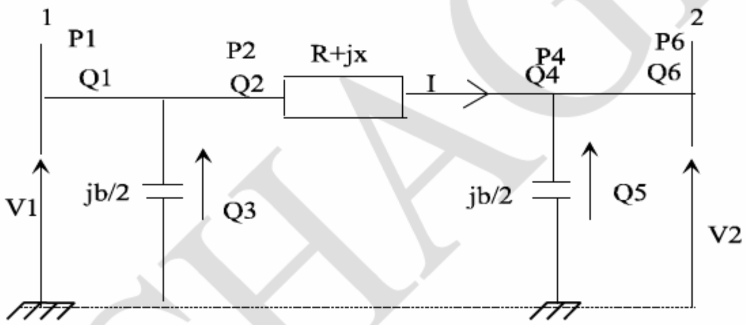
TRANSFERT DE PUISSANCES SUR LE RESEAUX ELECTRIQUE

Quand un régime permanent de circulation d'énergie est établi dans un réseau électrique, on peut écrire les équations reliant les puissances actives P_i et réactives Q_i injectées ou soutirées en chaque sommet i et les tensions en modules $|V|$ et phases ϑ. La détermination des tensions et courants sur une ligne électrique peut être effectuée en utilisant la notation complexe.
En schématisant chaque liaison (du sommet i au sommet k) par un π symétrique tel que (i=1, k=2)



Les lignes sont normalement spécifiées par :

Une impédance série : Z=R+jx Ω /Km

Une admittance shunt Y=G+jb µmhos/Km

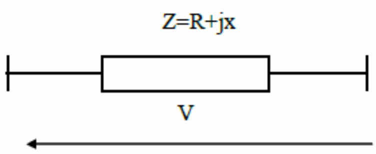
En pratique G est extrêmement petit (G≅0) et par conséquent =jb= jcω

ou b représente la suspectante shunt µmhos/Km

Il y a de plus un bilan de conservation, aux pertes prés, sur $\sum P_i$ et $\sum Q_i$ .Ce bilan peut être assuré par un sommet quelconque (où l'on peut aussi fixer θ=0)

IMPEDANCES SERIES

Les pertes dans les impédances série sont donnés par $S=V.I^*$



Où V=Z.I c'est à dire que $S=Z.I.I^* = Z\,(I_R+jI_I)(I_R-jI_I)$

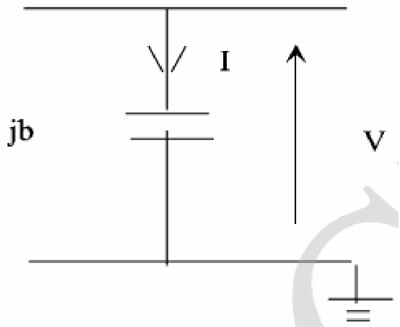
$$S=P+jQ=Z\,(I_R^2+I_I^2)=Z.|I|^2$$

$$\text{Avec } P=R.|I|^2 \text{ et } Q=X.|I|^2$$

Si R=0 alors P=0, X=0 alors Q=0

SUSCEPTANCE SHUNT

En complexe la tension $\overline{V}$ peut s'écrire



$$\overline{V} = V_R + jV_I$$

$$I = jb\overline{V} = jb(V_R + jV_I) = -bV_I + jbV_R$$

$$I^* = -bV_I - jbV_R = -b(V_I + jV_R)$$

La puissance S dans la susceptance est donnée par $S=VI^*=P+jQ$

C'est à dire que

$$S = V.I^* = (V_R + jV_I)\left[-b(V_I + jV_R)\right] = -b(V_R + jV_I)(V_I + jV_R)$$

$$S = -jb(V_R^2 + V_I^2) = -jb|V|^2$$

Comme $S=P+jQ$, donc $P=0$ et $Q=-jb|V|^2$, en d'autre termes la puissance réactive Q est délivrée par la susceptance de la ligne.

Si nous considérons le premier circuit nous pouvons écrire le bilan de puissance suivant

$$P_2+jQ_2=P_1+j(Q_1+Q_3) \quad \text{avec } Q_3=(b/2).|V_1|^2$$

$$P_4+jQ_4=P_2+jQ_2-Z|I|^2$$

$$P_6+jQ_6=P_4+j(Q_4+Q_5)$$

avec $Q_5=(b/2).|V_2|^2$ où $V_2=V_1-Z.I$

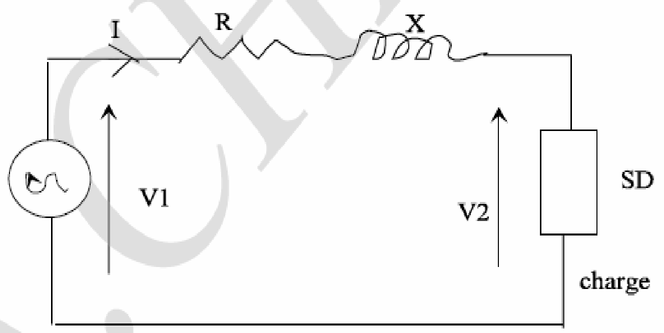
CONTROLE DE LA TENSION COMPENSATION DE LA PUISSANCE REACTIVE

Un système est dit bien conçu s'il peut délivrer une énergie d'alimentation fiable et de bonne qualité Par bonne qualité on entend un niveau de tension dans des limites acceptables. Chaque fois que le niveau de tension en un point du système est soumis à des variations cela est dû à à un déséquilibre entre la puissance fournie et consommée. En effet quand une charge est alimentée à travers une ligne de transmission dont la tension de départ est constante, la tension de la charge dépend de l'amplitude de la charge et du facteur de puissance de la charge. Là variation de tension en un nœud est un indicateur de déséquilibre entre la puissance réactive délivrée et celle consommée.

Cependant une importation de la puissance réactive donne une augmentation des pertes de puissances et de la chute de tension à travers l'impédance d'alimentation.

CHUTE DE TENSION SUR UNE LIGNE

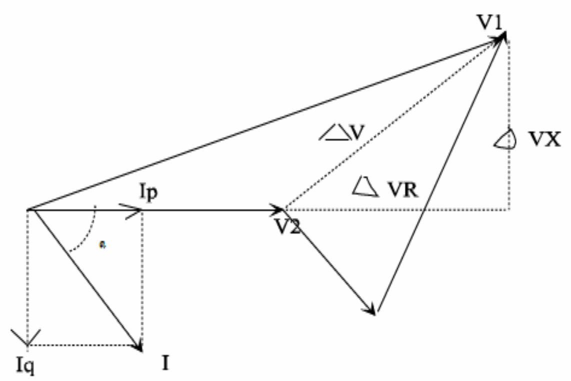
Afin d'illustrer les relations entre la puissance réactive et la chute de tension , considérons le circuit équivalent ci-dessous



A chute de tension due au passage du courant I dans l'impédance Z=R+jX est

$\Delta V = Z.I = V_1 - V_2$

Si nous traçons le diagramme vectoriel de ce circuit



Puisque $S_D = V_2.I^* = P_D + JQ_D$ alors $I = P_D - jQ_D / V_2$, V_2 prise comme référence

$$\Delta V = Z.I = (R + jX)\left(\frac{P_D - jQ_D}{V_2}\right) = \frac{R.P_D + X.Q_D}{V_2} + j\frac{X.P_D - R.Q_D}{V2}$$

$$\Delta V = \Delta V_R + j\Delta V_X$$

C'est à dire que la chute de tension a une composante ΔV_R en phase avec V_2 et une composante ΔV_X en quadrature avec V_2.

Il est clair que la chute de tension dépend simultanément de la puissance active et réactive de la charge.

Comme $\Delta V = V_1 - V_2$ donc $V_1 = V_2 + \Delta V$ et en considérant le module de V_1

$$|V_1|^2 = \left(V_2 + \frac{R.P_D - X.Q_D}{V_2}\right)^2 + \left(\frac{X.P_D - R.Q_D}{V_2}\right)^2$$

$$|V_1|^2 = (V_2 + \Delta V_R)^2 + (\Delta V_X)^2$$

$$Comme, \Delta V_X \langle V_2 + \Delta V_R, on peut, approximer$$

$$|V_1|^2 = \left(V_2 + \frac{R.P_D + X.Q_D}{V_2}\right)^2$$

$$V_1 - V_2 = \frac{R.P_D + X.Q_D}{V_2}$$

Puisque la réactance X est le paramètre prédominant dans l'impédance du réseau c'est à dire R<< X, on peut écrire que

$$\Delta V = V_1 - V_2 \approx X.Q_D / V_2$$

Donc la cause de la chute de tension à travers une impédance est due principalement au courant réactif passant dans cette impédance, ou en d'autres termes elle est due à la variation de la puissance réactive. Pour maintenir V_2 constante si le courant I change, il faut varier la puissance réactive au point de raccordement de la charge. Cependant avant de discuter les différents moyens de contrôle de la tension en détail, il est impératif de savoir, les différentes sources de puissances réactives dans un système électrique.

CONTROLE DE LA TENSION

La chute de tension sur un élément de réseau s'exprime par

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{r.P + x.Q}{V_2} \approx \frac{x.Q}{V_2}$$

L'examen de cette équation montre que pour maintenir V_2 constante au niveau du consommateur, on dispose de plusieurs solutions à savoir :

- Augmentation de la tension de départ V_1.
- Diminution de la réactance de la ligne par insertion de réactance capacitive.
- Fourniture de la puissance réactive au niveau des usagers (Compensation de la puissance réactive) .Cette compensation peut être obtenue soit par

i) la connexion de capacité shunts

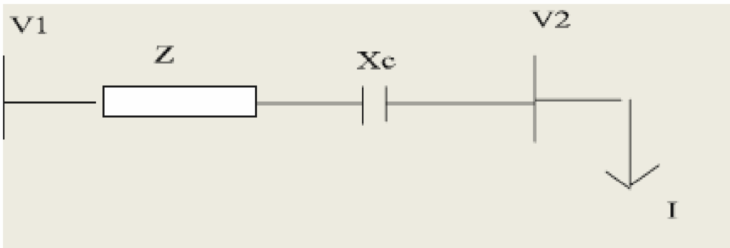
ii) la connexion de compensateur synchrone.

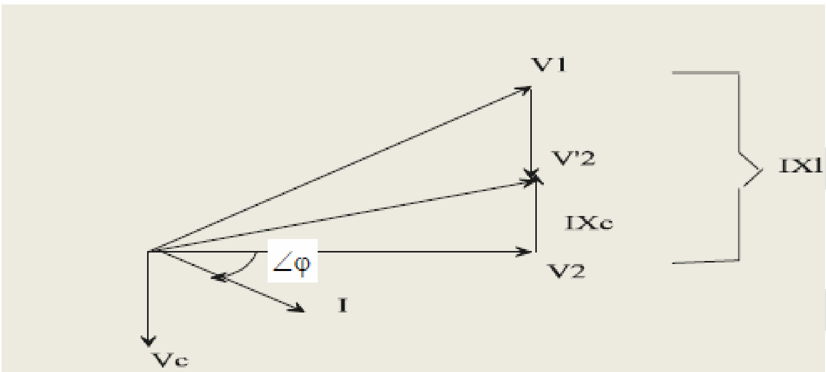
iii) la connexion de réactance shunt (pour les faibles charges, ou charges capacitives).

INSERTION DE CAPACITE SERIE

Une capacité série réduit la réactance inductive entre la source d'alimentation et la charge, c'est à dire réduit la chute de tension Selon l'expression

$$\Delta V = \frac{r.P + (x_L - x_C).Q}{V_2}$$





$\Delta V = V_1 - V_2 = R.I.\cos\varphi + jI\,(X_L - X_C)\sin\varphi$ En pratique X_C est choisie de manière que le facteur I. $(XL - X_C)\sin\varphi$ devient négatif et numériquement égal à $R.I\cos\varphi$, telle que $\Delta V=0$.

Le rapport X_C / X_L en % représente le pourcentage de compensation $Q=I^2.X_C$ et la tension produite par la capacité est $V_C = IX_C\sin\varphi$.

Certaines précautions doivent être prises quant à l'utilisation des condensateurs séries dans les lignes, elles peuvent provoquer des fonctionnements anormaux tel que l'amorçage hyper synchrone des moteurs, Ferro-résonnance etc.

CONTROLE DE LA TENSION PAR CAPACITE SHUNT

On peut faire jouer aux condensateurs shunt le même rôle que celui que jouent les compensateurs synchrones, c'est à dire, compenser tout ou une partie de chutes de tension dans les lignes. L'intérêt des condensateurs shunts est de fournir la puissance réactive aux points de consommation en évitant ainsi de faire circuler la puissance réactive entre la source d'alimentation et les consommateurs. Dans ce cas la chute de tension sera:

$$\Delta V = \frac{r.P + (Q - Q_{Cb}).X}{V_2}$$