Les conducteurs électriques : 1) lignes aériennes
2) câbles souterrains
3) câbliers

1) lignes aériennes : Simple fil mais son rôle très important dans transport de puissance de producteur vers consommateur.

* portée au même niveau de potentiel (نفس الجهد)
* sous une tension et courant et se sont les effets thermiques (chaleur)
* qui limite la puissance transportable vers la charge.

limite thermique : courant admissible (acceptable) ou courant critique qui peut supporter une ligne de desserte (transport) et le courant c'est l'une des principales caractéristiques d'une ligne aérienne.

Les Modèles de ligne aérienne :

$X_L = L.\omega$

Modèle 1 : Monophasé 1 seul phase

ligne à faible longueur.

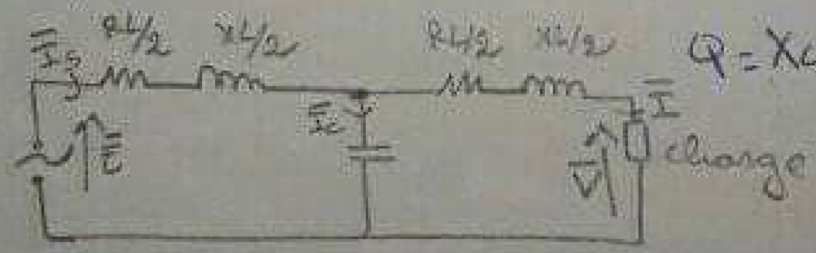
R_L : puissance active ou perte active" $P_L = R_L . I^2$

X_L : puissance réactive ou perte réactive $Q_L = X_L . I^2$

$X_L = 10 . R_L$

$X_C = \frac{1}{C\omega}$

Modèle 2. en (T)



$Q = X_C . I_C^2$

1)

Résumé Réseau

Chapitre I : Le réseau éléctrique et notion de tension et de puissance.

Déf : un réseau éléctrique est un ensembles d'appareils destinés à la production, au transport et à la distribution de l'énergie éléctrique.

élément d'1 réseau : 1) groupes de productions : comporte un alternateur qui assure la transformation de l'énergie primaire de différents source en énergie éléctrique.

Energie primaire : eau, gaz, charbon, pétrole.....

alternateur : est un machine synchrone reçoit l'énergie primaire via la turbine est due au fait au machine tournante, sa vitesse "Ω" appellé vitesse de synchronisme $\Omega = \frac{\omega}{p}$ (rad/s)

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_m - C_e$$

- si $C_m - C_e < 0$ => frénage (décélération)
- si $C_m - C_e > 0$ => consommation c'est l'accélération de la machine

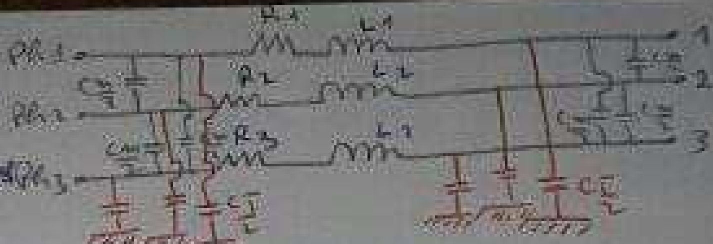
alternateur

- stator (induit) (parti fixe)
- rotor (inducteur) (partie tounante)

emballement : tourner à une vitesse exagérée quand $C_m - C_e > 0$ donc Ω augmente.

liaisons d'un réseau : 1) les conducteurs éléctrique
2) Les transformateurs

Modèle 3 : en (π)



(C_m, C_T) caractéristique transversale.

C_m : capacité mutuelle ; C_T : capacité verticale.

(R_1, L_1), (R_2, L_2), (R_3, L_3) ⇒ caractéristique longitudinale

$C_{éq} = C_T + 3C_m$; $R_{moy} = \sum_{i=1}^{3} \frac{R_i}{3}$; $L_{moy} = \sum_{i=1}^{3} \frac{L_i}{3}$

Schéma équivalent

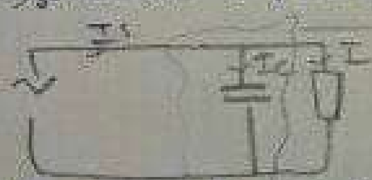
* le transport d'énergie se fait en triphasé.
* effet inductif et >>> que l'effet résistif : $X_L = 10 \cdot R_L$.

$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$ $C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$ (si Section ↓ donc ↑)

* la limite thermique d'une ligne aérienne (I_{MAP}, I critique) est plus élevée à la saison hivernale que la saison estivale à cause de l'air qui participe au refroidissement de la ligne

$I_{critique\ max\ (été)} < I_{critique\ max\ (hiver)}$

Les liaisons souterraines : quand l'environnement ne permet pas de transporter par des lignes aériennes l'énergie on utilise liaison souterraine (raison de sécurité de l'être humain)



$X_{cap} = \frac{1}{C\omega}$

Les effets capacitifs qui limitent la puissance maximale transportable à une charge $U \uparrow I \downarrow P \nearrow$ (diminue les pertes)

Les transformateurs : machine statique permet de transporter de l'énergie à grande distance d'une façon économique. Le transformateur constitue de 2 enroulement primaire et secondaire et caractérisé par le rapport $a = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$

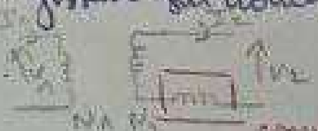
(gagne en tension, on le perd en courant)

* Les transformateurs sont utilisés comme **élévateur** après **alternateur** puisque
  * les réseaux doit être exploités par plus haut tension $P = f(U^2)$
  * Diminuer le courant à travers la ligne de transport $Q = f(U^2)$
  * la diminution des pertes en puissance et chutes de tension

donc l'apport de puissance sera meilleur.

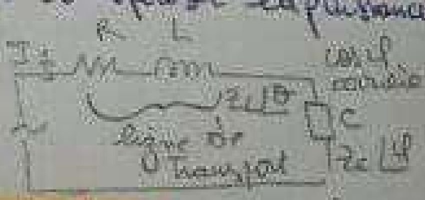
* Les transformateurs sont utilisés comme élévateur après **sources d'énergie** est augmentation de puissance de charge
* Les transformateurs sont utilisés comme **abaisseurs** avant **moyens de réglages** de tension et également à la distribution pour la sécurité de l'être humain.

* **Transformateur à régulateur en charge :** joue le rôle de le réglage de la tension ou à la valeur nominale en cas à des variations suite à des perturbations comme court-circuit ou variation naturelle de la charge en agissant sur nombre de spire de l'enroulement de commande



Moyens de réglage de la tension :

Pour régler la tension il est impératif de compenser la puissance réactive Q



L'expression de la chute de tension :

$\Delta V \simeq RI \cos\varphi + XI \sin\varphi$

$\Delta V \simeq \frac{R.P + X.Q}{U}$ ⇒ 1ère expression de la chute de tension $X = L\omega$

4 70

$\sin(-\varphi)$ -

* quand $E < V$ s'explique que les pertes en p

$R_L \lll X_L \Rightarrow \Delta V \simeq \frac{X_1 Q}{V}$ / $R = \frac{X}{10}$.

2ème expression de la chute de tension.

* les plus importants chute de tension sont causées par les transits de Q vers la charge. Régler la tension revient à compenser l'énergie réactive.

* **Moyens de compensation de l'énergie réactive** :
- condensateur $\begin{pmatrix} \text{- en série} \\ \text{- en (//)} \end{pmatrix}$
- compensateur statique
- Alternateur
- Inductance.

Condensateur : est un moyen de réglage très efficace dans le réglage de tension en fournissant l'énergie réactive selon le besoin sur le réseau.

$\cos\varphi$ arrière

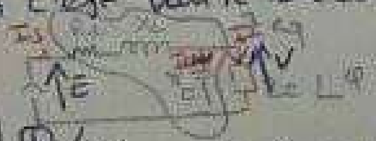
$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{X_1}{R_1}\right)$ $\varphi > 0$

Compensation Série :

$\bar{E} = R_1 \bar{I} + j(X_1 - X_C)\bar{I} + \bar{V}$

La compensation en série engendre la diminution de la réactance principale de la ligne ce que conséquent la diminution de la chute de Tension et une tension élevée donc l'apport en puissance est plus élevé par rapport du réseau non compensé $P_1 < P_2$.

$k = \frac{X_C}{X_L}$ $0 < k < 0{,}7$ c'est taux de compensation série



Compensation en (//) :

(compensation locale) $\varphi < 0$

$\cos\varphi$ avance
$\varphi < 0$

$E < V$ il faut que $V = E \times \frac{5}{100}$

$$\begin{cases} E = \bar{Z}_{eq} \cdot \bar{I}_S & \text{....(1)} \\ I_S = I_C + I & \text{....(2)} \\ V = V_{ZC} = -jX_C I_C = Z_C \cdot I & \text{....(3)} \end{cases}$$

Le rôle de la compensation locale c'est l'apport en puissance réactive très importante, largement supérieure aux pertes causées.

La tension récepteur > tension d'exploitation

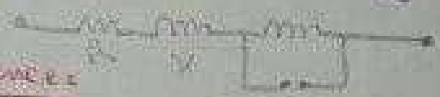
$E < V$ (Excès en plus de Q).

On néglige les effets de réaction inductive $\Delta V \simeq \frac{X \Delta Q}{V}$

Compensateur statique : ensemble des inductance et condensateur commandés par des thyristors ($X_1 \to 0$ ...)
il ne possède aucune partie tournante, c'est un composant commandé pour fournir ou consommer de la puissance réactive.

L'inductance : actionne lors d'un creux de charges, son rôle est consommé Q en excès sur une ligne de transport et les câbles faiblement chargés.

Moyens de réglage de fréquence :



$$P = \frac{E \cdot V}{X} \cdot \sin(\delta) \quad R \lll X \quad \delta = \frac{\omega}{p} t + \delta$$

δ : déphasage angulaire entre E et V.

X : Réactance de la ligne

Pour régler la fréquence on utilise l'alternateur et le condensateur en série et en (//).

et la chute de tension sont VO devant l'appt de Q. (10

$P_{max\,0{,}90AV} > P_{max\,0{,}95AV} > P_{max\,0{,}97AV} > P_{max\,0{,}99AV}$

$Q_{max\,0{,}99AV} > Q_{max\,0{,}97AV} > Q_{max\,0{,}95AV} > Q_{max\,0{,}90AV}$

Stabilité en tension : garder la tension dans les limites acceptables lors de la variation de la charge quand admittance augmente.

Principales causes de la chute de tensions

1) Augmentation naturelle de la charge
2) Intensification de la puissance de la ligne "Pa". $\Delta V = \frac{XLQ}{V}$
3) Incidents sur le réseau (court circuit) $I \uparrow$.
4) Intervention des moyenne de réglage de la tension.

écroulement de tension :

1) Manque de puissance réactive donc la puissance actif est liée au facteur $\cos\varphi \Rightarrow P = f(\cos\varphi)$
2) Tension basse $V = f(E) \downarrow$ et $P = f(E^2)$
3) charge trop importante.
4) Production très éloignée à la consommation.

$\frac{Z}{Z_C}$ [∈ 1 → 0,1] : la zone de la stabilité en tension les pertes en puissance sont admissibles et la chute de tension aussi.

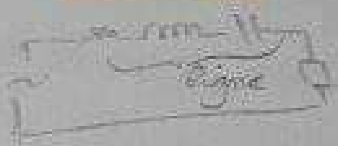
$I_{MAP} = I_{crit}$ = limite thermique

$$S_B = \sqrt{P_{max}^2\left(\frac{Z_L}{Z_C}-1\right) + Q_{max}^2\left(\frac{Z_L}{Z_C}-1\right)}$$

Phénomène de compensation $\cos\varphi > 0$ arrière.

$\varphi > 0$.

plus facteur de puissance $\cos\varphi \nearrow$ $(P = f(\cos\varphi))$ plus la puissance réactive $\searrow$ et les chutes de tension sur la ligne aussi diminue $\searrow$ donc $\Delta V \simeq \frac{X_L Q}{V}$ donc $V \nearrow$ et puissance active augmente



$P_{max\,0{,}99\,AR} > P_{max\,0{,}97\,AR} > P_{max\,0{,}95\,AR} > P_{max\,0{,}90\,AR}$

$Q_{max\,0{,}99\,AR} < Q_{max\,0{,}97\,AR} < Q_{max\,0{,}95\,AR} < Q_{max\,0{,}90\,AR}$

Phénomène de surcompensation : $\cos\varphi < 0$ $\varphi < 0$

$\cos(-\varphi) = \cos(\varphi)$ $V > E$ avance.

$\sin(-\varphi) = -\sin(\varphi)$ donc $Q = UI\sin(-\varphi) = -UI\sin(\varphi)$

* quand $E < V$ s'explique que les pertes en puissance

« quand E < V s'explique que les pertes en puissance

17

Les différents catégories de charges :

1ère : ensemble des organismes de santé : Hôpital ....

2ème : " d'entreprises, des industries, ...

3ème : " des familles, des écoles ....

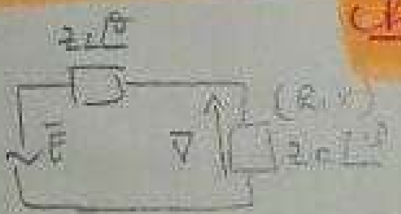
Structure du réseau :

1) étoile : si une perturbation elle va toucher tt réseau

2) Réseau en boucle : perturbation pour des raisons elle ne va toucher tout le réseau.

3) Réseau maillé ou connecté : réseau sous forme des mailles l'avantage ici si il y a perturbation le réseau n'est pas soumis de la perturbation ds touts les parties le constituant

Chapitre II : compensation de l'énergie réactive.



cos φ avance φ < 0.

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{(Z_L\cos(\theta) + jZ_L\sin(\theta)) + (Z_C\cos(\varphi) + jZ_C\sin(\varphi))}$$ en complexe

$$I = \frac{E}{\sqrt{(Z_L\cos\theta + Z_C\cos(\varphi))^2 + (Z_L\sin\theta + Z_C\sin\varphi)^2}}$$ en module

$\cos(-\varphi) = \cos(\varphi)$

$\sin(-\varphi) = -\sin(\varphi)$ donc $Q = U \cdot I \sin(-\varphi) = -UI\sin(\varphi)$

* quand $E < V$ s'explique que les pertes en puissance —

$V = Z_C \cdot I$

$$I = \frac{E}{Z_L\sqrt{1+\left(\frac{Z_C}{Z_L}\right)^2 + \frac{2Z_C}{Z_L}\cos(\theta-\varphi)}}$$

donc : $V = Z_C \cdot \dfrac{E}{Z_L\sqrt{1+\left(\frac{Z_C}{Z_L}\right)^2 + \frac{2Z_C}{Z_L}\cos(\theta-\varphi)}}$

$P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$

$Q = V \cdot I \sin(\varphi)$

* pour augmenter la puissance versée à la charge impédante il faut : • exploiter le réseau à sa TH ↑ ($P = f(E)$)

• Compenser ou sur compenser les charges

$\cos(\varphi)\uparrow$ — $P = f(\cos\varphi)$

• Diminuer la caractéristique de la ligne de transport ⇒ $P = f\left(\frac{1}{Z_L}\right)$

1) condensateur série

2) insérer des lignes en (//)

3) augmenter la section des conducteurs.

Point critique $\frac{Z_L}{Z_C} = 1$: un point où le réseau devient un cable de transmettre de l'énergie à la charge traitée. $Z_L = Z_C$; la caractéristique de la ligne égale à la charge

$P_{max} = P(Z_C = Z_L)$; $Q_{max} = Q(Z_C = Z_L)$

$I_{max} = I(Z_C = Z_L)$ = limite thermique.

dans point $(0,0)$ ⇒ fonctionnement à vide donc $\begin{cases} I = 0 \\ P = 0 \\ Q = 0 \\ V = \text{valeur de tension } 220\text{ V ou } 380 \end{cases}$

Chapitre III : Réseau complexe — équation d'écoulement.

déf : Réseau complexe est un ensemble qui comportent plusieurs lignes avec des R et X et plusieurs charges et des moyenne de réglages de tension, fréquence ....

Pour objectif : contrôle de tous les grandeurs en chaque point du réseau que sont les courants, les tension, les pertes en puissance, chutes de tensions .....

En courant (~) :

$[Y]$: matrice des admittances tq : $V = Z_L \cdot I$; $V = \frac{1}{y_L} \cdot I$ $\Big\}$ $Z_L = \frac{1}{y_L}$

donc : $[I] = [Y][V]$

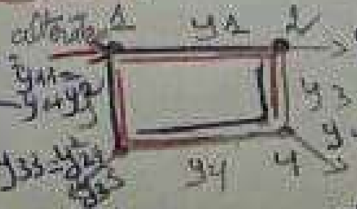
$$[Y] = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1N} \\ & y_{22} & \\ \vdots & & \ddots \\ y_{N1} & \cdots & y_{NN} \end{bmatrix}$$

$\underbrace{y_{11} \Rightarrow \cdots \Rightarrow y_{NN}}$ des admittances propre $i = j$

$y_{21} \Rightarrow y_{31} \Rightarrow \cdots$ $i \neq j$ des admittances mutuelles.

Calculs des admittances :

Soit le réseau



$y_{22} = y_1 + y_3$

$y_{44} = y_3 + y_4$

$y_{11} = \Sigma$ des admittances reliées au pts 1

ex : $y_{11} = y_1 + y_2$

$y_{22} = y_1 + y_3$

y_{13} = - admittances = $-y_2$

$y_{34} = -y_4$ ....

ex

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1+y_2 & -y_1 & -y_2 & 0 \\ -y_1 & y_1+y_3 & 0 & -y_3 \\ -y_2 & 0 & y_2+y_4 & -y_4 \\ 0 & -y_3 & -y_4 & y_3+y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

$$\overline{I_3} = (-\overline{y_2} \times \overline{V_1}) + (0 \times \overline{V_2}) + (\overline{y_2}+\overline{y_4}) \times \overline{V_3} + (-\overline{y_4} \times \overline{V_3})$$

Chapitre III : (Suite et fin)

$$\begin{cases} P_i = V_i^2 y_{ii} \cos(\psi_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} V_i V_j \, y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - \psi_{ij}) \\ Q_i = -V_i^2 y_{ii} \sin(\psi_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j - \psi_{ij}) \end{cases} \text{ en C.A (III-7)}$$

L'une des hypothèses simplificatrices est le concept qui dit comme quoi, la résistance d'une ligne de transport est 10 fois plus faible que sa réactance inductive.

$R_L \lll X_L$.

$$Z_{ij} = R_{ij} + j X_{ij}$$

$$y_{ij} = \frac{1}{R_{ij} + j X_{ij}} = \frac{1 \times (R_{ij} - j X_{ij})}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} + j \frac{-X_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$$

$$y_{ij} = j \cdot \frac{-1}{X_{ij}} = j(-B_{ij})$$

→ susceptance de la ligne reliant deux nœuds quelconques (i,j)

avec l'hypothèse simplificatrice ($R_{ij} \lll X_{ij}$) et les formules trigonométriques, le système (III-7) devient (se réduit) :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} V_i V_j \, B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \\ Q_i = -V_i^2 B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} V_i V_j \, B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) \end{cases}$$

$R_{ij} \simeq 0$ ⇒ tout ce qui est produit par l'alternateur comme puissance active ($P_{ij} = R_{ij} I_{ij}^2 \simeq 0$) pas de perte joule

Si la puissance active est très élevée donc les chutes de tension $\simeq 0 \Rightarrow \Delta V = \frac{X Q}{V}$

Par conséquent on peut aisément conclure que les transits $\boxed{\Delta V_{ij}}$ de puissance réactive vers la charge considérée sont négligeables ($Q_i \simeq 0$)

$$\begin{cases} P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} V_i V_j \, B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \\ Q_i = -V_i^2 B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} V_i V_j B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) \end{cases}$$

$\sin(\theta_i - \theta_j) \to \theta_i - \theta_j$; $\cos(\theta_i - \theta_j) \to 1$

$\theta_{ij} \simeq 0 \Rightarrow V_i \simeq V_j \simeq$ tension nominale $\simeq 1$ Pu (valeur réduite)

$\theta_i \simeq \theta_j$

- Pour toutes les raisons citées basées sur les propriétés étudiées lors des chapitres précédents, permettent d'aboutir à un système linéaire comme dans le cas du C.C (courant continu) et qui se réduit à la seule équation :

$P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} B_{ij} (\theta_i - \theta_j)$ qui peut se transformer aisément sous forme matricielle

Comme suit :

$$[P] = [B] \cdot [\theta]$$

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \cdots & B_{1N} \\ & \ddots & \\ B_{N1} & \cdots & B_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_N \end{bmatrix} \text{(III-15)} \Rightarrow [\theta] = \underset{\text{(III-16)}}{[B^{-1}][P]} = [X][P]$$

Les expressions sont données

$$B_{ii} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} B_{ij} + B_T$$

$B_{ij} = B_{ji} = -$ la susceptance de ligne reliant le nœud i au nœud j

un tel système (III-16) est beaucoup plus exploité pour l'étude de la stabilité en fréquence

$$P_i = B_{ii} \cdot \theta_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} B_{ij} \theta_j$$

De la m manière, on déduit du système (III-16) la relation donnant le déphasage

$$\theta_i = X_{ii} \cdot P_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} X_{ij} \cdot P_j \quad \text{(III-19)}$$