

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique

Université 08 Mai 1945 -Guelma-

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique



7.10

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Science Et Technique

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Réseaux Electriques

Variations de la tension et compensation de la puissance réactive dans un réseau électrique HT

Présenté par :

- Slimane Ben Ali Asma
- Arbaoui Sara

Sous la direction : Mr. Boudefel Amar

Juin 2011

Remerciement



Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aide de près ou de

Loin à élaborer ce modeste mémoire, particulièrement à notre

M. « Boudefel Amar » qui nous dirigé avec volonté sérénité et patience, et pour

Nombreux conseils qui et donné.

En guise de ne connaissance et gratitude nous tenons à remercier tous nos

Enseignants et l'occurrence M. « Gouaidia » pour le soutien qu'il nous apporté

Durant mes ne cherches.

Pour tous ceux qui ont contribué de près de loin à la réalisation de ce mémoire.

Sara

Asma

Dédicace

Aux Nom du dieu le cléments le miséricordieux

Pour le pouvoir qui a donnée à fin de réalisé ce modeste travail ;

-je dédie ce travail particulièrement à mes chères parents avec toutes mes

Affections et mes respects. que dieux les bénisse et les garde.

-A mes frères: Salah, Moustafa, Nadjibe.

- A mes sœurs: Rana, Amina

- A mes amies: Zoulikha, Amina, Lamia

-A mes collègues de travail: Sara

Sons oublier tout la famille-Slimane

A toute promotion 2011

ASMA

Dédicace

Aux Nom du dieu le cléments le miséricordieux

Pour le pouvoir qui a donnée à fin de réalisé ce modeste travail ;

-je dédie ce travail particulièrement à mes chères parents avec toutes me

Affections et mes respects. que dieux les bénisse et les garde.

-A ma grande mère et mes tentes sihem et hassina

-A mes frères: Khaled, Karim, Faiz, Omar

A mon petite frères: Ayoub, Abed rahanne.

- A mes sœurs : Jehayna, Manar, Soumia

- A mes amies: Amira, Amina, ahlem.

-A mes collègues de travail: Asma

Sons oublier tout la famille. Arbaoui

A toute promotion 2011

SARA

Sommaire

Introduction

Chapitre I

I- types de variation de la tension.....	1
I-1- Introduction.....	1
I-2- Tension optimale d'un réseau électrique.....	1
I-3- Classement de la variation de tension	1
I-3-1- Variation périodique.....	1
I-3-2- Les variations aléatoires.....	2
I-3-3- Variations brusques.....	2
I-3-4- Les creux de la tension.....	2
I-4- Les surtensions.....	2
I-4-1- Définition.....	2
I-4-2- Origine des surtensions.....	2
I-4-2-1- Surtensions d'origine interne.....	3
I-4-2-2- Surtensions d'origine externe.....	4
I-5- Effets des surtensions.....	6
I-6- Les types des contraintes.....	6

Chapitre II

II- Relation entre ($P-f$) et ($Q-V$).....	8
2-1- Relation entre la fréquence et la puissance active	8
2-1-1- Introduction	8
2-1-2- Principe du réglage primaire.....	8
2-1-3- Principe du réglage secondaire.....	9
2-2- Réglage de la tension et de la puissance réactive.....	10
2-2-1- Puissance transmise entre deux sources.....	10
2-2-2- Expression de la chute de tension.....	11
2-2-3- Relation entre tension et puissance réactive dans un nœud.....	13

Conclusion

Chapitre III

III- Base du réglage de la tension.....	16
3-1- Principe de réglage	16
3-2- Différents moyens de réglage	16
3-2-1- Augmentation de la tension de départ.....	17
3-2-2- Diminution de l'impédance de la ligne.....	17
3-2-3- Agir sur le transit de l'énergie réactive.....	17
3-3- Elément de réglage de la tension.....	18
3-3-1- Générateur synchrone.....	18
3-3-2- Compensateur synchrone.....	18
3-3-3- Batterie de condensateurs.....	19
3-3-4- Transformateurs réglables.....	22
3-3-5- Compensateur statique à semi-conducteurs.....	22

Chapitre IV

IV- Test et application.....	23
4-1- Réseau à calculer.....	23
4-2- Méthodes de calcul des réseaux électriques.....	25
4-3- Description du programme de la méthode de Newton-Raphson.....	
4-3-1- Calcul du régime initial.....	
4-3-2- Calcul du régime futur.....	
4-4- Conclusion.....	26
4-5- Solutions proposées aux réseaux futurs.....	26
4-5-1- Augmentation de la tension de départ.....	
4-5-2- Compensation de la puissance réactive	26
4-5-3- Augmentation de la tension nominale.....	
4-6- Conclusion.....	27

Chapitre V

V- Protection	30
5-1- Introduction.....	30
5-2- But de protection	30
5-3- Choix du système de protection	31
5-4- Conditions imposées aux systèmes se protection.....	31
5-5- Caractères de défaut.....	32
5-5-1- Définition.....	32
5-5-2- Causes.....	32
5-5-3- Conséquences des défauts.....	32
5-6- Classification de défaut	32
5-6-1- Suivant leur emplacement.....	33
5-6-2- Suivant leur durée et leur difficulté d'élimination.....	33
5-6-3- Suivant leur nature.....	33
5-7- Les différents types de protection.....	34
34	
5-7-1- Protection à maximum de courant.....	34
5-7-2- Protection directionnelle de courant.....	34
5-7-3- Protection à distance.....	34
5-8- Protection contre les surtensions.....	34
5-8-1- Généralités.....	34
5-8-2- Dispositifs de protection contre les surtensions.....	34
5-8-2-1- Eclateur.....	34
5-8-2-2- Les types éclateur.....	35
5-8-2-3- parafoudre.....	36
Conclusion générale	

Introduction

L'énergie électrique et l'une des énergies les plus utilisées dans le monde entier, elle joue un rôle très important dans la vie économique et sociale de chaque pays.

L'énergie électrique est produite, transportée suivant des principes simple et cela grâce aux propriétés des phénomènes électromagnétiques.

Les système électroénergétiques sont par définition des systèmes ayant pour objet de produire, transporter et distribuer uniquement de l'énergie électrique.

Le but de ces systèmes et d'apporter aux consommateurs l'énergie dont ils ont besoin à n'importe quele moment et dans de bonne qualité.

La continuité de la fourniture disponible à tout instant constitue la qualité primordiale du service rendu à l'utilisateur.

Les réseaux de transports et de distributions de l'énergie électrique sont le siège d'un certain nombre d'incidents provenant de défauts d'isolement de sconducteurs entre eux, ou par rapport au sol, les courants de courts circuits qui résultent de l'existence de ces défauts peuvent atteindre des valeurs élevée, ils créent dans les lignes électriques des chutes de tensions importante dont la durée est liée ou temps d'élimination des défauts.

Les répercussions des chutes de tensions intéressent principalement les postes de transformation, les moteurs, et les machines qu'ils entraînent et enfin, l'appareillages de commande, les moteurs sont sensibles à la fois à la nature et à la durée de la baisse de tension et de plus réagissent au retour à la tension nominale. Ces inconvénients s'accroissent de plus en fonction de la durée de la baisse de tension, le moteur peut ralentir progressivement et, finalement s'arrêter si la chute de tension se prolonge, la machine qu'il entraîne subit évidemment ces répercussions et la qualité de production peuvent s'en ressentir.

En conséquence, le distributeur fait tous ses efforts pour limiter le nombre et la durée des chutes de tensions, l'utilisateur doit de son côté, choisir et adopter les matériels de protection de ses installations pour en réduire les conséquences.

Position de problème

Dans notre travail on a présenté les principales causes de la chute de tension et ces répercussions sur le fonctionnement des réseaux électriques, après ça on a fait une application sur un réseau électrique haut tension (HT) et on a utilisé comme solution pour l'amélioration du régime de fonctionnement la compensation de la puissance réactive.

Dans le dernier chapitre on a présentés les moyens de protection utilisés dans les réseaux électriques (HT).

Chapitre I

I- Types de variation de la tension

1-1- Introduction :

La qualité de la tension distribuée aux installations utilisatrices d'électricité est un souci partagé tant par les industriels, dont certains équipements peuvent être sensibles aux non qualités, que par les distributeurs d'électricité soucieux de la satisfaction de leur clientèle.

On peut noter que la dérégulation du marché de l'électricité complique la tâche des transporteurs et des distributeurs d'électricité en matière de qualité. Par ailleurs, on constate que la multiplication des applications, d'une part, de plus en plus sophistiquées et d'autre part, plus puissantes ont une influence sur la qualité de la tension.

1-2- Tension optimale d'un réseau électrique :

Chaque appareil récepteur de l'énergie électrique a une tension à laquelle le fonctionnement est meilleur, dite tension optimale.

1-3- Classement de la variation de tension :

1-3-1-Variation périodique :

Ils sont dus aux variations de la charge entre les heures creuses et les heures pointées de la journée. Les variations périodiques sont prévisibles, donc peut connaître d'avance la tension probable aux heures de pointes heures creuses.

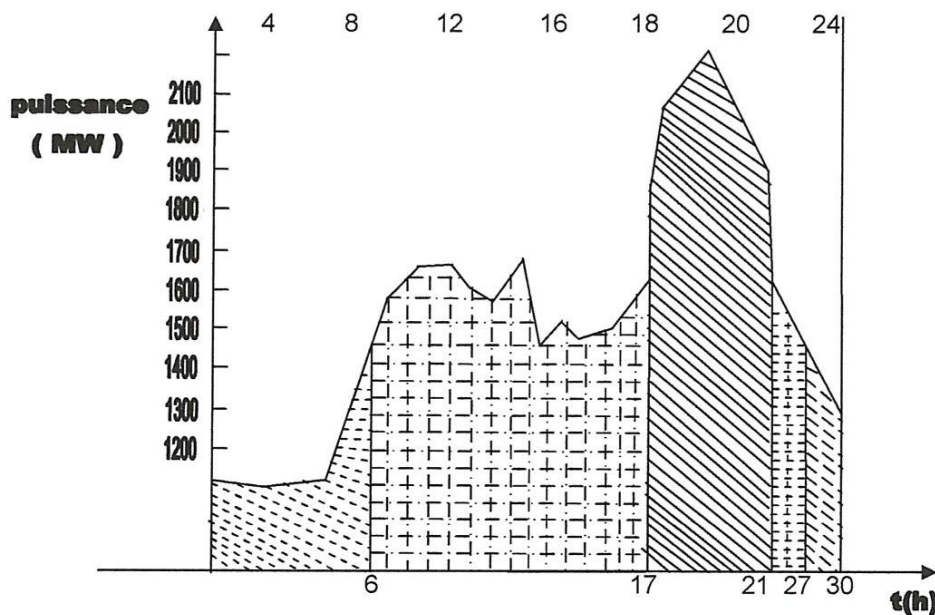


Fig.1.1: Graphique de charge

1-3-2- Les variations aléatoires :

Proviennent de la différence entre le niveau des charges consommées et le niveau prévu, ainsi que la mise en ou hors service des charges sont considérés comme des fluctuations permanentes.

1-3-3- Variations brusques :

Dans les conditions d'exploitation usuelles, la tension entre phase ne dépasse pas la valeur de la tension la plus élevée du réseau mais des valeurs plus élevées peuvent être temporairement atteintes en cas de coupure brusque de charge actives et réactives importantes.

1-3-4- Les creux de la tension :

Ils ont des durées très courtes et amplitudes très diverses, leur répercussion sont semblables à celle des interruptions de service.

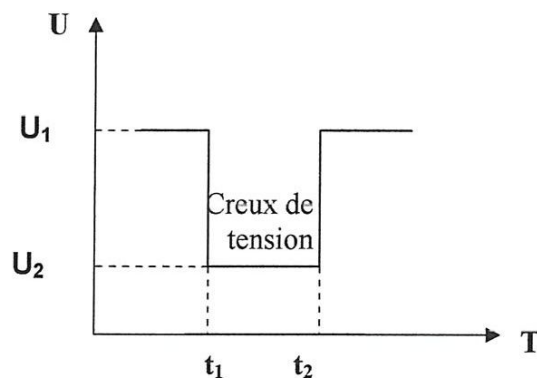


Fig-1-2- Creux de tension

1-4- Les surtensions :**1-4-1- Définition :**

On qualifie de surtension, toute tension fonction du temps entre un conducteur de phase et la terre ou entre deux conducteurs de phase, dont la ou les valeurs de crête dépassent la valeur de crête ($U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ ou $U_m \sqrt{2}$ respectivement), correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel.

1-4-2- Origine des surtensions :

On distingue d'abord :

- Les surtensions d'origine externe, dont la cause est extérieure au réseau, essentiellement dues à la foudre ;
- Les surtensions d'origine interne, dont la cause réside dans le fonctionnement (correct ou défectueux) de l'un des appareils constituant le réseau (disjoncteur, interrupteur, sectionneur, etc.)

1-4-2-1- surtension d'origine interne :

Ces surtensions résultant d'un changement de régime en un point d'un réseau ; elle sont d'autant plus importantes que le changement est plus rapide.

a. Surtensions internes temporaires :

Les surtensions internes temporaires dépendent des génératrices, des utilisateurs et des caractéristiques du réseau électrique.

b. Surtensions internes de manœuvre :

Les surtensions internes dépendent uniquement des caractéristiques propres du réseau électrique, des génératrices et des utilisateurs raccordés. Elles se manifestent par des ondes de choc ou des oscillations amorties assimilées conventionnellement à l'onde de choc positive ou négative normalisée.

c. Surtensions internes de résonances :

Les résonances sont des phénomènes périodiques entretenus ou non qui constituent en définitive en des échanges alternés d'énergie réactive entre des champs magnétiques et des champs électriques.

La phénomènes de résonance se traduire donc toujours par des oscillations importantes d'au moins une tension en un point du réseau, point nécessairement situé entre une inductance et une capacitance. Alors les capacitances existant dont les réseaux ont toujours un valeur indépendante de la tensions, il n'en est pas de même des inductances des quelles ont un noyau de fer. Les résonances à 50 hertz feront donc apparaître cette (non linéarité) des circuits magnétiques. On les dénomme sous le terme général de ferrorésonances.

- ferrorésonances :

Pour un circuit série l'impédance du circuit sera :

$$Z = R + j \left(L\omega - \frac{1}{c\omega} \right)$$

Et la résonance aura pour la fréquence f_r telle que $Lc\omega^2 = 1$ avec

$$\omega = 2\pi f$$

- Résonances harmoniques :

Les tensions harmoniques font apparaître des courants très élevés à chaque fois qu'elles sont appliquées à des impédances faibles. Si dans un circuit on trouve en série une inductance l et une capacité, il y'a "résonance sur l'harmonique de rang h " si :

$$\frac{1}{Lwh} = cwh \quad \text{Où} \quad \frac{1}{h^2} = Lc\omega^2.$$

Avec ω pulsation fondamentale égale 314

d. Surtensions résultant de défaut à terre :

Lorsque le point neutre d'un réseau est isolé, un défaut franc à la terre sur l'un des phases portes les deux autres phases à la tension composée par rapport à la terre si le défaut sont résistances, les arcs à la terre créent réamorçage des trains d'onde à tension élevée atteignant jusqu'à 4 ou 5 fois la tension nominale ;

L'arc est alors traversé par le courant de capacité de la ligne ou du câble.

Dans le cas où le point neutre est relié à la terre, l'arc se traduit au contraire par un court-circuit et son élimination rapide évite des réamorçages.

Les surtensions résultant des défauts à la terre constituent un des graves inconvénients des réseaux à neutre isolé.

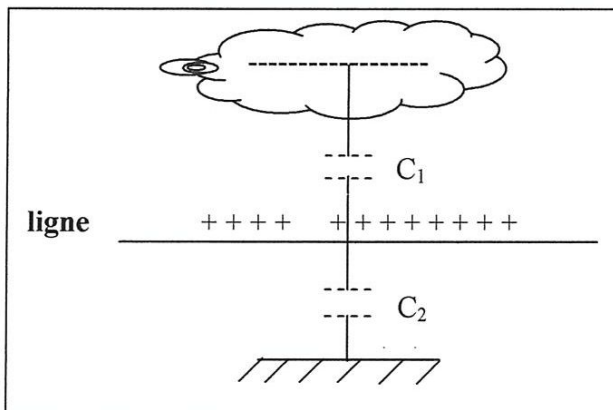
1-4-2-2- les surtensions d'origine externe :

Ces surtensions sont indépendantes de la tension de service du réseau.

a) Surtensions résultant de contacts entre réseaux à tensions différentes :

Ces surtensions sont dues à des contacts entre conducteurs ou à des transformateurs. Les règles de construction des réseaux et des transformateurs permettent de réduire considérablement le risque de telles surtensions.

b) Surtension résultant de charges électrostatiques :



Une ligne électrique bien isolée intercalée entre le Nuage et la terre déforme les lignes de force du champ électrique.

Des charges égales et de signe contraire à celles du Nuage se concentrent sur la ligne de la zone voisine du nuage.

Si l'on désigne par C_1 et C_2 les capacités "nuage-ligne" et "ligne-sol" et par V_0 , V_1 les potentiels respectifs du nuage et de la ligne,

Fig -1-3 : Surtension résultant de charges électrostatiques

On peut écrire :

$$(V_0 - V_1)C_1 = V_1.C_2$$

$$\Rightarrow V_0.C_1 = V_1.C_1 + V_1.C_2$$

$$\text{D'où : } V_1 = C_1.V_0 / (C_1 + C_2)$$

Comme C_1 est faible par rapport à C_2 , V_1 reste modéré et n'atteint que très rarement 100Kv. Si la ligne était reliée au sol, son potentiel V_1 serait nul.

c) Surtensions résultant de coups de foudre directs :

Lorsque le champ électrique dû à des nuages électrisés dépasse 500Kv/m, une décharge électrique se produit entre les nuages et le sol, il s'agit d'un coup de foudre. Les courants de décharge ont des intensités maximales qui varient de quelques dizaines à quelques centaines de KA, mais dont la valeur moyenne est voisine de 50 KA.

a/ lorsque un coup de foudre atteint un conducteur de phase d'une ligne électrique, la tension correspondante au courant de décharge I a pour valeur transitoire $U = Z_C I / 2 Z_C$:

impédance caractéristique de la ligne ou l'impédance d'onde de la ligne $(L/C)^{1/2}$ une telle surtension provoque un amorçage local que peut ; si les résistances de terre sont élevées se généralise à d'autres phases .

b/ lorsque un coup de foudre atteint un conducteur de terre ou un support de ligne électrique ; la surtension qui prend naissance est proportionnelle à la résistance de terre, si cette dernière est importante, un amorçage peut se produire aux bornes des isolateurs. Les lignes MT sont particulièrement sujettes à ces amorçages, car la tension qui se développe aux bornes des isolateurs pour une résistance de terre de 20Ω du support est $U = 20 \cdot 50 \cdot 10^3 = 1000 \text{Kv}$.

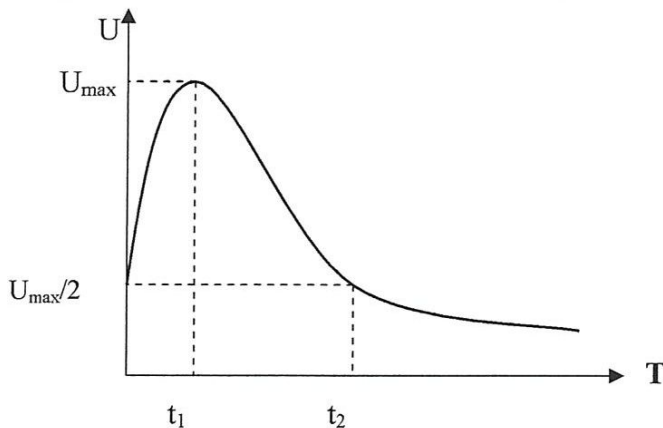


Fig -1-4 : Surtension due à la foudre

Les surtensions dues à la foudre ont la forme représentée par la figure ci-contre ; la durée front t_1 est de quelques microsecondes alors que la durée de la décroissance jusqu'à la demi-amplitude varie de 20 à 200 microsecondes.

d) Surtension résultant de coups de foudre indirects :

Les coups de foudre qui frappent un point au voisinage d'une ligne électrique produisent des surtensions par induction électromagnétique due au courant de décharge. Ces surtensions sont beaucoup moins dangereuses que celles résultant des coups de foudre directs.

1-5- Effets des surtension :

Les surtensions augmentent les contraintes diélectriques auxquelles sont soumis les isolants, ce qui a pour conséquence un vieillissement exagéré de ceux-ci et éventuellement leur destruction.

L'isolation du matériel supporte deux sortes de contraintes :

- Les contraintes permanentes correspondant à la tension de service,
- Les contraintes fugitives résultant des surtension.

1-5-1- contraintes correspondant à la tension de service :

L'application permanente de la tension de service entraîne une fatigue de l'isolant ; pour que celle-ci demeure acceptable, il est nécessaire que le champ électrique ou gradient de la tension, demeure inférieur à une valeur particulière appelée gradient de seuil d'ionisation.

Les essais effectués sur le matériel neuf doivent donc imposer des contraintes supérieures à celles existant normalement à la tension de service afin de tenir compte de la dépréciation de l'isolement.

1-5-2- Contraintes résultantes des surtensions :

Une surtension appliquée à un isolant donne naissance à une contrainte dont la valeur est liée à l'amplitude, à la durée de la surtension.

1-6- Les types des contraintes :

Il y'a deux types des contraintes :

a. Les contraintes transversales :

Les contraintes qui s'exercent sur l'isolement entre conducteurs raccordés à des phases différentes d'un réseau.

Un réseau ou encore ces conducteurs et la masse s'appelle contraintes transversale ; au-delà d'une certaine limite, elle entraîne le claquage du diélectrique assurant l'isolement.

La contrainte transversale dépend surtout de l'amplitude de la surtension ; elle est dangereuse pour la totalité de l'appareillage.

b. les contraintes qui s'exercent sur l'isolement placé entre deux portions voisines d'un même conducteur ; lorsque ce conducteur est bobiné s'appelle contrainte longitudinale ; au-delà d'une certaine limite elle entraîne la perforation de l'isolant.

- une surtension se propage sur les conducteurs avec une vitesse $V=(LC)^{1/2}$.

Les surtensions à front raide qui ont un amortissement rapide agissent fortement sur les parties de réseau voisines, de l'endroit où elles prennent naissance ; par contre les surtensions à évolution lent ; intéressent davantage l'ensemble du réseau.

Chapitre II

Relation entre (P-f) et (Q-V)**2-1-Relation entre la fréquence et la puissance active :****2-1-1- Introduction :**

Tout écart entre la puissance électrique appelée par un réseau et la puissance mécanique fournie par les machines d'entraînement des alternateurs provoque des variations de vitesse de ces derniers, donc de la fréquence du réseau.

Le problème de l'adaptation, à tout instant, de la production à la demande est donc intimement lié à celui du réglage de la fréquence on distingue deux types de réglage :

- **Le réglage primaire**, qui agit localement sur chaque groupe de production, assure, de façon automatique, la correction de l'écart entre production et à un nouvel équilibre dans l'ensemble, du réseau interconnecté, mais à une fréquence de fonctionnement différente de la fréquence de référence.

- **Le réglage secondaire**, également automatique agit après le réglage primaire. Il a pour fonction de rétablir la fréquence de référence et les échanges contractuels entre réseaux interconnectés. Le réglage secondaire est du type centralisé.

2-1-2- Principe du réglage primaire :

Le Principe du réglage primaire consiste à répartir les fluctuations de la charge (dont la fréquence est l'image) sur les capacités nominales des groupes. C'est un réglage de vitesse individuel de chacun des groupes qui, en définitive, fait produire par un groupe quelconque i la puissance P_i

Ou :

$$\frac{P_i - P_{oi}}{P_{ni}} = \frac{1}{S_i} \frac{f - f_0}{f_0} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$\frac{\Delta P_i}{P_{ni}} = \frac{1}{S_i} \frac{\Delta f}{f_0} \dots\dots\dots(2-2)$$

- f : fréquence du réseau correspondant au fonctionnement à la puissance P_i ;
- f_0 : fréquence de consigne du réseau ($f_0=50$ hertz) ;
- P_i : puissance débitée par le groupe i ;
- P_{0i} : puissance programmée du groupe i pour la fréquence f_0 ;
- P_{ni} : puissance nominale du groupe ;
- S_i : Statisme permanente du régulateur du groupe i .

Donc on voit qu'avec ce système de réglage, la fréquence du réseau subissait des variations liées à celles de la puissance totale appelée P , par la relation :

$$\left. \begin{aligned} \frac{df}{f_0} &= -S_i \frac{dP_i}{P_{ni}} \\ \text{Où } dP_i &= -Kdf \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-3)$$

S : étant le statisme équivalent du réseau ($S = 0.05$ à 0.2); K : l'énergie réglant (en MW/Hz) du réseau.

2-1-3- Principe du réglage secondaire :

Pour corriger les défauts du réglage primaire, il faut attendre à la fois plusieurs groupes (sinon tout). Le réglage secondaire sera donc nécessairement un réglage centralisé.

La solution généralement adaptée sur les réseaux interconnectés est le principe de réglage dit de fréquence- puissance (sous-entendu puissance échangée) qui donne à tous les réseaux un rôle identique vis-à-vis du réglage. Dans cette méthode, on mesure l'écart Δf de la fréquence par rapport à sa valeur de consigne, et, pour chaque réseau, l'écart ΔP_i entre la puissance totale P_i échangée effectivement par ce réseau avec tous ses voisins et la valeur programmée de cette puissance.

Enfin, le réglage secondaire doit être lent, car il doit d'abord laisser agir le réglage de vitesse des groupes pour agir en suite sur leur "dispositif charge- vitesse" Si en agissait trop vite il pourrait en résulter des oscillations entretenues. La constante de temps du réglage secondaire est de l'ordre de la minute, ou même de plusieurs minutes.

2-2- Réglage de la tension et de la puissance réactive :

2-2-1- Puissance transmise entre deux sources :

Le circuit représenté par la figure (2-1) qui se compose d'un générateur de f-é-m $E \angle \delta$ interconnecté à un système de tension $V \angle 0^\circ$, nous permet d'exprimer les puissances échangées entre les deux sources A et B comme suit :

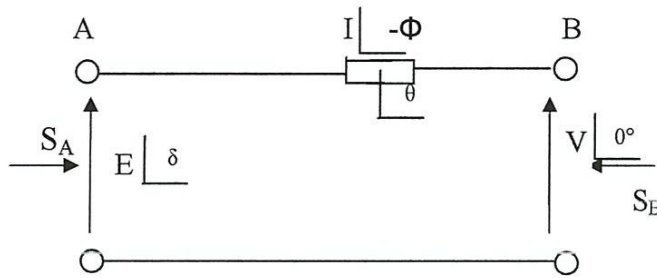


Fig-2-1 : Puissances échangées entre deux sources.

On a :

$$S_A = E \hat{I} = E \frac{(\hat{E} - \hat{V})}{\hat{Z}}$$

$$= E e^{j\delta} \frac{(E e^{-j\delta} - \hat{V})}{Z e^{-j\theta}}$$

$$= \frac{E^2}{Z} e^{j\theta} - \frac{EV}{Z} e^{j(\theta + \delta)}$$

$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} P_A &= \frac{E^2}{Z} \cos\theta - \frac{EV}{Z} \cos(\theta + \delta) \\ Q_A &= \frac{E^2}{Z} \sin\theta - \frac{EV}{Z} \sin(\theta + \delta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-4)$$

De même :

$$S_B = V \left(\frac{V - E e^{-j\delta}}{Z e^{-j\theta}} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} P_B &= \frac{V^2}{Z} \cos \theta - \frac{EV}{Z} \cos(\theta - \delta) \\ Q_B &= \frac{V^2}{Z} \sin \theta - \frac{EV}{Z} \sin(\theta - \delta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-5)$$

2-2-2- Expression de la chute de tension :

Déterminons maintenant l'expression de la chute de tension, pour ce la considérons, Le système suivant :

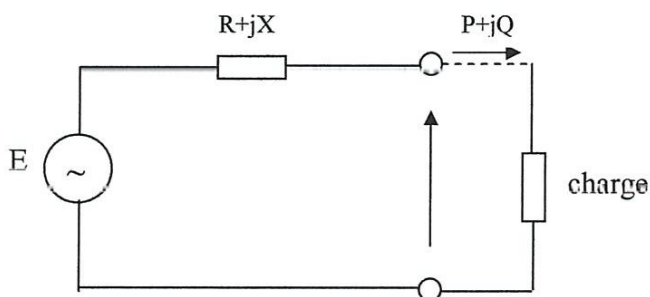


Fig-2-2 : Circuit simple alimentant une charge de puissance P+JQ.

Dont le diagramme vectoriel est :

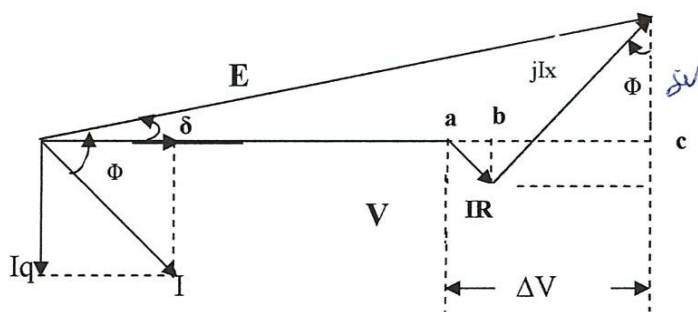


Fig. -2-3 : Diagramme vectoriel du circuit de la figure ci-dessus.

Du diagramme vectoriel on a ;

$$E^2 = (V + \Delta V)^2 + \delta V^2$$

Avec :

$$\begin{aligned} \text{Et} \quad \Delta V &= RI \cos \phi + XI \sin \phi \\ \delta V &= XI \cos \phi - RI \sin \phi \end{aligned}$$

$$\Rightarrow E^2 = (V + RI \cos \phi + XI \sin \phi)^2 + (XI \cos \phi - RI \sin \phi)^2$$

$$E^2 = \left(V + \frac{RP}{V} - \frac{XQ}{V} \right)^2 + \left(\frac{XP}{V} - \frac{RQ}{V} \right)^2 \dots \dots \dots (2-6)$$

Sachant que $P=VI \cos \phi$ et $Q=VI \sin \phi$ (en unité relative)

Donc

$$\Delta V = \frac{PR + QX}{V} \dots \dots \dots (2-7)$$

Et

$$\delta V = \frac{PX - QR}{V} \dots \dots \dots (2-8)$$

Donc l'expression complexe de la chute de tension :

Est :

$$\Delta \dot{V} = \Delta V + j\delta V$$

$$\delta V \ll \ll V + \Delta V$$

$$\Rightarrow E^2 = \left(V + \frac{PR + QX}{V} \right)^2 = \Delta V$$

$$\Rightarrow E - V = \frac{PR + QX}{V} = \Delta V$$

Donc on peut dire que la différence entre les modules des tensions : E et V es approximativement égale à :

$$\frac{PR + QX}{V}$$

Si : $R = 0$

Alors : $E - V = \frac{QX}{V} \dots\dots\dots(2-9)$

C.-à-d. que la tension dépend uniquement de la puissance réactive Q .

Et l'angle $\delta = \sin^{-1} (\delta V/E)$ dépend seulement de la puissance active P .

2-2-3- Relation entre tension et puissance réactive dans un nœud :

La tension V dans un nœud est en fonction des puissances P et Q , c -à- d

$$V = f(P, Q)$$

Donc le différentiel total de cette tension peut s'écrire :

$$dV = \frac{\partial V}{\partial P} .dP + \frac{\partial V}{\partial Q} .dQ \dots\dots\dots(2 - 10)$$

Et sachant que :

$$\frac{\partial P}{\partial V} . \frac{\partial V}{\partial P} = 1 \text{ et } \frac{\partial Q}{\partial V} . \frac{\partial V}{\partial Q} = 1$$

Ce qui donne

$$dV = \frac{dP}{(\partial P/\partial V)} + \frac{dQ}{(\partial Q/\partial V)}$$

D'après cette équation on voit que la variation de la tension dans un nœud est définie par les deux quantités :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right) \text{ et } \left(\frac{\partial Q}{\partial V} \right)$$

Par exemple pour la ligne ci-dessous d'impédance série $(R+jx)\Omega$ et admittance Shunt nulle. De l'équation (2-7) on a :

$$(V_1 - V)V - PR - QX = 0 \dots \dots \dots (2-11)$$

Avec V_1 , est la tension de la source qui est constante (JB de puissance infinie), et V la tension aux bornes de la charge qui dépend de P et Q (Fig. (2-4)).

De l'équation (2-11) on a :

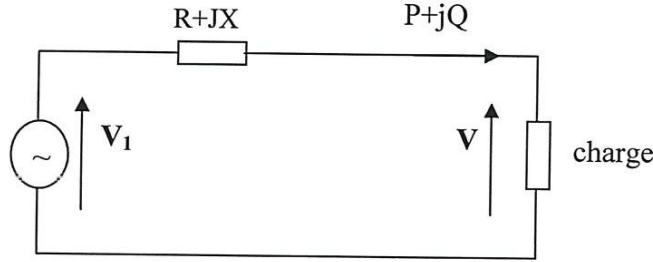


Fig-2-4 : Circuit monophasé équivalent d'une ligne alimentant Une charge de puissance $P+jQ$ à partir d'un jeu de barre de puissance infinie.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{V_1 - 2V}{R} \dots \dots \dots (2-12)$$

De même :

$$\frac{\partial Q}{\partial V} = \frac{V_1 - 2V}{X} \dots \dots \dots (2-13)$$

Donc :

$$dV = \frac{dP}{\partial P / \partial V} + \frac{dQ}{\partial Q / \partial V}$$

$$dV = \frac{dP.R + dQ.X}{V_1 - 2V} \dots \dots \dots (2-14)$$

Pour V et ΔV constantes on a :

$$RdP + XdQ = 0 \Rightarrow dQ = -\left(\frac{R}{X}\right)dP \dots \dots \dots (2-15)$$

La valeur de $\partial Q/\partial V$ est très importante, on peut la mesurer pratiquement par :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{Q_{avant} - Q_{apres}}{V_{avant} - V_{apres}} \dots\dots\dots(2-16)$$

Conclusion :

Les considérations précédentes permettent de dégager quelques conclusions fort importantes :

- Les réglages de la puissance active et de la fréquence sont étroitement liés (couplage P, f),
- Les réglages de la puissance réactive et de la tension sont également étroitement liés (couplage Q, V);
- Le réglage de la fréquence est global (en régime permanent, la fréquence est identique dans tous le réseau);
- Le réglage de la tension est local (la valeur de la tension de consigne peut être légèrement différente selon les points d'un réseau exploité à un même niveau de tension nominale);
- Les réglages (P, f), d'une part, et (Q, V), d'autre part, doivent être coordonnés dans le temps et dans l'espace.

Il convient enfin d'ajouter que, si le réseau n'est pas trop chargé, on peut admettre que les réglages (P, f) et (Q, V) sont largement découplés.

Il apparaît donc naturel d'organiser le réglage des systèmes électriques en respectant les deux principes suivants :

- découplage des réglages (Q, V) et (P, f);
- hiérarchisation de chaque réglage dans le temps et dans l'espace.

Chapitre III

III - Base du réglage de la tension :

3-1- Principe de réglage :

Les variations de puissance appelée par les abonnés sont à l'origine des variations de tension observée aux niveaux des jeux de barres d'un réseau électrique, la réduction de ces variations de tension constitue le problème du réglage de la tension.

Pour le résoudre, il faut d'abord définir les grandeurs caractérisant les variations de tension en un point donné d'un réseau, puis fixer le processus du réglage de tension dans un réseau et en fin dégager les notions permettant l'application de ce processus aux différents types de réseau électrique.

Prenons l'exemple d'un réseau simple suivant :

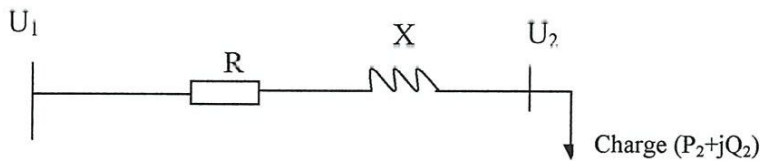


Fig-1 : Réseau simple à deux nœuds.

On a vu au chapitre que l'expression de la chute de tension peut être simplifiée

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx \frac{P_2 R + Q_2 X}{|U_2|}$$

L'examen des paramètres de cette équation montre que pour maintenir la tension U_2 dans les limites, admissibles pour une valeur donnée de la puissance active, on dispose de plusieurs solutions :

- Augmentation de la tension de départ U_1 .
- Diminution de l'impédance Z de la ligne.
- Agir sur le transit de l'énergie réactive.
- Compensation de la tension par une tension additionnelle.

3-2-Différents moyens de réglage :**3-2-1- Augmentation de la tension de départ :**

L'augmentation de la tension est un moyen de réduction des chutes de tension, mais on ne peut pas considérer comme un moyen de réglage, car la tension d'envoi est choisie en fonction de la longueur et de la valeur de la puissance à transiter.

3-2-2 -Diminution de l'impédance de la ligne :

Ceci peut s'obtenir de plusieurs façons :

1- Réduction de la longueur des lignes :

Puisque les utilisateurs de l'énergie électrique ont des lieux fixes donc il est nécessaire de rapprocher les sources d'énergies en implantant de nouveaux poste ce qui entraîne la réduction des chutes de tension.

2- La mise en parallèle de plusieurs lignes :

Soit suivant la même trace, ou suivant des traces différents qu'est le moyen général de renforcement des réseaux pour faire face aux augmentations de transit dans un réseau de distribution.

3- Réduction de la réactance X :

L'introduction d'un condensateur de capacité C en série sur chaque phase de ligne entraîne une modification de l'inductance x ; de sa valeur initiale $X = L\omega$ à la valeur : $X' = L\omega - 1/c\omega$

4- Réduction de la résistance R :

La réduction de la résistance s'obtient par l'augmentation de la section :

$R = \rho \cdot L / S$ La réduction de la résistance agit fortement sur les pertes des lignes, mais de façon négligeable sur les chutes de tension

3-2-3- Agir sur le transit de l'énergie réactive :

Le transit de l'énergie réactive est l'objet des chutes de tension trop important, Donc il est important d'éviter ce transport en fournissant l'énergie réactive par des moyens de compensation, soit des inductances s'il faut absorber de l'énergie réactive, Soit une combinaison (variables dans le temps). Des deux s'il faut alternativement en absorbant et en fournissant.

3-3- Elément de réglage de la tension :

3-3-1- Générateur synchrone :

Le réglage de la tension dans le réseau électrique peut s'effectuer de manière centralisée, au niveau du générateur synchrone, en faisant varier sa f.é.m. par variation du courant d'excitation.

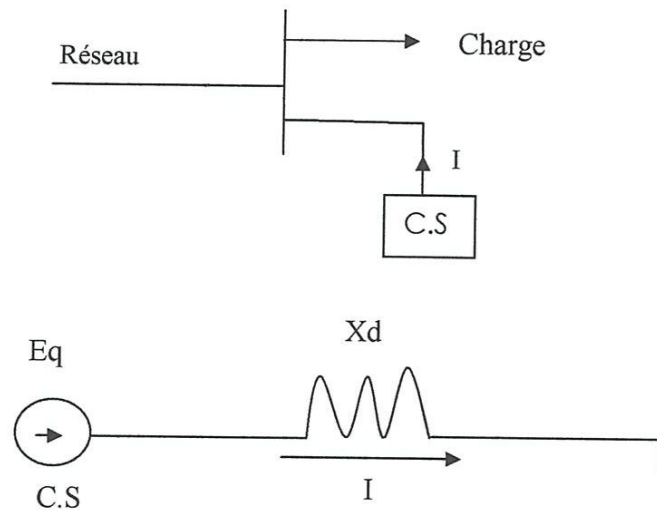
Le réglage de la tension dans ce cas est lié à la puissance réactive générée par la machine. Les générateurs synchrones sont les principales sources de la puissance réactive dans les systèmes électriques et sont un des moyens principaux de réglage de la tension. Leur possibilité de production de la puissance réactive est déterminée par les conditions admissibles de l'échauffement des bobines rotoriques et statoriques et de l'écart.

3-3-2- Compensateur synchrone :

Les compensateurs synchrones sont très utilisés dans les systèmes électriques pour résoudre des problèmes de compensation de la puissance réactive et de réglage de la tension.

Leur puissance peut atteindre 350 / 600 M VA et la tension 110 KV.

Le principe de leur fonctionnement est le même que celui d'un moteur synchrone sans charge (avec un arbre qui tourne à vide)



La puissance réactive du compensateur synchrone est définie

$$Q_{CS} = \sqrt{3} I \cdot U_{CS} = \frac{E_q - U_{CS}}{X_d} \cdot U_{CS}$$

3-3-3- Batterie de condensateurs :

Les batteries de condensateurs (B.C) sont très souvent utilisées dans les réseaux de distribution pour le réglage de la puissance réactive et de la tension, elle peut être utilisée dans les systèmes à tension jusqu'à 110KV.

A ce niveau particulièrement, et en générale, une BC est constituée par un système de condensateurs branchés en combinaison série -parallèle.

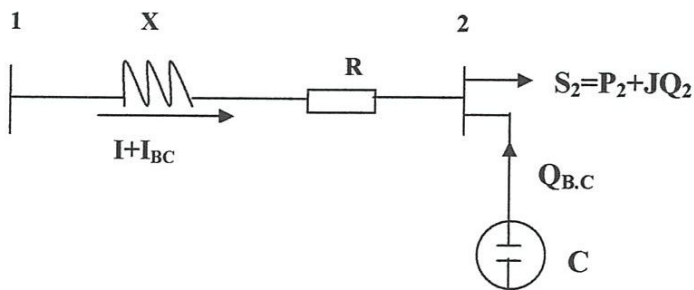
a- Installation parallèle (transversale) :

Pour un réseau de moyenne et haute tension la chute de tension avant le branchement de BC peut être s'exprime :

$$\Delta U \approx \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2}$$

Pour obtenir une tension admissible voulue aux bornes de la charge. On branche le BC ce qui donne :

$$\Delta U_{ad} = \frac{P_2 R + (Q_2 - Q_{BC}) X}{U_{2,ad}}$$



L'introduction de BC à relever la tension U_2 d'un écart égal à :

$$\Delta U_{B.C} = U_{2,ad} - U_2 = \Delta U - \Delta U_{ad}$$

Donc :

$$\Delta U_{B.C} = \frac{P_2 R + Q_2 \cdot X}{U_2} - \frac{P_2 \cdot R + (Q_2 - Q_{BC}) X}{U_{2,ad}}$$

ΔU fait que approximativement : $\frac{I}{U_2} \approx \frac{1}{U_{2.ad}}$ les deux premiers termes sont pratiquement

Les mêmes donc leur différence est négligeable par conséquent :

$$\Delta U \approx \frac{Q_{BC} \cdot X}{U_{2.ad}} \quad \text{Mais on a : } Q_{BC} = U_{2.ad}^2 \cdot wC$$

Donc : on a obtenu : $\Delta U_{BC} = w.C.X.U_{2.ad}$

$$\text{Ou bien en \% de } U_N : \Delta U_{BC\%} = \frac{w.C.X.U_{2.ad}}{U_N} \cdot 100$$

On peut alors calculer la valeur nécessaire de la capacité pour assurer l'écart voulue :

$$C = \frac{\Delta U_{BC\%}}{w.X.U_{2.ad}} \frac{U_N}{100} \cdot 10^{-2}$$

Pour relever la tension U_2 d'un écart quelconque ($\Delta U\%$), on peut analogiquement écrire :

$$\Delta U_{c\%} = \frac{w.C.X.U_{2.c} \cdot 100}{U_N}$$

$$\text{Ce qui donne : } C = \frac{\Delta U_{c\%}}{w.X.U_{2.c}} \frac{U_N}{100} \cdot 10^{-2}$$

Le triangle des puissances sera :

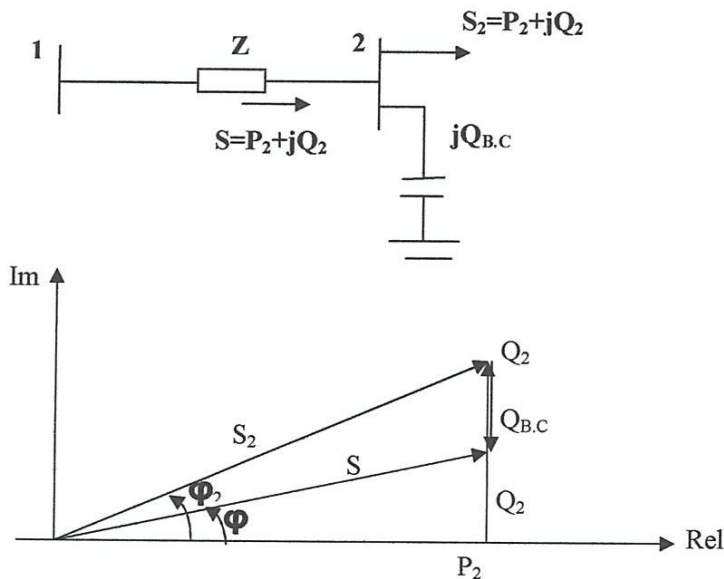


Fig-3 : Triangle des puissances.

On réglant la tension. On améliore en même temps $\cos\phi$ de la ligne (dans le point 2).

b- installation série (longitudinale) :

La variation de la tension peut s'effectuer par l'action sur la réactance du système ligne, il faudrait dans ce cas brancher la B.C en série avec la réactance du réseau :

Avant le branchement de B.C

$$U_2 = U_1 - \sqrt{3}I(r + jx)$$

$$= U_1 - \sqrt{3}Ir - j\sqrt{3}IX$$

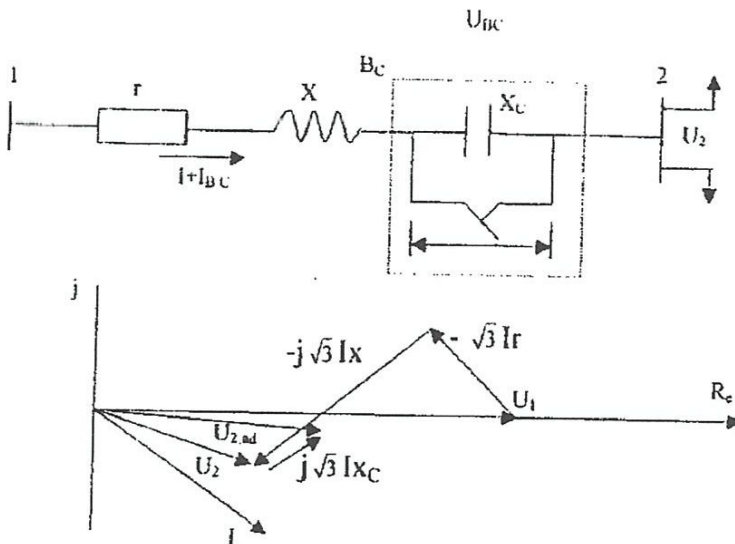
Après le branchement :

$$U_{2.ad} = U_1 - \sqrt{3}I(r + j(X - X_c))$$

$$= U_1 - \sqrt{3}(r + jX) + j\sqrt{3}IX_c$$

$$U_{2.ad} = U_2 + j\sqrt{3}IX_c$$

$$U_{2.ad} = U_2 + j\sqrt{3}IX_c$$



De la même manière que précédemment on trouve ou l'écart de la tension U_2 correspondant à la variation de la réactance :

$$\Delta U_{B.C} = \frac{Q_2 \cdot X_c}{U_{2.ad}}$$

Ce qui donne en % de U_N :

$$\Delta U_{B.C} \% = \frac{Q_2 \cdot X_c}{U_{2.ad} \cdot U_N} \cdot 100 \quad C = \frac{100 Q_2}{\Delta U_{B.C} \% \cdot W \cdot U_N \cdot U_{2.ad}}$$

C : la capacité nécessaire à brancher en série pour une tension aux bornes de la charge égale à $U_{2.ad}$

3-3-4-Transformateurs réglables :

De très nombreux transformateurs, et en particuliers les appareils de distribution d'énergie, sont équipés de prises sur les enroulements de façon à pouvoir ajuster ou régler la tension secondaire à la valeur choisie.

On peut distinguer trois possibilités de réglage dont deux hors charge et hors tension.

A/ Par sortie multiples :

Dans ce cas les prises sortent directement sur des bornes et l'on connecte la ligne d'alimentation sur les prises choisies, ces prises sont généralement du côté haute tension, et le plus souvent sont au nombre de trois disposés dans le même isolateur et permettent un réglage, à : $U_n-5\%$, U_n , $U_n+5\%$.

B/ Par sélecteur ou ajusteur hors tension :

Dans ce cas les prises disposées généralement sur la haute tension à $U_n-5\%$, U_n , $U_n+5\%$. Sont reliées à un commutateur qui permet de sélectionner l'une de ces prises.

La commutation d'une prise à l'autre, il se produit une coupure de l'alimentation du circuit haute tension, ce qui oblige à mettre hors tension l'appareil pour effectuer cette manœuvre.

C/ par commutateur ou régleur en charge :

Un dispositif équipé généralement les unités de forte puissance destinées à être interconnectées avec d'autre réseau. Les prises de tensions sont beaucoup plus nombreuses (jusqu'à vingt prises et au delà). Schématiquement ces dispositifs sont constitués par

1 °/ Deux commutateurs fonctionnent alternativement.

2 °/ Un contacteur monté en série avec chacun des commutateurs.

3 °/ Un dispositif diviseur de tension réalisé généralement par une inductance à point milieu;

les extrémités de cette inductance étant respectivement connectées à chacun des contacteurs.

3-3-5- Compensateur statique à semi-conducteurs :

Ces compensateurs sont réglables et dites source statique de la puissance réactive. Ils sont utilisés en haute tension *et* pour des grandes puissances.

Le principe de réglage se base sur la variation de la courbe instantanée du courant des branches réglables du compensateur en faisant varier les intervalles de conduction des semi-conducteurs insérés.

Ces compensateurs sont largement utilisés actuellement.

Chapitre IV

IV-Test et application:

4-1- Réseau à calculer:

Le réseau proposé à l'étude est un réseau à cinq JB (fig.4-1).

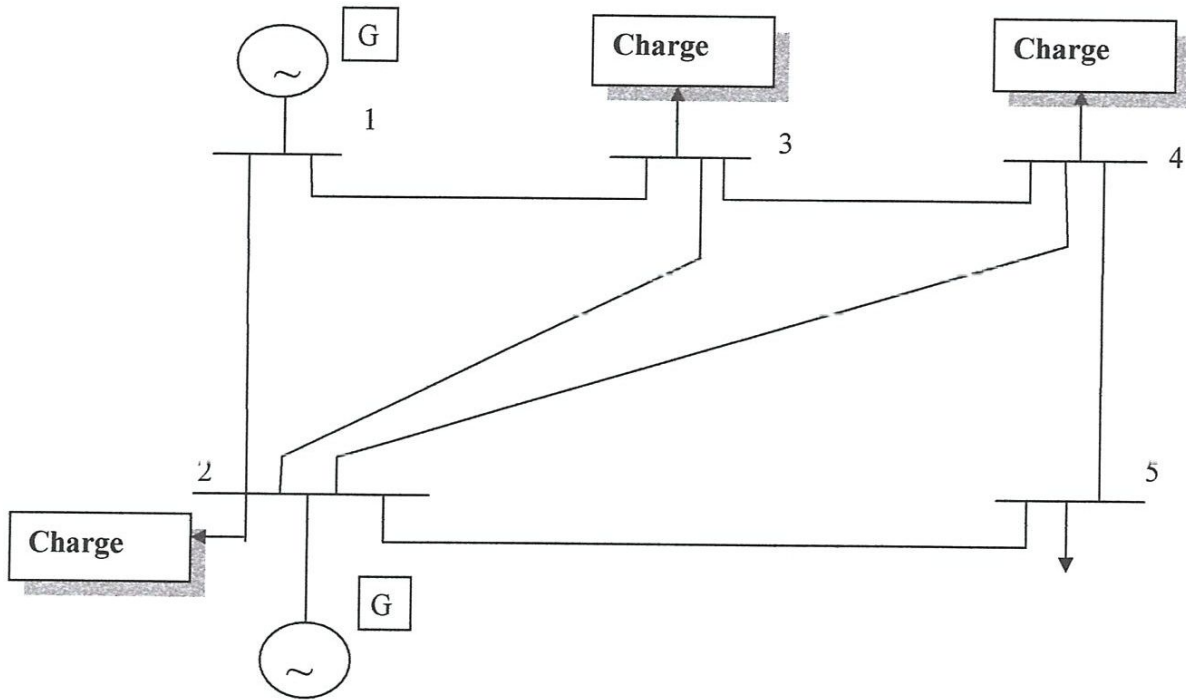


Fig.4-1 : Réseau à calculer

Données initiales:

- Le jeu de barre de référence est (1).
- Nombre de JB est (5).
- Nombre de générateur est (2).

-Les données des lignes:

L'impédance et l'admittance des lignes sont exprimées en unités relatives (u. r) par rapport à $S_b=100$ MVA et $U_b= 138$ KV et sont regroupées dans le tableau suivant:

Ligne (i-j)	Impédance (Z_{ij}) en u.r	Admittances (Y_{ij}) en u.r
1-2	$0.0200 + j 0.0600$	$0.0 + j 0.0300$
1-3	$0.0800 + j 0.2400$	$0.0 + j 0.0250$
2-3	$0.0600 + j 0.1800$	$0.0 + j 0.0200$
2-4	$0.0600 + j 0.1800$	$0.0 + j 0.0200$
2-5	$0.0400 + j 0.1200$	$0.0 + j 0.0150$
3-4	$0.0100 + j 0.0300$	$0.0 + j 0.1000$
4-5	$0.0800 + j 0.2400$	$0.0 + j 0.0250$

Tableau (4-1): Impédance et admittance des lignes

-Les données des JB:

JB (i)	Tensions initiales (en u.r)	Puissance générée (en MVA)	Puissance demandée (en MVA)
1(JB réf.)	$1.06 + j0.0$		
2(P-V)	$1.06 + j 0.0$	$40 + j 30$	$20 + j10$
3(P-Q)	$1.00 + j0.0$		$45 + j15$
4(P-Q)	$1.00 + j0.0$		$50 + j 40$
5(P-Q)	$1.00 + j0.0$		$60 + j30$

Tableau (4-2): Tensions et puissances initiales des JB

4-2 Méthodes de calcul des réseaux électriques:

Pour le calcul des réseaux électriques, on utilise des méthodes itératives appliquées à un système d'équation algébrique non linéaire de grande dimension.

Pour juger laquelle des méthodes est la plus appropriée dans la résolution d'un problème, on doit tenir compte des paramètres suivant:

1. Le temps nécessaire pour la saisie des données;
2. l'allocation de mémoire nécessaire pour le programme;
3. le temps de calcul itératif, ce dernier dépend de:
 - a. le nombre d'opération logiques et arithmétiques nécessaires dans chaque itération;
 - b. La vitesse de convergence de la solution itérative;
 - c. Les dimensions et caractéristiques du réseau électrique.
4. Le temps nécessaire pour la mise à jour des données du réseau électrique.

Les deux méthodes dans plus utilisée dans le domaine de l'écoulement de puissance sont la méthode de Newton-Raphson et la méthode de Gauss-Seidel.

Il a été démontré dans l'étude précédente que la méthode de Newton-Raphson est la meilleure.

Donc pour le calcul de notre réseau on va appliquer cette méthode.

4-3-Description du programme de la méthode de Newton-Raphson:

-les fichiers se donner:

Deux fichiers de données sont utilisées pour la méthode de Newton-Raphson, le premier comprend les admittances série et parallèle des lignes:

1	2	0.0200	0.0600	0.0300
1	3	0.0800	0.2400	0.0250
2	3	0.0600	0.1800	0.0200
2	4	0.0600	0.1800	0.0200
2	5	0.0400	0.1200	0.0150
3	4	0.0100	0.0300	0.0100
4	5	0.0800	0.2400	0.02500

Le deuxième fichier comprend les données des jeux de barres:

```

basemva = 100; accuracy = 0.001; maxiter = 50;
busdata=[1 1 1.06 0.0 0 0 0 0 0 0 0
          2 2 1 0.0 20 10 40 30 0 0 0
          3 0 1 0.0 45 15 0 0 0 0 0
          4 0 1 0.0 40 50 0 0 0 0 0
          5 0 1 0.0 60 10 0 0 0 0 0 ];

linedata= [1 2 0.0200 0.0600 0.0300 1
           1 3 0.0800 0.2400 0.0250 1
           2 3 0.0600 0.1800 0.0200 1
           2 4 0.0600 0.1800 0.0200 1
           2 5 0.0400 0.1200 0.01500 1
           3 4 0.0100 0.0300 0.0100 1
           4 5 0.0800 0.2400 0.0250 1];
    
```

La première ligne comprend :

$S_b = 100\text{MVA}$,

Jeu de barre de référence : NREF=1,

Nombre maximale des itérations : NIT=10

La tolérance EPS=0.1MVA ,

La première colonne comprend le numéro du JB,

La deuxième colonne les modules des tensions,

La troisième et quatrième colonnes les puissances actives et réactives générées,

La cinquième et sixième colonnes les puissances actives et réactives des charges.

Après exécution du programme on obtient les résultats suivants :

RÉGIME NORMALE :

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 5.44142e-005

No. of Iterations = 3

Tension & Puissance Des J-B

Bus	Voltage	Angle	-----Load-----		---Generation---		Injected
No.	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar

1	1.060	0.000	0.000	0.000	141.405	-22.488	0.000
2	1.060	-3.286	20.000	10.000	40.000	118.973	0.000
3	1.009	-5.229	15.000	15.000	0.000	0.000	0.000
4	1.002	-5.560	50.000	40.000	0.000	0.000	0.000
5	1.002	-6.255	60.000	30.000	0.000	0.000	0.000

Total		175.000	95.000	181.405	96.486	0.000	
-------	--	---------	--------	---------	--------	-------	--

Puissance Des lignes

--Line--	Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap

1	141.405	-22.488	143.182			
2	97.521	-30.328	102.128	1.847	3.743	
3	43.889	7.841	44.583	1.441	0.468	
2	20.000	108.973	110.794			
1	-95.674	34.071	101.559	1.847	3.743	
3	27.284	20.084	33.879	0.643	-0.641	
4	31.419	22.626	38.719	0.834	-0.052	
5	56.970	32.202	65.441	1.551	2.525	

3	-45.000	-15.000	47.434		
1	-42.448	-7.373	43.083	1.441	0.468
2	-26.642	-20.725	33.753	0.643	-0.641
4	24.089	13.097	27.420	0.075	-0.987

4	-50.000	-40.000	64.031		
2	-30.585	-22.678	38.076	0.834	-0.052
3	-24.014	-14.084	27.839	0.075	-0.987
5	4.599	-3.238	5.625	0.018	-3.560

5	-60.000	-30.000	67.082		
2	-55.419	-29.678	62.865	1.551	2.525
4	-4.581	-0.322	4.592	0.018	-3.560

Total loss			6.409	1.496	
------------	--	--	-------	-------	--

A. Pour le régime initial :

On a trouvé les résultats suivants :

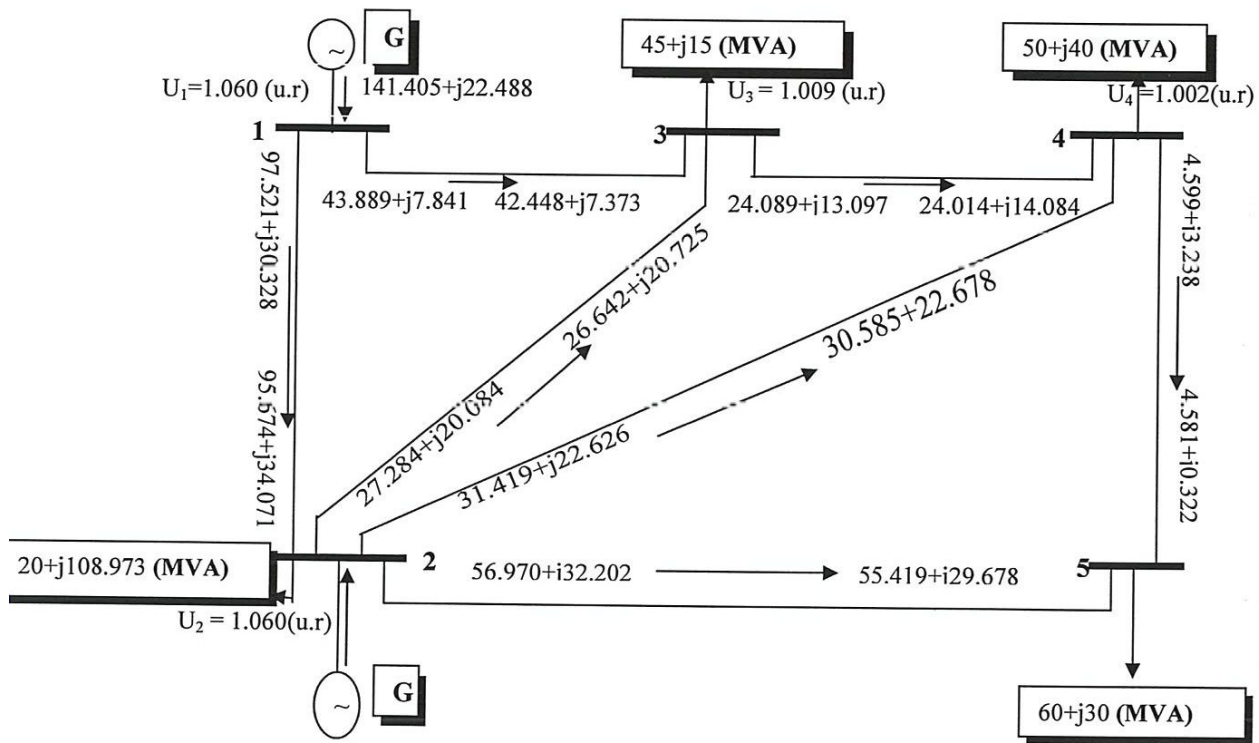


Fig-4-3 : Répartition des puissances (régime initial)

REGIME FUTUR (AUGMENTATION DE 100% DE LA CHARGE)

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 1.02334e-006

No. of Iterations = 4

Tension & Puissances Des J-B

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.060	0.000	0.000	0.000	344.078	-35.628	0.000
2	1.060	-8.249	40.000	20.000	40.000	311.568	0.000
3	0.939	-12.014	90.000	30.000	0.000	0.000	0.000
4	0.925	-12.837	100.000	80.000	0.000	0.000	0.000
5	0.926	-14.566	120.000	60.000	0.000	0.000	0.000
Total			350.000	190.000	384.078	275.939	0.000

Puissance Des ligne

--Line--	Power at bus & line flow	--Line loss--	Transformer
from to	MW Mvar MVA	MW Mvar	tap
1	344.078 -35.628 345.918		
2	247.617 -64.064 255.770	11.624 33.075	
3	96.461 28.436 100.565	7.286 18.248	
2	0.000 291.568 291.568		
1	-235.993 97.139 255.203	11.624 33.075	
3	54.447 53.070 76.032	3.164 7.087	
4	63.592 58.707 86.547	4.085 9.881	
5	117.955 82.653 144.030	7.452 20.373	

3 -90.000 -30.000 94.868
1 -89.176 -10.188 89.756 7.286 18.248
2 -51.282 -45.983 68.879 3.164 7.087
4 50.458 26.171 56.841 0.370 0.067

4 -100.000 -80.000 128.062
2 -59.506 -48.826 76.974 4.085 9.881
3 -50.088 -26.104 56.482 0.370 0.067
5 9.595 -5.070 10.852 0.098 -2.791

5 -120.000 -60.000 134.164
2 -110.503 -62.279 126.845 7.452 20.373
4 -9.497 2.279 9.767 0.098 -2.791

Total loss 34.078 85.94

B. Pour le régime futur (augmentation de 100% de la charge)

On a trouvé les résultats suivants :

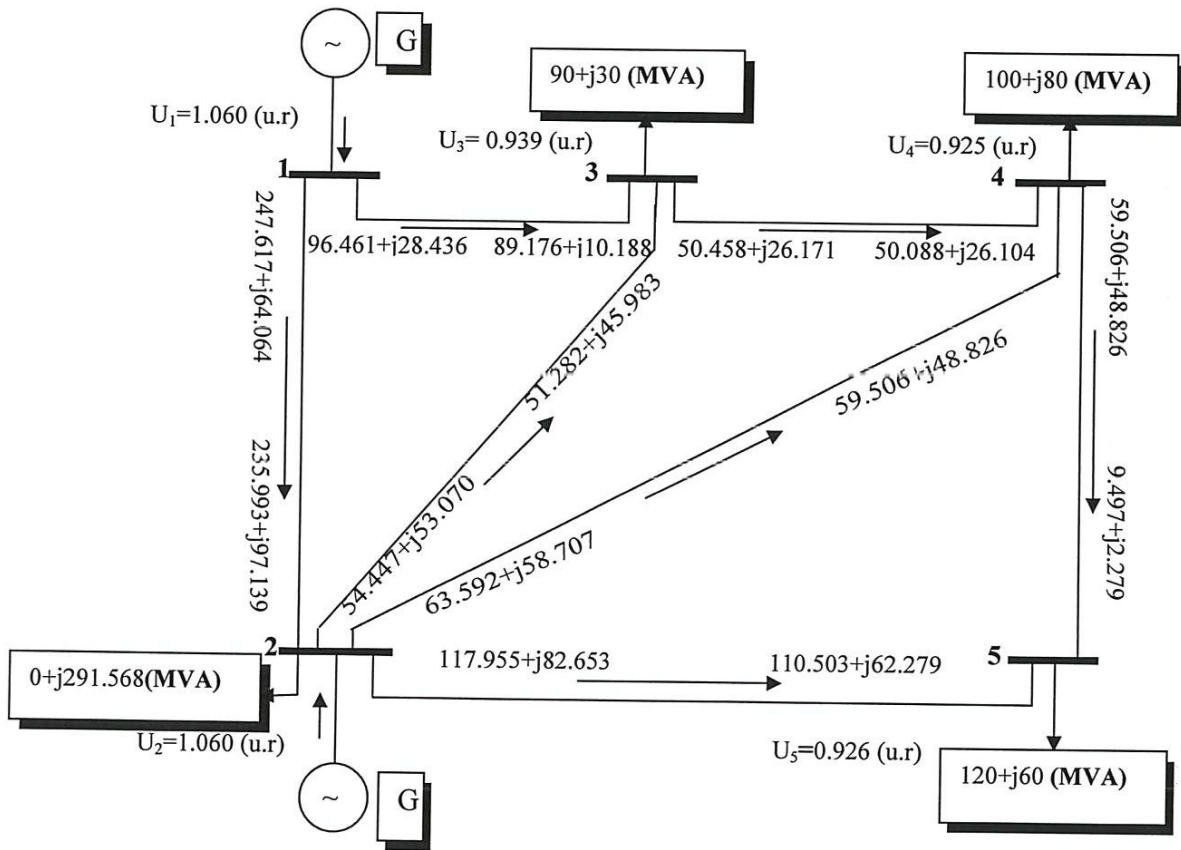


Fig-4-4 : Répartition des puissances (régime futur)

4-4- Conclusion :

D'après les résultats on voit que les tensions dans les 3,4,et 5 sortent des limites admissibles ($<10\%U_N$) et on voit aussi qu'il ya augmentation des pertes de puissances active et réactive (ΔQ_Σ et ΔP_Σ)

La solution que nous proposons est la compensation de la puissance réactive.

4-5- Solutions proposées aux réseaux futurs :**a- Compensation de la puissance réactive au J-BN°=3 :**

J-B3 \	0%	20%	40%	60%	80%	100%
U3	0.939	0.943	0.947	0.951	0.956	0.960
U4	0.925	0.929	0.932	0.936	0.939	0.942
U5	0.926	0.928	0.929	0.930	0.931	0.933
ΔP_Σ (MW)	34.078	33.609	33.166	32.749	32.356	31.988
ΔQ_Σ (MVAR)	85.940	84.472	83.084	81.773	80.537	79.375

b-Compensation de la puissance réactive au J-BN=4

J-B4 \	0%	20%	40%	60%	80%	100%
U3		0.948	0.957	0.966	0.975	0.983
U4		0.937	0.949	0.960	0.971	0.982
U5		0.931	0.935	0.939	0.943	0.947
ΔP_Σ		32.726	31.574	30.606	29.808	29.167
ΔQ_Σ		81.715	78.093	75.027	72.474	70.397

4-6- Conclusion :

- D'après les résultats de la compensation au JB N°=3 on voit que la tension au JB3 entre dans les limites admissible pour une compensation de 20% et la tension au JB4 entre dans les limites admissible pour une compensation de 100% par contre la tension au JB5 reste hors limites admissibles.
- D'après les résultats du 2^{eme} tableau on voit que pour une compensation de 40% les tensions des JB3 et 4 entrent dans les limites admissible, et pour une compensation de 80% la tension au JB5 entre dans les limites admissibles.
- Dans les deux cas de compensations on a vu que plus on compense plus les pertes de puissances actives et réactives diminuent.
- On a vue que la compensation au JB dont la tension est la plus basse est la meilleure par rapport aux autres JB.

Chapitre V

V-protection :**5-1-Introduction :**

La coupure d'un courant n'est pas facile à réaliser et des appareils d'autant plus complexes que l'intensité du courant à couper est élevée et que la tension est élevée.

Quelque soit la qualité des matériels utilisés et le soin avec lequel on les a assemblés, l'apparition de défaut est inévitable.

Les mesures de sécurité et de protection doivent répondre à certains principes qui sont par ordre de priorité :

- Sécurité des personnes étrangères à l'installation électrique.
- Sécurité des personnes non spécialisées utilisant l'installation.
- Sécurité des personnels spécialisés entretenant l'installation.
- Sécurité et maintien en bon état du matériel.
- Fiabilité et fonctionnement du système **PTDU**.

(Protection, transport, distribution et utilisation de l'énergie électrique).

Les dispositions à prendre pour garantir la sécurité des personnes font l'objet de lois, d'ordonnances, de prescriptions et de recommandations.

Pour éviter la détérioration des matériels lors de surintensités, il faut disposer d'appareils, de coupure de courant (disjoncteurs et fusibles) capables d'éliminer les courants de court-circuit très rapidement, ainsi que les surintensités plus modeste avec une certaine temporisation.

Pour limiter les inconvénients dus aux surtensions, on utilise essentiellement la coordination des isolations en faisant appel à des parafoudres et des éclateurs.

En fin, pour assurer une fiabilité suffisante garantissant la plus grande continuité du service compatible avec la sécurité (qui reste prioritaire) on doit concevoir un système de détection des défauts capable de localiser la plus vite possible la portion du système PTDU qu'il faut couper de l'ensemble, afin d'éviter qu'une partie inutilement grande du système PTDU ne soit mise hors service.

5-2-But de protection :

Ce chapitre traite de l'ensemble des moyens et méthodes à mettre en jeu pour protéger le matériel des réseaux électriques, les personnes, les choses à l'instant et durant un défaut.

Dans les installations industrielles, la continuité de distribution de l'énergie électrique aux différents récepteurs exige un dimensionnement correct de chaque partie de l'installation : transformateurs ; câbles ; lignes ; organes de commande ; moteurs ; ...

Malheureusement augmenter les limites de sécurité devient rapidement très onéreux, malgré toutes

les précautions prises parmi ses causes :

- Surtensions et coups de foudre ;
- Surcharges ;
- Fausse manœuvre ;
- Vieillesse et détérioration des isolants ;
- Condition anormale de fonctionnement.

C'est le rôle des systèmes de protection d'éviter les conséquences de ces incidents.

- D'assurer la protection des personnes contre tout danger électrique ;
- De limiter les contraintes thermique ; électriques et mécaniques ;
- De réduire les tensions induites dans les circuits et canalisations voisines ;
- De préserver la stabilité de réseau.

5-3-choix du système de protection :

Le choix du système de protection le mieux adapté contre les courants de défaut doit prendre en compte deux éléments importants :

- La structure du réseau ;
- Le régime de mise à la terre du neutre.

5-4-Conditions imposées aux systèmes :

Les conditions qui doivent remplir les dispositifs de protection sont :

a-Sélectivité :

Afin d'assurer une sélectivité, c'est-à-dire l'aptitude à déclencher uniquement la partie de réseau cause du défaut.

b-Rapidité d'action :

Pour limiter les dégâts au courant de court-circuit les relais de protection qu'il l'intelligence de l'appareillage électrique doivent réagir rapidement le plus que possible en permettant la mise hors circuit de l'élément protégé avant que les limites critique ne soit dépasser.

c- Sensibilité :

Le fonctionnement doit avoir dans des circonstance ou les défaut se trouvent réduites ; soit par diminution momentanée de la puissance de court-circuit ; soit par une résistance de défaut. Cette sensibilité doit être en rapport avec les courants d'essai de transformateur de mesure ou des courants capacitifs du réseau, les cas limites de fonctionnement doivent être examiné avec soit à partir du schéma d'exploitation.

d-Fiabilité :

La fiabilité exprime le degré de confiance que l'on peut accorder à un matériel ; elles doivent fonctionner à coup sur, quand il survient un défaut à un instant aléatoire.

La fiabilité d'un relais est liée à sa robustesse ; à la qualité de sa construction et composantes s'il s'agit d'un élément électrique.

5-5-Caractères de défaut :**5-5-1-Définition :**

Les causes aptes à déclencher des défauts dans les réseaux sont nombreuses et peuvent avoir pour origine :

- Des phénomènes propres au réseau (par exemple rupture d'une colonne de sectionneur, perforation d'une isolation interne de transformateur d'un poste par fatigue d'électrique),
- Des événements indépendants du réseau(par exemple, chute d'un arbre sur une ligne ou rupture d'un poteau électrique à la suite d'un accident de voiture, coup de foudre sur une ligne).

5-5-3-Conséquences des défauts :

Les défauts peuvent avoir plusieurs sortes de conséquences graves tel que :

1-Echauffement :

Les courants de court-circuit consécutifs aux défauts peuvent provoquer des échauffements anormaux, particulièrement dans les câbles souterrains MT.

2-Chute de tension :

Les courants de court-circuit provoquent des variations brusque de tension ; non seulement sur l'élément avarie, mais aussi sur les lignes adjacentes "phénomène de coup de tension".

3-Efforts électrodynamiques :

Le matériel qui supporte le passage de courant de court-circuit très intense est soumis à des efforts électrodynamiques important ; en particulier les jeux de barres, les supports d'isolateur, les enroulements des transformateurs, peuvent être déformés si leur rigidité mécanique ne présente pas la garantie nécessaire.

5-6-classification de défaut :

Les défauts affectent les réseaux aériens peuvent être classées en plusieurs catégories :

- a-suivant leur emplacement
- b-suivant leur durée et leur difficulté d'élimination
- c-suivant leur nature

5-6-1-Suivant leur emplacement :

On peut distinguer les défauts affectant :

- La partie moyenne tension des postes **HT / MT** ,comprise entre l'enroulement MT du transformateur d'élimination et les disjoncteurs des départs moyenne tension :appellation, ARRIVEES MT.
- Les réseaux MT proprement dits, c'est-à-dire, la partie du réseau comprise entre les disjoncteurs de départ et jeux de barres des postes **MT / BT** , ou des éventuels postes de répartition appellation, DEPART MT.

5-6-2-Suivant leur durée et leur difficulté d'élimination :

On peut distinguer

- Les défauts permanents (5 à 15%)
- Les défauts semi-permanents (5 à 15%)
- Les défauts auto- extincteurs et fugitifs (70 à 90%)

a-Défaut fugitifs :

Nécessitent, pour disparaître une coupure très brève de l'ordre de 0.1sec.

b-Défaut auto-extincteur :

Ce sont des défauts qui disparaissent en des temps très courts généralement inférieur à 50 ms sans provoquer le déclenchement du disjoncteur.

c-Défauts semi-permanent :

Ce sont des défauts qui exigent pour disparaître un ou plusieurs coupures relativement longues " quelques dizaines de seconde" du réseau d'alimentation.

d- Défauts permanents :

Ces défauts provoquent le déclenchement définitif des disjoncteurs donc il nécessite l'intervention du personnel.

5-6-3-Suivant leur nature :

On peut distinguer :

Les défauts entre phases qui pourraient être suivant le cas, soit des défauts biphasés, soient des défauts triphasés.

Il sera toujours caractérisé par courant de défaut important.

Les défauts à la terre qui mettront en jeu des courants de défaut essentiellement variables, Suivant le mode d'exploitation du réseau par rapport à la terre.

5-7-Les différents types de protection :**5-7-1- Protection à maximum de courant :**

La protection à maximum de courant consiste par a définition débrancher le circuit protégé, quand le courant dans ce dernier dépasse la valeur dite de seuil.

La protection est destinée à débrancher uniquement l'élément en défaut. la protection à maximum de courant est habituellement utilisée pour les lignes radiales.

5-7-2-protection directionnelle de courant de courant :

Le principe de fonctionnement dépend du sens de la puissance de court-circuit. La protection réagit en fonction de la valeur du courant de court-circuit et du sens de l'écoulement de la puissance dans la ligne considérée.

La protection directionnelle est habituellement utilisée pour les réseaux bouclés.

5-7-3-protection à distance :

C'est une protection qui utilise l'impédance (ou la résistance) comme paramètres de réactions.

Avec cette protection on peut mesurer l'éloignement des courts-circuits, suivant la variation du rapport U/I .

5-8-Protection contre les surtensions :**5-8-1-Généralités :**

Les surtensions sont les causes de la majorité des défauts et peuvent produire des avaries de matériel par distorsion local de l'isolateur et par conséquent l'interruption de la continuité de service.

Les surtensions sont d'origine internes ou externe comme il est expliqué dans le chapitre précédent.

5-8-2-Dispositifs de protection contre les surtensions :

Les dispositifs de protection peuvent être groupés deux classes :

- a- Les éclateurs ;
- b- Les parafoudres ;

5-8-2-1-Eclateur de protection :

Un éclateur peut être utilisé comme dispositif normal de protection du poste, ce qui peut être admis dans certaines régions de sévérité orageuse modérée et lorsque le niveau des surtensions de coupure est relativement faible.

5-8-2-2-Les types éclateur :**a-Eclateur à cornes :**

Il est constitué de deux électrodes reliées l'une au conducteur et l'autre à terre ; ces deux électrodes sont montées sur une chaîne d'isolateurs rigide.

La distance entre les deux électrodes est réglée de manière à obtenir une certaine valeur de tension appliquée (**voir figure :5-4**)

b-Eclateur à tiges :

Afin d'empêcher certains amorçage intempestifs (par oiseaux par exemple), les éclateurs comportent fréquemment entre leurs deux électrodes une tige intermédiaire ; de tels éclateurs sont dits de type anti-oiseaux (**voir figure :5-5**)

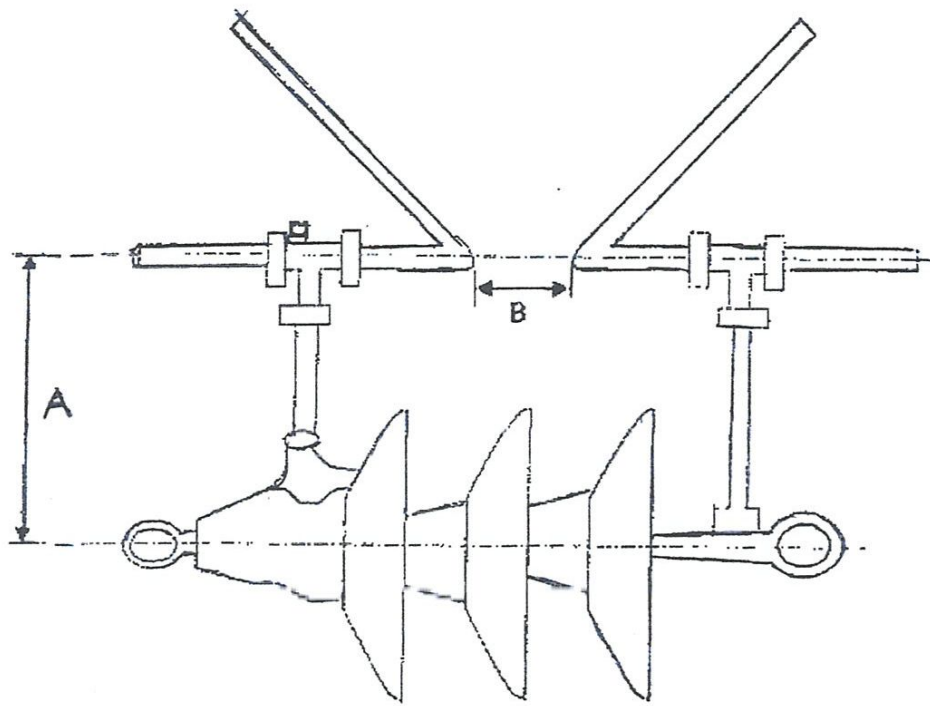


Fig-5-4: Eclateur à cornes.

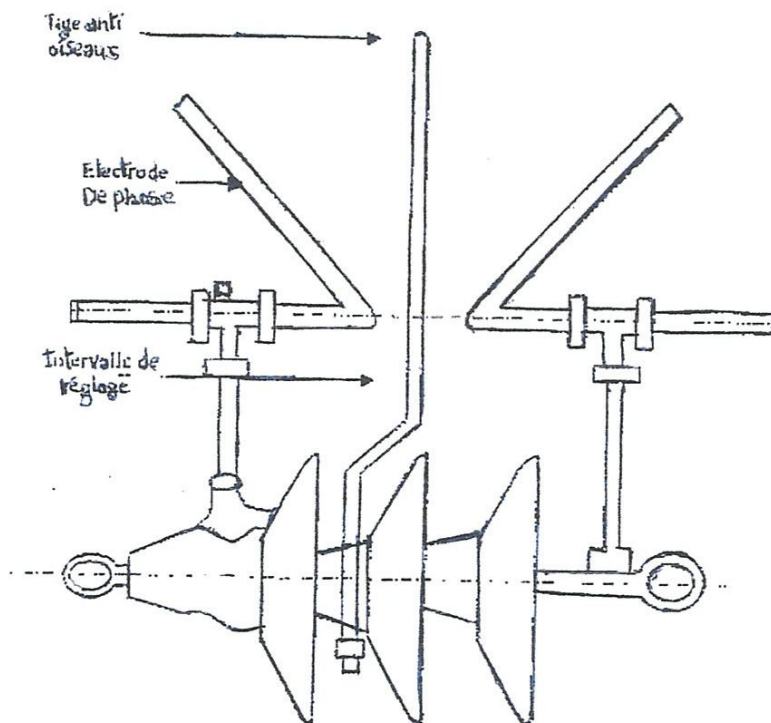


Fig-5-5: Eclateur à liges.

5-8-2-3 parafoudre :

Il y'a différents types des parafoudres parmi, ces types les plus utilisé c'est :

- **Parafoudre à résistance variable :**

Il compte en série des résistances et des éclateurs logés dans une enveloppe en porcelaine.

L'introduction de l'humidité et des poussières.

Les résistances ont des caractéristiques non linéaires variation de façon inverse à la tension appliquée U .

Les éclateurs placés en série sont shuntés par une résistance très élevée.

Une surtension importante aux bornes du parafoudre provoqué ; puisque les résistances sont alors très faible ; l'établissement d'un courant élevé qui donne naissance à une série d'amorçages sur chacun des éclateurs.

Lorsque la surtension est écoulee ; la tension baisse aux bornes du parafoudre, la résistance se celui-ci augmente et courant de suite qui diminue est alors interrompu par le dé amorçage des éclateurs.

Un parafoudre à résistance amorcée peut être assimilé à une simple résistance R .

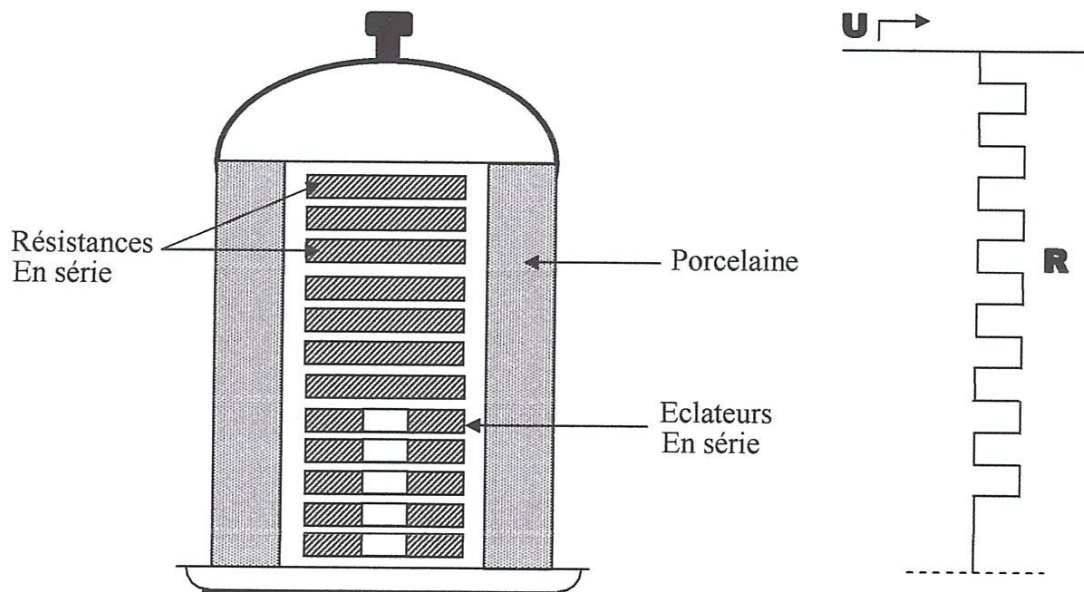


Fig.5.6: Exemple de parafoudre

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'enrichir nos connaissances dans le domaine des réseaux électriques.

L'amélioration du régime de fonctionnement d'un réseau électrique est la tâche la plus délicate de l'exploitation des réseaux électriques.

Pour cela il est toujours indispensable de maintenir la tension dans n'importe quel nœud du réseau dans des limites admissibles ($\pm 10\%U_N$), malheureusement dans certains cas ces variations sont importantes (que ce soit par augmentation ou par diminution) à cause de plusieurs défauts qui affectent le fonctionnement des réseaux électriques.

Parmi les problèmes qui affectent le maintien de la tension dans les normes, la variation de la charge, ce pendant l'augmentation de la charge (100% pour chaque 10ans) entraîne avec elle, l'augmentation des pertes de puissance, des chutes de tensions et donc diminution des tensions (qui peuvent sortir des normes admissibles).

Alors le réglage de la tension par compensation de la puissance réactive est l'une des solutions les plus utilisées dans les réseaux électriques.

On a vu pour le réseau proposé à l'étude que le cas de l'augmentation de la charge de 100%, diminue les tensions des nœuds d'une valeur importante, et aussi augmente les pertes de puissance totales (active ΔP_Σ et réactive ΔQ_Σ).

On a vu que la compensation de la puissance réactive dans le nœud où la tension est la plus basse donne de bons résultats (diminution des chutes de tensions et des pertes de puissances active et réactive).

BIBLIOGRAPHIE

- *LES RESEAUX D'ENERGIE ELECTRIQUE I*, (valentine crastan).
- *TRAITE D'ELECTRICITE, XII ENERGIE ELECTRIQUE*,
(Michel A guet et Jean-Jacques Morf).
- *QUALITE DES RESEAU ELECTRIQUE ET EFFICACITE
ENERGIE.*
- *AIDE MEMOIRE D'INGENIEUR ELECTROTECNIQUE*
, Juin 2005.présenté par (boumaza karima , bekhacha nadia)
- *PAWER SYSTEM ANALYSIS..*(Hadi Saadat).
- *Document de Sonelgaz .*
- *ELECTRICAL POWER SYSTEMS (JOHN B.ANDERSON
EDITIONCHIEF)*
- *COMPENSATION DE LA PUISSANCE REACTIVE DANS LES
RESEAUX HT* (document de Sonelgaz)
- *POWER SYSTEME ANALYSIS*
(john .j.graiger , william d. Stevenson,JR)