1} = 2.10^{-7}(I_{a1}\ln\frac{1}{R'} + I_b\ln\frac{1}{D_{21}} + I_c\ln\frac{1}{D_{31}})$$

Avec A dans la position 2, B dans la position 3 et C dans la position 1

$$\Psi_{a2} = 2.10^{-7}(I_a\ln\frac{1}{R'} + I_b\ln\frac{1}{D_{23}} + I_c\ln\frac{1}{D_{12}})$$

Avec A dans la position 3,B dans la position 1 et C dans la position 2

$$\Psi_{a3} = 2.10^{-7}(I_a\ln\frac{1}{R'} + I_b\ln\frac{1}{D_{31}} + I_c\ln\frac{1}{D_{23}})$$

Le flux d'induction moyen de la phase A est

$$\Psi a = \frac{\Psi_{a1} + \Psi_{a2} + \Psi_{a3}}{3}$$

Si on suppose que $I_a = -(I_b + I_c)$ dans ce cas

$$\Psi_a = 2.10^{-7}\frac{1}{3}(3I_a\ln\frac{1}{R'} - I_a\ln\frac{1}{D_{12}.D_{23}.D_{31}})$$

$$\Psi_a = 2.10^{-7}\ln\frac{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}}{R'}$$

L'inductance de la phase A, La est

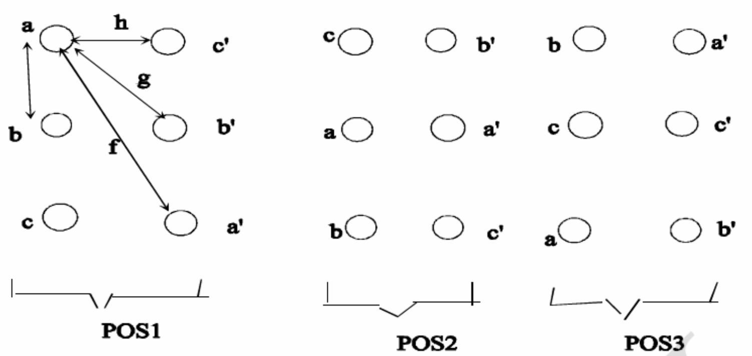
$$L_a = 2.10^{-7}\ln\frac{D_m}{R_m} . \quad (H/m)$$

Avec $D_m = D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}.D_{23}.D_{31}}$ et $R_m = 0,7788r = R'$

CAS D'UNE LIGNE TRIPHASEE DOUBLECIRCUIT

Souvent une ligne triphasée est constituée de deux circuits distincts portés sur un même pylône. Le circuit C1 est constitué de trois conducteurs a, b, c et le circuit C2 est constitué aussi de trois conducteurs a', b', c'. Les conducteurs a et a' sont électriquement parallèles et constituent une phase équivalente. De même que pour les conducteurs b, b' et c, c'. Pour déterminer l'inductance dans ce cas, on considère que les conducteurs (a, a') , (b, b') et (c, c') sont les conducteurs groupe constituants les trois phases équivalentes.

Bien que la ligne peut ne pas être transposée, la détermination de l'inductance peut être simple si on suppose que la ligne est transposée tel que :



Dans la position 1 $D_{m1} = \sqrt[4]{d.2d.h.g}$

Dans la position2 $D_{m2} = \sqrt[4]{d.d.g.g}$

Dans la position 3 $D_{m3} = \sqrt[4]{d.2d.h.g}$

La distance géométrique équivalente : $D_{me} = \sqrt[3]{D_{m1}.D_{m2}.D_{m3}}$

Le rayon géométrique équivalent de la phase 1 sera donné par

$$R_{me} = \sqrt[3]{R_{m1}.R_{m2}.R_{m3}}$$

$$R_{m1} = \sqrt{r'.f}, R_{m2} = \sqrt{r'.h.}, R_{m3} = \sqrt{r'.f.}, \text{avec}, r' = 0{,}7788.r$$

L'inductance par phase par kilomètre est donc

$$L = 2.10^{-7}.\ln\frac{D_{me}}{R_{me}} \text{ H/Km/Phase}$$