Generalités sur les Réseaux électriques:

les différents formes d'énergie à l'état naturel sont:

- energie rayonnante : lumière du soleil.
- energie thermale : stockée dans la terre.
- energie chimique : dans les carburants (bois, charbon, pétrole).
- energie potentielle : systemes soumis à des forces en fonction de leur position.
- énergie nucléaire : forces de laison entre les différents partie d'un atome.

Toutes ces énergies peuvent être transformées en énergie électrique et vice-versa.

Historique :

1795 : pile volta
1832 : 1er generateur à C.A
1841 : lampe à arc
1859 : accumulateur
1866 : Dynamo
1879 : lampe à filament
1881 : transport en C.C
1882 : 1er Réseaux d'éclairage
1883 : 1er transformateur
1887 : Brevet de transport en triphasé (N. Tesla)

1888 : 1er Réseaux en C.A

1888 : moteur asynchrone triphasé (N. Tesla)

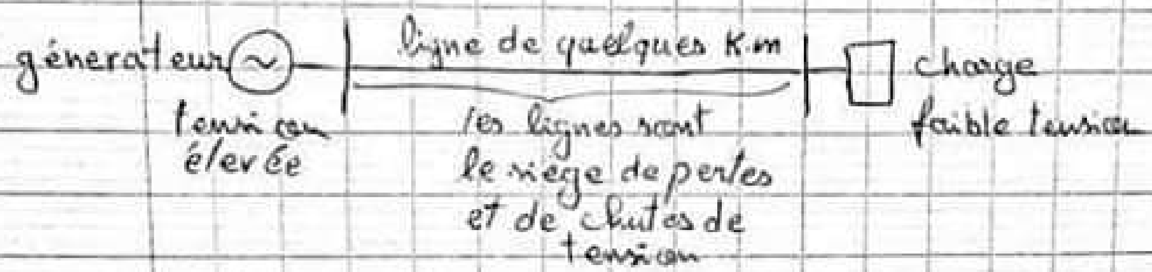
1891 : moteur à cage d'écureuil

1891 : transport industriel en triphasé.

1901 : commutatrice.

– l'énergie électrique est facilement transportable

problématique du transport de l'énergie électrique :



Solution Retenue : le C.A

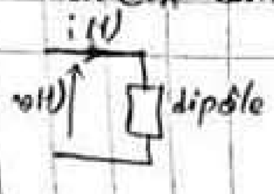
avec le courant Alternatif, il est possible d'élever la tension au niveau du générateur et de l'abaisser au niveau de la charge.

– ainsi, les courants sont plus faibles et les pertes sont réduites ainsi que les chute de tension.

Rappels :

en C.A on a : $v(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$

$i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \phi)$



où $\omega = 2\pi f$

la puissance s'écrit $p(t) = v(t) \times i(t)$

- en monophasé :

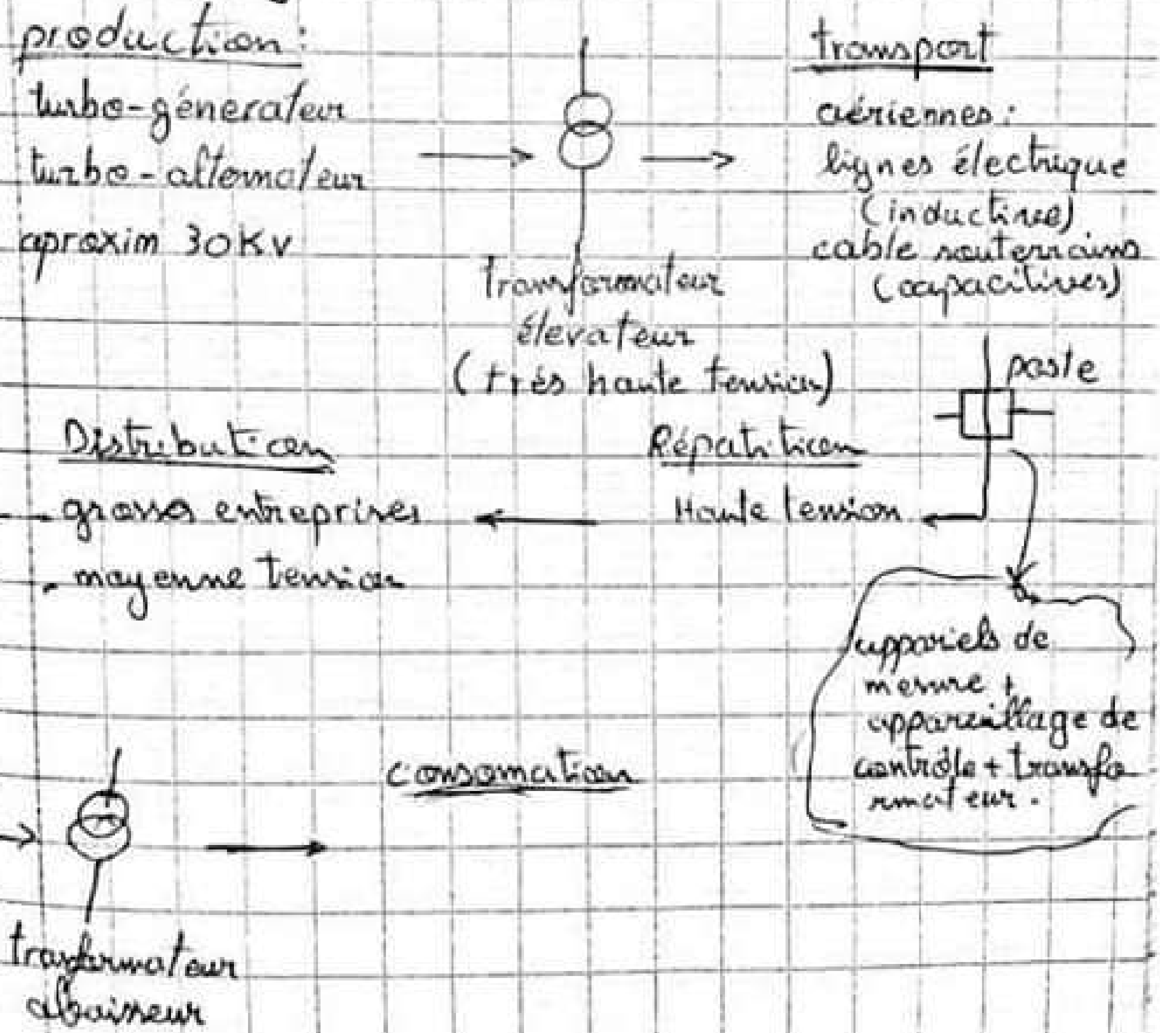
$$p(t) = VI \cos\phi + VI \sin(2\omega t - \phi)$$

- en triphasé :

$$p(t) = 3\,VI\,\cos\phi$$

facteur de puissance.

structure générale :



Structure génerale des réseaux :

- les composants d'un réseau d'énergie sont :
- les groupes génerateurs souvent éloignés des charges qui utilisent l'énergie.
- la liaison entre génerateurs et charges est réaliser par des lignes.
- les tronçons de ligne sont raccordés entre eux au niveau des postes qui représentent les noeuds du systémes.

_ ces postes comprennent :
  - des appareils de coupure.
  - des transformateurs
  - des appareils de mesure de contrôle de réglage et de commande

les différentes classifications :

~~les crétères~~ il y a 4 crétères de classification

- __la tension__ : elle limite la puissance transportée et fixe les dimension des lignes et du matériel.
- la fonction : elle détermine les quantités d'énergie.

- la topologie : elle fixe le mode d'util
- le système : lié au fonctionnement des appareils.

I classification des tensions :

la tension impose un ~~isolement~~ dimensionnement suffisant pour les appareils.
plus la tension est élevée, plus les dimensions augmentent.
plus la tension est élevée, plus le courant est faible et les pertes sont réduits

1 _ les très basses tension (TBT) :
sont inférieurs à 50V
au dessous de 30, on peut toucher le conducteur sans risque. il ~~ya~~ n'y a pas de véritable réseaux à cette tension.

2 _ les basses tension (BT) :
* 50V à 1000V
les réseaux entre 100 à 400V sont utilisés pour alimenter les appareils domestiques.
les réseaux entre 500 à 700V alimente les charges industrielles (dans les usines).

~~3 - les moyennes tensions (MT)~~

3- les moyennes tensions (MT)
entre 1 KV et 35 KV
à partir de 30 KV, les problèmes d'isolements se compliquent.
4- les hauts tension (HT)
de 35 KV à 275 KV
5- les trés hautes tension (THT)
sont > 300 KV

II - classification des fonctions :

1- les réseaux d'utilisation :
ils alimentent un grand nombre d'appareils domestique et des moteurs, dont la puissance varie quelque dixieme de watt jusque 100 W doive être facile à isolée pour assurée la sécurité des utilisateur ci pour cela que ci réseaux il utilise les basse tension.
2- les réseaux industriels :
sont des réseaux d'utilisation aussi mais qui néccesite des puissances élevée, il

fonctionnent soit avec les basses tension 500 à 600 V soit avec des moyenne tension de 5 à 6 KV ces réseaux ce trouve en générale à l'intérieur des usines.

3. les réseau de distribution :

on ~~peut~~ pour fonctionne de fournir, de donner la puissance demander par des réseaux d'utilisation en générale les réseaux de distribution utilise deux échelons de tension différent

4. les réseaux de répartition :

fournissent la puissance aux réseaux de distribution sur une distance limitée, il n'alimente pas directement les usagers.

les puissance sont de plusieurs de 10 de MW ce qui nécessite une haute tension 40 kV à 110 KV similaires aux réseaux de transport.

5. Réseaux de transport :

assurent une alimentation de l'ensemble du territoire avec des transits de puissance importants sur des distances de centaines de Km tensions utilisées de 110 KV à 730 KV

6- Réseaux d'interconnexion : (entre le pays)
sont deux rôles : 1- sécurité
2- économique.

III- classification des Topologies :

1- réseaux radiaux (radial)
il sont constitués de plusieurs artères (ou Feeders) dont chacune se ramifie, sans jamais retrouver de point commun.
leur structure est plus simple et sont contrôlés et protégés par un appareillage simple.

2- les réseaux bouclés :
il sont alimentés par 2 ou 3 sources qui débitent en parallèle il sont formés par des lignes appelées boucle dont le nombre est réduit et qui comportent des dérivations. ils sont souvent utilisés pour la répartition.

3- les réseaux maillés : ~~toutes~~
toutes les lignes sont bouclées le nombre de sources en parallèle est très important.
tous les tronçons de lignes doivent être

capables de surcharge importante.

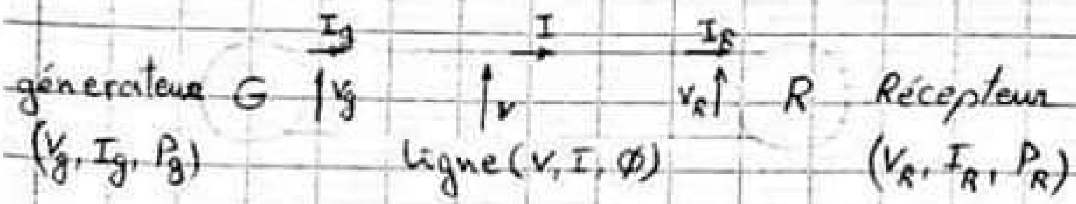
ils sont utiliser pour : - les réseaux basse tension pour les reilles dense

- les réseaux de transport.

IV - classification des systemes :

- le courant continu
- le courant alternatif
- le systéme triphasé :
  - isolé du neutre
  - à la terre
  - à bobine d'extinction

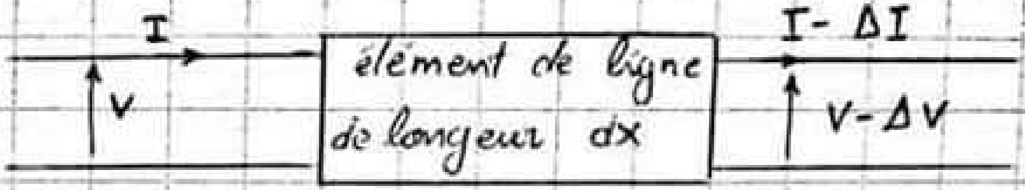
Fonctionnement des lignes électriques :



Les caractéristiques des récepteur étant données (V_R, I_R, P_R), on cherche :

- les grandeurs V_g, I_g, P_g du générateur
- les tensions et courants en tout point de la ligne pour ne pas dépasser les limites de fonctionnement

Notion de constante linéique répartie

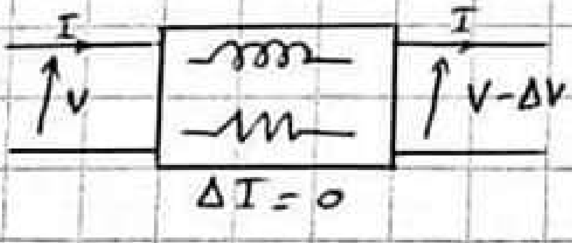


circuit à constantes réparties

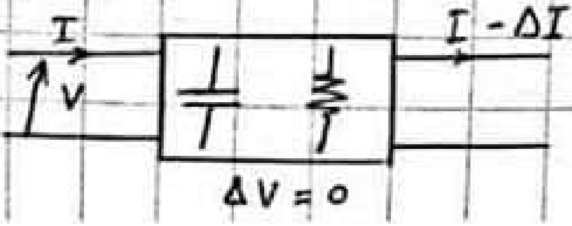
le fonctionnement des lignes est caracterisé par le fait que sur un tronçon infinitésimal de ligne ou de cable de longeur dx, il existe à la fois une chute de tension ΔV dans le sens longitudinal et une perte de courant ΔI dans le sens transversal.

circuits à constantes localisées :

_ élement série :



_ élement parallèle :



- dans un élément type série, la perte transversal de courant est négligeable devant l'intensité du courant longitudinal. lorsqu'ils sont en série ils sont transversés par le même courant.
- dans un élément type parallèle, la chute de tension longitudinal est négligable devant la ~~tension~~ valeur de la tension transversale. lorsqu'ils sont en parallèle, ils sont tout à la même tension.

Résistence de ligne :

en courant continue : $R_{cc} = \rho \frac{l}{S}$

où ρ est la résistivité du fil en $\Omega.m$

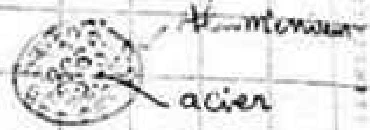
l : la longeur en mètres

S : section droite en m^2

$R_{CA} > R_{cc}$: en général $R_{CA} = 1{,}02\ R_{cc}$

la différence entre R_{CA} (en courant alternatif) et R_{cc} est due principalement à l'effet de peau (skin effect).

Section droite d'un conducteur ACSR



les conducteur des lignes aériennes sont constitués par des brins tordus enroulés ensemble pour former un conducteur unique et lui donner une plus grande résistance de traction.

L'effet pelliculaire ou effet de peau se traduit par une variation exponentielle de la densité de courant.

la résistance linéique $R' = \frac{R_{ac}}{l} = \frac{\rho}{S}$ (1,c2)

la température affecte la résistivité des conducteurs l'augmentation de la température est ~~pa~~ pratiquement linéaire :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

ou R_1 et R_2 sont les résistance à t_1 et t_2

tout une constante qué dépend du matérieau du conducteur

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)]$$

α_{20} = constante qui dépend du materiau utilisé.

Inductance d'un conducteur droit :

dans un conducteur porteur de courant, un champ magnétique se produit tout autour. les lignes de flux sont concentriques si le courant est sinusoidal, alors le flux sera variable sinusoidal. Généralement on a :

$$L = \frac{\lambda}{I}$$

où :

L = inductance en Henry

λ = flux en webers-tours

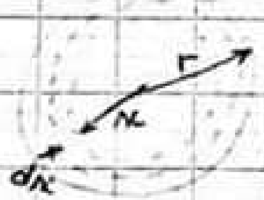
I = courant de phase en Ampére.

1. Inductance Interne :

par la loi d'Amépre

on a :

$$mmf = \oint H.dl = I$$



$$\oint H_x . dx = I_x \longrightarrow H_x = \frac{I_x}{2\pi x}$$

H_x = intensité du champ à une distance x du centre.

H_x : est constant sur le chemin circulaire

I_x : est le courant entouré

- on pose que la densité de courant est constante alors :

$$\frac{I}{\pi r^2} = \frac{I_x}{\pi x^2} \longrightarrow I_x = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} \cdot I$$

$$H_x = \frac{I}{2\pi r^2} x$$

la densité de flux B est : $B_x = \mu_0 \mu_r H_x$

si $\mu_r = 1$ on a :

$$B_x = \mu_0 \frac{I}{2\pi r^2} x$$

où $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m

$$d\phi_x = B_x dx = \mu_0 \frac{I}{2\pi r^2} dx$$

$$d\lambda_x = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} d\phi_x = \mu_0 \frac{I}{2\pi r^4} x^3 . dx$$

$$\lambda_{int} = \int_0^r \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4} x^3 . dx = \mu_0 \frac{I}{8\pi} = \frac{I}{2} \times 10^{-7} \text{ wb-t/m}$$

$$L_{int} = \frac{1}{2} . 10^{-7} \text{ H/m}$$

pour $\mu_r \neq 1$ on a : $\boxed{L_{int} = \frac{1}{2} 10^{-7} . \mu_r}$ H/m

2- Inductance externe

soit un conducteur droit portant un courant I l'intensité du champ magnétique à la distance x du centre du conducteur est H_x

on a :

$$2\pi x \cdot H_x = I \longrightarrow B_x = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi x} = \text{densité de flux}$$

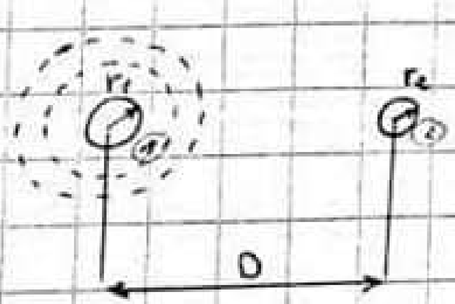
pour 1 m de conducteur, on obtient :

$$d\phi_x = B_x \cdot dx \cdot 1 = \mu_0 \frac{I}{2\pi x} \cdot dx$$

$$\phi_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{1}{x} \cdot dx = 2 \times 10^{-7} I \cdot \ln \frac{D_2}{D_1}$$

Inductance d'une ligne monophasée :

Inductance totale du conducteur 1



$$L_1 = \left[\frac{1}{2} + 2 \ln \frac{D}{r_1}\right] \times 10^{-7} \ H/m$$

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \left[\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r_1}\right]$$

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \left[\ln e^{1/4} + \ln \frac{D}{r_1}\right]$$

$$L_1 = 2\times 10^{-7}\left[\ln \frac{D}{r_1 \cdot e^{-1/4}}\right]$$

$$L_1 = 2\times 10^{-7}\left[\ln \frac{D}{r_1'}\right] \quad \text{où : } r_1' = r_1 \cdot e^{-1/4}$$

le rayon r_1' est considéré comme étant celui d'un conducteur fictif n'ayant pas de flux interne.

$$L_2 = 2\times 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r_2}\right) \quad \text{où} \quad r_2' = r_2 \cdot e^{-1/4}$$

L'inductance total de la ligne :

$$L = L_1 + L_2 = 2\times 10^{-7} \ln\left(\frac{D^2}{r_1' \cdot r_2'}\right)$$

$$L = 4\times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D}{r_1' r_2'}\right)$$

Si $r_1' = r_2' = r'$ alors :

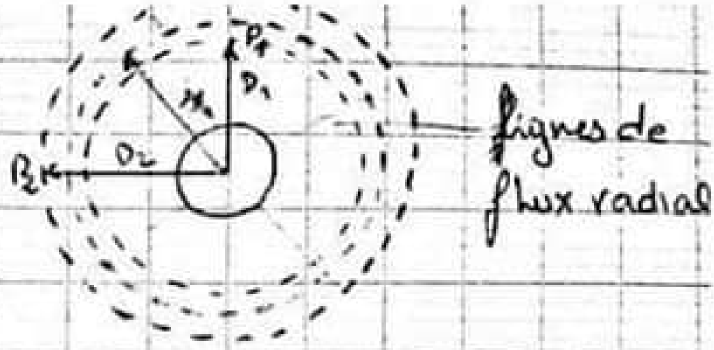
$$\boxed{L = 4\times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{D}{r'}\right) \quad H/m}$$

capacité d'un conducteur droit :

$$C = \frac{Q}{U}$$

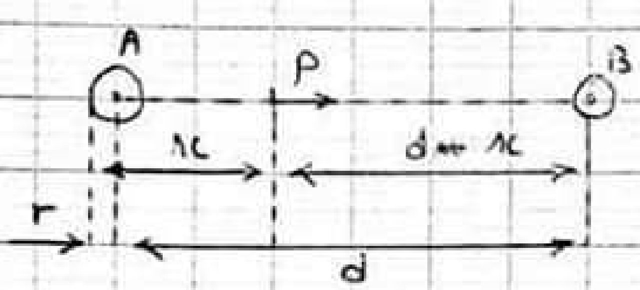
D = densité de flux électrique $= \dfrac{Q}{2\pi}$

E = champ électrique $= \dfrac{D}{\varepsilon} = \dfrac{Q}{2\pi x \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}$ V/m



$$U_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E \cdot dx = \frac{Q}{2\pi \varepsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad V$$

pour une ligne monophasée :



$$E_A = \frac{Q}{2\pi x \varepsilon_0} \qquad E_B = \frac{Q}{2\pi \varepsilon_0 (d-x)}$$

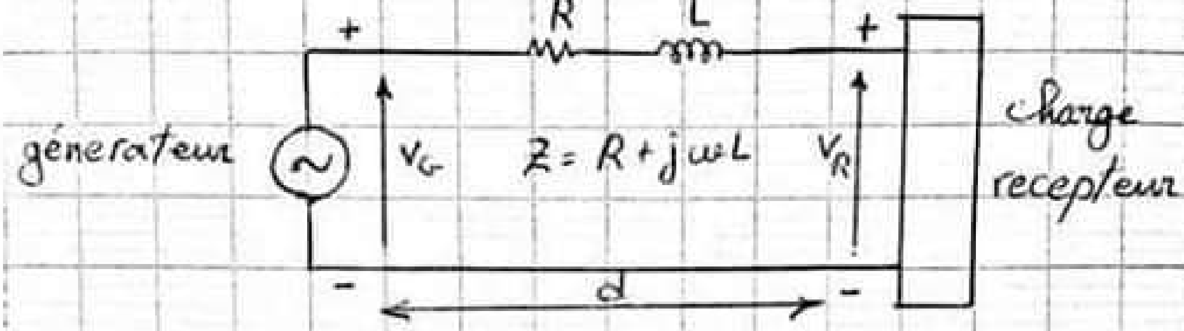
$$E_x = \frac{Q}{2\pi \varepsilon_0} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{d-x} \right)$$

$$U = \int_{r}^{d-r} E_x \cdot dx = \frac{Q}{\pi \varepsilon_0} \ln \left(\frac{d-r}{r} \right)$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\pi \varepsilon_0}{\ln \left(\frac{d-r}{r} \right)}$$

Représentation des Lignes :

1 - Lignes courtes (< 80 Km)



le courant capacitif (transversal) est négligeable

Donc : $\bar{I}_G = \bar{I}_R$ et $\bar{V}_G = \bar{V}_R + I_R \bar{Z}$

où $\bar{Z} = \bar{z} \cdot d$; $R = r \cdot d$; $L = l \cdot d$

r et l sont les constantes linéiques

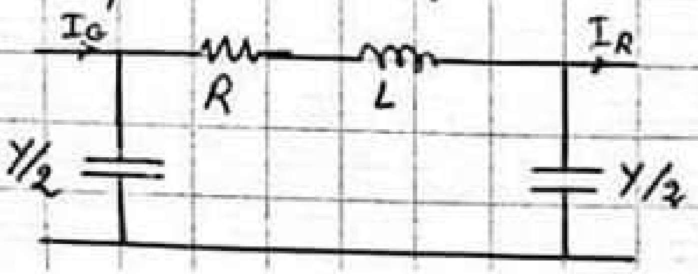
dx est la distance entre générateur et récepteur

$$\Delta \bar{V} = \bar{V}_G - \bar{V}_R$$

2 - Lignes moyennes (< 200 Km)

l'admittance shunt (transversal) n'est plus négligeable

- shéma équivalent en π :



$Z = R + j\omega L$

$Y = G + j\omega C$

G = conductance transversale.

C = capacité transversale.

Les lignes courtes :

$R = r_1 + r_2$

$X = X_1 + X_2 = \omega L$

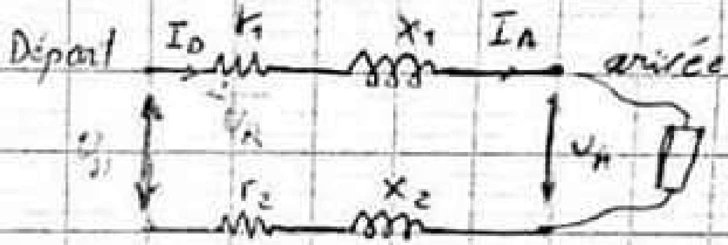
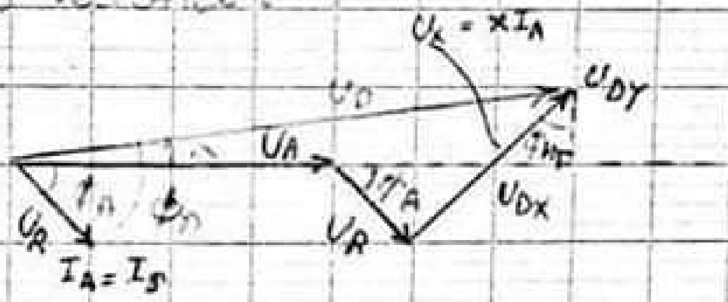


Diagramme vectoriel :



U_D = tension de phase de départ

U_A = tension de phase d'arrivée

I_D = courant de phase de départ

I_A = courant de phase d'arrivée

$\cos \varphi_A$ = F.P à l'arrivée

$\cos \varphi_D$ = F.P au départ

R = résistance du circuit par phase

X = réactance du circuit par phase

les courants I_A et I_D ont la même amplitude mais sont déphasés à cause de l'inductance de la ligne.

le même courant circule donc dans toutes les sections de la ligne du départ jusqu'à l'arrivée et les paramétres R et L sont représentés par des élements.

les équations du circuit sont :

$$\vec{I}_D = \vec{I}_A$$

$$\vec{U}_D = \vec{U}_A + Z\vec{I}_A = \vec{U}_A + (R + jX)\vec{I}_A$$

$$U_D = \sqrt{U_{Dx}^2 + U_{Dy}^2}$$

$$U_{Dx} = U_A + I_A R \cos\phi_A + I_A X \sin\phi_A$$

$$U_{Dy} = I_A X \cos\phi_A - I_A R \cos\phi_A$$

$$U_D = \left[\left(U_D + I_A R \cos\phi_A + I_A X \cdot \sin\phi_A\right)^2 + \left(I_A X \cos\phi_A - I_A \cdot R \sin\phi_A\right)^2\right]^{1/2}$$

Dans la pratique, l'angle α est trés petit et donc U_{Dy} est négligeable par rapport à U_{Dx}

$$U_D = U_{Dx} = U_A + I_A \left[R\cos\phi_A + X \sin\phi_A\right]$$

Pour une ligne monophasée

$$P = UI \cos\phi \longrightarrow I = \frac{P}{U\cos\phi}$$

$$\Delta U = U_D - U_A$$

$$\Delta U = R I_A \cos\phi_A + X . I_A \sin\phi_A$$

$$\Delta U \% = \frac{U_D - U_A}{U_A} = I_A \left(\frac{R . \cos\phi_A + X . \sin\phi_A}{U_A} \right)$$

* pour une ligne monophasée :

$$P = U_A I_A \cos\phi_A \longrightarrow I_A = \frac{P}{U\cos\phi_A}$$

$$\Delta U = \frac{P}{U_A \cos\phi} (R \cos\phi_A + X . \sin\phi_A)$$

$$\Delta U = \frac{P}{U_A} (R + X . \mathrm{tg}\, \phi_A)$$

* pour une ligne triphasée :

$$\Delta U = \frac{P_{total}}{U_A} (R + X . \mathrm{tg}\, \phi_A)$$

R et X pour une phase, U entre phase

Exp:

une installation triphasée absorbe une puissance de 2 MW avec une tension entre phase de 20 KV ($\cos\phi = 0,9$)

l'alimentation de l'énergie est assurée par une ligne de 10 Km

La puissance perdue en ligne represente 9% de la puissance consommée.

Déterminer:

- la puissance active perdue dans la ligne
- la résistance d'un fil de ligne
- la section ($\rho = 27\ \Omega\ Km/mm^2$)
- la chute de tension ΔU entre phase (on donne $\cos\phi = 0,9$ pour la ligne)
- la tension au départ.
- la réactance linéique d'un condensateur.

Solution:

puissance perdue: $P_p = \frac{2\times10^6 \times 9}{100} = 180\ KW$

$P_p = RI^2 \longrightarrow R = \frac{P_p}{I^2} \longrightarrow R = \frac{180\ 10^3/3}{64^2} =$

$P_A = 2\times10^6\ W = U_A I \cos\phi_A \sqrt{3} \rightarrow I = \frac{P_A}{\sqrt{3}\,U_A \cos\phi_A} = \frac{2\times10^6}{\sqrt{3}\times20\ 10^3\ 0,9}$

$\rightarrow I = 64\ A$

$$R = \frac{6000}{64^2} = 14,6\ \Omega$$

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \longrightarrow S = \rho \frac{\ell}{R} = 27 \frac{10}{14,6} = 18,5\ mm^2$$

la chute de tension dépend des pertes de la ligne.

Soit S_p la puissance apparent perdue dans la ligne

$$S_p = \frac{P_p}{\cos\phi_\ell} = \frac{180}{0,9} = 200\ KVA$$

$$S_p = \sqrt{3}\ \Delta U . I \longrightarrow \Delta U = \frac{S_p}{\sqrt{3} I} = \frac{200 . 10^3}{\sqrt{3} . 64} = 1800\ V$$

$\boxed{\Delta U = 1,8\ KW \text{ entre phase}}$

$S_p = U.I$

$P_p = \frac{U.I}{S_p} . \cos\phi_\ell$

$$U_D = U_A + \Delta U$$

$$U_D = 20 . 10^3 + 1,8 . 10^3 = 21,8\ KW$$

Représentation des lignes de longueur moyenne :

$$\bar{Z} = R + j\omega L = Z(\cos\phi + j\sin\phi)$$

où $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

$$\left.\begin{array}{l} R = Z\cos\phi \\ \omega L = Z\sin\phi \end{array}\right\} \omega L = R\,tg\,\phi$$

$\cos\phi = 0,9 \longrightarrow tg\phi = 0,488$

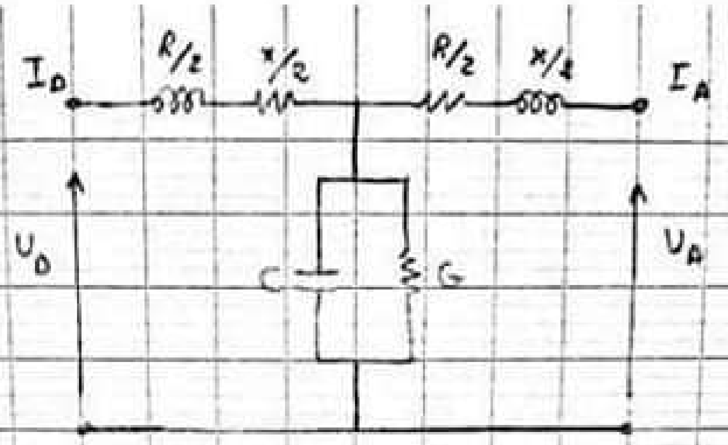
$X = \omega L = 14,6 \times 0,488 = 7,1\ \Omega$

$X_L = 0,71\ \Omega$ par Km

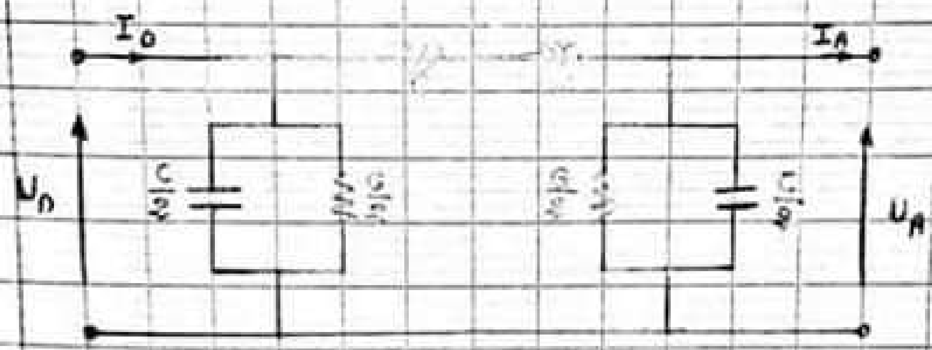
les lignes de longeur moyenne :

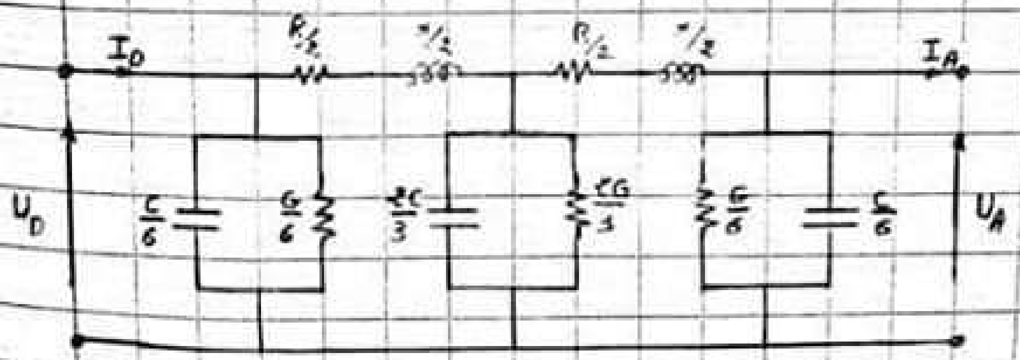
lorsque la longeur de la ligne augmente le courant de fuit à travers la capacité devient significatif pour des tension inférieurs à 100 KV, on le représente par une capacité localisée en quelques point de la ligne.

De même le courant de fuite sur les isolateurs peut être représenté par une conductance en parallèle avec la capacité



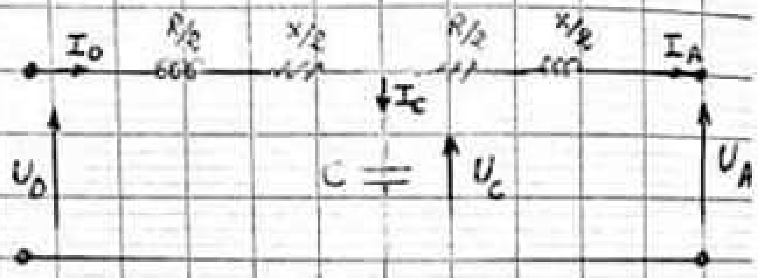
Dans la représentation en T la capacité et la conductance sont localisés au milieu de la ligne.





Dans la représentation en π, la capacité et la conductance sont divisées en 2 et localisées à chaque extrémité de la ligne.

Soit la représentation en T ci-dessous où la conductance est négligée:



$$U_C = U_A + I_A \frac{Z}{2} \quad \text{où} \quad Z = R + jX$$

$$I_C = U_C Y \quad \text{où} \quad Y = j\,2\pi f . C$$

$$I_0 = I_A + I_C = I_A + U_C . Y$$

$$U_0 = U_C + I_0 \frac{Z}{2}$$

$$U_0 = U_A + I_A \frac{Z}{2} + \left[I_A + U_A Y + I_A \left(\frac{Y.Z}{2} \right) \right] . \frac{Z}{2}$$

$$U_0 = U_A \left(1 + \frac{Y.Z}{2} \right) + I_A . Z \left(1 + \frac{Y.Z}{4} \right)$$

on obtient le système :

$$\begin{cases} U_0 = A U_A + B I_A \\ I_0 = C U_A + D I_A \end{cases}$$

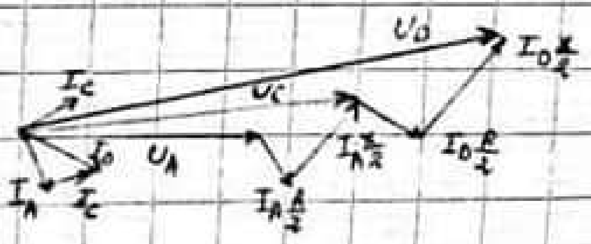
De la même façon, pour la représentation en Π, on a :

$$\begin{cases} U_D = \left(U_A \frac{Y}{2} + I_A\right) Z + U_A = \left(\frac{Z \cdot Y}{2} + 1\right) U_A + Z I_A \\ I_D = I_A + U_D \frac{Y}{2} + U_A \frac{Y}{2} = U_A Y \left(\frac{1 + ZY}{4}\right) + \left(\frac{Z \cdot Y}{2} + 1\right) I_A \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_D = A U_A + B I_A \\ I_D = C U_A + D I_A \end{cases} \quad \text{avec :} \quad \begin{cases} A = D = \frac{Z \cdot Y}{2} + 1 \\ B = Z \\ C = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right) \end{cases}$$

$AD - BC = 1$: c'est la relation caractéristique d'un quadripôle passif linéaire.

Diagramme vectoriel de la représentation en T :

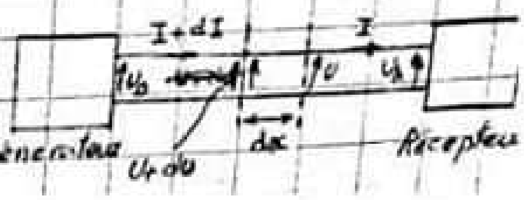


Les longueurs lignes de transport :

Soit

Z = l'impédance longitudinale

Y = l'admittance transversale



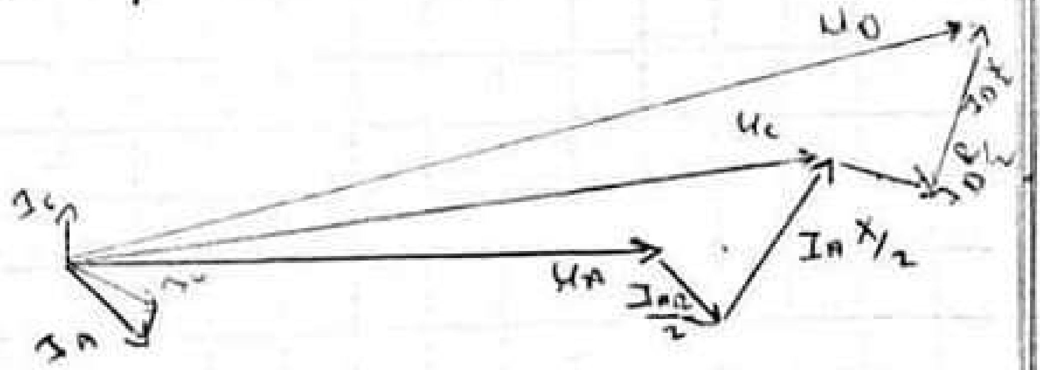
$$\begin{cases} U_D = A\,U_A + B\,I_A \\ I_D = C\,U_A + D\,I_A \end{cases}$$

avec :

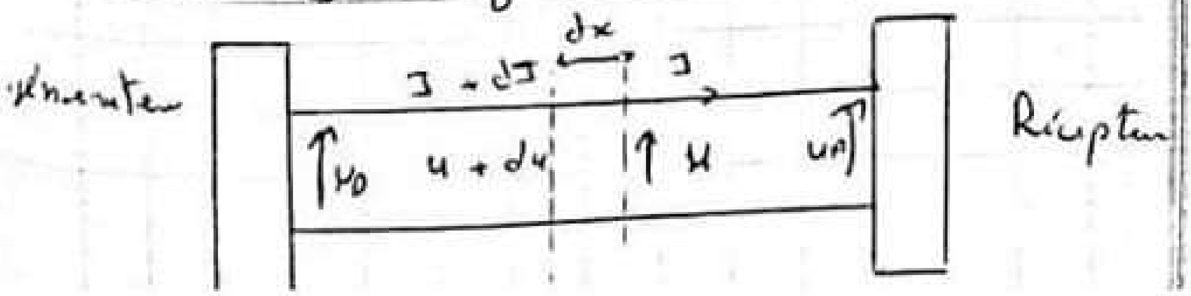
$$A = D = \frac{ZY}{2} + 1 \; ; \; B = Z \; ; \; C = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$$

$\boxed{AD - BC = 1}$: c'est la relation caractéristique d'un quadripôle passif linéaire

Diagramme vectoriel de la représentation en T



Les longues lignes de transport



soit Z = l'impédance longitudinale

y = l'admittance transversale.

$$\frac{dV}{dx} = IZ \longrightarrow \frac{d^2V}{dx^2} = Z\frac{dI}{dx}$$

$$\frac{dI}{dx} = Vy \longrightarrow \frac{d^2I}{dx^2} = y\frac{dV}{dx}$$

la solution est de la forme

$$V = A_1 e^{\sqrt{yZ}x} + A_2 e^{-\sqrt{yZ}x}$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = yZ\left[A_1 e^{\sqrt{yZ}x} + A_2 e^{-\sqrt{yZ}x}\right]$$

$$I = \frac{1}{\sqrt{Z/y}} A_1 e^{\sqrt{yZ}x} - \frac{1}{\sqrt{Z/y}} A_2 e^{-\sqrt{yZ}x}$$

les constantes A_1 et A sont déterminées à partir des conditions aux limites lorsque

$$x = 0 \longrightarrow V = V_A \ , \ I = I_A$$

$$x = 0 \longrightarrow I_A = \frac{1}{\sqrt{Z/Y}} (A_1 - A_2)$$

On pose $Z_c = \sqrt{Z/Y}$

$$A_1 = \frac{V_A + I_A Z_c}{2} \qquad A_2 = \frac{V_A - I_A Z_c}{2}$$

on pose $\gamma = \sqrt{YZ}$

$$\left\{ \begin{array}{ll} ① & U = \dfrac{V_A + I_A Z_c}{2} e^{\gamma x} + \dfrac{V_A - I_A Z_c}{2} e^{-\gamma x} \\ ② & I = \dfrac{V_A / Z_c + I_A}{2} e^{\gamma x} - \dfrac{V_A / Z_c - I_A}{2} e^{-\gamma x} \end{array} \right.$$

Z_c est appelé l'impédance caractéristique de la ligne.

γ est appelé la constante de propagation

$\gamma = p + j q$ ou p = la constante d'affaiblissement

q = la constante de phase

① et ② donnent les valeurs de U et I à n'importe quel x sur la ligne

les ~~longueurs~~
le 1er terme représente l'onde incidente le 2ème terme représente l'onde réfléchie.

la longueur d'onde est $\lambda = \frac{2\pi}{q}$
la vitesse de propagation est
$v = f \cdot \lambda$ où f = fréquence du réseau

si $\frac{U_A}{I_A} = Z_c$ → alors la ligne

fonctionne sur son impédance caractéristi et il n'y a pas d'onde réfléchie.
. si $I_A = 0$ il n'y a pas de charge et les ondes réfléchies et incidentes des tensio sont égales en module et en phase
- De plus les ondes réfléchies et inci des courants sont égales en module avec un déphasage de 180° ou recip Donc elles s'annulent

Equations hyperboliques :

$$sh\,\theta = \frac{e^{\theta} - e^{-\theta}}{2} \; ; \; ch\,\theta = \frac{e^{\theta} + e^{-\theta}}{2}$$

Donc :

$$\begin{cases} U = U_A \, ch(\gamma x) + I_A Z_c \, sh(\gamma x) \\ I = I_A \, ch(\gamma x) + \frac{U_A}{Z_c} sh(\gamma x) \end{cases}$$

Au niveau du générateur, on a $x = \ell$:

$$\begin{cases} U_0 = A U_A + B I_A \\ I_0 = C U_A + D I_A \end{cases}$$

Avec $A = D = ch(\gamma \ell)$; $B = Z_c \, sh(\gamma \ell)$

$$C = \frac{1}{Z_c} sh(\gamma \ell)$$

Puissance transmise dans une ligne en fonction des paramètres A, B, C, D

$$\bar U_D = A \bar U_A + B \bar I_A \Rightarrow \bar I_A = \frac{\bar U_D - A \bar U_A}{B}$$

$$\bar S_A = P_A + jQ_A = \bar U_A \bar I_A^*$$

on a : $\bar A = A \angle \alpha$ constante caractéristique du quadripôle

$\bar B = B \angle \beta$

$\bar U_A = U \angle 0$

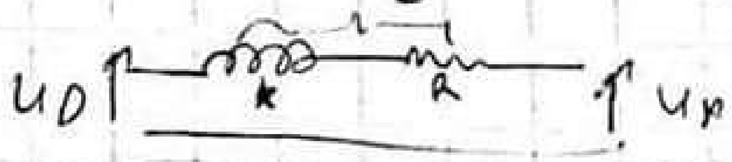
$\bar U_D = U_D \angle \delta$

$$I_A = \frac{U_D}{B} \angle \delta - \beta - \frac{A U_A}{B} \angle \alpha - \beta$$

$$P_A = \frac{U_A U_D}{B} \cos(\beta - \delta) - \frac{U_A^2 A \cos(\beta}{B}$$

De manière générale, on a :

$$\bar S_A = 3 \bar U_A^* \bar I_Z \quad \text{ou} \quad \bar I_A = \frac{\bar U_D - \bar U_A}{Z}$$



$$\boxed{\bar S_A^* = 3 \bar U_A^* \left(\frac{\bar U_D - \bar U_A}{Z} \right)}$$

On prend : $\bar{U}_A = U_A \angle 0°$

$\bar{U}_D = U_D \angle \delta$

$\bar{Z} = Z \angle \alpha$

$$\begin{cases} \bar{Z} = R + jX \\ Z^* = R - jX \end{cases}$$

$$\bar{S} = 3\,\bar{U}\,\bar{I}^* \longrightarrow \bar{S}^* = 3\,\bar{U}^*\,\bar{I}$$

Donc :

$$\bar{S}_A^* = 3\,U_A \angle 0° \left[\frac{U_D \angle \delta - U_A \angle 0}{Z \angle \alpha} \right]$$

$$\bar{S}_A^* = 3\,\frac{U_A U_D}{Z} \angle \delta - \alpha - 3\,\frac{U_A^2}{Z} \angle -\alpha$$

$$\bar{S}_A^* = P_A - jQ_A \text{ avec}$$

P_A = partie réelle de $\bar{S}_A^*$

Q_A = - partie imaginaire de $\bar{S}_A^*$

D'ou :

$$\boxed{P_A = \frac{3 U_A U_D}{Z} \cos(\delta - \alpha) - 3\,\frac{U_A^2}{Z} \cos\alpha}$$

$$Q_A = -\left[\frac{3 U_A U_D}{Z} \sin(\alpha - \delta) - 3\,\frac{U_A^2}{Z} \sin\alpha \right.$$

$$\boxed{Q_A = \frac{3 U_A U_D}{Z} \sin(\alpha - \delta) - 3\,\frac{U_A^2}{Z} \sin\alpha}$$

Représentation des réseaux électriques

Pour une ligne triphasée symétrique on représente seulement une seule phase. Les résultats obtenus sont valables pour les 2 autres phases.

En général, on n'utilise pas les valeurs réelles, mais des valeurs réduites appelées valeurs "per unit". Ce sont des quantités unitaires relatives.

Elles sont définies comme suit :

$$\text{valeur réduite} = \frac{\text{valeur réelle}}{\text{valeur de base (ou de référence)}}$$

- pour les résistances :

$$R \text{ unitaire ou } R \text{ relatif} = R_{u} = \frac{R(\Omega)}{R_b(\Omega)}$$

où R_b = résistance de base

$R_b = \frac{U_b}{I_b}$ où U_b et I_b sont les tension de base et le courant de base

$$R_u = \frac{R I_b}{U_b} = \frac{R I_b^2}{U_b I_b}$$ où $U_b I_b$ = puissance de base

- puissance apparente : $S_u = \frac{S}{S_b}$
unitaire (ou relative)

$S_u = P_u + jQ_u$; $S = P + jQ$ donc

$$P_u = \frac{P}{S_b} \quad \text{et} \quad Q_u = \frac{Q}{S_b}$$

S_b = puissance de base ou de référence.

- impédance : $Z_u = \frac{Z}{Z_b}$; $Z_u = R_u + jX_u$

et $Z = R + jX$

D'où $R_u = \frac{R}{Z_b}$; $X_u = \frac{X}{Z_b}$

- Tension composée U
Soit V la tension simple de phase.

$$U_u = \frac{U}{U_b} \longrightarrow V_u = \frac{V}{V_b}$$

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad \text{et} \quad V_b = \frac{U_b}{\sqrt{3}}$$

D'où $\boxed{U_u = V_u}$

$$R_u = \frac{R I_b}{U_b} = \frac{R I_b^2}{U_b I_b} \quad \text{où } U_b I_b = P_{uis} \text{ de base}$$

_Courant :

$$I_u = \frac{I}{I_b} \; ; \; S_u = \frac{S}{S_b}$$

$$\text{et} \quad S = \sqrt{3}\, U I .$$

$$S_b = \sqrt{3}\, U_b I_b \longrightarrow S_u = \frac{\sqrt{3}\, U I}{\sqrt{3}\, U_b I_b} = U_u$$

$$\boxed{S_u = U_u \, I_u}$$

Les grandeurs caractéristiques d'un réseau électrique sont : la tension, le courant, la puissance, l'impédance.

_pour construire le système des unités relatives (Unitaires), on choisi d'abord la base de la puissance apparente (S_b) et de la tension de ligne (U_d)

les autres valeurs de base sont déterminées ainsi :

$$V_b = \frac{U_b}{\sqrt{3}} \; ; \; I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\, V_b} \; ; \; Z_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{(U_b)^2}{S_b}$$