

RESEAUX ELECTRIQUES

CHAP01: Généralité sur les réseaux électriques

I/Généralités:

- + Les réseaux électriques sont constitués par ensembles de appareils destinés à la productions de l'électricité depuis les Centrales de générations.
- + Les réseaux électriques ont pour rôle d'interconnecter les centres de productions tels que les Centres hydroélectrique, nucléaire, ... avec les Centre de consommation tels que les usines.
- + L'énergie électrique est transportée en HT / T HT pour faire les chutes de tension (les pertes joules)
- + La tension est progressivement abaissée et adaptée aux besoins de consommateurs

II/Constitution des réseaux électriques:

1/ Les Centrales électriques:

- Les centrales (thermique ou combustibles fossiles, centrales nucléaires, hydroélectriques, solaire, éolien).

2/ Les postes électriques:

- Les postes d'interconnexion, de transformation, mixte.

3/ Les lignes électriques:

- Puissance active à transporter, distance de transport, facilité d'installation.

- Les niveaux de tensions des Réseaux:

- + réseaux de Transport THT (132-400) KV
- + réseaux de répartition HT (63-90) KV
- + réseaux de distribution T (15-20) KV
- + réseaux de livraison BT (220-400) V

- Choix de Niveau de tension:

- + tension normalisée,
- + puissance transmise
- + distance de transmission des câbles.

- Structure des Réseaux:

- a/ réseau radial: en étoile, c'est la forme la plus simple
- b/ réseau bouclé: densité de charge Δ en utilisation en HT et BT
- c/ réseau maillé: fortement maillé, en utilisation en HT

- Description des réseaux:

- 1/ réseau de transport (THT): permet transport l'énergie par Centre de production jusqu'au consommateurs.
- 2/ réseau de répartition (HT): permet d'acheminer l'électricité de transport vers Centre de consommation, accès au réseau distribution MT, grande consommation.
- 3/ réseau de distribution (T): utilisateurs peuvent groupés très dense ou bien séparés d'un des autres.
- 4/ réseau de livraison (BT): il s'agit de tension (400/230) V (220/230) V

+ Caractéristiques longitudinales et transversales des lignes élec

a) Résistance:

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

$$\begin{cases} R: \text{résistance } [\Omega] \\ \rho: \text{résistivité } [\text{mm}^2/\text{m}] \\ l: \text{longueur } [\text{m}] \\ S: \text{section } [\text{mm}^2] \end{cases}$$

$$\rho_0 = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (0 - 20)]$$

$$\begin{cases} \alpha_{20}: \text{coef de temp de rés à } 20^\circ\text{C} \\ \rho_{20}: \text{résistivité à } 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

b) Inductance:

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

$$\begin{cases} L: \text{Inductance} \\ \Phi: \text{flux induit par courant} \\ I: \text{courant circulant conducteur} \end{cases}$$

Inductance $\begin{cases} \rightarrow \text{propre} \\ \rightarrow \text{mutuelle} \end{cases}$

$$B = \mu H \rightarrow \Phi = BS = \mu HS$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \rightarrow \Phi = \mu_0 \mu_r HS$$

+ Inductance d'un conducteur isolés:

- Calculé par fluxé tjr
- comprend inductance propre.

$$I \rightarrow \Psi = \Psi_{\text{int}} + \Psi_{\text{ext}}$$

$$\Psi = \left[\frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{D}{r e^{-\frac{1}{4}}} \right) \right] \times I \Rightarrow \Psi = L \cdot I$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{D}{r e^{-\frac{1}{4}}} \right)$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{GMD}{GMR} \right)$$

+ Inductance pour plusieurs conducteurs:

$$- \|GMR\| = \sqrt[n]{(D_{11} D_{12} D_{13}) (D_{21} D_{22} D_{23}) (D_{31} D_{32} D_{33})}$$

$$+ D_{11} = D_{22} = D_{33} = r e^{-\frac{1}{4}}$$

$$- \|GMD\| = \sqrt[n]{D_{1p} D_{2p} D_{3p} \dots D_{np}}$$

$$- \|L_{\text{ray}} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{GMD}{GMR} \right) \parallel$$

$$\blacksquare \|L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt[n]{D_{1p} D_{2p} \dots D_{np}}}{\sqrt{(D_{11} \dots D_{1n}) \dots (D_{n1} \dots D_{nn})}} \right) \parallel$$

+ Inductance ligne monophasé à 2 conducteurs

$$- \|L_T = L_1 + L_2 \parallel$$

$$- L_1 = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{D_1}{r_1'}$$

$$- L_2 = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{D_2}{r_2'}$$

$$- \|L_T = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{D^2}{r_1' r_2'} \parallel$$

$$\blacksquare \|L_T = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{D}{r_1'} \right)^2 = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} 2 \ln \frac{D}{r_1'} \parallel \text{ (1 } \phi \text{ 2 conducteurs)}$$

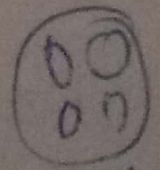
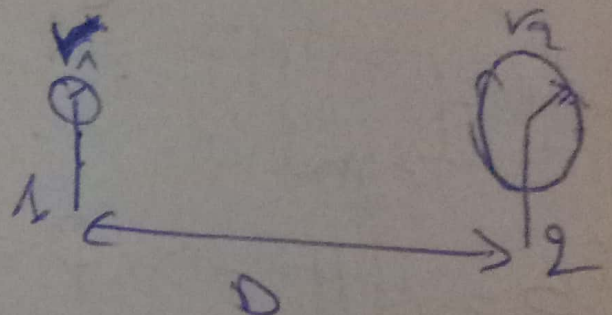
+ Inductance ligne monophasé à 2 conducteurs fait câble

$$L_T = L_A + L_B$$

$$GMR_A = \sqrt[n]{(D_{11} \dots D_{1n}) \dots (D_{n1} \dots D_{nn})}$$

$$GMR_B = \sqrt[n]{(D_{a1} \dots D_{an}) \dots (D_{n1} \dots D_{nn})}$$

$$GMD_A = GMD_B = \sqrt[n]{(D_{1a} D_{1b} D_{1c}) \dots (D_{na} D_{nb} D_{nc})}$$



Cond A

Cond B

$$\begin{cases} + L_A = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_A} \\ + L_B = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_B} \end{cases}$$

$$L_T = L_A + L_B$$

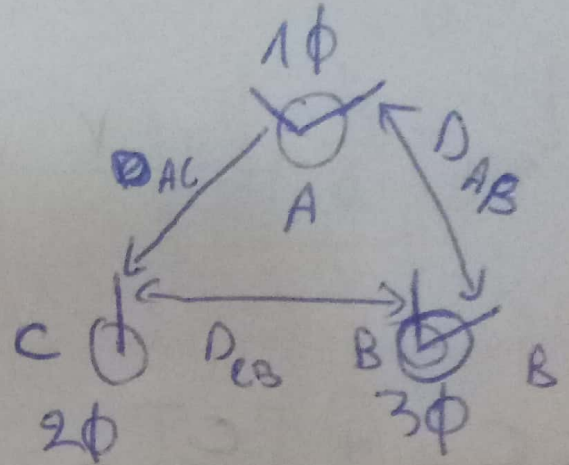
+ Inductance ligne triphasé (3 ϕ) à conducteurs sé.

$$- || L_{\text{moy}} = \frac{L_A + L_B + L_C}{3} ||$$

$$\bullet L_A = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_A}$$

$$\bullet L_B = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_B}$$

$$\bullet L_C = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_C}$$



$$\text{Si } D_{AB} = D_{AC} = D_{BC} \rightarrow GMD = D$$

$$\text{Si } r_A = r_B = r_C \rightarrow r'_A = r'_B = r'_C = r' = r e^{-\frac{1}{4}}$$

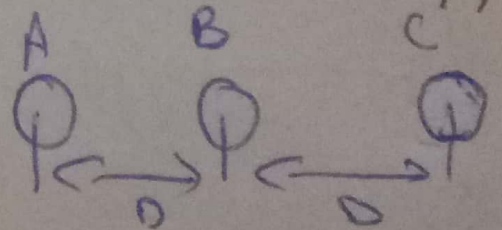
$$|| L_{\text{moy}} = \frac{1}{3} \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{r'} || \quad (\text{Même } r' \text{ pour } 3\phi)$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot D} = D \sqrt[3]{2}$$

$$L_A = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_A}$$

$$L_B = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_B}$$

$$L_C = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \frac{GMD}{GMR_C}$$



* Calcul du GMD entre A et B (1Φ en faisceau)

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{AC}}$$

$$L_{\text{moy}} = \frac{1}{3} \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \left[\ln \frac{GMD^3}{GMR_A GMR_B GMR_C} \right]$$

$$+ L_{\text{moy}} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln \left(\frac{GMD}{\sqrt[3]{GMR_A GMR_B GMR_C}} \right)$$

* Calcul capacité ligne électrique: (1Φ 2 cond)

$$+ C = \frac{Q}{V} \left[\frac{C}{V} \right] + q = \frac{Q}{P} \left[\frac{C}{m} \right]$$

$$\parallel C = \frac{qP}{V} \parallel \left[\frac{F}{m} \right]$$

* Intensité:

$$\parallel E = \frac{D}{\epsilon} \parallel \left[\frac{N}{m} \right]$$

$$\parallel E = \frac{q}{2\pi \epsilon x} \parallel + \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

* Différence du potentielle ent pt charge:

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi \epsilon} \frac{dx}{x} = \frac{q}{2\pi \epsilon} \left[\ln x \right]_{D_1}^{D_2}$$

$$\parallel V_{12} = \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln \frac{D_2}{D_1} \parallel$$

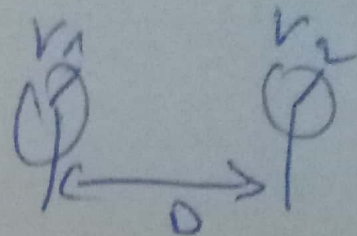
* Potentiel à 2 charge:

$$\parallel V_P = \frac{1}{2\pi \epsilon} \sum_{i=1}^n q_i \ln \frac{1}{D_i} \parallel$$

x)

* Capacité ligne 1Φ:

$$+ || C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{D^2}{r_1 r_2}\right)} || \left[\frac{F}{m} \right]$$



$$C_{1n} = C_{2n}$$

$$C_{12} = \frac{C_{1n}^2}{2 C_{1n}} = \frac{C_{1n}}{2} \Rightarrow C = 2 C_{12}$$

d)

$$\text{Si } V_1 = V_2 = V \Rightarrow || C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{D}{r}} || = || \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{D}{r}} ||$$

* Capacité ligne 3Φ transposée:

$$+ || C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{GMD}{GMR}} ||$$

* Capacité ligne 3Φ avec conducteurs faibles:

$$+ || C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\frac{GMD}{GMR_{eq}}} ||$$

$$+ GMD = \sqrt[3]{D_{AB} D_{AC} D_{BC}}$$

$$+ GMR_{eq} = \sqrt[3]{GMR_A \cdot GMR_B \cdot GMR_C}$$

$$2 \text{ cond} \rightarrow GMR = \sqrt{r d}$$

CHAP02: ligne de transmission

I/Introduction:

- La résistance (inductive ou capacitive) représentant l'effet de l'inductance ou de la capacitance affectant le comportement des lignes de transmission.
- Conductance, est négligée dans des lignes de grandes longueurs de transport d'énergie électrique lors calcul tension, courant.
- La modalisation ligne électrique soit courte, moyenne ou longue prend en compte paramètres ne sont pas regroupés mais répartis uniformément le long de la ligne. (ou l'angle ϕ)
- L'effet Courant: \rightarrow

+ 3 types ligne électrique; courte, moyenne, longue

+ Les paramètres ligne (conducteur R-LC ne sont pas regroupés)

④ **lignes courte:** - ligne de limite de 80Km ligne courte capacité petite peut négliger sans influer précision calcul

- ligne représentée par R en série avec L.

$$V_S = Z I_S + V_R = (R + j\omega L) I_S + V_R \quad \left\{ \begin{array}{l} Z = R + j\omega L \\ I_R = I_S \\ X_L = \omega L \end{array} \right.$$

$$V_R = R I_R + j\omega L I_R + V_R$$

- ϕ_R en retard à $V_R \Rightarrow L$ inductive

- courant en retard à $V_S \Rightarrow I_S = I_R$

⊛ **Bilan de puissance** (puissance d'extrémités de lignes).

$$P_S = V_S I_S \cos \phi_S$$

$$S_S = V_S I_S = \sqrt{P_S^2 + Q_S^2}$$

$$Q_S = V_S I_S (\cos \phi_S) \sin \phi_S$$

$$P_s = 3V_s I_s \cos \varphi_s = \sqrt{3} U_s I_s \cos \varphi_s \quad (3\phi)$$

$$Q_s = 3V_s I_s \sin \varphi_s$$

⊛ Pertes de puissance de lignes:

$$\Delta P_{3\phi} = 3(P_{s1\phi} - P_{R1\phi}) = P_{s3\phi} - P_{R3\phi}$$

$$\Delta Q_{3\phi} = 3(Q_{s1\phi} - Q_{R1\phi}) = Q_{s3\phi} - Q_{R3\phi}$$

⊛ Rendement de lignes:

$$\eta = \frac{P_{R3\phi}}{P_{s3\phi}}$$

⊛ Chute de tension:

$$\Delta V = V_s - V_R$$

⊛ Représentatives de lignes par quadripôle:

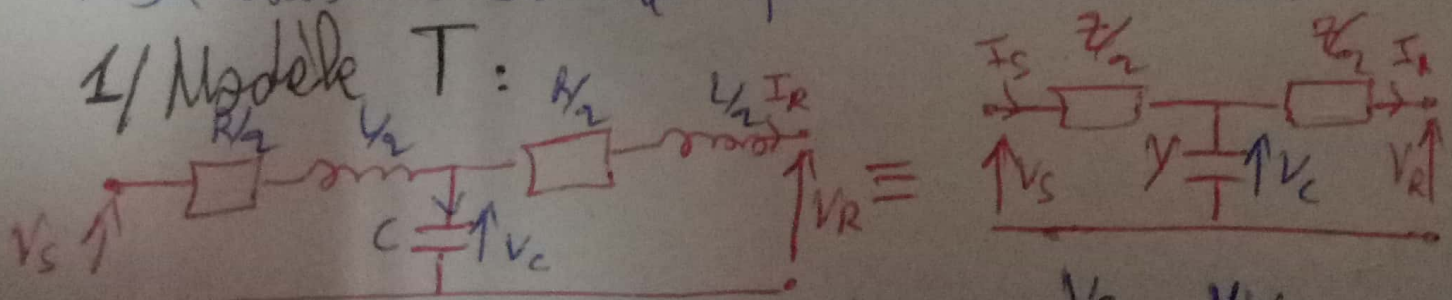
$$\begin{cases} V_s = A V_R + B I_R \\ I_s = C V_R + D I_R \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Ⓛ lignes moyennes: ligne 80 < l < 200 km ligne moyenne
 + type de ligne est effet capacitif n'est pas négligé
 + 3φ existe 2 modèles de représentation en T et II

1/ Modèle T:



$$V_C = \frac{Z}{2} I_R + V_R$$

$$I_C = V_C \cdot Y$$

$$V_C = X_C I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_C}{X_C} = Y V_C$$

$$I_C = Y V_C$$

$$I_S = I_C + I_R = \frac{ZY}{2} I_R + Y V_R + I_R$$

$$= \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) I_R + Y V_R =$$

$$I_S = Y V_R + \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) I_R$$

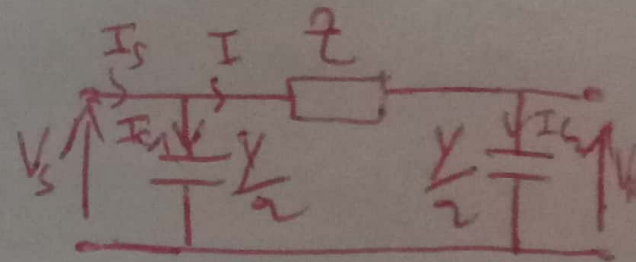
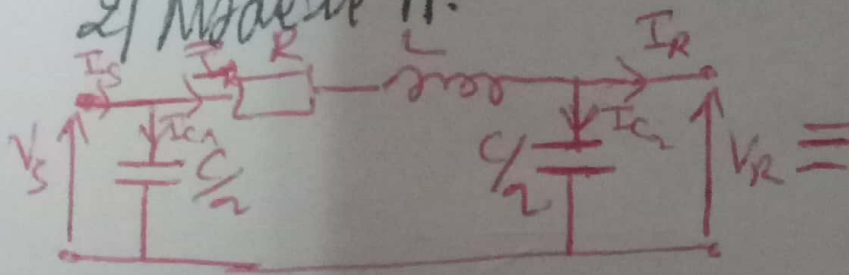
$$V_S = \frac{Z}{2} I_S + I_C = \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R + \left(\frac{ZY^2}{4} + Z \right) I_R$$

$$\begin{cases} V_S = \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R + \left(\frac{ZY^2}{4} + Z \right) I_R \\ I_S = Y V_R + \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) I_R \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_S = A V_R + B I_R \\ I_S = C V_R + D I_R \end{cases}$$

parameter identification

$$\begin{cases} A = \frac{ZY}{2} + 1 & B = \frac{ZY^2}{4} + Z \\ C = Y & D = \frac{ZY}{2} + 1 = A \end{cases}$$

2/ Modèle Π :



$$I = I_R + I_{C2}$$

$$V_C = X_C \cdot I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_C}{X_C} = Y_C V_C$$

$$I_{C2} = \left(\frac{Y}{2} \right) \cdot V_R$$

$$I = I_R + \frac{Y}{2} V_R \Rightarrow V_S = Z I + V_R = Z \left(I_R + \frac{Y}{2} V_R \right) + V_R$$

$$V_S = Z I_R + \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R = \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R + Z I_R$$

$$I_S = \left(\frac{ZY^2}{4} + Y \right) V_R + \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) I_R$$

$$A = \frac{ZY}{2} + 1$$

$$B = Z$$

$$C = \frac{ZY^2}{4} + Y$$

$$D = \frac{ZY}{2} + 1 = A$$

② lignes longues: $l > 200 \text{ km}$

$$V_s = (\cosh \gamma l) V_R + Z_c (\sinh \gamma l) I_R$$

$$I_s = \frac{1}{Z_c} (\sinh \gamma l) V_R + (\cosh \gamma l) I_R$$

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_c \sinh \gamma l \\ \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma l & \cosh \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} A = \cosh \gamma l & B = Z_c \sinh \gamma l \\ C = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma l & D = \cosh \gamma l \end{cases}$$

Constante de propagation: $\gamma = \sqrt{Y \cdot Z}$

Impédance de la ligne: $Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$

Facteur de propagation: $\gamma = \alpha + j\beta$

Facteur de phase: $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{\omega}{v}$

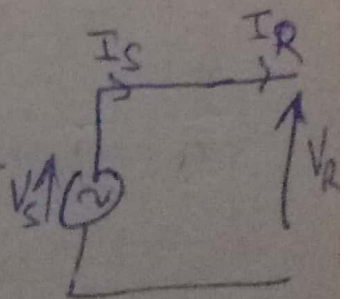
vitesse de propagation: $v = \lambda f = \frac{\omega}{\beta}$

longueur d'onde électromagnétique: $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$

* Fonctionnement ligne en CC:

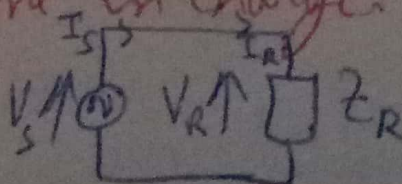
$$Z = 0 / V_R = 0 / I_{R \text{ max}}, I_R = I_{cc}$$

- impédance représent C-C = 0
- noeud tension à l'extrémité de ligne
- intensité de I_{max} en l'extrémité de ligne.



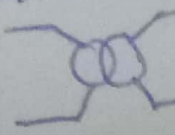
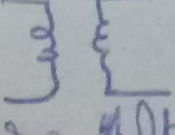
* Fonctionnement ligne en charge:

$$V_R = Z_R \cdot I_R$$



CHAP03: Transformateur.

I/ Transformateur Monophasé:

- a/ Rôles: modifier valeur efficace de tension V_1 à V_2
- b/ Constitution: 2 enroulement indépendant, l'un est CC.
- c/ Symbole électrique:  = 
- d/ Branchement: enroulement à source Alternative et enroulement du 2 alimenté charge électrique.
- e/ Principe de fonctionnement:

- transformateurs 1 ϕ utilise l'induction électromagnétique
- bobine du 1 soumise à V variable, engendre I , l'intensité du courant magnétique, flux variable d'où la f.e.m. variable
- courant magnétique, variation flux qui entraîne var du flux magnétique au 2ème bobine f.e.m. induite

II/ Transformateur Parfait:

1/ Hypothèse: transformateur, ne présentant aucune perte de flux = bobine null et pertes magnétiques forte lignes de flux de courant magnétique comme null ($P = 0$) et pertes fer correspondant fluxante perdue par circulation de foyers ($P_{\text{fer}} = 0$)

2/ Lois de Faraday:

$$v_1(t) = e_1(t) = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$v_2(t) = e_2(t) = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$v_2(t) = -\frac{N_2}{N_1} v_1(t)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{e_2}{e_1} \Rightarrow \boxed{m = \frac{N_2}{N_1}}$$

$$\boxed{m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}}$$

3/ Bilan de Puissance: du transformateur

$$\begin{cases} P_2 = P_1 \\ \Phi_2 = \Phi_1 \\ S_2 = S_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} V_2 I_2 = V_1 I_1 \\ \cos \varphi_2 = \cos \varphi_1 \end{cases}$$

4/ Rendement:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1$$

III/ Transformateur Réel:

a/ bilan énergétique:

- Puissance utile du transformateur $P_2 \rightarrow 2$
- puissance absorbée du transformateur $P_1 \rightarrow 1$
- Rendement: $\eta = \frac{P_2}{P_1} < 1$

⊕ Pertes Joules:

$$P_J = R_1 i_1^2 + R_2 i_2^2$$

⊕ Rendement: $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_J + P_{fer}} < 1$

b/ Impédance ramené au primaire:

$$+z_2 = \frac{V_2}{I_2} \text{ et } n = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \Rightarrow z_2 = \frac{n V_1}{\frac{I_1}{n}}$$

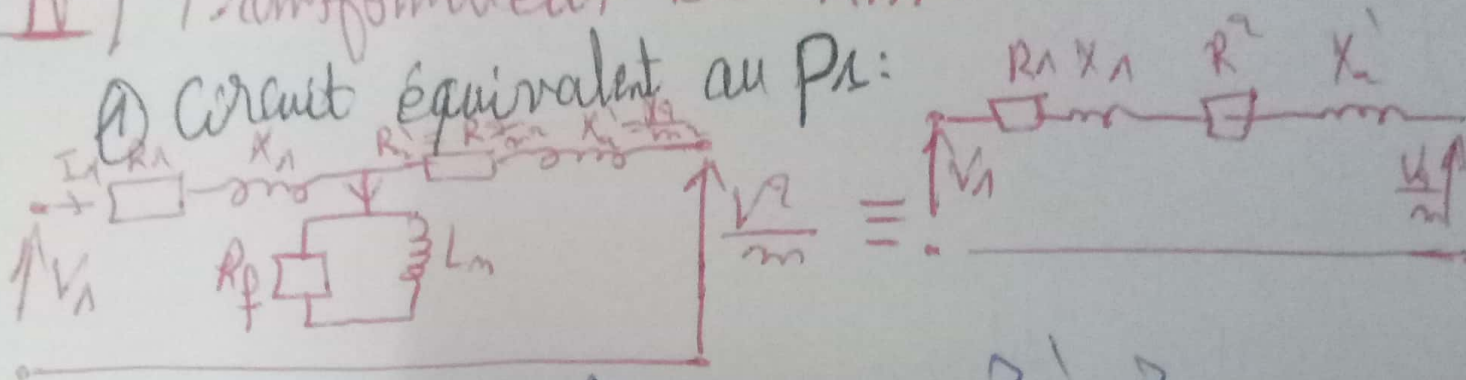
$$\boxed{+z_2 = \frac{V_1}{I_1} n^2} \Rightarrow \boxed{z_2' = z_1 \cdot n^2}$$

c/ Impédance ramené au secondaire:

$$\boxed{z_1' = z_1 n^2}$$

IV / Transformateur De "KAPP"

① Circuit équivalent au Ps:



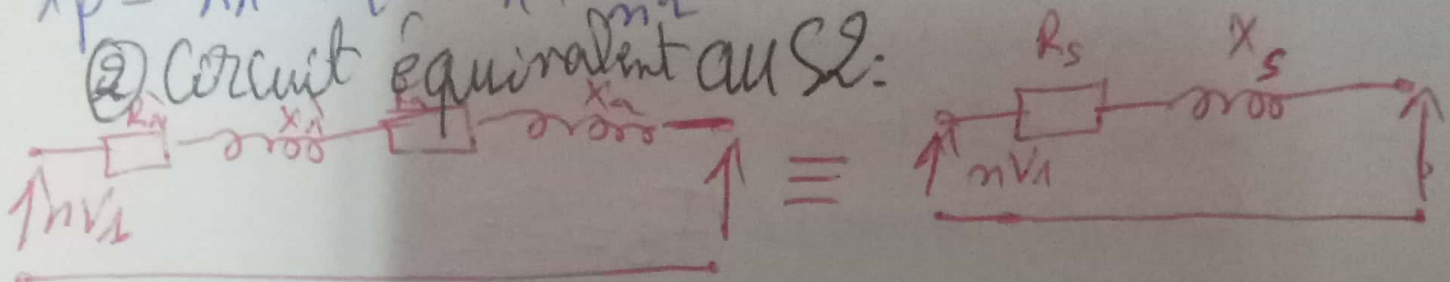
$$R_p = R_1 + R_2' = R_1 + \frac{R_2}{n^2}$$

$$X_p = X_1 + X_2' = X_1 + \frac{X_2}{n^2}$$

$$Z_a' = Z_p$$

$$Z_a = Z_s$$

② Circuit équivalent au S2:



$$R_s = R_1' + R_2 = R_1/n^2 + R_2$$

$$X_s = X_1' + X_2 = X_1/n^2 + X_2$$

V / Transformateur Triphase 3φ:

- transformateur 3φ utilisé dans transport et distribution d'énergie électrique, se trouve dans centrales, poste d'interconnexion, distribution.

- peut considérer principe de fonction équivalent à 3 transformateur 1φ = transformateur 3φ

- différence bien essentiellement au couplage des 3φ

⊗ Modes Couplage:

① Étoile: sortie neutre, distribut de V_{simple} , couplage en P

② triangle: n'a pas sortie neutre, aliment par tension couple

③ zigzag: divité en 2 bobines, tension BT

CHAP 04: les Systèmes des grandeurs Reduites

I / Définition:

$$P.U = \frac{\text{Valeur Physique}}{\text{Valeur base}}$$

II / Système Monophasé:

- On commence par choisir:

- tension de base V_B (V)

- puissance de base S_B (V.A) = $S_B = V_B I_B$

- On peut déterminer valeur de base:

- Courant de base: $I_B = \frac{S_B}{V_B}$

- impédance de base: $Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{V_B}{\frac{S_B}{V_B}} = \frac{V_B^2}{S_B}$

- admittance de base: $Y_B = \frac{1}{Z_B} = \frac{S_B}{V_B^2} = \frac{I_B}{V_B}$

- On aura:

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B} = \frac{Z \cdot S_B}{V_B^2}$$

$$+ V_{pu} = \frac{V}{V_B} \quad + P_{pu} = \frac{P}{S_B}$$

$$+ S_{pu} = \frac{S}{S_B} \quad + R_{pu} = \frac{R}{Z_B}$$

Remarque:

$$+ Z = Z \angle \theta = R + jX \Rightarrow Z_{pu} = \frac{|Z| \angle \theta}{Z_B} = \frac{R \angle 0}{Z_B} + \frac{jX \angle 90}{Z_B}$$

$$+ S = P + jQ \Rightarrow Z_{pu} = \frac{P}{Z_B} + \frac{jQ}{Z_B} = \frac{P}{Z_B} + j \frac{Q}{Z_B}$$

$$+ S = \bar{V} * \bar{I} \Rightarrow S_{pu} = \bar{V}_{pu} * \bar{I}_{pu} \Rightarrow S_{pu} = \frac{P}{S_B} + \frac{jQ}{S_B} = P_{pu} + jQ_{pu}$$

$$+ \bar{Z}_{pu} = \frac{\bar{Z}}{\bar{Z}_B} = \frac{\bar{Z} S_B}{V_B^2}$$

$$\begin{cases} -V_{pu} = \frac{V}{V_B} \\ -S_{pu} = \frac{S}{S_B} \\ -P_{pu} = \frac{P}{S_B} \\ -R_{pu} = \frac{R}{Z_B} \end{cases}$$

Rémarque:

$$+ \bar{Z} = |\bar{Z}| \angle \theta \Rightarrow \bar{Z}_{pu} = \frac{|\bar{Z}| \angle \theta}{\bar{Z}_B} = \frac{|\bar{Z}|}{\bar{Z}_B} \angle \theta$$

$$+ \bar{Z} = R + jX \Rightarrow \bar{Z}_{pu} = \frac{R}{\bar{Z}_B} + \frac{X}{\bar{Z}_B} j = R_{pu} + jX_{pu}$$

$$+ \bar{S} = P + jQ \Rightarrow \bar{S}_{pu} = \frac{P}{S_B} + \frac{Q}{S_B} j = P_{pu} + jQ_{pu}$$

$$+ \bar{S} = \bar{V} * \bar{I}^* \Rightarrow \bar{S}_{pu} = \bar{V}_{pu} * \bar{I}_{pu}^*$$

$$\bar{Z}_{pu} = \frac{|\bar{Z}|}{\bar{Z}_B} \quad / \quad \bar{Z}_{pu} = \frac{R}{\bar{Z}_B} + \frac{jX}{\bar{Z}_B} = \frac{|\bar{Z}|}{\bar{Z}_B} \angle \theta$$

III / Système triphasé 3 ϕ :

+ Système 3 ϕ de grandeurs réduites de manière:

$$\checkmark S_{pu} = \frac{\bar{S}}{S_B} \quad \checkmark \bar{U}_{pu} = \frac{\bar{U}}{U_B} \quad \checkmark \bar{I}_{pu} = \frac{\bar{I}}{I_B}$$

$$\begin{cases} U_B = \sqrt{3} V_B \\ S_B = 3 V_B I_B \Rightarrow \frac{U}{U_B} = \frac{\sqrt{3} V}{\sqrt{3} V_B} \Rightarrow \frac{U}{U_B} = \frac{V}{V_B} \Rightarrow U_p = V_p \\ V_B = Z_B I_B \end{cases}$$

$$\frac{\bar{S}}{S_B} = \frac{\sqrt{3} \bar{U} \bar{I}}{\sqrt{3} \bar{U}_B \bar{I}_B} = \frac{3 \bar{V} \bar{I}}{3 \bar{V}_B \bar{I}_B} \Rightarrow \bar{S}_{pu} = \bar{U}_{pu} \times \bar{I}_{pu}$$

+ avantages 2: pas besoin du 3 ou $\sqrt{3}$

* avantages 1: résolution à partir Sché. unifilaire
nous n'avons plus besoin d' $\sqrt{3}$
s'agit tension $U = V$.

⊙ Changement de base:

$$Z_{pu1} = \frac{Z}{Z_{B1}} = Z \frac{S_{B1}}{V_{B1}^2}$$

$$Z_{pu2} = \frac{Z}{Z_{B2}} = Z \frac{S_{B2}}{V_{B2}^2}$$

$$\frac{Z_{pu1}}{Z_{pu2}} = \frac{S_{B1}/V_{B1}^2}{S_{B2}/V_{B2}^2} = \frac{S_{B1}}{S_{B2}} \cdot \frac{V_{B2}^2}{V_{B1}^2}$$

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \cdot \frac{S_{B2}}{S_{B1}} \left(\frac{V_{B1}}{V_{B2}} \right)^2$$