

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

***Compensation d'énergie réactive par un
compensateur statique***

Présenté Par :

M. BOUKADA Oussama

M. BENDEBBOUZE Mohammad Alaa Dinne

Devant le jury composé de :

Dr MCIRDI Norddine

MAA

Président

Dr AISSOU Massinissa

Pr

Encadrant

Dr. MOHAMEDI Mohamed Walid

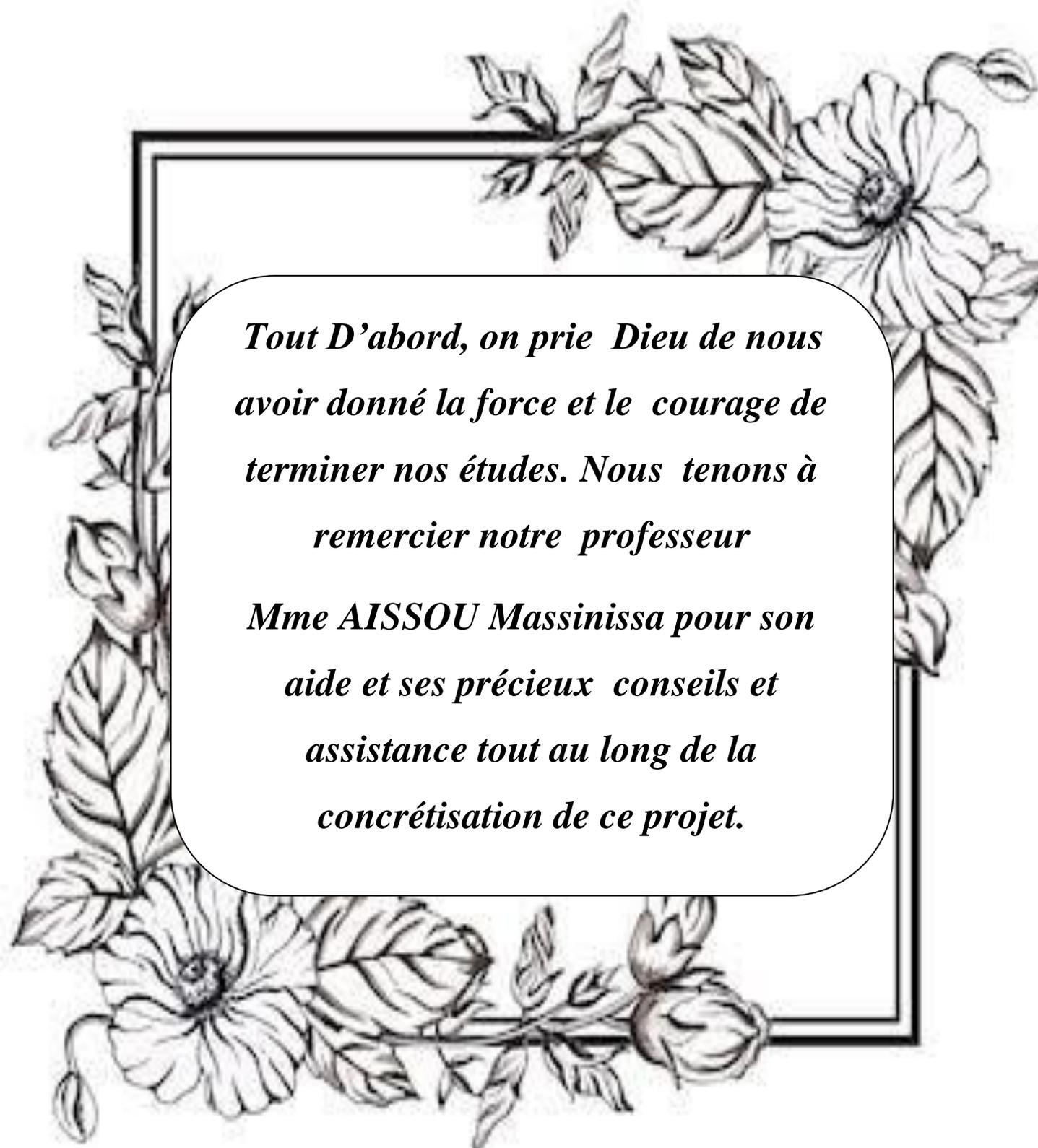
MCB

Examinateur

Année universitaire 2022/2023

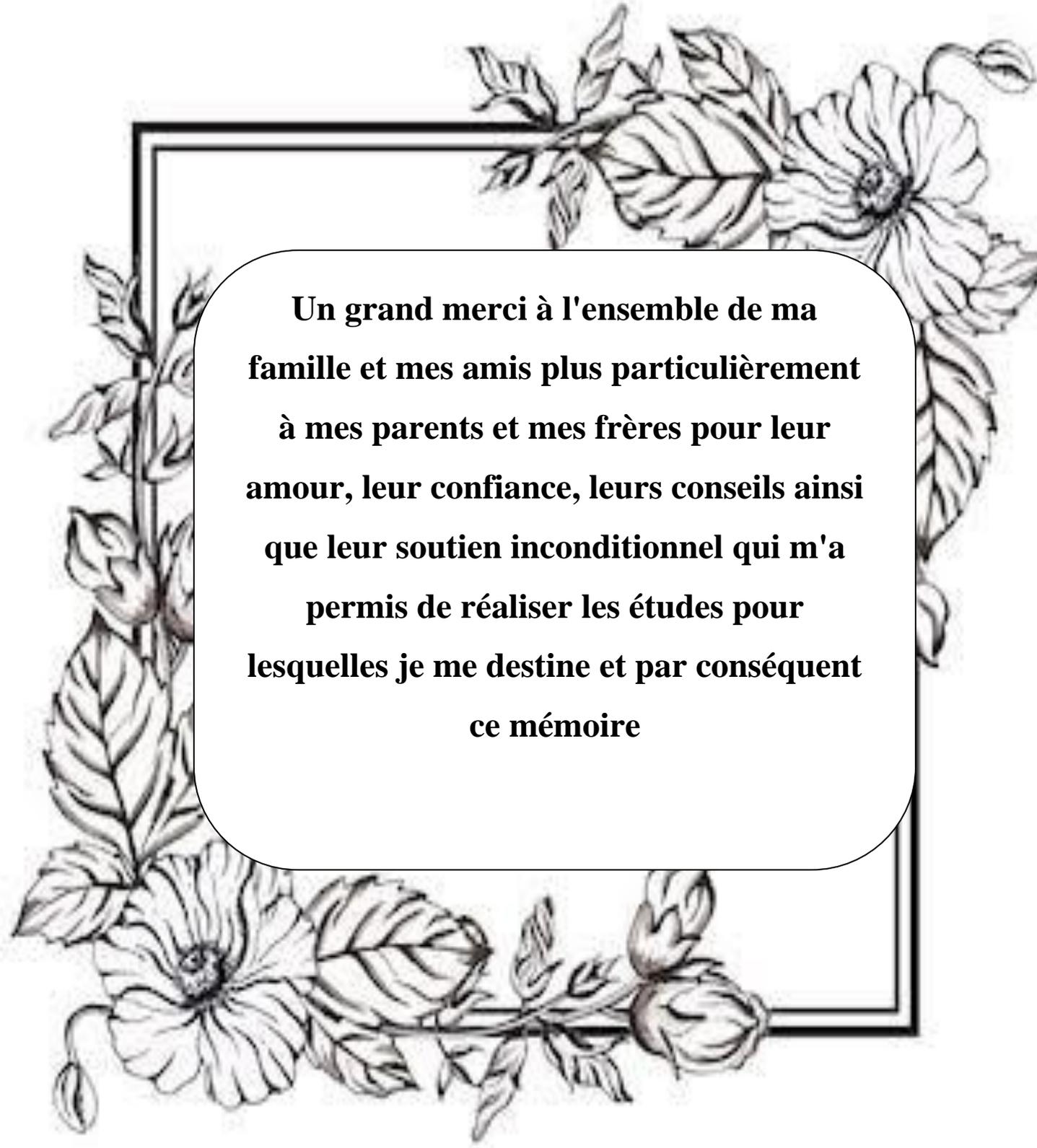


Remerciements



*Tout D'abord, on prie Dieu de nous
avoir donné la force et le courage de
terminer nos études. Nous tenons à
remercier notre professeur
Mme AISSOU Massinissa pour son
aide et ses précieux conseils et
assistance tout au long de la
concrétisation de ce projet.*

Dédicaces



Un grand merci à l'ensemble de ma famille et mes amis plus particulièrement à mes parents et mes frères pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel qui m'a permis de réaliser les études pour lesquelles je me destine et par conséquent ce mémoire

Table des matières

Table des matières

Introduction générale	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre I : Généralités sur la puissance réactive	Erreur ! Signet non défini.
Introduction	5
1. Définition de la puissance réactive.....	Erreur ! Signet non défini.
2. Analyse des effets de l'énergie réactive	6
2.1. Pertes sur les réseaux.....	7
3. Source de la puissance réactive	8
3.1. Puissance idéale réactive fournie au réseau par les générateurs de différentes puissance nominales	8
3.2. Puissance capacitive des lignes électriques.....	10
Conclusion	10
Chapitre II : Moyens et monde de compensation de l'énergie réactive	Erreur ! Signet non défini.
Introduction	13
1. Moyens de compensation de l'énergie réactive et de réglage de la tension.....	13
1.1. Adaptation offre demande de l'énergie réactive	13
1.2. Condensateurs	13
1.3. Inductances.....	14
1.4. Groupes thermiques et hydrauliques	14
1.5. Compensateurs synchrones	14
1.6. Compensateurs statiques	15
1.7. Les régulateurs en charge des transformateurs	16
2. Mondes de compensation	16
2.1. Compensation globale	18
2.2. Compensation par secteurs.....	19
2.3. Compensation individuelle.....	20
Conclusion	21

Table des matières

Chapitre III : Les batteries de condensateur	23
Introduction	24
1. Le condensateur.....	24
2. Modes de raccordement et localisation	24
3. Raccordement.....	25
3. A/batteries "poste"	25
3. B / batteries réseaux MT	26
4. Problèmes soulevés par les condensateurs	26
4.1. Tension harmonique	26
4.2. Les surtensions	27
4.3. Surintensité a l'enclenchement.....	28
5. Commande des batteries de condensateurs MT	28
Conclusion.....	29
Chapitre IV : La relation entre la tension et la puissance réactive Erreur ! Signet non défini.	
Introduction	31
1. Moyens disponibles pour le maintien de la tension	31
1.1. Élément influant sur les variations de tension.....	31
1.2. Augmentation du niveau de tension	31
1.3. Diminution de la résistance et de la puissance active	31
1.4. Compensation de l'énergie réactive	33
1.5. Compensation des variations de tension dues aux fluctuations de la tension HT et de la puissance appelée	35
2. Ecart de tension vue par les clients de la distribution.....	37
2.1. Origine des écarts de tension chez la clientèle	38
2.2. Chute de tension	39
3. Le $\cos \varphi$	41

Table des matières

Conclusion.....	45
Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents	Erreur ! Signet non défini.
Introduction	47
1.Caractéristiques des transformateurs 220/60kv.....	48
2. Impédance et demie-susceptance des lignes et câbles 60kv.....	49
3.Impédances et demi-susceptance de de lignes 220kv	50
4. Paramètres kilométriques des lignes	51
Interprétation	57
Conclusion sur résultats obtenues	57
Conclusion.....	58
Conclusion générale	Erreur ! Signet non défini.

Table des Figures

Table des Figures :

Figure I. 1 Schéma équivalent en π d'une ligne	6
Figure I .2 Schéma équivalent d'un générateur (pour 1 phase).....	8
Figure I . 3 Domaine de fonctionnement d'un alternateur dans le plan puissance active- puissance réactive.....	9
Figure II. 4 : Compensateur statique composé d'une inductance commandée par TH associé à un banc de condensateur fixe	15
Figure II .5 : Les condensateurs BT sont des appareils triphasés câblés en Δ	16
Figure II . 6: les condensateurs HT sont des appareils monophasés constituant des batteries en Y.....	17
Figure II . 8 : Les condensateurs sont montés en dérivation sur le réseau, le montage série est exceptionnel.....	17
Figure 7 : - Les condensateurs sont montés en dérivation sur le réseau, le montage série est exceptionnel.....	17
Figure II . 9 : Compensation globale	18
Figure II . 10 : Compensation par secteurs.....	19
Figure II .11 : Compensation individuelle	20
Fig. -a-Figure III. 13 : puissance.....	25
Fig.-b-Figure III .13 : puissances pouvant atteindre 100MVAR	25
Figure IV.14 : Réseau originale	32
Figure IV.15 : création d'un nouveau départ MT.....	33
Figure IV.16 : Compensation de l'énergie réactive.....	34
Figure IV.17 : les différents profils de tension	35
Figure IV. 18 : Schéma monophasé de principe d'un régulateur incorporé à 1 transformateur HT/MT	36
Figure IV.19 : .Ecart de tension vu par les clients de la distribution.....	37
Figure IV. 20 : triangle des courants	42
Figure IV. 21 : Le courant.....	43
Figure IV.22 : Amélioration du $\cos \varphi$	43
Figure IV.23 : Calcul de la puissance nécessaire pour passer de $\cos \varphi 1$ à $\cos \varphi 2$	44

Table des Tableaux

Table des Tableaux :

Tableau IV. 1 : les lignes MT et BT	39
Tableau IV. 2 : Chutes de tensions relatives dans les lignes MT et BT.....	40
Tableau IV. 3 : Chute de tension	40
Tableau V. 4 : Caractéristiques des transformateurs 220/60kv.....	48
Tableau V. 5 : Impédance et demie-susceptance des lignes et câbles 60kv.....	49
Tableau V. 6 : Impédances et demi-susceptance de de lignes 220kv	50
Tableau V. 7 : Paramètres kilométriques des lignes	51

Introduction générale

Introduction générale

La compensation de l'énergie réactive est un aspect essentiel des réseaux électriques modernes, visant à améliorer l'efficacité énergétique et la stabilité du système. L'énergie réactive est générée par des charges inductives telles que les moteurs, les transformateurs et les dispositifs de soudage, et elle ne produit pas de travail utile. Son existence dans le réseau électrique nécessite que les fournisseurs d'électricité et les consommateurs s'efforcent de maintenir un équilibre adéquat entre l'énergie active (qui effectue un travail) et l'énergie réactive (qui ne produit pas de travail). La compensation de l'énergie réactive consiste à minimiser l'excès d'énergie réactive dans le réseau. Cela se fait généralement en utilisant des dispositifs appelés condensateurs, qui génèrent de l'énergie réactive pour contrebalancer celle consommée par les charges inductives. En réduisant l'énergie réactive, la compensation améliore l'efficacité globale du système électrique, réduit les pertes de transmission et améliore la tension et la stabilité du réseau.

Dans ce travail de recherche de ce mémoire est motivé par le souci d'améliorer les Performances du système de contrôle des puissances réactives et des tensions dans un Réseau de transport d'énergie électrique au moyen des dispositifs

Afin de répondre aux objectifs cités ci-dessus, ce mémoire est organisé en Trois Chapitres de la manière suivante :

Le premier chapitre nous allons aborder Généralités sur la puissance réactive et Analyse des effets de l'énergie réactive et Source de la puissance réactive

Dans le deuxième chapitre nous allons présenter les Moyens et monde de compensation de l'énergie réactive et les Mondes de compensation

Le troisième chapitre sur Les batteries de condensateur et Modes de raccordement et localisation et les Problèmes soulevés par les condensateurs et les Commande des batteries de condensateurs MT

Le quatrième chapitre sur La relation entre la tension et la puissance et Moyens disponibles pour le maintien de la tension et Compensation de l'énergie réactive et Compensation des variations de tension dues aux fluctuations de la tension HT et de la puissance appelée et Chute de tension et Facteur de puissance ($\cos \varphi$)

Table des matières

Et le dernière chapitre sur Effet de la compensation de l'énergie réactive et
Caractéristiques des transformateurs 220/60kv schéma du réseaux de l'Ouest algérien

Enfin, présentera les conclusions et perspectives de cette mémoire.

Chapitre I :
Généralités sur la
puissance réactive

Introduction

Les réseaux électriques à courant alternatif fournissent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente (ou puissance appelée). Cette énergie se décompose en deux formes d'énergie :

- l'énergie active, transformée en énergie mécanique (travail) et en chaleur (pertes),
- l'énergie réactive, utilisée pour créer des champs magnétiques.

Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs asynchrones, les transformateurs, les inductances (ballasts de tubes fluorescents) et les convertisseurs statiques (redresseurs).

1. Définition de la puissance réactive

Toutes machine électrique statique ou tournante utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie, active et réactive

- ❖ La première mesure en KW, se manifeste essentiellement sous forme de travail mécanique et de chaleur.
- ❖ La seconde mesuré en KVAR, sert à magnétiser les tôles des appareils électromagnétiques (transformateurs, machines tournantes).

La circulation de l'énergie réactive sur les réseaux de transport et de distribution entraîne :

- ✓ des surcharges au niveau des transformateurs;
- ✓ des chutes de tension au bout de ligne;
- ✓ l'échauffement des câbles d'alimentation
- ✓ Le surdimensionnement des protections liées aux harmoniques.

Pour ces 4 raisons fondamentales, il est nécessaire d'apporter cette énergie réactive le plus près possible des moteurs et des transformateurs. En respectant la convention classique sur le signe du déphasage " φ " entre " u " et " i " et en choisissant judicieusement l'origine de temps, on peut écrire :

$$u = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{I.1}$$

$$i = I\sqrt{2} \sin \omega t \quad \text{I.2}$$

Donc le transit de puissance réactive est une des composants de chute de tension. La compensation de la puissance réactive, en réduisant les chutes de tension permet d'obtenir des plans de tension élevés. On peut même, par surcompensation, annuler la chute de tension.

La compensation de l'énergie réactive et la tenue de la tension sont intimement liées et indissociable.

La puissance instantanée $P = u \cdot i$ devient :

$$P = UI[\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] \tag{I. 1}$$

$UI \cos \varphi$ Est la puissance moyenne P le reste appelé puissance fluctuante, peut se décomposer en deux termes

$$UI \cos(2\omega t + \varphi) = -UI \cos \varphi \cos 2\omega t + UI \sin \varphi \sin 2\omega t \tag{I. 6}$$

- ❖ La première représente les fluctuations de la puissance utile : son facteur Cts s'identifier avec P ;
- ❖ La deuxième est liée aux échanges réversibles d'énergies stockées (sous forme magnétiques, électrique.....)

Son facteur Cts. $UI \sin \varphi$ Est, par définition la puissance réactive Q, c'est une quantité algébrique qui a le signe de $\sin \varphi$ Par conséquent, dans un récepteur, [2] elle est positive quand "u" est en avance sur "i"

2. Analyse des effets de l'énergie réactive

Prenons une ligne de transport représenté par un quadripôle :

La puissance transmise par cette ligne est : $S = P + jQ$

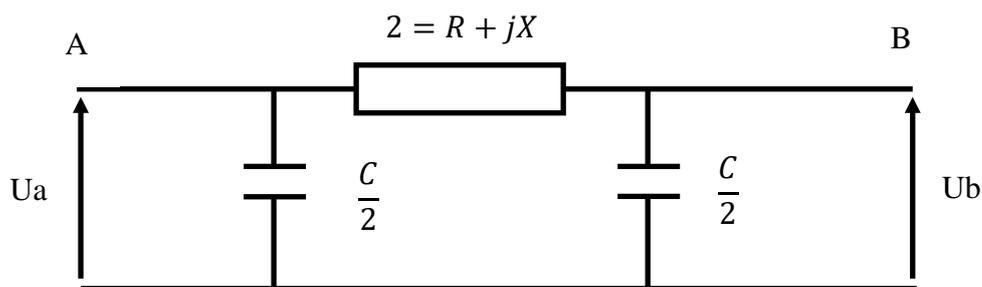


Figure I. 1 Schéma équivalent en pi d'une ligne

Les pertes de la puissance active sont calculées d'après la formule suivante :

$$\Delta P = 3RI^2 \tag{I. 2}$$

Comme le courant circulant dans cet élément est comme suit :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \text{ Avec } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{I.3}$$

D'où :
$$\Delta P = \frac{R(P^2+Q^2)}{Ub^2} \quad \text{I. 4}$$

Ou bien : $\Delta P = \frac{RP^2}{Ub^2} (1 + \tan \varphi^2) \varphi$: angle de phase

Avec le terme :

$\left(\frac{RP^2}{Ub^2} + \tan \varphi^2\right)$ Qui représente le surplus de parts actives causés par le transport d'énergie réactive

Le transit de puissance réactive entraîne une augmentation des pertes actives.

La chute de tension entraînée par ce transport

$$\Delta \dot{U} = \sqrt{3} \dot{Z} I \quad \text{Avec } \dot{i} = \frac{P-jQ}{\sqrt{3}Ub^*} \quad \text{I.5}$$

Soit $\dot{U}b = Ub$ dou $Ub^* = U$

$$\Delta \dot{U} = \frac{RP+XQ}{Ub} + j \frac{XP-RQ}{Ub} \quad \text{I. 6}$$

$\Delta \dot{U}$: chute de tension

R : résistance de la ligne AB

X : réactance de la ligne AB

Si l'écart de phase entre les tensions aux deux extrémités n'est pas trop importante, l'expression peut être réduit à :

$$\Delta U = \frac{RP+XQ}{Ub} \quad \text{I. 7}$$

Remarque : La diminution de l'écart de tension. ΔU Par un élément du réseau passé par une réduction de la somme

Pour les réseaux de transport, R est faible devant x, donc cette chute de tension est principalement due au transit de la puissance réactive.

2.1. Pertes sur les réseaux

Les pertes d'énergie sur les réseaux sont calculées à partir de l'énergie produite aux niveaux des centrales et l'énergie facturée aux abonnés HT, MT, BT on distingue :

- ✓ Les pertes dans les réseaux de transport, qui incluent les pertes élan les lignes HT, les transformateurs HT/MT et les auxiliaires de postes

- ✓ Les pertes dans les réseaux de distribution qui incluent les pertes sur les lignes MT, transformateurs MT/MT et MT/BT, les lignes BT et les compteurs.

3. Source de la puissance réactive

3.1. Puissance idéale réactive fournie au réseau par les générateurs de différentes puissance nominales

Le schéma simplifié d'un générateur est représenté par la figure suivante :

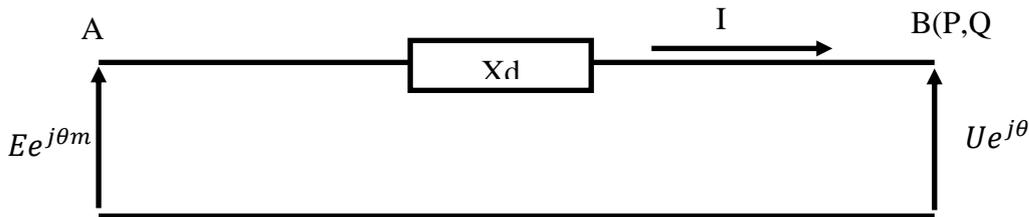


Figure I .2 Schéma équivalent d'un générateur (pour 1

Avec:

P: puissance active développée par le générateur

Q: Puissance réactive développée par le générateur

U: Tension nominale du générateur

I: Le courant apparent

Le diagramme des états admissibles du travail de ce générateur est obtenu par les deux équations suivantes :

$$P^2 + Q^2 = (UI^M)^2 \quad \text{I. 8}$$

C'est l'équation du cercle (0,0) et de rayon I^M

I^M : Courant apparent maximal

Et :

$$P^2 + \left(Q + \frac{U^2}{X_d}\right)^2 = \left(\frac{UE}{X_d}\right)^2 \quad \text{I. 9}$$

Qu'est une équation d'un cercle de centre $\left(0, -\frac{U^2}{X_d}\right)$ et de rayon $\frac{UE}{X_d}$

Ces deux cercles trouvés ci-dessus sont tracés sur la fig. suivante:

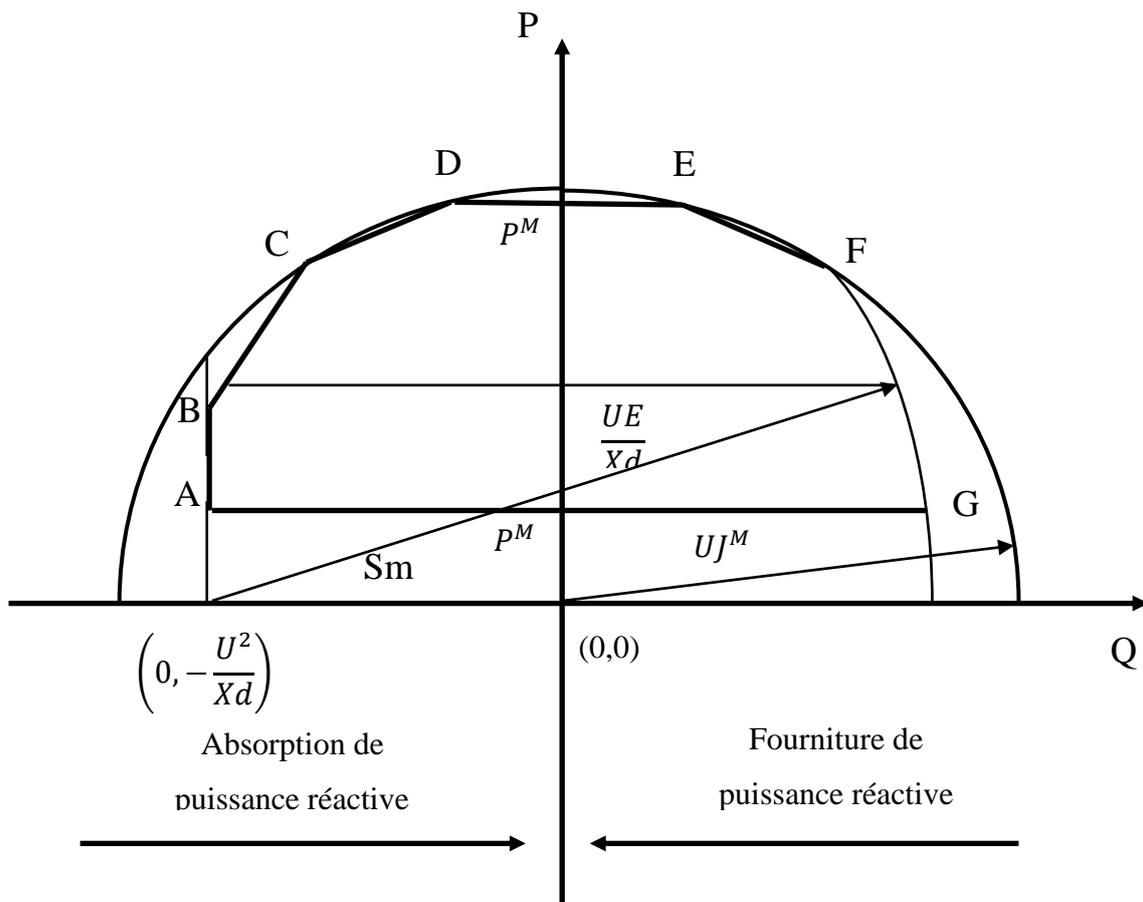


Figure I. 3 Domaine de fonctionnement d'un alternateur dans le plan puissance active-puissance réactive
(Pour une tension de stator donnée)

P : puissance maximale limitée par la puissance de la turbine.

P : puissance minimale limitée par la stabilité du travail des brûleurs.

Pi: puissance économique choisie entre P et P

AB: limite en raison de la température admissible des tôles en tête de l'alternateur en cas de charge capacitive.

CD et EF: limite en raison du courant I

FG: limite en raison du courant d'excitation.

Le diagramme montre que le groupe peut fournir ou absorber de la puissance réactive selon la valeur du courant d'excitation

Il existe toutefois des limites de fonctionnement qui sont dues:

- ❖ pour la fourniture de puissance réactive, aux contraintes d'échauffement des conducteurs du rotor
- ❖ pour l'absorption de puissance réactive aux contraintes dues au courant du stator et à la valeur maximale de l'angle interne (pour avoir un fonctionnement stable à excitations constante et tension du stator fixée).

3.2. Puissance capacitive des lignes électriques

Parmi les sources de la puissance réactive assez importante sont les lignes aériennes et les câbles souterrains. [3]

La puissance capacitive l'indique des lignes est calculée d'après la formule :

$$Q_{b0} = U_n^2 \omega C_0 10^5 \quad \text{I. 10}$$

Ou

Q_{b0} : [KVAR/Km]: puissance linéique capacitive de la ligne.

U_n : [KV] : tension nominale de la ligne.

C_0 : [F/Km] : capacité linéique de la ligne.

Remarque :

On Remarque que la puissance réactive fournie par la capacité de la ligne est proportionnelle au carrée de la tension nominale (service).

Conclusion

Compenser l'énergie réactive, c'est fournir cette énergie à la place du réseau de distribution par l'installation d'une batterie de condensateurs, source d'énergie réactive de puissance Q_c .

**Chapitre II : Moyens
et monde de
compensation de
l'énergie réactive**

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 la puissance, l'augmentation des performances de stabilité, et l'amélioration de la capacité de transmission.

Les dispositifs réactifs sont connectés soit en série ou en parallèle.

1. Moyens de compensation de l'énergie réactive et de réglage de la tension

1.1. Adaptation offre demande de l'énergie réactive

L'analyse des variations de la demande réactive vue des réseaux de transport montre que le problème de l'adaptation offre demande présente deux aspects qui nécessitent l'emploi de matériels aux caractéristiques très différentes

➤ Le premier consiste à suivre les fluctuations périodiques ; celles-ci sont tout au moins pour les charges, dans une large mesure prévisible ; une grande part de l'ajustement peut donc être réalisée à l'aide de moyens dont l'action est dite nue et le temps de réponse relativement long (de qq secondes à qq minutes) ; cette catégorie de matériel comprend les batteries de condensateur et les inductances installent sur les réseaux.

➤ le second consiste à faire face aux variations brusques et aléatoires et à réaliser la justement fin de l'équilibre offre demande ; cela nécessite la mise en œuvre de moyens dont le temps de réponse est très court (qq dixièmes de secondes) ; entrent dans cette catégorie les groupes de production ainsi que les compensateurs synchrones et les compensateurs statiques. [4]

1.2. Condensateurs

Ils ont pour rôle de fournir une partie de l'énergie réactive consommée par les charges ou le réseau.

On distingue deux types de matériels :

Chapitre II : Moyens et monde de compensation de l'énergie réactive

- Batteries de condensateurs H.T :

Raccordées aux jeux de barres HT des postes THT/HT ; elles sont essentiellement destinées à compenser les pertes réactives sur les réseaux HT et THT, même si un certain nombre d'entre elles participent également à la compensation des charges ; leur puissance est de 20 à 30 MVAR

- batteries de condensateurs MT :

Raccordées aux jeux de barres MT des postes HT/MT ou THT/MT ; les batteries servent à compenser l'appel global de l'énergie réactive des réseaux de distribution aux réseaux de transport ; elles sont localisées et dimensionnées individuellement en fonction de réglage de tension de la MT ; sur le plan technique, les batteries sont fractionnées en gradins de 2 à 4,8 MVAR selon la puissance des transformateurs HT/MT, chaque gradin pouvant être commandé séparément. La taille des gradins a été déterminée afin de limiter à 5% la variation de tension maximale sur le jeu de barre MT au moment de la manœuvre d'un gradin.

1.3. Inductances

Elles sont utilisées pour compenser l'énergie réactive fournie en heures creusées par les réseaux de câbles. Elles sont soit directement raccordées au réseau, soit branchées sur les tertiaires des autotransformateurs.

1.4. Groupes thermiques et hydrauliques

Ils jouent un rôle important dans le contrôle de la tension et la compensation de l'énergie réactive ; ils constituent en effet les sources de tensions du réseau grâce à la f.é.m. de l'alternateur ; ils peuvent de plus échanger des quantités importantes d'énergie réactives avec le réseau ; enfin, ils ont de bonnes performances sur le plus dynamique.

1.5. Compensateurs synchrones

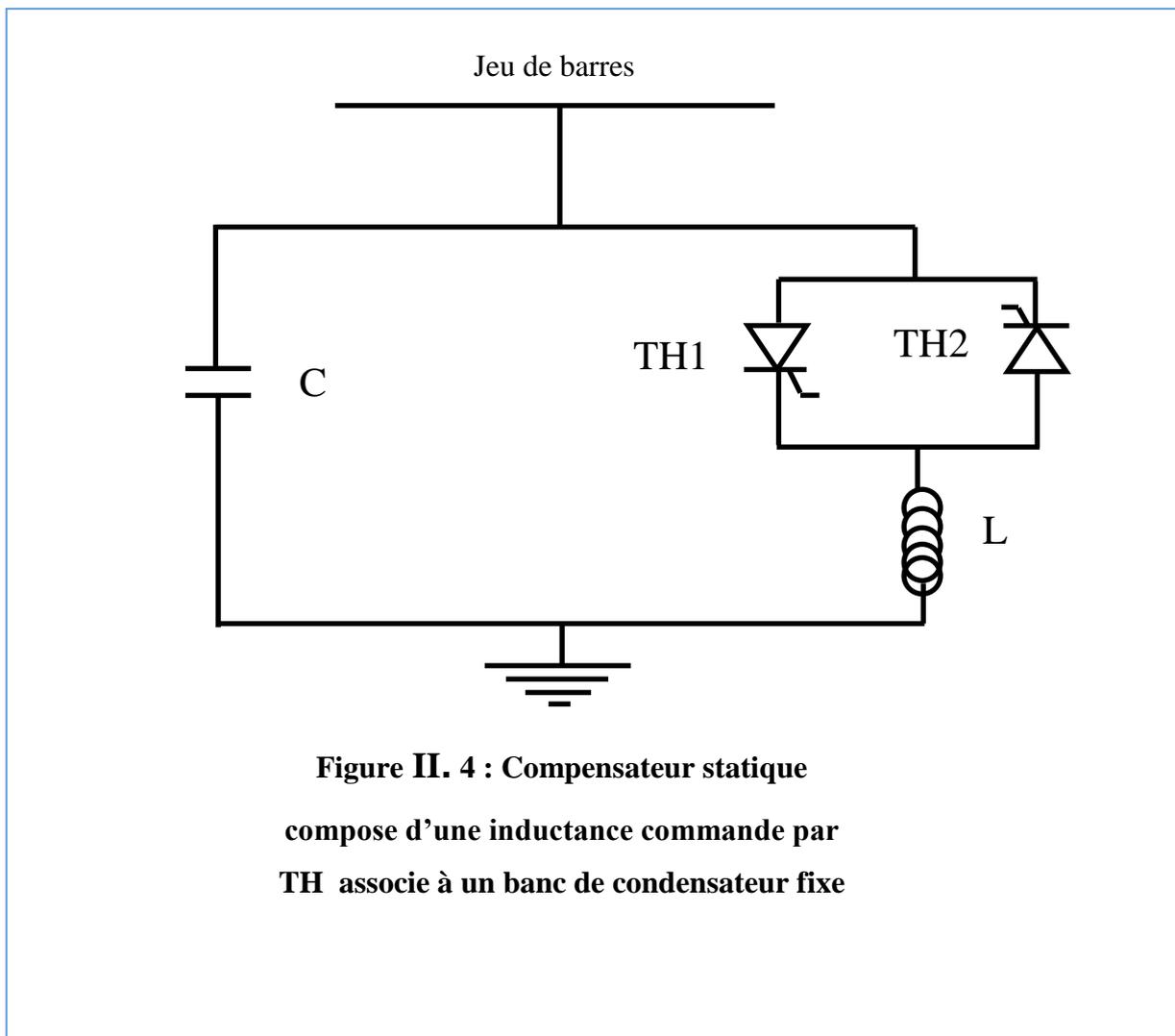
Les compensateurs synchrones sont des machines tournantes qui peuvent fournir ou absorber de la puissance réactive sans mettre en jeu de puissance active comme pour les groupes thermiques.

La fourniture de l'énergie réactive est limitée par l'échauffement des enroulements et l'absorption par des problèmes de stabilité statique. Les appareils ont des possibilités variant entre 20 et 60 MVAR en fourniture, 10 et 30 MVAR en absorption, et sont le plus souvent branchés sur le tertiaire d'un transformateur THT/HT.

1.6. Compensateurs statiques

Appelés ainsi parce qu'ils ne comportent aucun élément tournant, ils sont constitués d'ensembles de condensateurs et d'inductances commandés par thyristors. ceux-ci sont montés tête bêche dans chaque phase, chacun d'entre eux haut ainsi conducteur pendant une demi-période.

La puissance réactive absorbée par l'inductance varie en contrôlant la valeur efficace du courant qui la traverse par action sur l'angle d'amorçage des thyristors.



**Figure II. 4 : Compensateur statique
compose d'une inductance commandée par
TH associée à un banc de condensateur fixe**

Ce sont cependant, des appareils onéreux, tout en investissement qu'en exploitation en raison des pertes dont ils sont le siège. De plus de tels appareils créent des harmoniques dont il faut se prémunir par l'installation des filtres.

1.7. Les régleurs en charge des transformateurs

Les régleurs en charge des transformateurs THT/HT et THT/MT permettent de régler la tension des réseaux HT et les réseaux MT indépendante des fluctuations de la tension du réseau THT, pourvu que la tension du réseau THT reste emprise dans une certaine plage.

2. Mondes de compensation

Dans la majorité des cas :

- Les condensateurs BT sont des appareils triphasés câblés en Δ

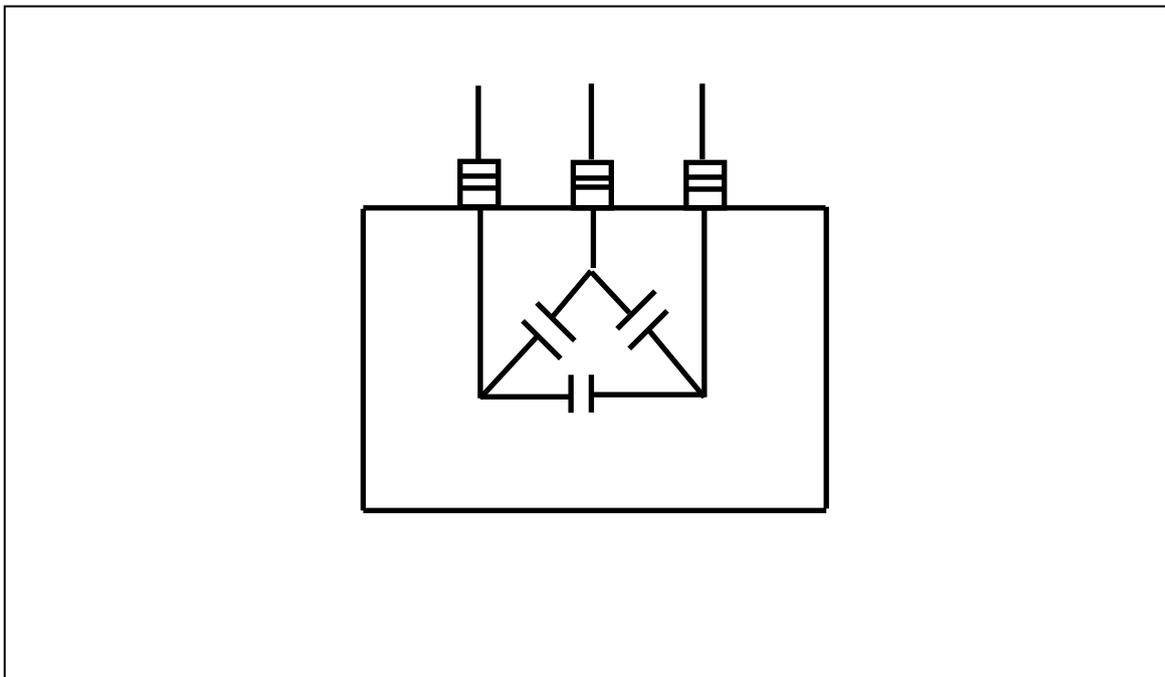


Figure II.5 : Les condensateurs BT sont des appareils triphasés câblés en Δ .

- Les condensateurs HT sont des appareils monophasés constituant des batteries en Y

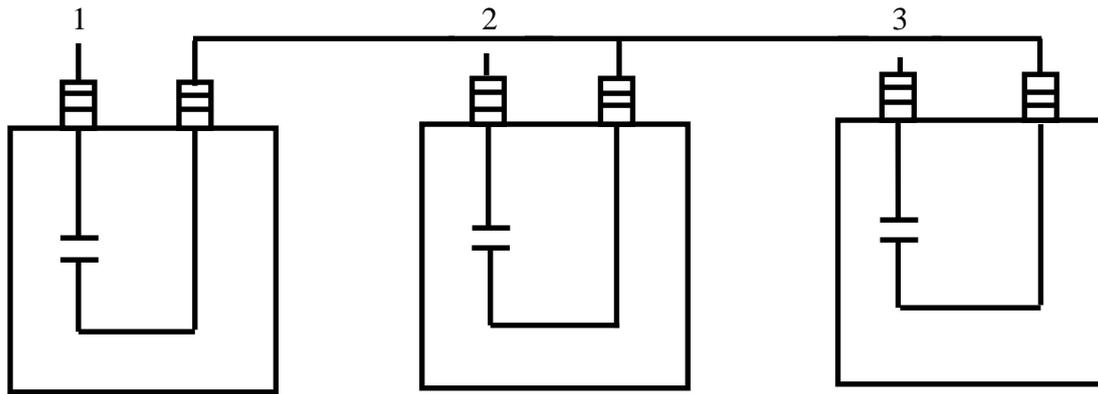


Figure II. 6: les condensateurs HT sont des appareils monophasés constituant des batteries en Y.

- Les condensateurs sont montés en dérivation sur le réseau, le montage série est exceptionnel.

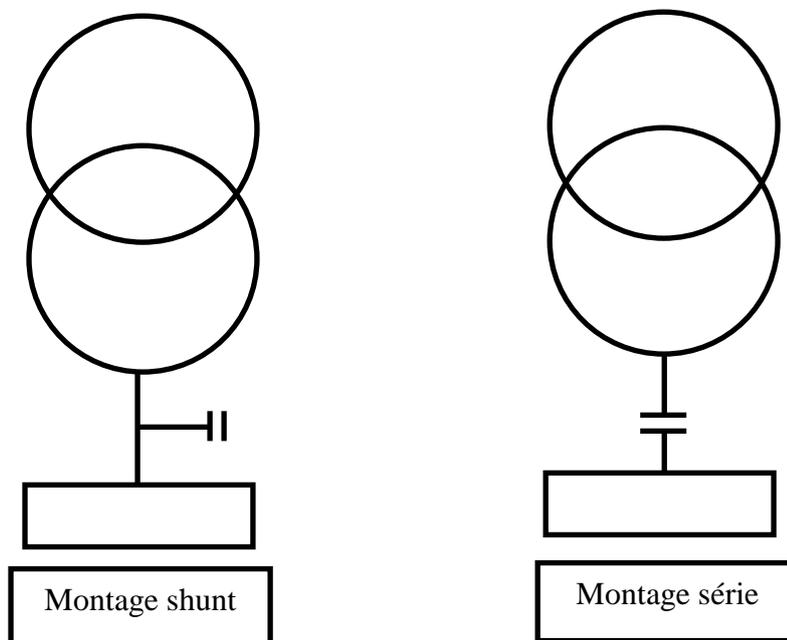


Figure II. 8 : LES condensateurs sont montés en dérivation sur le réseau, le montage série est exceptionnel.

2.1. Compensation globale

Cette compensation est économique car toute la puissance nécessaire y est concentrée en 1pt.

Par ailleurs, le choix de la puissance fait intervenir le fusionnement des charges et conduit à des batteries optimisées, donc moins puissantes par contre :

- Les installations locales ne sont pas soulagées.
- Du fait de la présence de la batterie de condensateurs.

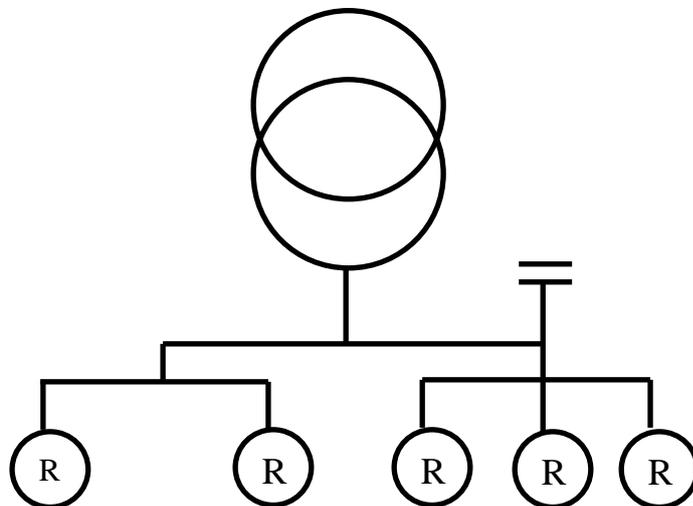


Figure II. 9 : Compensation globale

2.2. Compensation par secteurs

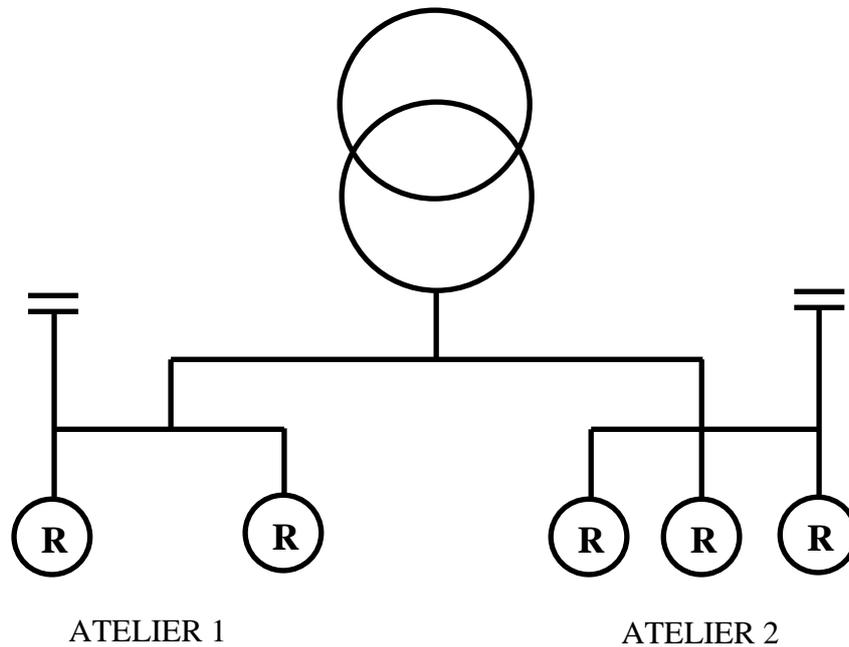


Figure II. 10 : Compensation par secteurs

- Cette compensation localise des groupes de condensateurs à proximité de consommateurs d'énergie réactive eux-mêmes groupes par secteurs géographiques (ateliers) [5]
- Elle soulage une grande partie des installations et en particulier les feeders d'alimentation.
- Elle intègre le coefficient de foisonnement des charges de chaque secteur, ce qui conduit à une optimisation encore correcte de la puissance.
- Elle reste encore économique, bien que plus onéreuse que la précédente.

Par centre :

- Risque de sur compensation par suite de variation de charge importante au niveau du secteur.
- Ce risque est éliminé par la compensation automatique avec batterie de condensés en gradins.

2.3. Compensation individuelle

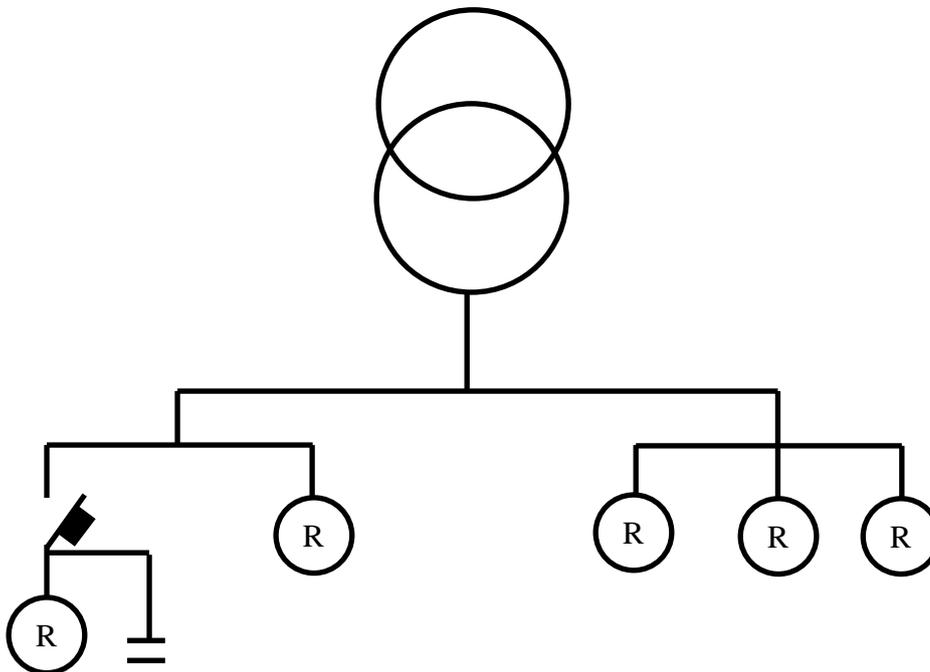


Figure II.11 : Compensation individuelle

Techniquement c'est l'idéal, puisqu'elle produit l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée et en qualité rigoureusement ajustée avec la demande.

Par contre :

C'est une solution chère qui ignore totalement les possibilités de foisonnement.

Elle est réservée à certains gros consommateurs ponctuels tels que gros moteurs, par exemple.

Précautions importantes :

Eviter à tout prix la surcompensation car, sur manque de tension ou mise hors tension :

Il peut y avoir auto excitation des moteurs à forte inertie et des moteurs actilisés en manutention ou levage, l'énergie mécanique maintenue par l'inertie et l'énergie magnétisante fournie par le condensateur transforment ces moteurs en génératrices asynchrones, et des surtension pouvant atteindre plusieurs fois la tension nominale sont maintenues en certain

Chapitre II : Moyens et monde de compensation de l'énergie réactive

temps dans l'ensemble condensateur moteur ; au retour rapide de la tension, des couples antagonistes peuvent se produire provoquant des dégâts mécaniques .

Il est recommandé de ne pas compenser individuellement les moteurs spéciaux (pas à pas) (deux sens de rotation).

Conclusion

La compensation peut se faire en basse tension ou en haute tension en utilisant des condensateurs. En basse tension de la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

- Les condensateurs de valeurs fixes ou condensateurs fixes.
- Les équipements à régulation automatique ou batteries automatiques qui permettent d'ajuster en performance la compensation aux besoins de l'installation. Lorsque la puissance à installer est supérieure à 800 kvar avec une charge stable et continue.

Chapitre III: Les Batteries de condensateur

Introduction

Le courant circulant à travers les condensateurs est en avance de 90° par rapport à la tension. Le vecteur de courant correspondant est alors en opposition par rapport au vecteur de courant des charges inductives. C'est pourquoi les condensateurs sont couramment utilisés dans les systèmes électriques, afin de compenser la puissance réactive absorbée par des charges inductives telles que les moteurs.

1. Le condensateur

Définition : deux corps conducteurs, séparés par un isolant, constituent un condensateur. Cette définition très générale montre que tout conducteur isolé possède une capacité par rapport aux autres conducteurs et par rapport à la masse.

Le condensateur MT :

Les condensateurs moyens tension permettent de compenser la consommation d'énergie réactive. (Ils sont utilisés au niveau des postes de moyenne tension). [6]

Cela permet de rentabiliser rapidement l'installation électrique :

- ❖ En supprimant les pénalités facturées par le distributeur d'énergie électrique.
- ❖ En évitant de surdimensionner l'installation (transfos, câbles, disjoncteur,

A leur crédit par rapport aux machines tournantes :

- Encombrement réduit- pas d'entretien.
- Installation très facile et très souple.
- Puissance active très faible.
- Coût initial bas.
- Mise en œuvre simple.

2. Modes de raccordement et localisation

La localisation des condensateurs sur un réseau électrique est ce que l'on appelle ; "le mode de compensation" il est déterminé par :

- ❖ Le but recherché (suppression des pénalités soulagement des câbles, transformateurs relèvement du plan de tension).
- ❖ Le mode de distribution de l'énergie électrique.

- ❖ Le régime de charge.
- ❖ L'influence prévisible des condensateurs sur les caractéristiques du réseau.
- ❖ Le cout de l'installation.

Les batteries de condensateurs sont en dérivation sur le réseau. Elles peuvent être :

Fixes :

- Lorsque leur puissance réactive est faible (<15% de la puissance du transformateur amont) et la charge relativement stable. Fig.-a-
- Sur les réseaux de distribution HT ; THT pour des puissances pouvant atteindre 100MVAR.Fig.-b-

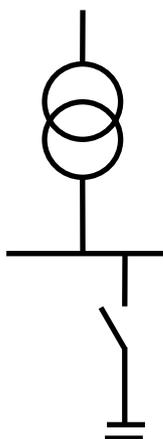


Fig. -a-Figure III. 13 : puissance

Réactive est faible:

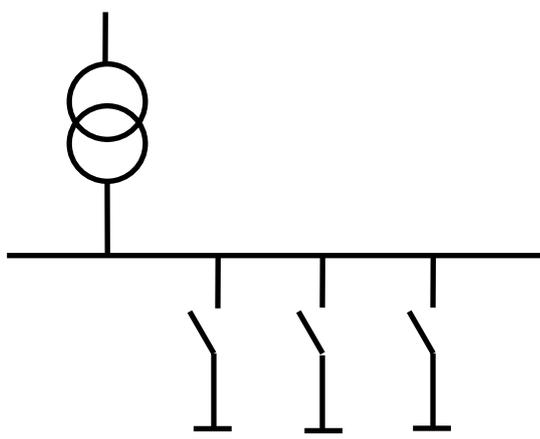


Fig.-b-Figure III.13 : puissances pouvant atteindre 100MVAR

Fractionnées :

Ce mode de compensation est communément appelé au "gradin" ces batteries sont très utilisées par certaines grosses industries (forte puissance installée) et les distributeurs d'énergie dans les postes sources, il permet une régulation pas à pas de l'énergie réactive.

3. Raccordement

3. A/batteries "poste"

a) **Poste neuf** : dans le poste un départ est réservé pour le raccordement de la batterie ; le départ est équipé d'un disjoncteur dont le rôle est de protéger la batterie contre les défauts

externes, et dans ou elle n'est constituée que d'un seul gradin, d'en assurer la mise en ou or service. Lorsque la batterie emporte plusieurs gradins, la commutation de ceux-ci est effectuée au moyen d'interrupteurs spécialement conçus pour manœuvrer des condensateurs.

b) Poste existant réalisé en matériel protégé : Au moment où l'on désire raccorder la batterie, il se peut que toutes les cellules soient déjà occupées.

Solution :

- 1) Déplacer le transformateur auxiliaire et utiliser sa cellule.
- 2) Raccorder la batterie sur un départ assez chargé normalement. Que l'on n'est pas conduit à mettre souvent en hors service et pour lequel or admet de ne pas faire de raccordement automatique.
- 3) Dans le cas où on ne trouve pas un départ satisfaisant on peut raccorder la batterie directement sur une "arrivée transformateur".

c) Poste existant de type ouvert : il se peut même que dans le bâtiment du poste, on puisse construire une cellule spéciale pour recevoir les interrupteurs de gradins.

3. B / batteries réseaux MT

Les batteries se présentent sous forme d'une cabine en tôle livrée avec ses trois câbles unipolaires de raccordement au réseau MT.

Le raccordement d'une telle cabine nécessite

- La confection d'une aire en béton pour recevoir la cabine.
- L'installation d'un interrupteur d'isolement extérieur monte sur un poteau.
- La jonction de l'interrupteur des trois câbles unipolaires.

4. Problèmes soulevés par les condensateurs

4.1. Tension harmonique

La tension d'un réseau est rarement une sinusoïde pure, l'onde fondamentale s'accompagne d'harmoniques dont les plus importants sont ceux de rang 3, 5, 7.

Le courant aura donc la forme :

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}$$

Qui traduit la présence d'une surintensité harmonique. Il faut déduire deux conséquences possibles de cet état de choses :

❖ L'impédance $\frac{1}{C\omega}$ des condensateurs est d'autant plus faible que le rang de l'harmonique et plus élevé. Le risque de la surintensité est accru à leur niveau c'est la raison pour laquelle la norme prévoit que les condensateurs doivent pouvoir supporter 30% de surcharge permanente.

❖ La batterie peut constituer avec des inductances du réseau un circuit résonant à une fréquence voisine de certains harmoniques il peut y avoir une amplification notable des tensions harmoniques pour éviter cet inconvénient, on peut placer une inductance SAH (self anti harmonique) telle que l'ensemble C+ SAH se comporte comme une self vis à vis des rang harmonique juges dangereux.

On règle généralement l'accord à 210hz ce qui ressource définitivement le problème dès le rang $r = 5$.

4.2. Les surtensions

❖ Les condensateurs craignent les surtensions

La formule $P = U^2 C \omega$ montre effectivement que pour une surtension de 20% ($U = 120\% U_n$) la puissance du condensateur s'accroît de 44%.

❖ Les condensateurs créent les surtensions

Ces surtensions correspondent à la DDP obtenue par le passage du courant I_c au travers des inductances du réseau.

Elles sont maximales lorsque le réseau est à vide.

Ce calcul est réalisé en monophasé

$$\Delta U = Zl\omega \cdot I_c \quad \text{Avec} \quad Zl\omega = \frac{U_{cc}}{I_n} \quad \text{III.11}$$

$$\text{Sachant que } P_{cc} = \frac{P \cdot U}{U_{cc}} \Rightarrow U_{cc} = \frac{P \cdot U}{P_{cc}} \Rightarrow Zl\omega = \frac{P \cdot U}{P_{cc} \cdot I_n} \Rightarrow Zl\omega = \frac{U^2}{P_{cc}} \quad \text{III.12}$$

$$\Delta U = \frac{I_c \times U \times U}{P_{cc}} \Rightarrow \frac{\Delta U}{U} = \frac{Q}{P_{cc}} \quad \text{III.13}$$

Il faudra tenir compte de cette surtension pour vérifier la tenue des condensateurs très sensibles à la tension.

Par ailleurs, certains éléments du réseau supportent mal la superposition de cette surtension à la tension à vide déjà élevée.

Exemple : la relation $\frac{\Delta U}{U} = \frac{S_d}{P_{cc}} = \frac{Q}{P_{cc}}$ permet de calculer la variation de la tension au moment de la mise en service ou hors service de la batterie de condensateur. Ainsi :

- Si $P_{cc} = 100 \text{ MVA}$ cest le cas des postes eliognes de la source, et $S_d = 10 \text{ MVAR}$, alors $\frac{\Delta U}{U} = \frac{10}{100} = 0,1$, soit 10% de U_n . Dans ce cas on met en service un seul gradin (5 MVAR) pour que la tension se stabilise et on enclenche alors le 2eme gradin
- Il en est de même pour la mise hors service de la batterie celle-ci engendre une chute de tension de même ordre
- Si $P_{cc} = 250 \text{ MVA}$ (cest la P_{cc} normalisee pour les postes HT/MT, en France) la mise en service de 10 MVAR engendre une variation $\frac{\Delta U}{U} = \frac{10}{250} = 0,04$, soit 4%.

4.3. Surintensité a l'enclenchement

Le condensateur décharge constitue pour le générateur qui le mettra sous tension un élément en véritable court-circuit durant un temps très court.

Dans le cas de gradins, on voit aisément qu'après enclenchement Dun premier gradin, le second sera soumis simultanément à 2 composantes transitoires du courant : l'une étant alimenté par la source à travers son impédance de court-circuit et l'autre par la décharge du gradin en service.

La surintensité qu'en résulte peut être changeuse pour le condensateur (10c In). Il est pare à ce phénomène par des selfs de choc présentant une impédance de limitation vis à vis du courant alternatif.

Il y a une self de choc par gradin. Dans la généralité des cas cette précaution est nécessaire.

5. Commande des batteries de condensateurs MT

Les condensateurs MT doivent compenser au mieux l'appel de puissance réactive du réseau moyen tension l'ensemble des condensateurs du poste doit être enclenche à la pointe de charge du poste source, et ces condensateurs doivent être mis hors tension au fur et à mesure de la baisse de la charge et donc de la puissance réactive consommée

➤ Trois types de commandes existent sur le réseau

La commande par horloge : elle permet d'enclencher ou de déclencher les gradins a des heures prédétermines et donc fixes ; elle suit une le assez simple préprogrammée pour une saison en fonction de mesures antérieures.

La télécommande : très peu utilisée seule, elle coexiste sur un grand nombre de batteries avec un autre moyen de commande et permet, en temps réel, d'ajuster la puissance réactive fournie en fonction d'évènements exceptionnels ;

Le relais var métrique : un relais à microprocesseur détermine, en temps réel, à partir des images de courants et de tensions du poste, la puissance réactive consommée par le réseau moyen tension et enclenche ou déclenche les gradins de condensateurs selon une loi de commande programmée permettant de maintenir une compensation optimale.

Remarque : seule, cette dernière commande garantit une compensation permanente et automatique, quelle que soit la charge du poste.

Conclusion

Le rôle de base des condensateurs de puissance est la compensation de la puissance réactive dans les réseaux électriques et le filtrage des harmoniques. Ils sont connectés aux bornes du réseau suivant un couplage étoile ou triangle. Le nombre de condensateurs connectés dépend de la puissance réactive totale nécessaire et de la puissance unitaire.

**Chapitre IV : La
relation entre la
tension et la puissance
Réactive**

Introduction

Lorsque le transit dans une ligne électrique est assez important, la circulation du courant dans la ligne provoque une chute de la tension. La tension est alors plus basse en bout de ligne qu'en son origine, et plus la ligne est chargée en transit de puissance, plus la chute de tension sera importante. Un réseau dans lequel la consommation est éloignée de la production, présentera un profil de tension différent de celui d'un réseau dans lequel production et consommation sont uniformément réparties.

1. Moyens disponibles pour le maintien de la tension

1.1. Élément influant sur les variations de tension

Les variations de la tension sont de deux types :

- Elles qui sont dues à l'augmentation progressive année par année, des consommations.
- Elles qui sont dues aux variations de la charge appelée suivant les heures de la journée ou les mois de l'année.

1.2. Augmentation du niveau de tension

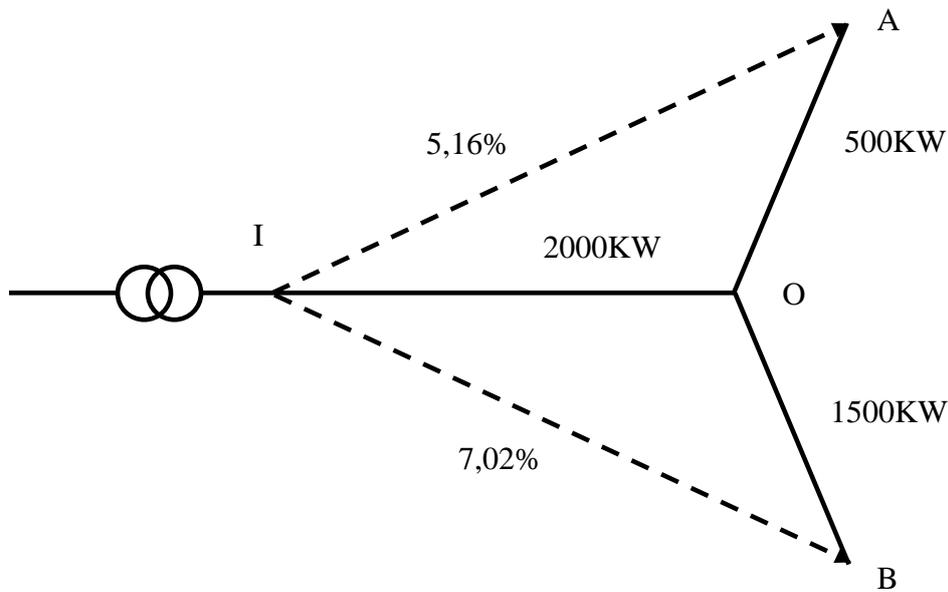
L'augmentation d'un certain niveau de tension a la tension normalisée reste le moyen efficace de diminuer la chute de tension relative en moyenne tension. En basse tension la quasi-totalité des réseaux est exploitée en 380V.

1.3. Diminution de la résistance et de la puissance active

La diminution de R passe par l'augmentation de la section des conducteurs celles de P impose une modification de la structure du réseau.

Le distributeur diminue en effet pour un niveau de puissance appelée par la clientèle, la puissance transitée sur certains ouvrages MT en créant.

De nouveaux postes sources HT/MT et/ou de nouveaux départs MT.



a) Figure IV.14 : Réseau originale

Caractéristiques des lignes :

IO : 20km en almélec $S = 117mm^2$

OA : 10km en almélec $S = 54mm^2$

OB : 10km en almélec $S = 54mm^2$

Ce réseau alimente ce B en 20 kV ; $tg\varphi = 0,4$

Sur IO, $\frac{\Delta U}{U} = 4,23\%$

Sur OA, $\frac{\Delta U}{U} = 0,93\%$

Sur OB, $\frac{\Delta U}{U} = 2,79\%$

Diminution des chutes de tensions par création d'un nouveau départ MT

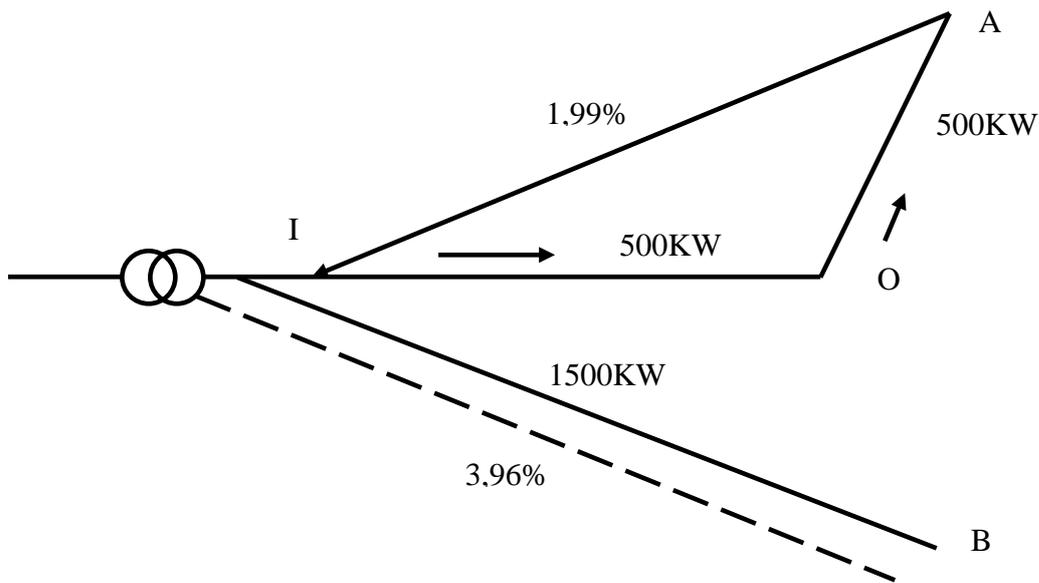


Figure IV.15 : création d'un nouveau départ MT

Un nouveau départ IB (25km en almélec $S = 117mm^2$) ramené la chute de tension en B à 3,96% (au lieu de 7,02%)

L'allègement de la charge transitée par IO ramené la chute de tension en A à 1,99% (au lieu de 5,16%).

1.4. Compensation de l'énergie réactive

Cette compensation peut s'effectuer de deux manières : [7]

- ❖ Diminuer X, ce qui est possible en installant en série sur la ligne des condensateurs.
- ❖ Diminuer Q en installant un condensateur shunt qui produit l'énergie réactive appelée en aval du condensateur et diminue par conséquent la puissance réactive transitée en amont du point d'installation.

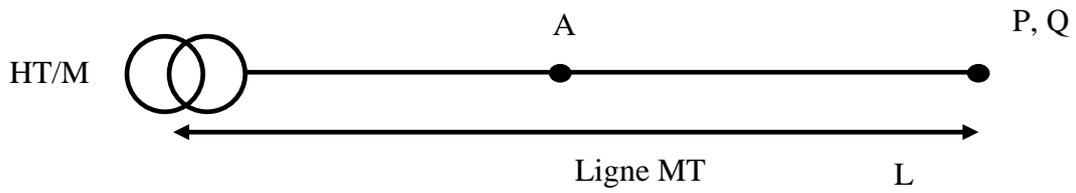


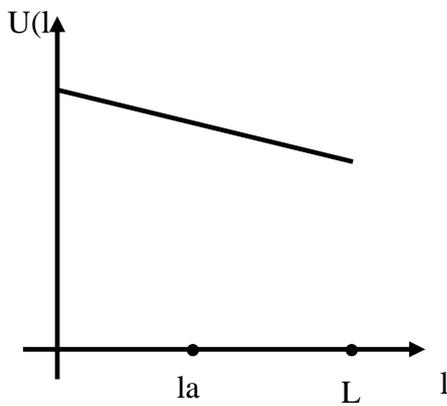
Figure IV.16 : Compensation de l'énergie réactive

Une charge potentielle appelle une puissance active P et une puissance réactive Q.

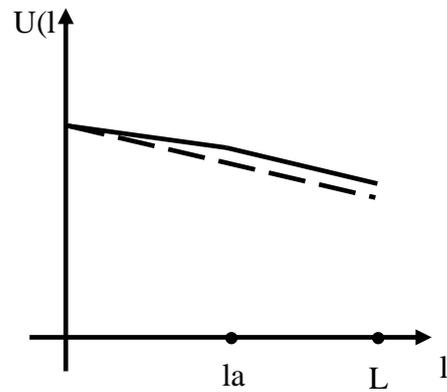
On donne le profil de la tension le long de la ligne dans 3 cas :

- 1) Sans compensateur
- 2) Avec compensateur en shunt
- 3) Avec compensation en séries

Les figures suivantes montrent les différents profils de tension obtenus.



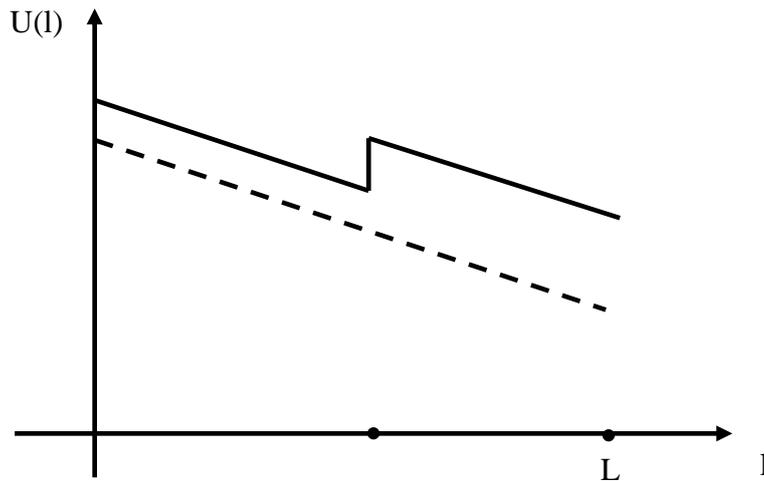
a) Sans compensation



b) avec compensation shunt en

$$\Delta_0(l) = \frac{1}{10} \frac{rP + XQ}{U^2} l$$

$$U(l) = U_0 \left[1 - \frac{\Delta_0(l)}{100} \right]$$



C) avec compensation série en

Figure IV.17 : les différents profils de tension

1.5. Compensation des variations de tension dues aux fluctuations de la tension HT et de la puissance appelée

Cette compensation est effectuée en temps réel, au niveau du transformateur HT/MT, par le régulateur en charge MT. Elle permet d'éliminer les variations HT et une partie des variations MT, en augmentant la tension MT au poste lorsque la charge croît.

Au niveau des transformateurs MT/BT, il n'existe pas de régulateurs permettant l'ajustement de la tension aux variations de la charge.

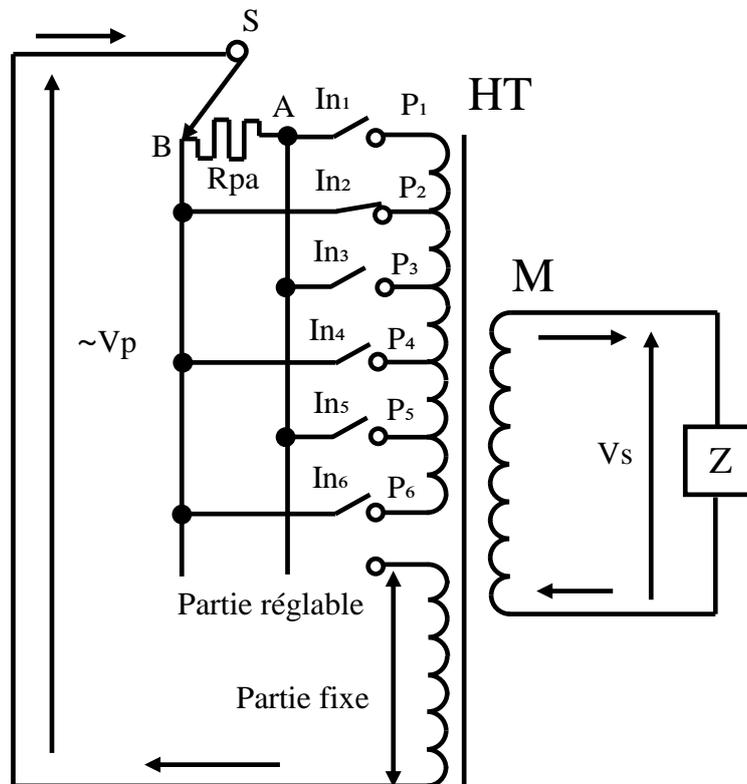


Figure IV. 18 : Schéma monophasé de principe d'un régleur incorporé à un transformateur HT/MT

HT : haute tension ou primaire du transformateur.

MT : moyenne tension ou secondaire du transformateur.

In_1 à In_6 : interrupteurs rapides.

P_1 à P_6 : prises primaires

R_{pa} : résistance de passage insérée dans le circuit de deux prises consécutives afin de limiter le courant à une valeur maximum dangereuse

S : sélecteur ; V_p : tension primaire ; V_s : tension secondaire ; Z : utilisation ou charge

2. Ecart de tension vue par les clients de la distribution

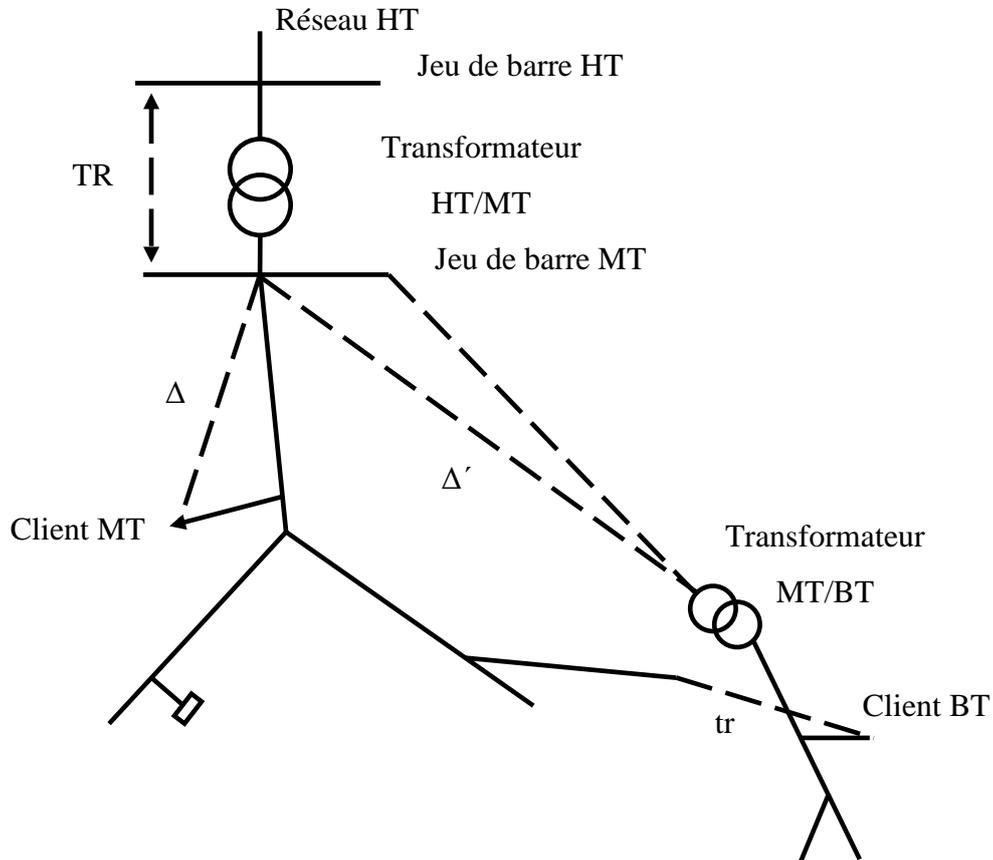


Figure IV.19 : .Ecart de tension vue par les clients de la distribution

Sur ce schéma, les écarts de tension relatifs par rapport à la tension nominale sont :

➤ Client MT

$$e_{mt} = ht - TR - \Delta \quad \text{ou} \quad e'_{mt} = ht - TR - \Delta' \quad \text{IV.14}$$

➤ Client BT

$$e_{BT} = e'_{MT} - tr - \delta \quad \text{IV.15}$$

2.1. Origine des écarts de tension chez la clientèle

les réseaux MT et BT sont généralement exploitées en mode arborescent, la tension chez chacun des clients MT ou BT résulte donc de la tension délivrée au niveau du jeu de barre HT du poste source HT/MT, et des chutes de tension affectant tous les éléments du réseau situés entre ce jeu de barres HT et le client .

❖ l'écart de tension aux bornes du client MT résulte donc de la tension délivrée en haute tension et des chutes de tension dans le transformateur HT/MT et le réseau MT :

$$e_{MT} = ht - TR - \Delta \quad \text{IV .16}$$

$$e'_{MT} = ht - TR - \Delta' \quad \text{IV.17}$$

Avec :

ht : valeur relative de la tension aux bornes HT du transformateur.

TR : chute de tension relative dans le transformateur HT/MT

Δ et Δ' : chute de tension relative sur le réseau MT entre le jeu de barres MT et respectivement la chute MT ou le transformateur MT/BT

❖ l'écart de tension aux bornes du client BT résulte de la tension délivrée au poste MT/BT et des chutes de tension dans le transformateur MT/BT et le réseau BT :

$$e_{BT} = e'_{MT} - tr - \delta \quad \text{IV .18}$$

Avec :

tr : chute de tension relative dans le transformateur MT/BT

δ : chute de tension relative entre la sortie BT du transformateur et la borne BT

Remarque :

- ht , TR et tr dépendent du niveau de la charge appelée par la clientèle.
- Δ et δ dépendent, en plus, de la position du client sur le réseau.

2.2. Chute de tension

2.2.1. Chutes de tensions relatives dans les lignes MT et BT

Elles sont obtenues en additionnant les chutes de tension relative aux différents tronçons conduisant du poste au client.

Pour chaque tronçon de réseau de résistance R de réactance X transitant une puissance active P et une puissance réactive Q .

La chute de tension relative $\Delta U/U$ est donnée en % par la formule suivante :

$$\frac{\Delta U}{U} = K \frac{RP + XQ}{U^2} \quad \text{IV .19}$$

Tableau IV. 1 : les lignes MT et BT

MT	BT
$K = 0,1$	$K = 10^5$
R, X en Ω	R, X en Ω
P en KW	P en KW
Q en KVAR	Q en KVAR
U en KV	U en KV

Remarque :

Q et P sont en générale bien corrélés et on utilise pour caractériser la consommation réactive le rapport :

$$\frac{Q}{P} = \tan \varphi \quad \text{IV .20}$$

❖ X est indépendante de la section du conducteur et varie peu avec la disposition des conducteurs entre eux :

- Pour des lignes aériennes $X = 0,35\Omega/Km$ (en MT et en BT).
- Pour des câbles $X = 0,10\Omega/Km$.

Tableau IV. 2 : Chutes de tensions relatives dans les lignes MT et BT

	Ligne triphase MT	Ligne triphase BT
Tension nominale	20 KV	380 V
Section	117 mm ²	70 mm ²
Puissance active	2000 KW	30 KW
tan φ	0,4	0,2
R	0,283 Ω/Km	0,443 Ω/Km
X	0,35 Ω/Km	0,10 Ω/Km
Chute de tension	2,1%	4,8

2.2.2.Chute de tension dans le transformateur HT/MT

Cette chute de tension varie suivant la puissance P transitée et dépend pour un niveau de puissance appelée de la taille du transformateur

Tableau IV. 3 : Chute de tension

P MVA	Chute de tension	
	Pour $Un = 63 KV$ T	R Pour $Un = 90 KV$
	[%]	[%]
10	3,7	3,8
20	4,3	3,9
36	5,8	5,6

2.2.3.Chute de tension dans le transformateur MT/BT

Elle depend comme pour les transformateurs HT/MT, de la taille du transformateur et de la puissance appelee.

Exemple :

Ctte chute de tension atteint 2,8% dans un transformateur de 400 KVA a plein charge avec $\tan \varphi = 0,5$

3. Facteur de puissance ($\cos \varphi$) :

Le consommation d'energie active transformable en travail s'accompagne toujours d'une consommation plus ou moins importante d'energie reactive, servant a la reaction des chhamps magnetiques indispensables pour le fonctionnement des :

- Transformateurs.
- Moteurs asynchrones.
- Postes de soudages a l'arc.
- Tubes de fluorescence.

Inconvénients :

La consommation d'énergie réactive est onéreuse car elle conduit à un courant efficace, pour une puissance active donnée, d'autant plus élevé que le facteur de puissance.

$$\cos \varphi = \frac{P_{active}}{\sqrt{3}UI} \quad \text{Est moins élevé.}$$

En effet le dimensionnement de tous les éléments du réseau, transfo, génératrices, appareillage, lignes, etc... est conditionne par l'échauffement, donc par la valeur efficace du courant.

Causes des faibles valeurs du $\cos \varphi$:

Les causes des faibles valeurs du $\cos \varphi$ sont évidemment constituées par les gros consommateurs du courant réactif.

A ce titre d'exemple il faut citer :

- Les moteurs → 20 à 60% de P réactive

- Les transformateurs → 5 à 10% de P réactive
- Les fours à induction → $\cos \varphi_{moy} = 0,20$
- Les lignes aériennes
- Les fours à arc → $\cos \varphi_{moy} = 0,70$
- Les lampes fluorescentes
- Les postes de soudure à l'arc → $\cos \varphi_{moy} = 0,35$

Il existe deux types de groupes d'éléments volontairement mis en évidence pour des raisons d'ordre mnémotechnique [8]

- ❖ Lun des groupes est très aux circuits magnétique.
- ❖ L'autre à l'arc électrique.

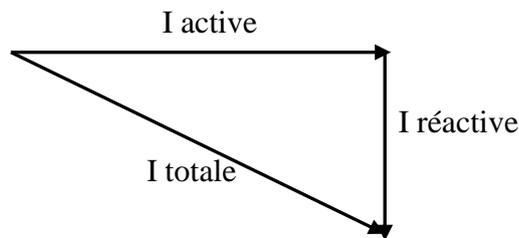


Figure IV. 20 : triangle des courants

Amélioration du $\cos \varphi$:

Le courant total se compose en 2 composantes que l'on peut écrire :

$$\vec{I} = \vec{I}_A + \vec{I}_R \quad I_A = I \cos \varphi \text{ En phase avec } U \quad \text{IV.21}$$

$$I_T = \sqrt{I_A^2 + I_R^2} \quad I_R = I \sin \varphi \text{ En quadrature avec } U \quad \text{IV.22}$$

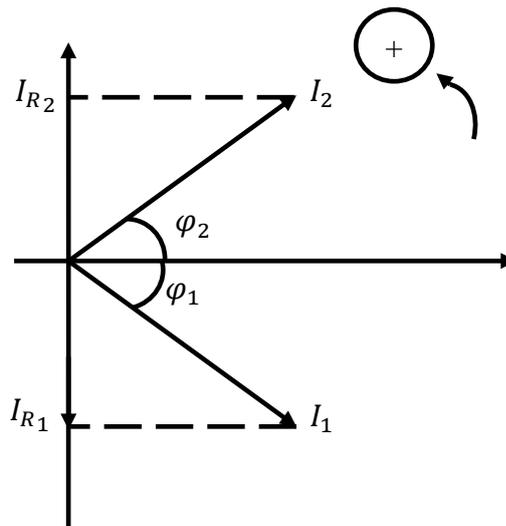


Figure IV. 21 : Le courant

- 1) $\sin \varphi_1 < 0$ $I_{R1} < 0$ courant réactif absorbe décalage 90° en arrière avec U
- 2) $\sin \varphi_2 > 0$ $I_{R2} > 0$ courant réactif fournie décalage 90° en avant U

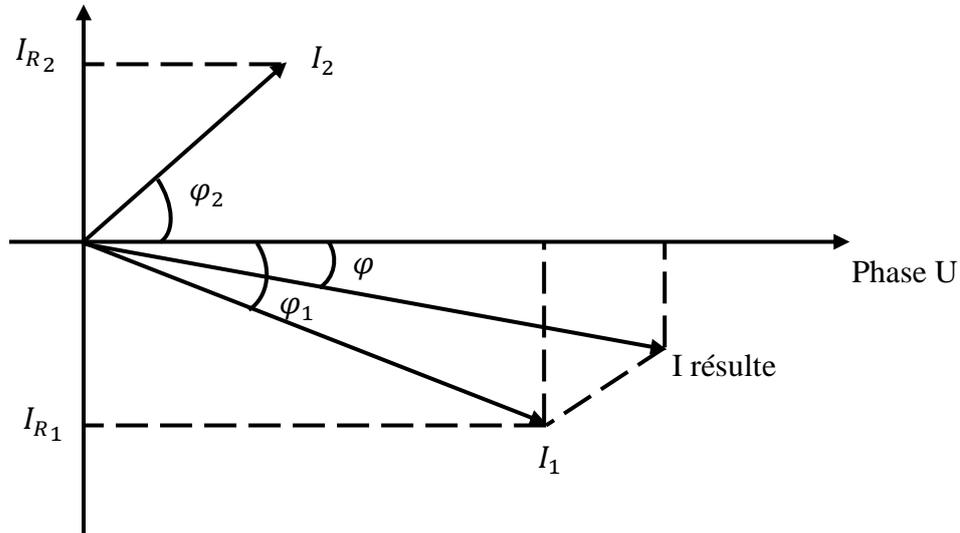


Figure IV.22 : Amélioration du $\cos \varphi$

Composant un courant industriel de la forme I_1 (circuit inductif) avec un courant de la forme I_2 (circuit capacitif). On obtient un courant résultant I déphase sur U de $\varphi < \varphi_1$, la composante active de I est telle que $I_A > I_{A1}$.

La compensation constitue donc à placer sur le circuit inductif que constitue tout réseau industriel un récepteur capacitif

Calcul de la puissance nécessaire pour passer de $\cos \varphi_1$ à $\cos \varphi_2$:

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q_1}{P} \Rightarrow Q_1 = P \tan \varphi_1 \quad \text{IV.23}$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{Q_1 - Q_C}{P} \Rightarrow Q_1 - Q_C = P \tan \varphi_2 \quad \text{IV.24}$$

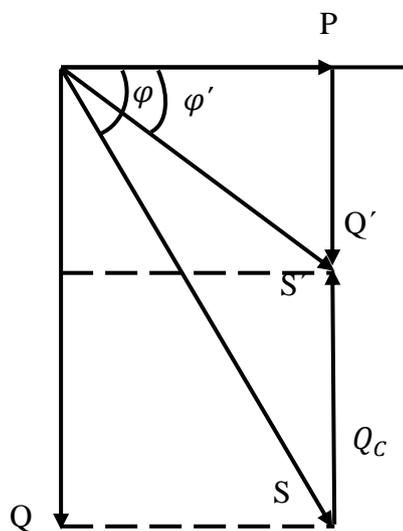


Figure IV.23 : Calcul de la puissance nécessaire pour passer de $\cos \varphi_1$ à $\cos \varphi_2$

La puissance réactive a transporté sera donnée par $Q' = Q - Q_C$ IV.25

La puissance transportée par la ligne : $S = P + j(Q - Q_C)$ IV.26

Le facteur de puissance de vient donc :

$$\cos \varphi' = \frac{P}{S'} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q - Q_C)^2}} \quad \text{IV.27}$$

Conclusion

Dans une installation électrique, le facteur de puissance pourra être différent d'un atelier à un autre, selon les appareils installés et la manière dont ils sont utilisés (fonctionnement à vide, pleine charge...).

**Chapitre V : Effet de la
compensation de l'énergie
réactive
Sur les postes adjacents**

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

Introduction

Le réglage de la tension et l'apport de la puissance réactive sont les paramètres essentiels dans la qualité de l'énergie électrique.

La compensation de la puissance réactive vise plusieurs objectifs dont les principaux sont :

- le maintien d'un niveau de tension le plus élevé possible dans les réseaux de transport et de répartition afin de limiter les pertes en ligne tout en restant compatible avec la tenue des matériels.

- garantir un fonctionnement stable pour l'utilisation optimale des appareils et autres récepteurs.

Notre travail qui consiste à voir l'effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents en établissant des tableaux pour voir chaque paramètre (tension, puissance active, réactive, apparent,) et comparer les résultats (analyse).

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

1. Caractéristiques des transformateurs 220/60kv

Tableau V. 4 : Caractéristiques des transformateurs 220/60kv

Poste	Nb	Sn (MVA)	Pcc (KW)	Po (KW)	Io %	U ₀₁ (KV)	U ₀₂ (KV)	Ucc %	Régleur en charge		
									Nbre	Pos.	ΔU(KV)
MHP	2	120	338	80	0,50	220	63	16,20	25	13	3,045
PEL	1	120	338	80	0,50	220	63	16,20	25	13	3,045
ZAH	2	60	208	75	0,35	220	63	11,55	25	14	3,045
SEA	2	80	231	75	0,35	220	63	10,57	25	18	2,762
TLE	2	120	338	80	0,50	220	63	16,20	27	16	3,045
REL	2	40	207	70	0,30	220	63	11,91	25	12	2,762
TIP	2	80	238	75	0,40	220	63	10,40	25	07	2,762
SAI	2	60	180	75	0,35	220	63	10,40	25	17	2,762
GHA	2	40	143	70	0,30	220	63	12,76	31	17	1,740

Les données représentées dans les tableaux suivants appartiennent à la SONEL GAZ pour l'étude de fonctionnement du réseau de l'Ouest algérien pour 59 nœuds.

Un programme donné par la SONEL GAZ nous a permis de faire une assimilation du réseau ouest à un sous réseau à 7 nœuds pour pouvoir donner une explication sur l'effet de la compensation de la puissance réactive sur les postes adjacents.

N.B : programme Q-BASIC « écoulement de charge par la méthode de GAUSS-SEIDEL »

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

2. Impédance et demie-susceptance des lignes et câbles 60kv

Tableau V. 5 : Impédance et demie-susceptance des lignes et câbles 60kv

Poste p – poste q	$S_1(mm^2)$	$L_1(km)$	$S_2(mm^2)$	$L_2(km)$	$R(\Omega)$	$X(\Omega)$	$Y'/2 \Omega^{-1}$
MHP – ARZ	617	19,5			1,11	8,90	000031
MHP – ABP	617	10,8			0,62	4,54	000017
MHP – MOS	288	48,6			6,03	20,41	000071
MHP – SONIC – MOS	288	34,8			2,53	8,45	000122
PEL – ZAH	228	24,9			3,91	10,46	000036
PEL – HAA	288	15,3			1,90	6,43	000022
PEL – CDM	192	4,9			0,49	0,65	000108
PEL – ORS	288	6,7			0,83	2,81	000010
PEL – RAB	192	5,2	346	5,3	0,08	0,35	000260
PEL - ORE	288	7,0			0,87	2,94	000010
ZAH – SEA	288	47,9			5,94	20,12	000070
ZAH – HAA	288	24,5			3,04	10,29	000036
ZAH – ORS	288	30,0			3,72	12,60	000044
ZAH – BHE	116	20,7	288	6,2	3,96	11,30	000036
ZAH - BDH	75	46,8			11,19	19,66	000061
TLE – SEA	288	93,4			11,58	39,23	000136
TLE – REM	288	18,9			2,34	7,94	000028
TLE – ATE	75	52,9			12,64	22,22	000069
TLE - ZBA	147	34,8			8,49	14,62	000048
BES – REM	288	28,6			03,55	12,01	000042
BES - ATE	288	27,5			03,41	11,55	000040
REL – BHE	116	70,2	288	5,8	11,59	31,92	000100
REL – MOS	75	22,1	147	24,2	11,19	19,45	000062
REL – TIV	147	87,1			21,26	36,60	000191
TIP - TIV	411		288	4,6	0,57	1,93	000007
SAI – BOH	288	19,2	93	31,0	14,10	21,13	000068
SAI – MEC	288	77,5			9,61	32,55	000113

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

GHA – MAS	288	45,0			7,07	18,19	000064
HAA – ARZ	617	19,3			1,10	8,12	000030
HAA - ABP	288	22,9			2,84	9,62	000034
CDM – ORS	288	9,9			1,23	4,16	000015
CDM – RAB	192	3,8			0,38	0,50	000084
ORS - ATE	75	68,1			16,28	28,60	000089
MAG - ZBA	288	13			1,61	5,46	000019
BHE – MAS	288	34,7			4,30	14,57	000051

3. Impédances et demi-susceptance de de lignes 220kv

Tableau V. 6 : Impédances et demi-susceptance de de lignes 220kv

Poste p – Poste q	$S_1(mm^2)$	$L_1(km)$	$S_2(mm^2)$	$L_2(km)$	$R(\Omega)$	$X(\Omega)$	$Y'/2 (1/\Omega)$
MHP - ZAH₁	1 _x 411	33,0			2,87	13,86	000045
MHP - ZAH₂	1 _x 411	38,5			3,35	16,17	000051
MHP – SEA	1 _x 411	77,0			6,70	32,34	000105
MHP – REL	1 _x 411	99,4			8,65	41,75	000136
MHP - OUS₁	1 _x 411	147,8			12,86	62,08	000202
PEL – ZAH	1 _x 288	24,0	1 _x 411	7,1	3,59	13,06	000042
ZAH - TLE	1 _x 288	112,7			13,97	47,33	000150
TLE – SEA	1 _x 411	84,5			7,35	35,40	000116
TLE – GHA	1 _x 288	54,3			6,73	22,81	000072
TLE - OUI	1 _x 411	47,2	1 _x 411	15,0	5,41	26,12	000085
SEA - SAI	1 _x 411	81,0			7,05	34,02	000111
REL - OUS	1 _x 411	18,0	1 _x 288	52,1	8,03	29,44	000094
TIP – SAI	1 _x 411	122,8			10,68	51,58	000168
TIP – OUS	1 _x 411	92,0			8,00	38,64	000126
GHA - OUI	1 _x 411	34,0	1 _x 411	12,0	4,00	19,32	000063

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

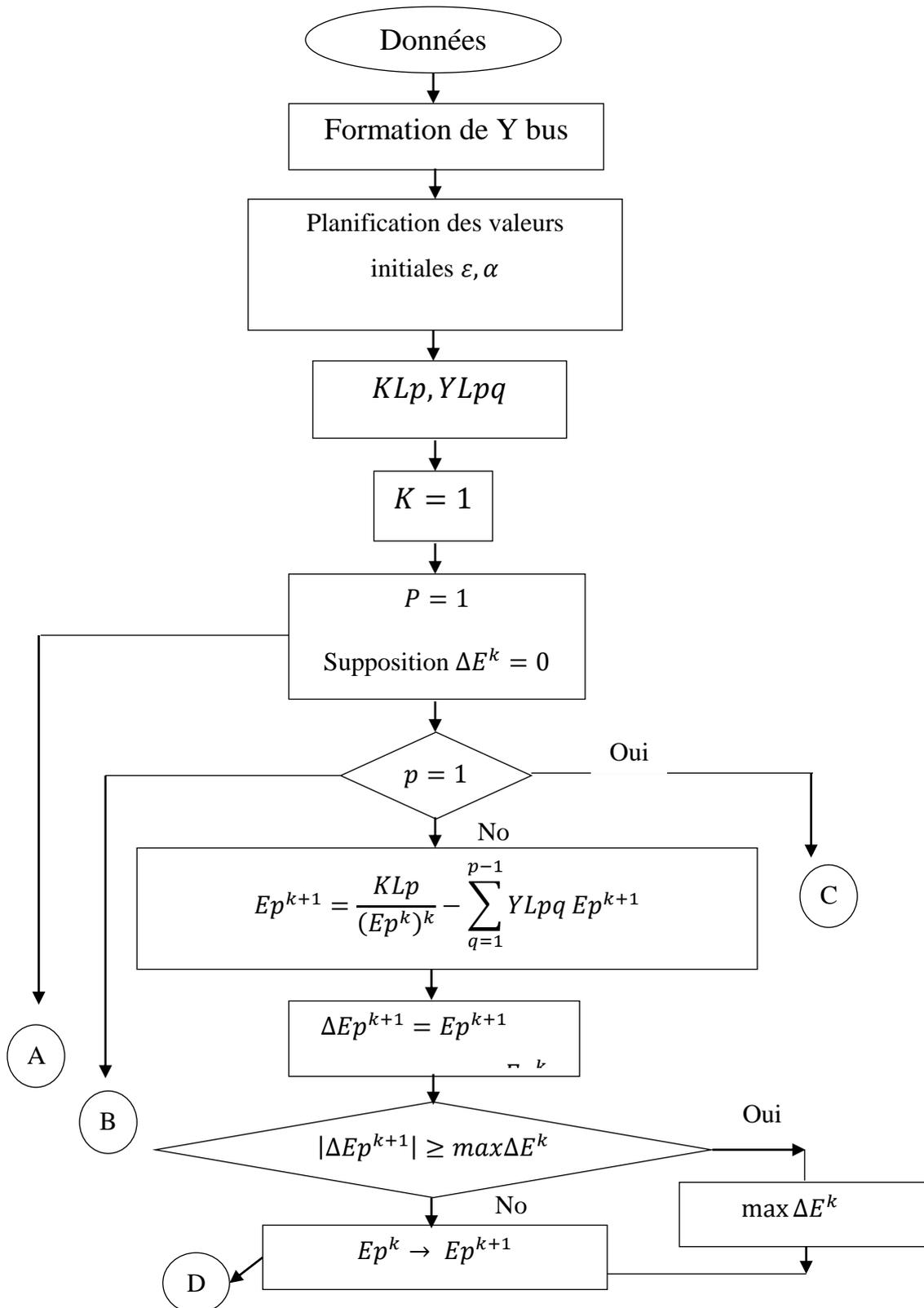
4. Paramètres kilométriques des lignes

Tableau V.7 : Paramètres kilométriques des lignes

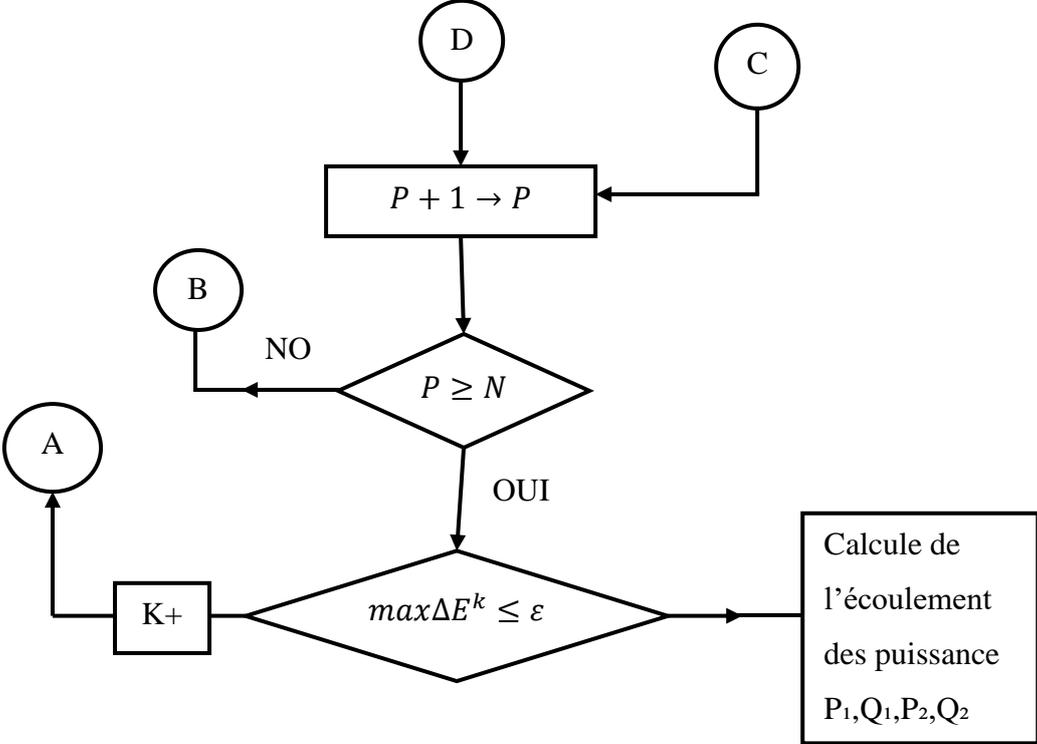
Nature	S (mm ²)	R _o (Ω /km)	x _o (Ω/km)	C _o (nF/km) 60kv	C _o (nF/km) 220kv
Cu	116	0,154	0,42	8,3	
AA	288	0,124	0,42	9,3	8,5
	411	0,087	0,42		8,7

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

Organigramme de la méthode de Gauss Seidel :



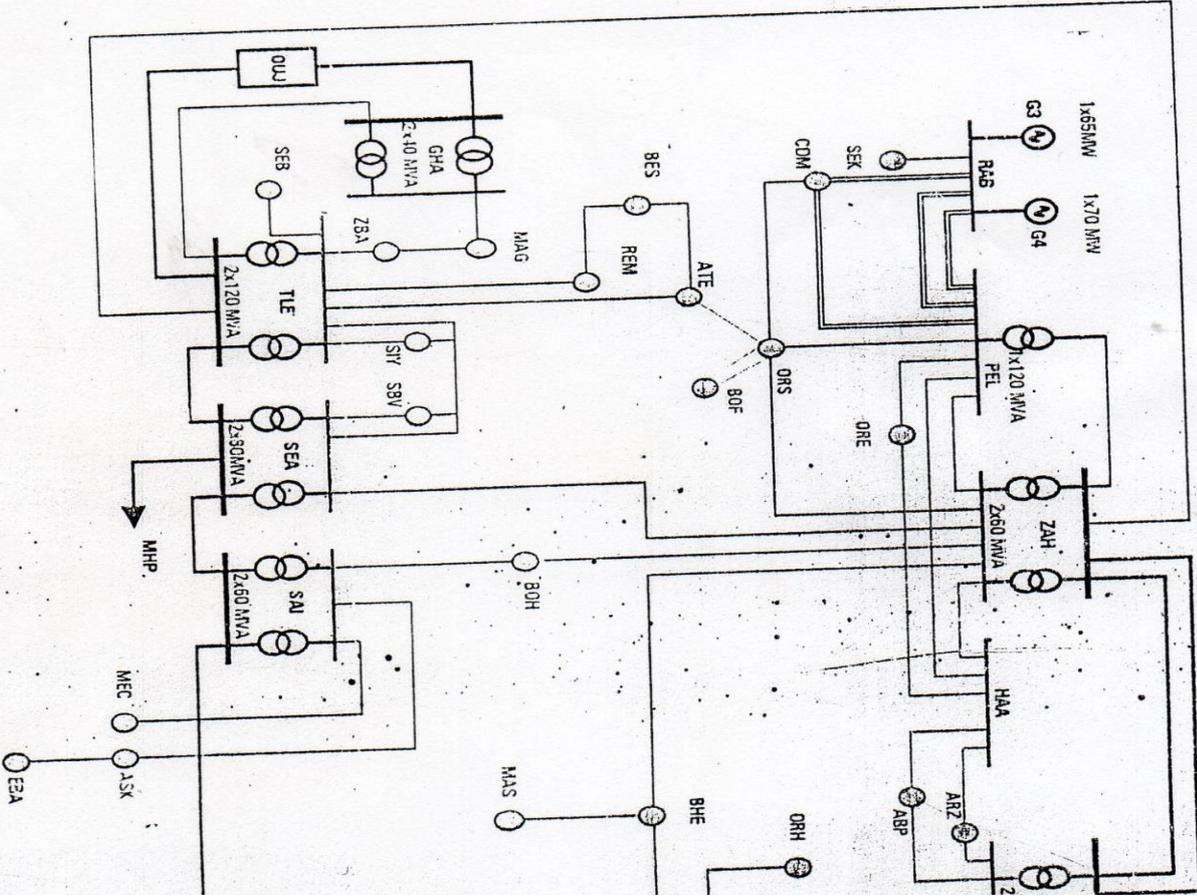
Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents



Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

SCHEMA DU RESEAU DE L'OUEST ALGERIEN

3.0 - Schéma du réseau en 1995.



MHC 5x1

OUS

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

SOUS RESEAU ZAH/REL/BHE/MAS (7 NOEUDS)

TABLEAU COMPARATIF DES PUISSANCES ET DES PERTES

VARIANTE	Avec ligne 60 kV REL/BHE sous tension						Avec ligne 60 kV REL/BHE hors tension					
	Sans compensation		+ 10 MVAR à MAS		Gain en puissance		Sans compensation		+ 10 MVAR à MAS		Gain en puissance	
	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)
Unités	429,8	237,6	428,9	221,5	0,9	16,1	431,1	265	429,6	224,9	1,5	40,1
Puiss Noeud Bhan	463,1	242,4	462,3	235,8	0,8	6,6	462,6	228,2	461,1	238,3	1,5	-10,1
Puiss produite	457,8	231,3	457,9	228,7	0,1	2,6	456,2	250,3	456,2	229,1	0	21,2
Puiss planifiée	1,4	-4,2	1,4	-4,4	0	0,2	1,5	-3,5	1,4	-0,4	0,1	-3,1
Pertes 220 msh/2sh	0,3	-13,6	0,3	-13,8	0	0,2	0,4	-12,8	0,2	-14,1	0,2	1,3
Pertes 220 msh/rel	0,6	15,3	0,6	14,3	0	1	0,7	17,3	0,6	15,8	0,1	1,5
Pertes TR msh	0,5	8,2	0,5	7,7	0	0,5	0,5	0,7	0,4	0,3	0,1	2,4
Pertes TR rel	1,2	2,9	0,8	2	0,4	0,9	2,2	5,7	1,5	3,8	0,7	1,9
Pertes 60 msh/bhe	0,3	0,1	0,3	-0,1	0	0,2	0	0	0	0	0	0
Pertes 60 rel/bhe	1	2,3	0,6	1,3	0,4	1	1,1	2,6	0,6	1,4	0,5	1,2
Pertes 60 bhe/mas	5,3	11	4,5	7	0,8	4	6,4	18	4,7	12,8	4,7	5,2
Pertes totales												

SOUS RESEAU ZAH/REL/BHE/MAS (7 NOEUDS)

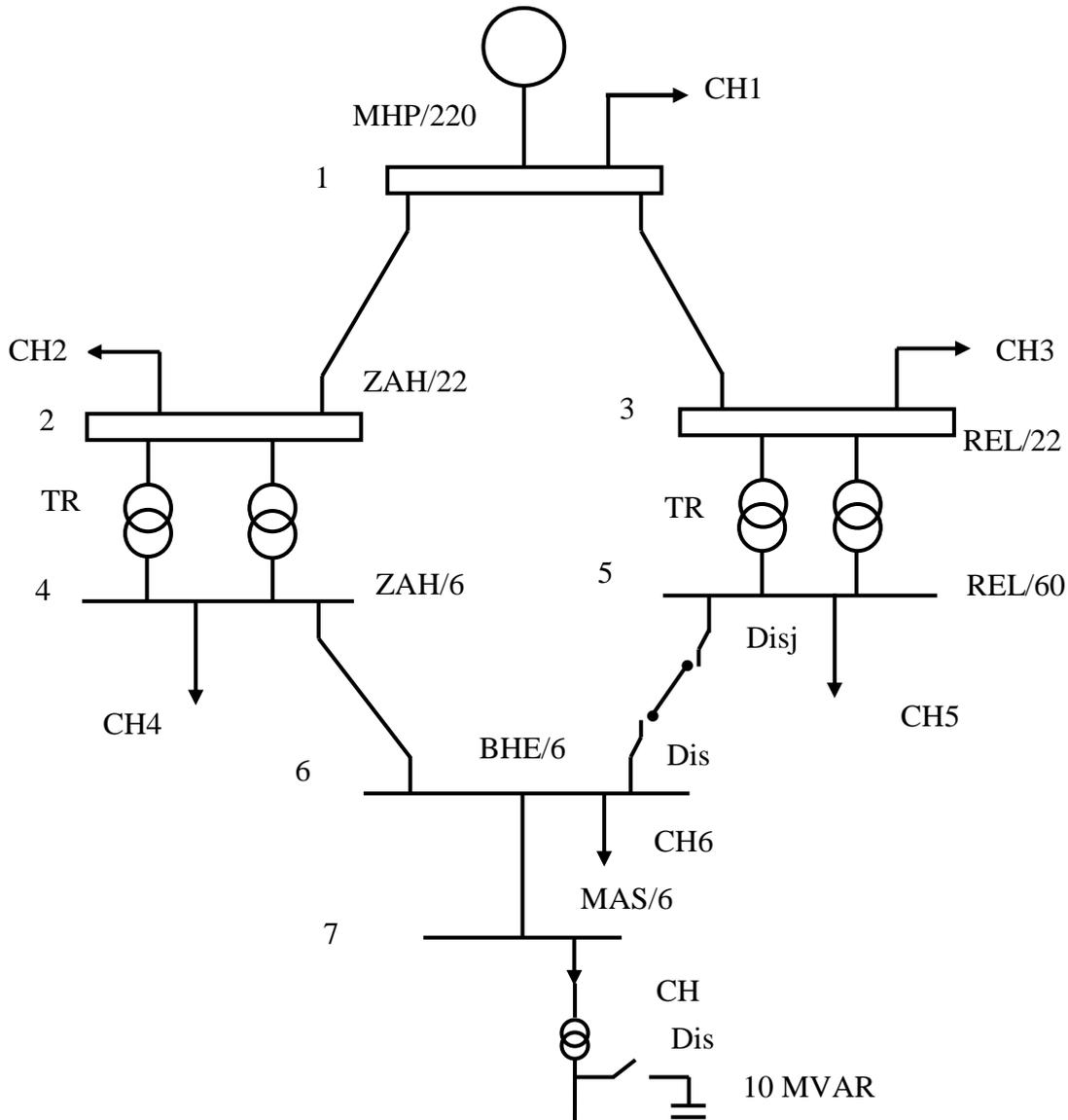
TABLEAU COMPARATIF DES TENSIONS

NOEUD	Avec ligne 60 kV REL/BHE sous tension					Avec ligne 60 kV REL/BHE hors tension					
	U1(kV)		U2(kV)		Amélioration de tension en %	U1(kV)		U2(kV)		Amélioration de tension en %	Gain en kV U2 - U1
	Sans compenser	Avec +10mvar	Sans compenser	Avec +10mvar							
1 - MHP/220	239	0°	239	0°	0,00	239	0°	239	0°	0,00	0
2 - ZAH/220	234	-1,6°	235,1	-1,4°	0,47	234,4	-1,7°	234,9	-1,5°	0,21	0,5
3 - REL/220	232	-1°	232,7	-0,9°	0,30	229,8	-0,7°	233,1	-0,8°	1,44	3,3
4 - ZAH/60	63,5	-6,7°	64	-6,7°	0,79	63,1	-7,1°	63,8	-7°	1,11	0,7
5 - REL/60	61,9	-6,1°	62	-6°	0,16	60,1	-5,2°	62,5	-5,2°	3,99	2,4
6 - BHE/60	58,2	-10°	60,4	-9,3°	3,78	56	-12°	59,3	-11,2°	5,89	4,3
7 - MAS/60	53	-14,2°	58,1	-14,3°	9,62	50,5	-16,1°	56,9	-17,4°	12,67	6,4

NB: Position Régleur, à ZAH : 14
Position Régleur, à REL : 12

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

SCHEMA DU SOUS RESEAU ZAH/REL/BHE/MAS



ZAH : Zahana

REL : Relizane

BHE : Bouhenni

MAS : Mascara

MHP : Marsat-El-Hedjaj

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

Interprétation

La compensation de l'énergie réactive par une batterie de condensateur de 10MVAR a mascara nous permet d'avoir des niveaux de tensions augmentés dans le réseau réduit que dans le réseau entier, et ceci due à l'assimilation des transits des lignes considérées comme des charges. Cette dernière nous permet d'avoir des résultats rapprochés théoriquement.

Les pertes actives sont autant plus grandes pour 59 nœuds que pour 7 nœuds. Par contre pour les pertes réactives, on remarque le phénomène capacitif car les lignes fournissent du réactif.

D'après les tableaux qui représentent le réseau réduit à 7 nœuds on remarque qu'après compensation on a 15% de diminution des pertes actives et 35% de réactives ainsi que la tension a mascara a augmenté de 9,5% et ceci pour le cas où la ligne REL/BHE est sous tension par contre les pertes actives diminuent de 26,5% et les réactifs de 29% dans le cas où la ligne REL/BHE est hors service avec une tension qui a augmenté de 12% a mascara

Conclusion sur résultats obtenues

D'après la relation suivante :

$$\Delta U = \frac{RP + XQ}{U} = \frac{RP}{U} + \frac{XQ}{U}$$

Sur les réseaux de transport, les pertes de tension sont dues essentiellement en terme $\frac{XQ}{U}$ parce que $R \ll X$.

La cause de la chute de tension c'est due au transit de la puissance réactive.

La compensation dans la chute de mascara réduit le transit de la réactive sur la ligne MAS/BHE donc, elle contribue à réduire la chute de tension, c'est relever la tension au poste de BHE

Dans ce dernier poste, la tension de la puissance réactive diminue sur la ligne BHE/ZAH donc relever la tension au poste de ZAH même chose pour BHE/REL.

Après compensation on remarque une réduction des pertes actives et réactives.

$$P = 3RI^2 = R \frac{P^2 + Q^2}{Q^2} \text{ Sont importantes dans le réseau de répartition}$$

Chapitre V : Effet de la compensation de l'énergie réactive sur les postes adjacents

Si la puissance réactive transite diminue le carré du courant transite diminue donc les pertes active chutent

Conclusion

Les problèmes de tenue de la tension et de la compensation de l'énergie réactive sont différents selon que l'on se situe au niveau du segment transport-répartition ou au niveau de la distribution.

Les moyens de compensation et de réglage à mettre en œuvre doivent faire face aux fluctuations périodique liées à l'évolution journalière des transites des puissances et aussi aux variations brusques liées aux incidents sur le réseau

Dans ce chapitre les résultats obtenus nous insrtreut que dans une ligne en autene il y a toujours des chutes de tension.

Donc la compensation de l'énergie réactive par l'emplacement de batterie de condensateurs est indispensable

Conclusion

générale

Conclusion générale

L'étude faite sur l'effet de la compensation de l'énergie réactive dans les réseaux électriques mais a conduit de développer quelques conclusions concernant notre P.F.E. le transit de la puissance réactive provoque la diminution de la tension et l'accroissement des pertes actives dans le réseau. Alors en tenant compte du critère technique et économique, le transport de puissance réactive à longue distance peut être non justifié ni techniquement ni économiquement et pour diminuer la transmission de cette énergie réactive on installe les sources d'énergie réactive à proximité des consommateurs.

Si le réseau de transport est faiblement chargé, on peut avoir surplus de puissance capacitive qui provoque l'augmentation de tension dans les postes au-dessus de sa valeur admissible. Alors, pour d'un cote diminuer cette puissance capacitive et d'autre cote tenir la tension dans les bornes acceptable :

- On doit débrancher les sources locales de puissance réactive installée à ce réseau.

Si cette dernière solution est insuffisante, on installe des selfs.

Bibliographique

Bibliographique

Bibliographique

[1] PIERE MEYNAUD « Compensation de l'énergie réactive et tenue de la tension sur les réseaux de transport THT et HT » Technique de l'ingénieur, D4315 ,1986.

[2] Boudjella Houari, « Contrôles des puissances réactives et des tensions dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC) », thèse de magister, département électrotechnique, Université de Sidi Bel-Abbes, 23janvier 2008

[3] CHAUVIN ARNOUX, «Compensation d'énergie réactive», paris2014.

[4] Gérard GAY ‘la compensation de l'énergie réactive’ 'Intersection : le magasin Schneider Electronique de l'enseignement technologique et professionnel. N° :16 novembre 2006

[5] ean VERSEILLE ‘Circulation d'énergie réactive’ 'Technique de l'ingénieur N° : D4300- Mars 1992.

[6] Philippe SERRAND et Jean VERSEILLE ‘ compensation de la puissance réactive et tenue en tension dans les réseaux publics’' Technique de l'ingénieur N° : D4305- Juin1986.

[7] /SCHNEIDER ELECTRIC, «La compensation de l'énergie réactive », Guide technique, N°16 - Novembre 2006.

[8] SCHNEIDER ELECTRIC, «Solutions de compensation d'énergie réactive et filtrage d'harmoniques», Guide technique.2013