Chapitre VI

Calcul des réseaux électriques

~~VI.1 Introduction~~

VI.1 Determination des paramètres de la ligne d'un réseau

VI.1.1 Resistance active d'une ligne électrique

VI.1.2 Réactance d'une ligne électrique

~~VI.2.3~~

VI.1.3 Capacité d'une ligne électrique

VI.1.4 Conductance spécifique d'une ligne électrique.

VI.2. Circuit équivalents des lignes électriques.

Chapitre III

Calcul des réseaux électrique.

III.1 Determination des paramètres de la ligne d'un réseau électrique

III.1.1 Resistance active d'une ligne électrique

- La résistance est l'impédance dans laquelle on ne peut emmagasiner de l'energie.
- La résistance d'un conducteur, en courant alternatif et à température de service est determinée à partir de la resistance en courant continue à 20°C ; en tenant compte de l'influence de la température et des phénomènes liés à l'alimentation en courant alternatif.
- Dans un conducteur parcouru par un courant alternatif, la densité de ce courant n'est pas uniforme mais elle est plus élevée à la périphérie qu'au centre du conducteur, ce phénomène est appelé "effet de peau" (effet pelliculaire).

La resistance active de la ligne en courant continu est determinée par :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

* ρ : Resistivité du conducteur de phase [$\Omega . mm^2 / Km$]
* l : longueur du conducteur en mètre
* S : Section du conducteur en mm^2.

La resistance active de la ligne en courant alternatif est determinée par :

$$R = r_0 . l \quad [\Omega]$$

* r_0 : Résistance propre (linéique) en [Ω / Km] lorsque la température est de 20°C. Elle est fonction de cette dernière par la relation ci dessous :

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20°)]$$ où

α_{20} : depend de la nature du matériau

t : temperature

R_{20} : Resistance à 20°C

ou $$R_t = R_0 [1 + \alpha_0 . t]$$

R_0 : Resistance à 0°C.

α_0 : ~~des~~ Coefficient de temperature à 0°C

III.1.2 Réactance d'une ligne électrique.

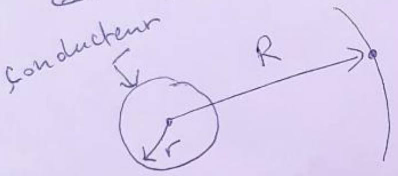
Le champ $\vec{H}$ créer par le courant de charge passant par le conducteur est à l'origine de l'apparition de la réactance (résistance réactive).

soit $L = \dfrac{\phi}{I}$; ϕ : flux magnétique
I : courant variable dans l'espace.

La réactance linéique est calculée comme suit

$X = \omega . L = 2\pi f . L$ / f : fréquence [HZ]

Inductance d'une phase.



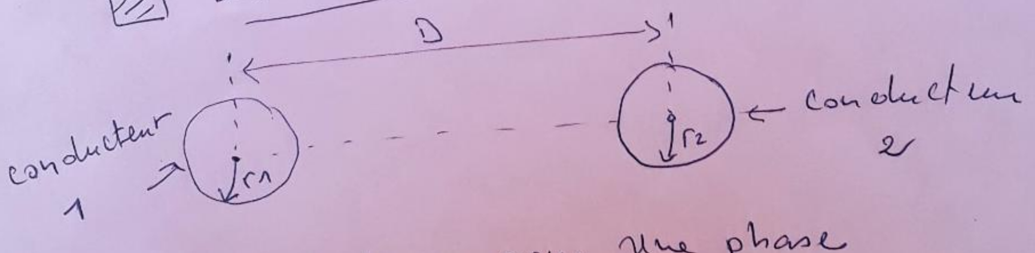
L'inductance est calculé comme suit :

$$L = 2.10^{-7} \ln \frac{R}{r'} \quad [H/m]$$

où : $r' = r . e^{-0,25} = 0,7788 . r$

r : rayon d'un conducteur

Inductance d'une ligne monophasée



* Inductance pour une phase

Phase 1 $\quad L_1 = 2.10^{-7} . \ln \dfrac{D}{r_1'} \quad [H/m]$

ou $r_1' = 0,7788 . r_1$

phase 2 $\quad L_2 = 2.10^{-7} \ln \frac{D}{r_2'}$ [H/m]

$r_2' = 0,7788 . r_2$

Inductance de la ligne monophasée est

$L = L_1 + L_2$

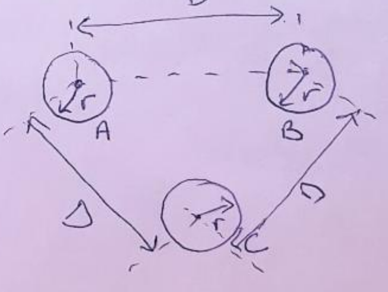
$L = 2.10^{-7} \left(\ln \frac{D}{r_1'} + \ln \frac{D}{r_2'} \right)$

$L = 4.10^{-7} \ln \frac{D}{\sqrt{r_1'} . \sqrt{r_2'}}$ [H/m]

Si $r_1 = r_2 \Rightarrow$

$L = 4.10^{-7} \ln \frac{D}{r'}$ [H/m]

Inductance d'une ligne triphasée symétrique (équilibrée)

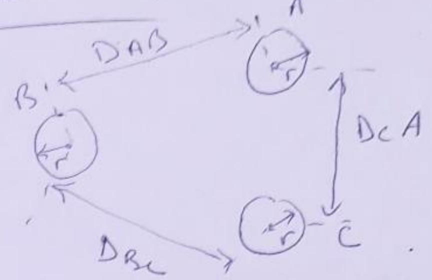


Une ligne triphasée est dite symétrique si la distance entre deux conducteurs de ces trois conducteurs est égale. Ainsi la somme algébrique des courant des trois phases sont nuls.

L'Inductance pour chaque phase est donnée comme suit:

$L = L_A = L_B = L_C = 2.10^{-7} \ln \frac{D}{r'}$ [H/m]

Inductance d'une ligne triphasée désymétrique (déséquilibrée)

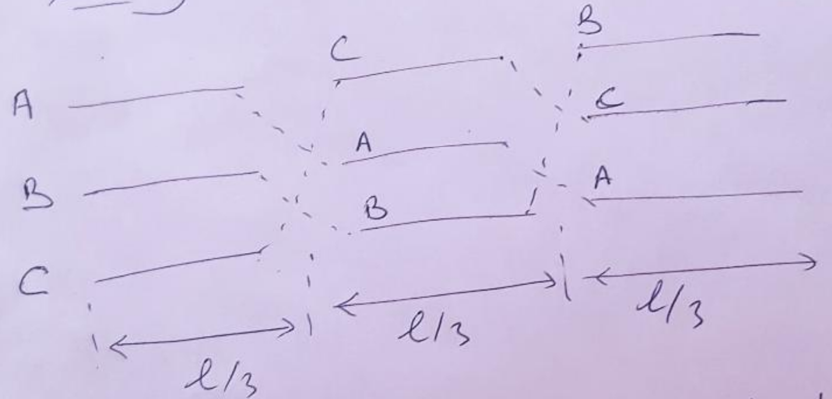


$L_A \neq L_B \neq L_C$

$D_{AB} \neq D_{BC} \neq D_{CA}$

$\Delta U_{AB} \neq \Delta U_{BC} \neq \Delta U_{CA}$ (chutes de tensions) n'ont pas le même pour cela

on change la position du conducteur pour des distances égales cette méthode s'appelle changement de positions.



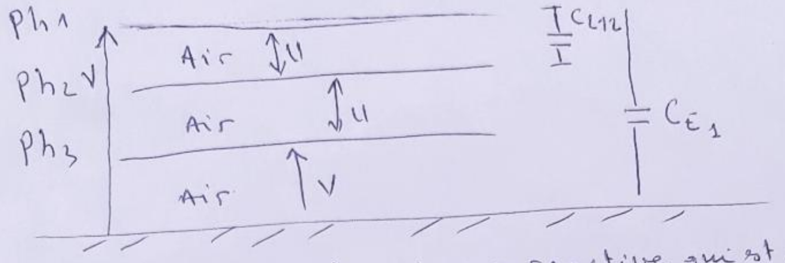
La valeur moyenne de l'inductance pour un conducteur avec un changement de positions de phases

$$L = L_A = L_B = L_C = 2.10^{-7} \ln \frac{D_e}{r'} \, [H/m]$$

$$D_e = (D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{CA})^{1/3}$$

D_e : Distance moyenne.

III.1.3 Capacité d'une ligne électrique.



(*) $Q_c = X_c . I^2$

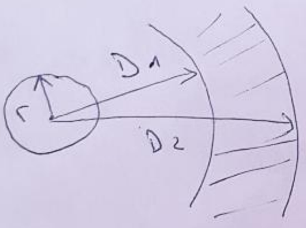
$= X_c . \frac{U_c^2}{X_c^2} = \frac{U_c^2}{X_c}$

$= C.\omega.U_c^2$

$\Rightarrow C \uparrow \Rightarrow Q_c \uparrow \Rightarrow U_c^2$

•) Capacité source de la puissance réactive qui est proportionnelle au U_c^2

Capacité d'une ligne pour une phase.



$$C = \frac{2\pi . \varepsilon}{\ln \frac{D_2}{D_1}} \quad [F/m]$$

ε : perméabilité

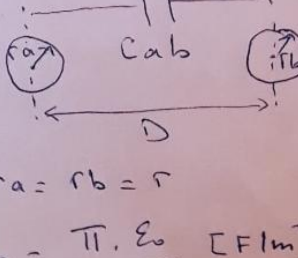
$\varepsilon = \varepsilon_r . \varepsilon_0$

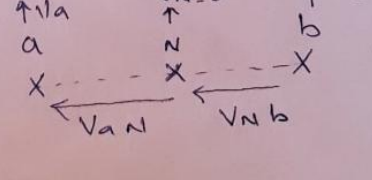
ε_r : perméabilité relative égale à 1 pour l'air

ε_0 : perméabilité à vide

$\varepsilon_0 = 8,85.10^{-12}$ [F/m]

Capacité d'une ligne monophasée





$V_{aN} = \frac{1}{2} V_{ab}$

$V_{Nb} = \frac{1}{2} V_{ab}$

Si $r_a = r_b = r$

(*) $C_{ab} = \frac{\pi . \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$ [F/m]

(*) $C_N = \frac{2\pi . \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$

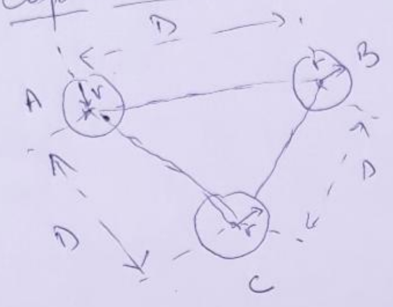
$\frac{1}{C_{aN}} + \frac{1}{C_{Nb}} = \frac{1}{C_{ab}}$

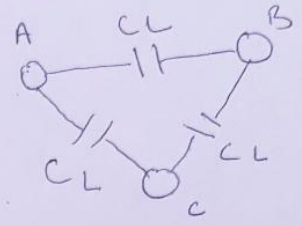
(*) $C_N = 2 . C_{ab}$ $\Rightarrow \frac{2}{C_N} = \frac{1}{C_{ab}}$

$$|X_C| = \frac{1}{C\omega}$$ Reactance capacitive.

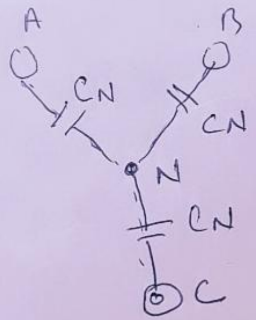
$$|Y_C| = \frac{1}{|X_C|} = C.\omega$$ admittance capacitive

Capacité d'une ligne triphasée équilibrée





$$*)\ C_L = \frac{\pi.\varepsilon}{\ln\frac{D}{r}}\ [F/m]$$



$$*)\ C_N = \frac{2\pi\ \varepsilon}{\ln\frac{D}{r}}\ [F/m]$$

Capacité d'une ligne triphasée déséquilibrée

$$C_L = \frac{\pi\,\varepsilon_0}{\ln\frac{De}{r}}\ [F/m]$$

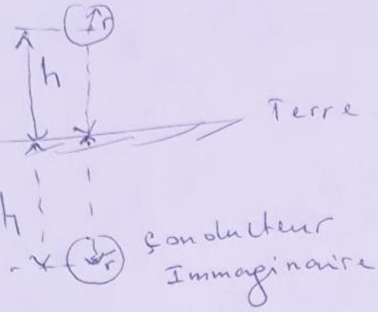
tel que

$$De = \sqrt[3]{D12.D23.D31}.$$

$$C_N = \frac{2.\pi\,\varepsilon_0}{\ln\frac{De}{r}}$$

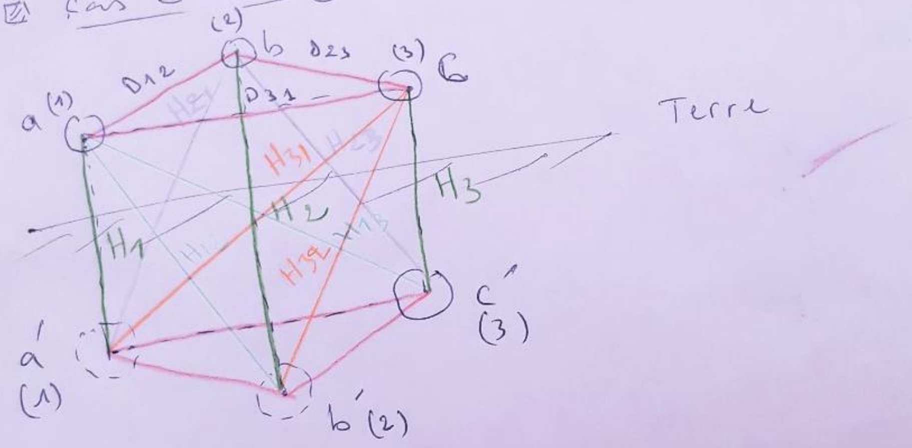
☑ effet de la terre sur la capacité d'une ligne électrique

☑ Cas d'un conducteur



☑ $C_N = \frac{2\pi . \varepsilon_0}{\ln \frac{2.h}{r}}$ [F/m]

☑ Cas d'une ligne triphasée



$$C_N = \frac{2\pi \, \varepsilon}{\ln \frac{D_e}{r} - \ln \frac{(H_{12} . H_{23} . H_{31})^{1/3}}{(H_1 . H_2 . H_3)^{1/3}}} \text{ [F/m]}$$

III.1.4 Conductance spécifique d'une ligne électrique.

$$g_0 = \frac{\Delta P_h}{U_n^2}$$

ΔP_h : Pertes active transversales.

Ligne aérienne $\Rightarrow \Delta P_h = \Delta P_{couronne}$

$$\Delta P_{couronne} = \frac{0,18}{\delta} \cdot \sqrt{\frac{r_{cond}}{D_{moy}}} \cdot (U_s - U_{cr})^2 \; [kw/km]$$

U_s = tension simple source

U_{cr} = " " critique de l'apparition de l'effet couronne.

$$U_{cr} = 48,9 \cdot m_0 \cdot m_t \cdot \delta \cdot R_{cond} \cdot \log_{10}\left(\frac{D_{moy}}{R_{eq}}\right)$$

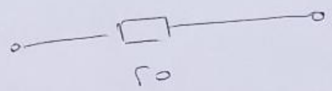
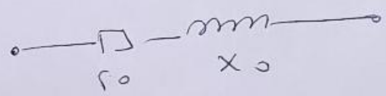
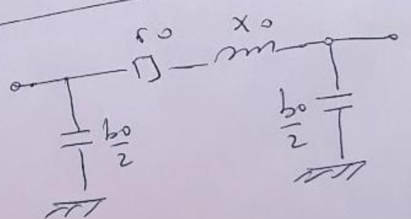
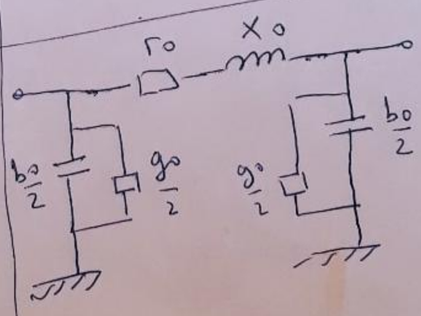
m_0 : coefficient tenant compte de l'état du cable nu ($m_0 = 0,83 - 0,87$)

δ : coefficient tenant compte de la pression atmosphérique (pour $t = +25°C$; $\delta = 1$)

m_t : Coefficient tenant compte de la saison

$m_t = 0,8$ lorsqu'il fait beau, $m_t = 1$ pour un mauvais temps.

III.2 Circuit équivalents des lignes électriques.

Tension nominale et type de la ligne	Schéma équivalent	Calcul du paramètre total
Ligne en câble 6 à 10kV		$R_0 = r_0 . \ell$
Ligne aériennes des réseaux de répartition et de distribution (BT., MT) 6 à 35KV		$R_0 = r_0 . \ell$ $X_0 = x_0 . \ell$ $Z = R + jX$ $X = L.\omega$ / $\omega = 2\pi f$ L : inductance (H)
Lignes aériennes des réseaux de transport U < 220kV ; L < 250km (240km)		$R = r_0 . \ell$ $X = x_0 . \ell$ $B = b_0 . \ell$ $B = C_0 . \omega . \ell = \frac{1}{X_0}$
Lignes aériennes des réseaux de transport U ⩾ 220 KV L ⩾ 250KV	 $y = G + jB$. admittance.	$R = r_0 . \ell$ $X = x_0 . \ell$ $B = b_0 . \ell$ $G = g_0 . \ell$ ℓ : longueur R : Resistance B : susceptance G : conductance.