

Réseaux Électriques Industriels



Dr.Laouamer Mosbah

Table des matières



Objectifs	3
I - Chapitre 2 : Compensation de l'énergie réactive	4
1. Etudes et Analyse des différents moyens de compensation	4
2. Rapports entre la puissance active, la puissance réactive, les niveaux de tension et l'angle de charge	4
3. Rapports entre la puissance active, la puissance réactive, les niveaux de tension et l'angle de charge	6
4. Compensation de l'énergie réactive	7
5. Intérêts de la compensation d'énergie réactive	10
6. Choix du mode de compensation	12
II - Post-test-2	14
1. Exercice	14
2. Activité d'auto-évaluation	15
Solutions des exercices	16
Bibliographie	18

Objectifs

A l'issue de ce cours l'apprenant sera capable de :

L'étudiant à ce niveau **citez** s'appuie sur les informations qu'il a acquises et stockées dans sa mémoire à partir des lois électriques, des hypothèses et des symboles pour cette échelle. Où l'élève est soumis à plusieurs questions de test, et chaque élève est invité à répondre individuellement ou collectivement selon le type d'évaluation diagnostique. Le but de ceci est d'évoquer ou de rappeler aux élèves les gains tribaux dont nous aurons besoin dans cet axe.

Cette matière a pour objectif de **expliquez** la aux étudiants d'abord une vue d'ensemble sur les réseaux électriques industriels (architectures, schémas et plans),

Préciser les informations nécessaires pour évaluer un ouvrage électrique et les principes à respecter pour intervenir sur un ouvrage en toute sécurité.

La maîtrise et **la application** du contrôle de la puissance réactive et réglage de tension dans les réseaux électriques ;

Prendre les mesures nécessaires afin d'éviter les dis-fonctionnements intempestifs du réseau pouvant aboutir à la rupture totale de fourniture de l'énergie électrique en mettant en œuvre les techniques et moyens modernes de compensation de l'énergie réactive.

Chapitre 2 : Compensation de l'énergie réactive



1. Etudes et Analyse des différents moyens de compensation

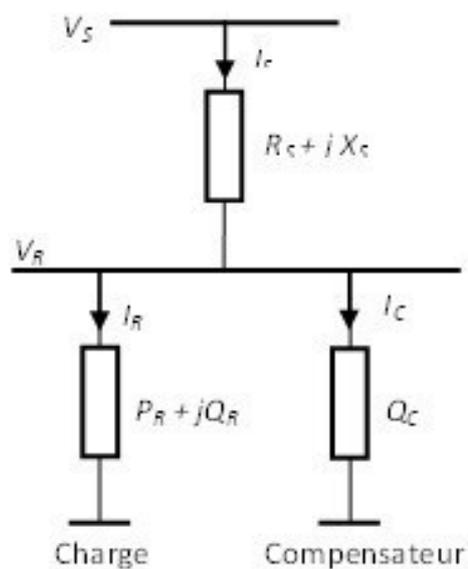
Introduction

Le terme compensation est utilisé pour décrire l'insertion intentionnelle des dispositifs de la puissance réactive, capacitive ou inductive, à un réseau électrique pour obtenir un effet désiré. Cela peut inclure l'amélioration du profil de la tension, l'amélioration du facteur de puissance, l'augmentation des performances de la stabilité, et l'amélioration de la capacité de transmission. Les dispositifs réactifs sont connectés soit en série ou en parallèle (shunt).

2. Rapports entre la puissance active, la puissance réactive, les niveaux de tension et l'angle de charge

Compensation et contrôle de la tension

La figure suivante montre un diagramme unifilaire d'un système à courant alternatif qui pourrait représenter en même temps un système monophasé ou une phase d'un système triphasé. La figure 1.b montre le diagramme de phase pour une charge inductive.



Modèle d'une ligne radiale avec compensateur

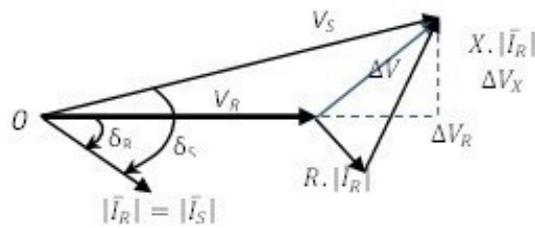


Diagramme de phase sans compensation

La charge peut être mesurée par son courant IR, mais dans les systèmes de puissance, c'est la puissance réactive Q de la charge qui est responsable de la chute de tension. À partir les deux figures

$$\Delta \bar{V} = \bar{V}_s - \bar{V}_r = \bar{Z}_S \cdot \bar{I} \dots \dots \dots 01$$

Où I est le courant de charge l'expression donné par

$$\bar{I} = \frac{P_r - jQ_r}{\bar{V}_r} \dots \dots \dots 02$$

Dans le cas où

$$\bar{V}_r = V_r - j\theta \dots \dots \dots 03$$

supposée comme l'origine des phases, on peut écrire

$$\Delta \bar{V} = (R_s + jX_s) \left(\frac{P_r - jQ_r}{V_r} \right) = \frac{R_s P_r + X_s Q_r}{V_r} - j \frac{X_s P_r + R_s Q_r}{V_r} = \Delta V_r + j \Delta V_X \dots \dots \dots 04$$

La chute de tension ΔV une composante ΔVr en phase avec Vr et une composante

ΔVX en quadrature avec Vr. Ainsi, ΔV dépend de la puissance active et réactive de la charge.

En ajoutant une impédance de compensation ou un 'compensateur' en parallèle à la charge, il est possible de maintenir |Vr|=|Vs|

Sur la Figure 7, ceci est accompli avec un compensateur purement réactif. La puissance réactive de la charge est remplacée par la somme Qs=Qr+Qc, (Qc la puissance réactive du compensateur) est ajustée de façon à pivoter la phase de ΔV' jusqu' à |Vr|=|Vs|.

Des équations (1) et (3).

Un compensateur purement réactif peut éliminer des variations de tension provoquées par des changements des puissances active et réactive de la charge.

Pourvu que la puissance réactive du compensateur Qc puisse être commandée sans difficulté sur une plage suffisamment grande (à la fois en retard et en avance) et à un taux adéquat, le compensateur peut jouer le rôle d'un régulateur idéal de tension.

Un compensateur peut être utilisé pour la correction du facteur de puissance. Par exemple, si ce dernier est corrigé à l'unité, Qs=0 et Qc=Q, la chute de tension peut être exprimée comme suit :

$$\Delta \bar{V} = (R_s + jX_s) \frac{P_r}{V_r} \dots \dots \dots 06$$

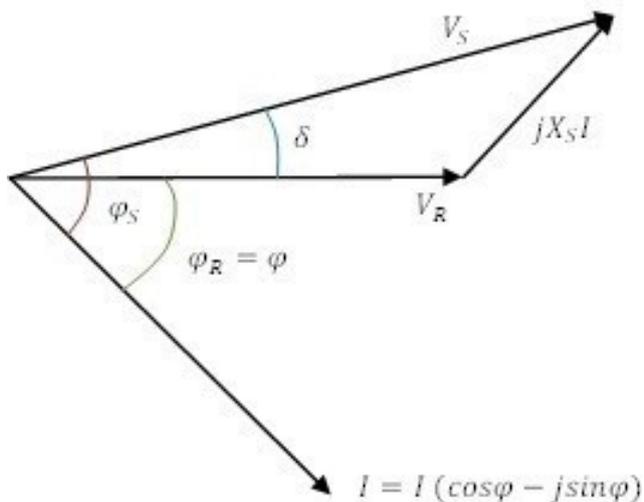


Diagramme des phases pour une ligne inductive

Alors

$$Q_s = V_r I (\cos \varphi \sin \delta \sin \varphi \cos \delta) \dots \dots \dots 13$$

De l'équation (6), l'équation (11) peut s'écrire sous la forme

$$Q_s = V_s \sin(\delta) \frac{V_s \sin(\delta)}{X_s} + V_s \cos(\delta) \frac{V_s \cos(\delta) - V_r}{X_s} \dots \dots \dots 14$$

Enfin

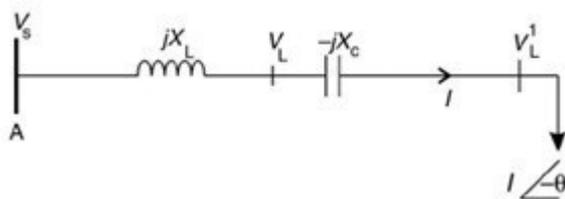
$$Q_s = V_s \frac{V_s - V_r \cos(\delta)}{X_s} \dots \dots \dots 15$$

4. Compensation de l'énergie réactive

Les dispositifs réactifs sont connectés soit en série ou en parallèle (shunt).

Capacité série

La capacité série est utilisée pour neutraliser une partie de la réactance inductive d'un réseau électrique. Cela est illustré dans la figure 4. À partir du diagramme vectoriel de la figure 5, on peut voir que la tension à la charge est plus élevée quand la capacité est insérée dans le circuit.*



Compensation avec capacité série

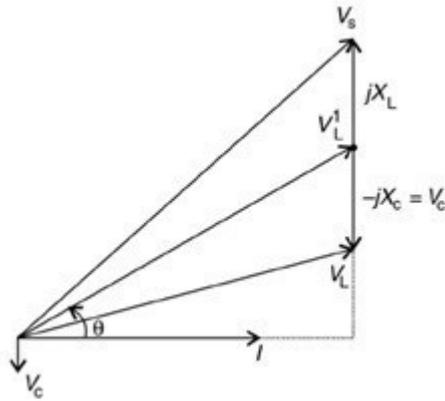


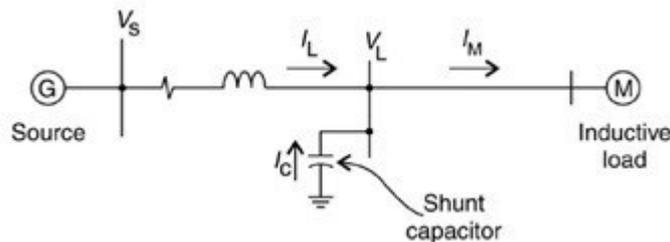
Diagramme vectoriel

L'introduction de la capacité série dans un réseau réduit la réactance X , augmente la tension à la charge ainsi que la capacité de transmission de la ligne. La capacité série offre les avantages suivants dans le réseau :

- La tension améliorée ;
- La stabilité augmentée ;
- La puissance réactive contrôlée

Capacité shunt

Les capacités shunts fournissent de la puissance réactive capacitive au système au point où elles sont connectées, principalement pour exploiter les longues lignes au-dessus de leur puissance naturelles (requis par une charge inductive). La figure 6 illustre un circuit avec compensation par condensateur shunt appliqué sur le côté charge.*



Compensation avec capacité shunt

Se référant au diagramme de phase de la figure 7, le courant de ligne I_L est la somme du courant de la charge du moteur I_M et le courant du condensateur I_C .

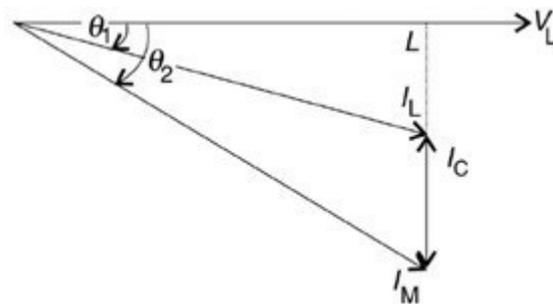


Diagramme vectoriel

Il peut être vu que le courant de ligne est diminué par l'ajout du condensateur shunt. L'angle entre la tension de charge et le courant est passé de θ_2 à θ_1 . La figure 8 montre la phase de la tension correspondante.

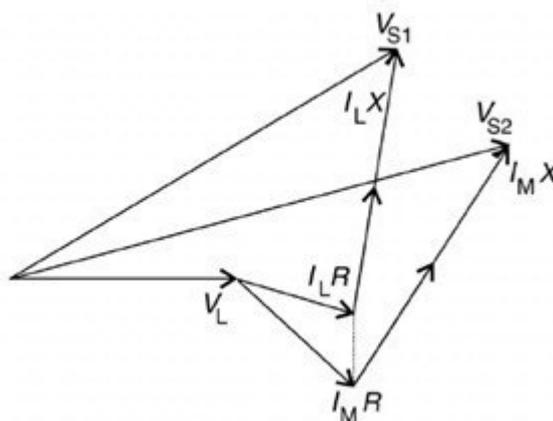


Diagramme vectoriel

- Il peut être vu de ce qui précède que l'insertion de condensateurs shunts dans un réseau présente les avantages suivants:
- Augmenter le niveau de tension à la charge ;
- Diminution de la puissance fournie par les générateurs de source pour soulager un état de surcharge.
- Réduire les pertes de puissance active RI^2 et les pertes de puissance réactive XI^2 due à la réduction du courant ;
- Augmenter le facteur de puissance ;*

Réactance Shunt

La compensation par réactance shunt est généralement nécessaire sous des conditions qui sont à l'opposé de celles exigées par la compensation par condensateur shunt. Ceci est illustré dans la figure 9. L'inductance shunt peut être installée dans les conditions suivantes:

- Pour compenser les surtensions survenant aux sous-stations desservies par des longues lignes pendant les périodes de faible charge, en raison de la capacité de la ligne (effet Ferranti) ;
- Pour compenser le facteur de puissance en avance dans les usines de production, résultant d'une baisse transitoire ;
- Pour réduire la consommation de puissances des lignes en circuit ouvert dans les systèmes à très haute tension (THT).
- L'effet de la réactance shunt sur le diagramme des courants est illustré dans la figure 10.*

Diminution des pertes dans les conducteurs à "puissance active constante"

Les pertes dans les conducteurs sont proportionnelles au carré du courant transporté (perte = R I²) et diminuent au fur et à mesure que le cosφ augmente.

En effet, supposons qu'un conducteur transporte une puissance apparente S , avec :

$$\begin{aligned} S &= VI && (1) \\ P &= S \cos \varphi && (2) \\ Q &= S \sin \varphi && (3) \end{aligned}$$

.....17

Si on compense, à puissance active constante, de façon à obtenir une puissance apparente S' , avec :

$$\begin{aligned} S' &= VI' && (1) \\ P' &= P = S' \cos \varphi && (2) \\ Q' &= S' \sin \varphi && (3) \end{aligned}$$

.....18

On a alors:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = P'^2 + Q'^2 = S'^2 \cos^2 \varphi + S'^2 \sin^2 \varphi \dots\dots\dots 19$$

d'où

$$\frac{S'^2}{S^2} = \frac{1 - \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi'} = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi'} \dots\dots\dots 20$$

or

$$\frac{S'^2}{S^2} = \frac{I'^2}{I^2} \dots\dots\dots 21$$

d'ou

$$\frac{RI'^2}{RI^2} = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi'} \dots\dots\dots 22$$

Les pertes sont donc inversement proportionnelles à cos²φ.

Augmentation de la puissance active transportée à "courant apparent constant"

La mise en place de batteries de condensateurs en aval d'un câble (ou au secondaire d'un transformateur) dont la charge a un faible cos φ , permet de transporter une puissance active supérieure pour un même courant apparent dans les conducteurs (ou le transformateur).

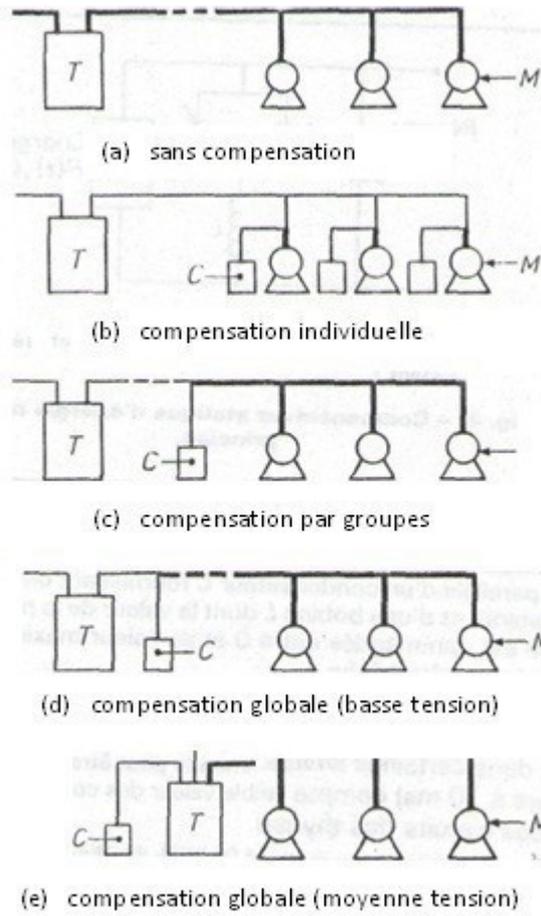
En effet, supposons qu'un câble (ou un transformateur) transporte une puissance active P, avec :

$$P = \sqrt{3}U_n I \cos \varphi' \dots\dots\dots 22$$

Si on compense de façon à obtenir cos'φ , à courant apparent constant (I constant), on pourra transporter une puissance active :

$$P' = \sqrt{3}U_n I \cos \varphi' \dots\dots\dots 23$$

d'où



Représentation schématique des différents modes de compensation

Cf. "Calcul capacité condensateur"

2. Activité d'auto-évaluation

Exercice

[solution n°2 p.16]

Le terme compensation est utilisé pour décrire l'insertion intentionnelle des dispositifs de la puissance active

- Vrai
- Faux

Exercice : Exercice 1

[solution n°3 p.16]

Un compensateur purement réactif peut éliminer des variations de tension provoquées par des changements des puissances active et réactive de la charge

- Vrai
- Faux

Exercice : Exercice 2

[solution n°4 p.16]

La mise en place de batteries de condensateurs en aval d'un câble dont la charge a un faible $\cos \phi$, permet de transporter une puissance réactive supérieure pour un même courant apparent dans les conducteurs

- Vrai
- Faux

Exercice : Exercice 3

[solution n°5 p.16]

La compensation aux bornes de la charge diminue la valeur de Q et donc la chute de tension

- Vrai
- Faux

Exercice : Exercice 4

[solution n°6 p.17]

La capacité série offre les avantages suivants dans le réseau

- La tension améliorée
- La stabilité augmentée
- La puissance active contrôlée

Solutions des exercices



> Solution n°1

Exercice p. 14

Un établissement alimentée a partir a d'un poste d'abonné HT/BT de 800kva et désirant porter le facteur de puissance de son installation à :

// facteur de puissance = 0.960 au primaire

// soit le facteur de puissance =0. 958 au secondaire avec les relevés suivants :

--- U =380v , f= 60 H , P=385kw ; $\cos\phi=0.660$ au secondaire

1- Calculez Qc de batterie à installer pour élevé le facteur de puissance 0.960 ?

Qc=321.71kVAR

> Solution n°2

Exercice p. 15

Le terme compensation est utilisé pour décrire l'insertion intentionnelle des dispositifs de la puissance active

- Vrai
- Faux

> Solution n°3

Exercice p. 15

Un compensateur purement réactif peut éliminer des variations de tension provoquées par des changements des puissances active et réactive de la charge

- Vrai
- Faux

> Solution n°4

Exercice p. 15

La mise en place de batteries de condensateurs en aval d'un câble dont la charge a un faible cos , permet de transporter une puissance réactive supérieure pour un même courant apparent dans les conducteurs

- Vrai
- Faux

> **Solution n°5**

Exercice p. 15

La compensation aux bornes de la charge diminue la valeur de Q et donc la chute de tension

- Vrai
- Faux

> **Solution n°6**

Exercice p. 15

La capacité série offre les avantages suivants dans le réseau

- La tension améliorée
- La stabilité augmentée
- La puissance active contrôlée

Bibliographie



Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations Part 2 : Voltage Dips and Short Interruptions
Working Group UIE Power Quality 1996

A. Kusko, M-T. Thompson, Power Quality in Electrical Systems, Mc Graw Hill, 2007

F. Ewald Fuchs, M.A.S. Masoum, Power Quality in Power Systems and Electrical Machines, Elsevier
Academic Press, 2008

R.C. Dugan, Mark F. Granaghan, Electrical Power System Quality, McGraw Hill, 2001.

Qualité de l'énergie, Cours de Delphine RIU, INP Grenoble.