

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université HAMMA Lakhdar El-Oued
Faculté de technologie
Département de génie électrique



Mémoire de fin d'étude élaboré en vue
de l'obtention du diplôme de Master
Option : Réseaux Electrique

Thème

Etude et Réalisation des Model de Ligne de Transport
D'électricité

Réalisé par :

Mr. DACHRI EL-hadj Ali

Mr. BELLA BACI SEDDIK

Supervisé par :

Dr.KHECHEKHOUCHE Ali

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciement

Nous tenons à remercier avant tout dieu tout puissant qui nous a donné la volonté, la force et la patience pour élaborer notre travail.

*Nous vifs remerciements particulièrement à notre encadreur monsieur Dr. **Khechekhouché Ali***

Pour son aide précieuse, ses conseils constructifs et son orientation bénéfique et objective et surtout sa confiance durant les moments d'efforts pour la réalisation de notre projet.

*Nous remercions également tous les enseignants l et merci spécial (Dr. **DACHRI HAMID** et **YOUMBAI RODOIAN** et*

*Dr. **MEHNI TIDJANI** et Dr. **GUIA TALAL**).*

Enfin, nous remercions aussi toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide pour l'accomplissement de ce modeste travail.

*اود أن نشكر قبل كل شيء الله القدير الذي أعطانا الإرادة والقوة والصبر لتطوير عملنا
كما نود أن نشكر بشكل خاص مشرفنا السيد د. خشخوش علي لمساعدته التي لا تقدر بثمن ،
ونصائحه البناءة وتوجيهه المفيد والموضوعي وخاصة ثقته خلال محطات العمل لتحقيق
مشروعنا.*

*كما نشكر جميع الاساتذة وشكرًا خاص (الدكتور دشري حميد, يومبجي رضوان والدكتورة
محني التجاني والدكتورة قية طلال).*

أخيرًا ، نشكر أيضًا جميع الأشخاص الذين قدموا لنا مساعدتهم.

*El-Hadj Ali **DACHRI***

BELA BASI SEDIKE

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

A mes chers parents source d'amour et tendresse qui sacrifie toujours pour me voir réussir.

A mes infants **HOUDA SAADIA, AHMED, SARA...**

A toutes la famille. **Dachri Et Messaid Med Tahar**

A mes chers frères : **BEN OMAR, HABIB, MILOUD, HAMID, NASER, HAYET.**

A toutes mes amis : **AMMAR, BACHIR, SASSI, HABIB, LAID, TALEB, SALEH, BRAHIM, HAFEDH, AHMED, NADJI, NOURI, MOHAMMED.**

A toutes des collages de **SONELGAZ** ; *et a tous les aimer et les respecter.* **Merci**

A des amis de l'étude : **SEDDIK, SALAH EDDINE, DJAAFAR, KHALIFA, SADOK.**

A tous les étudiants de la promotion master 2 année 2021

أهدي هذا العمل إلى والديّ الأعزّاء ، الى زوجتي وابنائي هدى سعادية ، أحمد ، سارة ...

لجميع أفراد الأسرة. دشري ومساعد محمد طاهر

إلى إخواني الأعزاء: بن عمر ، حبيب ، ميلود ، حميد ، ناصر ، حياة.

إلى كل أصدقائي: عمار ، بشير ، ساسي ، حبيب ، العيد ، طالب بشير ، صالح ، إبراهيم ، حافظ ، أحمد ، ناجي ، نوري ، محمد.

إلى اصدقاء العمل **SONELGAZ**. و الى كل من نحبهم ونحترمهم جميعًا.

ولأصدقاء الدراسة: صديق ، صلاح الدين ، جعفر ، خليفة ، صادق.

لجميع طلاب ماستر 2 دفعة 2021

DACHRI ELHADJ ALI

DEDICACE

Je dedie ce fruit de mon travail à mon père que dieu lui fasse miséricorde et à ma mère celles ci qui m'ont éclairé le chemin de la réussite et ma femme qui m'a donné le courage pur accomplir ce modeste de travail et à tous mes enfants et à mes chers frères

Sans oublier mon ami au travail hadj ali

A tous les travailleurs algériens de l'eau

Et a tous les aimer et les respecter .Merci

A tous les étudiants de la promotion master 2 année 2021

SEDDIK BELLABACI

اهدي ثمرة هذا العمل لوالدي رحمه الله ولأمي اللذان أناروا لي طريق النجاح ولزوجتي التي أعطتني الشجاعة الخالصة لإكمال هذا العمل لجميع أولادي ولأبنائي. والاخوة الاعزاء دون أن أنسى صديقي في العمل الحاج علي.

إلى كل عمال الجزائرية للمياه

والى من نحبهم ونحترمهم جميعًا.

جميع طلاب برنامج الماجستير 2 عام 2021 .

SEDEK BELA BASI

الملخص:

خصصت رسالتنا لدراسة خطوط نقل الطاقة وطرق التعويض الكلاسيكية للطاقة التفاعلية ، لتبسيط دراسة الشبكات الكهربائية عن طريق المحاكاة ، لمعرفة المشاكل التشغيلية وإجراء التجارب دون التعرض للخطر ، قمنا بتقسيم عملنا إلى ثلاثة فصول:

- 1- في هذا الفصل قمنا بتحليل مكونات الشبكات وطريقة استغلالها لنقل الكهرباء وأنواع الشبكات (الشبكة الشعاعية ، الشبكات الحلقية ، الشبكات المعشقة) ، و توصلنا إلى مشكلة أخرى لنبدأ بها. .
- 2- صعوبة التقييم الصحيح للمشاكل المرتبطة بتدوير الطاقة التفاعلية ، لا سيما في الشبكات الكهربائية ، يمكن أن تؤدي إلى التفكير ، من محطة توليد الكهرباء ، في الحل النهائي الذي سيكون قادرًا ، بطبيعته ، على حل كل هذه المشاكل هو المعوضات الثابتة.

ولكن ليست كل أنواع المعوضات الثابتة والتقليدية لها نفس الاحتمالات. بالإضافة إلى ذلك ، فإن الاستثمار ثقيل نسبيًا (يعادل جزءًا كبيرًا من قوة محولات الإنتاج) ويجب تبرير هذه النفقات بضرورة معترف بها.

- 3- من خلال هذا العمل العملي يتم القيام به على خط قصير بدون حمولة ، خط قصير تحت الحمل ، خط متوسط بدون حمل ، خط متوسط تحت الحمل ، اختبار في دائرة قصر ، خط متوازي تحت الحمل.

بعد القيام بهذا العمل العملي ؛ لقد توصلنا إلى العديد من النتائج وشرحناها في الفصل الثالث: - أهمية العمل العملي من حيث أنه أعطانا نتائج مقبولة.

الكلمات المفتاحية:

الشبكات الكهربائية - نقل الطاقة - الطاقة التفاعلية - المعوضات الثابتة

Résumé:

Notre mémoire a été consacrée à l'étude des lignes de transport électrique et les méthodes classiques de compensation pour l'énergie réactive, pour simplifier l'étude des réseaux électrique par des simulations, pour connaître les problèmes opérationnels et mener des expériences sans exposition au danger, nous avons divisé notre travail en trois chapitres:

- 1- Dans ce chapitre on a analysé les composants des réseaux et la manière d'exploiter pour le transport de l'électricité et les types des réseaux (réseau radial, réseaux bouclés, réseaux mailles), et on est arrivé à une autre problématique qui nous permettons de commencer.
- 2- La difficulté de bien évaluer les problèmes liés à la circulation d'énergie réactive, en particulier dans les réseaux électriques, pourrait conduire à envisager, à partir de centrale électrique, la solution définitive qui serait capable de résoudre, par nature, tous ces problèmes est les compensateurs statiques.

Mais tous les types de compensateur statique et classique ne présentent pas les mêmes possibilités. De plus, l'investissement est relativement lourd (il équivaut à une fraction notable de la puissance des convertisseurs de production) et cette dépense doit être justifiée par une nécessité reconnue.

- 3- A travers ce travail pratique réaliser sur une ligne courte à vide, une ligne courte en charge, une ligne moyenne à vide, une ligne moyenne en charge, essai en court-circuit, ligne parallèle en charge.

Après réalisation de ce travail pratique ; nous avons établi de nombreux résultats et expliqué dans le troisième chapitre : l'importance des travaux pratiques en ce qu'elle nous a donné des résultats acceptables.

les mots clés:

réseaux électrique - transport électrique - l'énergie réactive - compensateur statique

Sommaire

✚ Remerciements	
✚ Dédicaces	
✚ Sommaire.....	I
✚ Liste des Figures.....	V
✚ Liste des Tableaux	VI
Introduction Général	1

CHAPITR II

Généralité sur le réseau électrique

I-1- Introduction.....	2
I-2- Définition.....	2
I-3- Structure topologique des réseaux	2
I-4- Les différentes fonctions du réseau	4
I-5- Classification du réseau.....	5
I-6- Les classes de tension	6
I-7- Structure d'un réseau	6
I-8- Caractéristique des lignes.....	7
I-9- Modélisation des lignes.....	8
I-10- Evolution des réseaux.....	11
I-11- But de l'étude d'un réseau électrique	12
I-12- Avantages de L'utilisation du courant alternatif triphasé.....	12
I-13- Qualité de service.....	13
I-14- Conclusion.....	15

CHAPITR II

Compensation d'énergie réactive

II -1- Introduction	16
II-2- Compensation classique	16
II-2-1-Limite de la puissance transmissible sur un réseau	16
II-2-2-Compensation de L'énergie réactive	19
II-2-3-Les moyens de compensation	20
II-2-4- Les perturbation	28
II-3 - Compensation statique	30
II-3-I- Compensation : Comment ? Et Pourquoi	30
II-3-2- Différent type de compensation	30
II-3-3- Le facteur de puissance	31
II-3-4- Technique de Compensation en Basse Tension	34
II-3-5- Compensation en moyenne tension	40
II-3-6- Compensation en haute tension	41
II-4- Conclusion	42

CHAPITR III

Réalisation et résultats

III-1- Introduction	43
III-2- Conception du circuit	43
III-2-1- Schéma équivalent	43
III-2- 2-Quadripôles et détermination des paramètres A, B, C, D.	45
III-3- Réalisation et Teste	49
III-3- 1-Ligne courte	49
III-3-2- Ligne moyenne	54
III-4- Conclusion	58

Liste des Figures

Figure I-1 : structure topologique des réseaux.....	03
Figure I -2 Schéma de principe d'un réseau radial.....	03
Figure I.3 Schéma de principe d'un réseau bouclé.....	04
Figure I -4 Schéma d'un réseau maillé.....	05
Figure I -5 Schéma d'un « [] » et « T »	08
Figure I -6 Schéma équivalent une ligne courte.....	09
Figure I -7. Diagramme vectoriel les Facteur de puissance en arrière : ($\cos \varphi=0,7$)..	10
Figure I -8. Diagramme vectoriel les Facteur de puissance en arrière : ($\cos \varphi=1$)...	10
Figure I -9. Diagramme vectoriel les Facteur de puissance en avance: ($\cos \varphi= 0,7$)..	10
Figure II.1 Variation des grandeurs électriques aux bornes de la charge.....	18
Figure II.2.a Diagramme traduisant l'échange d'énergie et l'intérêt de la compensation....	19
Figure II.2.b Diagramme vectoriel représentant l'importance de la compensation..	19
Figure II.3 courbe de saturation d'un moteur synchrone de 800KW.....	21
Figure II.4 puissance active et réactive pour trois excitations différentes et diagramme vectoriels correspondants.....	22
Figure II.4 Batterie de condensateur unique.....	24
Figure II.5 Batterie de condensateur multiple.....	24
Figure II.6 Batterie shunt en étoile.....	25
Figure II.7 Batterie shunt en triangle.....	25
Figure II.8 Batterie série.....	25
Figure II.9 courbe courant et tension lors de couplage au réseau d'une batterie isolé..	26
Figure II.10 schéma de principe de déclenchement.....	27
Figure II.11 courbe courant et tension du batterie et la tensions de réseau.....	27
Figure II.12 courbe courant et tension en cas de réamorçage	28
Figure II.13 Facteurs de puissance des principaux récepteurs.....	29
Figure II.14 schéma de la compensation shunt	31
Figure II.15 schéma de la compensation séries	31
Figure II.16 représentations graphiques du facteur de puissance	35
Figure II.17 Composition vectorielle des différents courants, et l'effet de la compensation.....	35
Figure II.18 diagramme traduisant les changes d'énergie dans le circuit d'alimentation d'un récepteur est montrant l'intérêt de la compensation.....	35
Figure II.19 représentations graphiques la puissance des condensateurs de compensation	36
Figure II.20 représentations compensation individuelle.....	37
Figure II.21 représentations compensation groupe.....	38
Figure II.22 représentations compensation globale.....	39

Liste de figure

Figure III -1 Schéma d'un et « T ». « Π ».....	42
Figure III-2 Schéma équivalent une ligne moyenne.....	43
Figure III-3 Schéma de circuit de réalise.	43
Figure III-4 Schéma équivalent une ligne courte.....	44
Figure III-5 Schéma équivalent une ligne moyenne.....	45
Figure III-6 Schéma équivalent représenté la ligne par un quadripôle en π	45
Figure III-7 Schéma équivalent Le régime a vidé.....	46
Figure III-8 Schéma équivalent Le régime en court-circuit.....	47
Figure III-9 Présentations de la tension de sortie pour la ligne à vide.....	48
Figure III-10 Schéma équivalent Les ligne courte.....	49
Figure III-11 Schéma équivalent Les ligne moyenne.....	54

Liste de tableau

Tableau I -1 : Modélisation de la ligne... ..	08
Tableau III -I Essai a vide pour une ligne résistd.....	48
Tableau III-2 : Essai à charge résistive une ligne court	50
Tableau III-3 : les coefficients du quadripôle une charge résistive.....	51
Tableau III-4 : Essai à charge résistive et inductive (max) la ligne court.....	52
Tableau III-5 : les coefficients du quadripôle une charge résistive et inductive (max).....	53
Tableau III-6 : Essai a vide pour une ligne moyenne résistif i	54
Tableau III-4 : le paramètre des Lignes du quadripôle un clergé résistive une ligne moyenne.....	55
Tableau III-8 : Essai en charge résistive me ligne moyenne... ..	55
Tableau III -9 : les coefficients du quadripôle une charge résistive... ..	56
Tableau III -10 Essai en charge résistive et charge invectivée une ligne moyenne... ..	56
Tableau III -11 : les coefficients du quadripôle une charge résistive et charge Invectivée.....	57

Introduction Générale

L'énergie électrique par rapport à l'autres découvertes récentes a permis et a ouvert la porte à des nombreuses applications en particulier dans le domaine de transport et de distribution, comme l'énergie électrique devient une source principale de la consommation industrielle et publique à travers les réseaux de transport et distribution. On est obligé de mettre des réseaux idéal et typique ou le facteur des puissances enivrant ($\cos\alpha = 1$) en particulier dans les sociétés industrielles.

Si pour ça il gavait un grand développement des outils et des machines de correction du facteur des puissances et de l'étude de caractéristiques des réseaux électriques c'est pour cela on a entamé plusieurs notes dans notre mémoire :

Dans ce mémoire, nous présentons dans un premier chapitre des généralités sur les réseaux électriques, dont il on a étudié les composants des lignes des transports et ses caractéristiques qui sont ensemble des structures et des installations. Qui permettent de transporter l'énergie électrique de centre de production aux consommateurs à travers les réseaux électrique.

Dans le chapitre II, nous présentons les différentes moyens de compensation utilisés par les exploitants des réseaux électriques, c'est la réponse de problématique ((**Comment le transfert d'énergie électrique à moindre coût et assurance de la qualité conformément aux normes techniques**)) ; pour ça on a étudié les types de compensation des réseaux de transporter des énergies électriques.

Dans le troisième chapitre : on a présente une réalisation des lignes électrique par les composons électroniques (**R, L, C**).

Chapitre I : Généralité sur les réseaux électrique

I-1. Introduction [1] :

L'électricité est la forme la plus noble de l'énergie, car elle peut:

- Se transformer facilement avec un excellent rendement en n'importe quelle forme d'énergie.
 - Être obtenue de n'importe quelle autre forme d'énergie quoique que le rendement de production ne soit pas toujours excellent.
 - Être transformée et transportée à n'importe quelle distance par les lignes de transport.

Malheureusement elle présente l'inconvénient d'être la plus périssable de toutes les dérivées; elle doit être utilisée aussi au moment où on la produit puisqu'il est impossible de la stocker en grande quantité.

Donc l'énergie électrique doit être immédiatement transportée de l'usine productrice vers les centres de consommation et c'est là qu'intervient le rôle important des réseaux électriques.

I-2. Définition[3] :

L'électricité est la forme d'énergie la plus facile à utiliser, mais exige des techniques et des investissements très importants pour la faire aboutir jusqu'à l'utilisateur. Cela exige l'installation de divers réseaux qui doivent assurer la canalisation de cette énergie depuis la centrale jusqu'au plus simple utilisateur.

Les postes constituent les nœuds du réseau; les lignes en forment les branches ; ces branches constituent soit des artères et des antennes (ou dérivation) ; soit des mailles (ou boucles).

I-3. Structure topologique des réseaux[3] :

Les réseaux doivent assurer le transit de l'énergie électrique avec une sécurité suffisante, cette sécurité d'alimentation est augmentée soit :

- Par les lignes aux appareillages plus solides.
- Par des circuits plus nombreux.

Alors il y'a donc un compromis à réaliser entre le coût des investissements supplémentaires et la valeur de ce qu'ils permettent de sauver ce qui conduit à des topologies de réseaux différents.

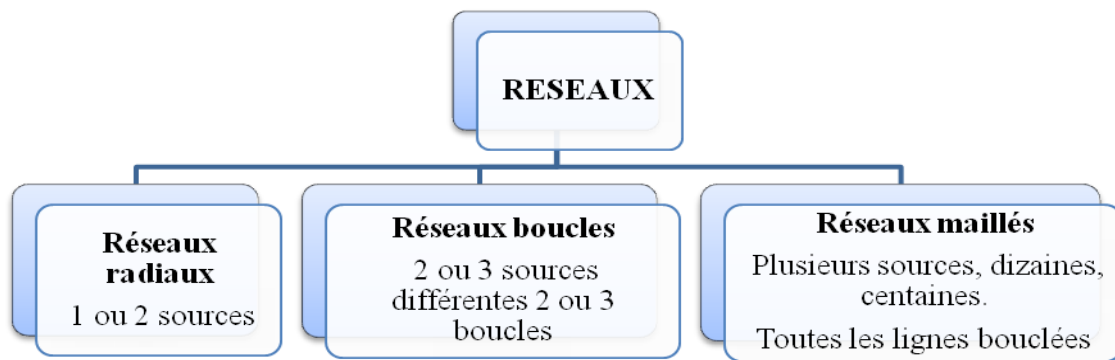


Figure I-1 : structure topologique des réseaux

I-3-1. Réseaux radiaux [3]:

Un réseau radial issu d'un poste d'alimentation est constitué de plusieurs artères dont chacune va en se ramifiant, cette structure nous permet d'avoir des points communs, de sorte que le réseau soit bouclable mais non bouclé. Car en un point est placé toujours un appareil de coupure, ouvert en régime normal. Cette disposition permet en cas d'incidents sur une artère de reprendre l'alimentation.

Les réseaux radiaux sont des structures simples et peuvent être contrôlés et protégés par un appareillage simple. Ce sont les réseaux les moins onéreux.

1-post HT/MT

2-post MT/BT

3-ligne MT

4-ligne BT

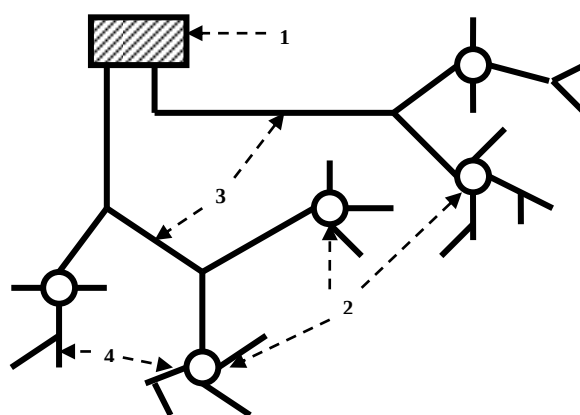


Figure I -2 Schéma de principe d'un réseau radial

I-3-2. Réseaux bouclés[3] :

Les réseaux bouclés sont alimentés à la fois par plusieurs sources ; les postes sont raccordés en coupure d'artère cette disposition permet lors d'une coupure, une continuité de service.

L'existence de plusieurs sources en parallèle augmente la sécurité d'alimentation en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateurs) ou en cas d'avarie sur une boucle.

Dans ce dernier cas, le tronçon avarié est isolé en deux fractions du réseau. On voit que ce réseau est un peu plus compliqué que le précédent, de plus le contrôle et la protection du réseau nécessitent des dispositifs plus complexes.

Cette structure coûte chère car elle nécessite au moins deux cellules de départ en plus.

1-poste HT/MT

2-ligne MT

3-post MT/BT

4-ligne BT

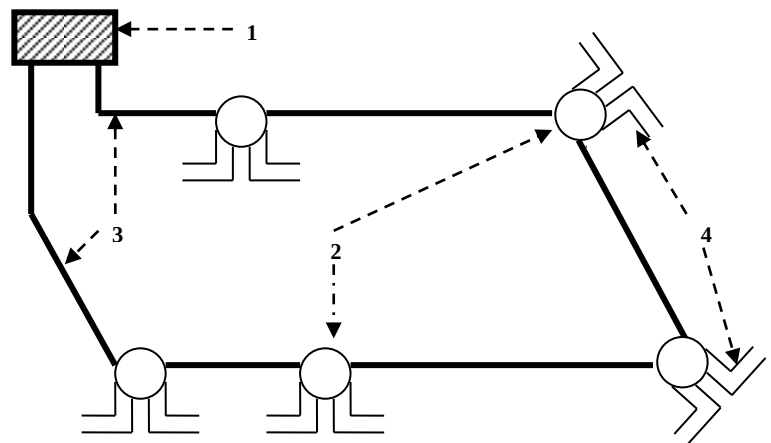
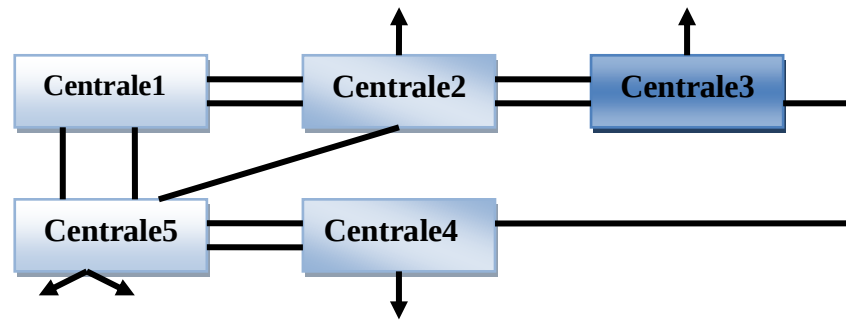


Figure I.3 Schéma de principe d'un réseau bouclé

I-3-3. Réseaux maillés [3]:

Ce sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue aux mailles d'un filet, de plus, le nombre de sources débitant en parallèle peut atteindre plusieurs dizaines.

Cette structure nécessite que tous les tronçons de ligne soient capables de supporter des surcharges permanentes et qu'ils soient munis à leurs deux extrémités d'appareils de coupure les isolants en cas d'avarie. On obtient ainsi une meilleure sécurité, mais à un prix plus cher.

Figure I -4 *Schéma d'un réseau maillé*

I-4. Les différentes fonctions du réseau [1]:

I-4-1. Réseau d'utilisation :

Ces sont les réseaux de basse tension (BT) qui alimentent les foyers, l'éclairage, les moteurs, les appareils domestiques et doivent présenter une sécurité totale.

I-4-2. Réseaux de distribution :

Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes.

I-4-3. Réseaux de répartition :

Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions.

I-4-4. Réseaux de transport et d'interconnections :

Ils assurent l'alimentation de l'ensemble du territoire national grâce à des transits de puissances importantes.

I-5. Classification des réseaux[1] [3] :

Les critères permettent de différencier ou regrouper les réseaux en catégories sont au nombre de quatre dont l'intérêt est évident :

- La tension qui limite les puissances transportées et fixe dimensions des lignes et des matériaux des postes.
- La fonction que le réseau doit remplir.
- La 3ème définition, la topologie du réseau. elle fixe son mode d'exploitation normale et les possibilités de secours en cas d'incidents.
- La 4ème indique le système utilisé pour les courants alternatifs et les nombres de phase et la position du neutre par rapport à la terre.

I-6. Les classes de tension[1] :

La tension choisie pour un réseau impose que tous les appareils incorporés ou raccordés à ce réseau possèdent un isolement suffisant.

L'échelle des tensions utilisées dans le réseau d'énergie est très grande puisqu'elle va de quelques dizaines de volts à près du million de volts, à l'intérieur de cette échelle, on distingue les classes suivantes :

- Les très basses tensions : ce sont les tensions <50 volts.
- Les basses tensions de : 50 à 1000 volts.
- La moyenne tension de : 1000 à 50.000 volts.
- La haute tension de : 50 à 220 KV.
- La très haute tension : à partir de 220 KV.

I-7. Structure d'un réseau MT [3]:

Il est import de connaître les particularités chaque type de réseau moyenne tension car cela a une influence sur la conception et l'exploitation des postes de transformation MT /BT, sur tout en ce qui concerne :

- Les dispositifs de protection.
- Les prises de terre.
- Le régime du neutre.
- Le choix de l'appareillage.

Il y a deux types de réseau moyen tension :

- Réseau moyenne tension aérienne (zone rurale).
- Réseau moyenne tension souterraine (zone urbaine).

Ces réseaux peuvent alimenter différents types de postes de transformation

- Postes d'extérieur (sur poteau, en maçonnerie).
- Postes d'intérieur (ouvert, en cellule préfabriquée).

I-8. CARACTERISTIQUES DES LIGNES[1] :

I-8-1. Caractéristiques longitudinales :

Pour rendre compte des effets produits par la résistance des métaux qui constituent les conducteurs d'une ligne électrique et par la résistivité du sol considéré comme énième conducteur on introduit les notions de résistances rapportées à l'unité de longueur ou résistance linéique.

Pour rendre compte des effets des flux d'induction magnétique circulant autour et entre les conducteurs on introduit la notion d'induction linéique propre et mutuelle.

I-8-2. Caractéristiques transversales :

Les caractéristiques transversales rendent compte des effets des charges superficielles des conducteurs de phase et du sol.

Les charges superficielles (le vecteur E perpendiculaire à la surface des conducteurs) qui engendre (c.à.d. E) des courants capacitifs et éventuellement des courants de fuite à cause de la matière isolante entre conducteurs, qui n'est pas parfaite ou si le seuil d'effet couronne est dépassé.

Les phénomènes capacitifs liant les charges superficielles au champ E transversal, (donc aux tensions) sont représentés par des capacités linéiques C .

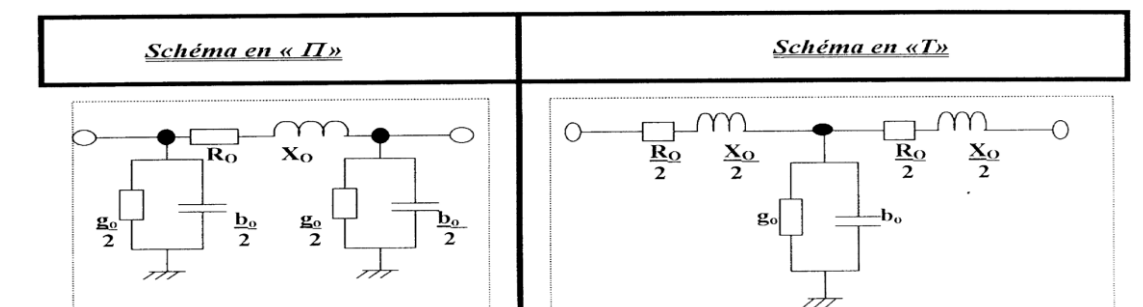
Les phénomènes de cette conduction transversale entre conducteurs dépendent des systèmes d'isolation utilisés pour maintenir les conducteurs isolés. C'est pour cela qu'on introduit les conductances G en parallèle avec les capacités C .

Les techniques d'isolation utilisées actuellement permettent de considérer les effets des conductances transversales presque nuls ; sauf pour les lignes de très haute tension, de grandes longueurs où l'on note la présence de l'effet couronne.

I-8-3. Schéma équivalent :

Un tronçon de ligne dont la longueur est assez courte, peut être remplacé par un quadripôle. On distingue le schéma en « Π » et celui en « T ».

Figure I -5-a *Schéma d'un « Π » et « T ».*



Pour composer le schéma équivalent de toutes les lignes, il faut considérer une chaîne de quadripôles dont le nombre dépend de la longueur de la ligne. Pour cette chaîne, on calcule les paramètres équivalent, après cela, la ligne peut être représentée par les paramètres concentrés.

L'expérience du calcul montre l'utilisation du schéma équivalent suivant :

* Pour les lignes de grande longueur ; des coefficients de correction peuvent être utilisés pour corriger les valeurs des paramètres de la ligne.

I-9. MODELISATION DES LIGNES :

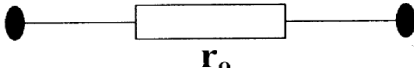
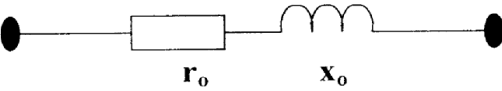
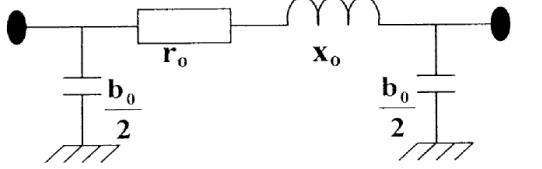
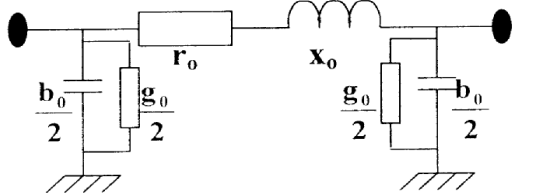
Tension nominale et type de la ligne	Schéma équivalent	Calcul du paramètre total
Ligne en câble 6 à 10 KV		$R_o = r_o \cdot l$
Lignes aériennes des réseaux de répartition et de distribution (B.T., M.T.) 6 à 35 KV		$R_o = r_o \cdot L$ $X_o = x_o \cdot L$
Lignes aériennes des réseaux de transport $U < 220KV, L < 250Km$ (240Km)		$R = r_o \cdot L$ $X = x_o \cdot L$ $B = b_o \cdot L$ }
Lignes aériennes des réseaux de transport $U \geq 220KV, L \geq 250Km$		$R = r_o \cdot L$ $X = x_o \cdot L$ $B = b_o \cdot L$ $G = g_o \cdot L$ }

Tableau I-1 Modélisation des lignes

I-9-1. Ligne courte :

On appelle une ligne courte, une ligne de longueur comprise entre 50 et 80 Km, son schéma équivalent.

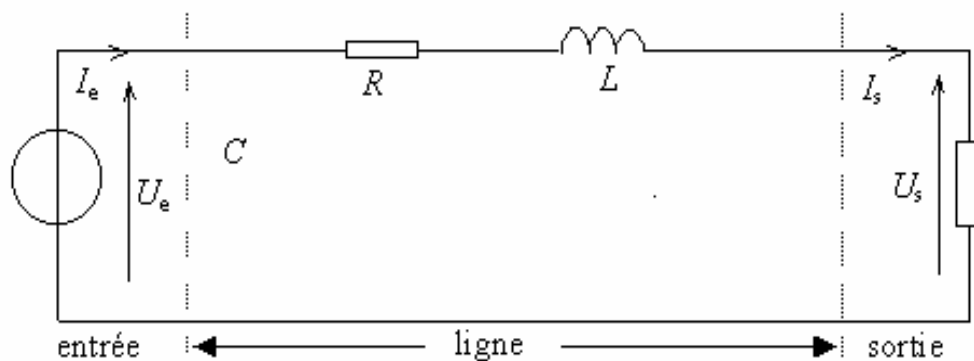


Figure I-6 Schéma équivalent une ligne courte

V^o : Tension simple à l'origine (début) de la ligne = V^e

V_e : Tension simple à l'extrémité (fin) de la ligne = V^s

I^o : Courant simple à l'origine (début) de la ligne = I^e

I_e : Courant simple à l'extrémité (fin) de la ligne = I^s

Les paramètres de l'entrée (l'origine) sont déterminés à partir de ceux de l'extrémité (fin).

D'après le schéma équivalent simple, on remarque que les courants de dérivation sont négligeables ($I^o = I^e$) ; par conséquent la susceptance spécifique b_o ainsi que la conductance spécifique g_o sont très faibles, donc négligeables ($y_o = g_o + j.b_o \approx 0$) on peut écrire:

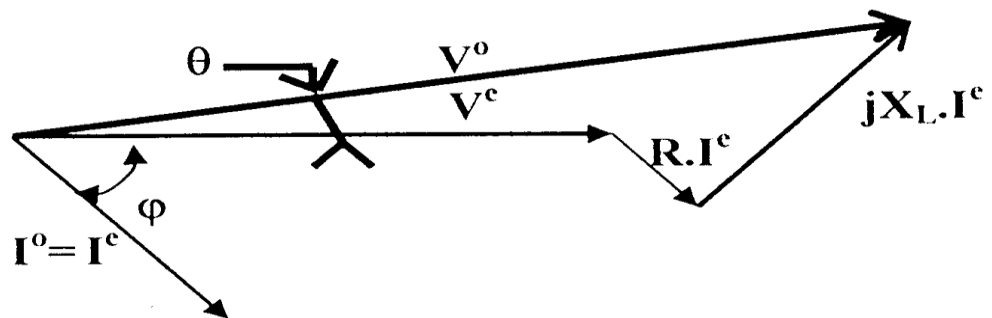
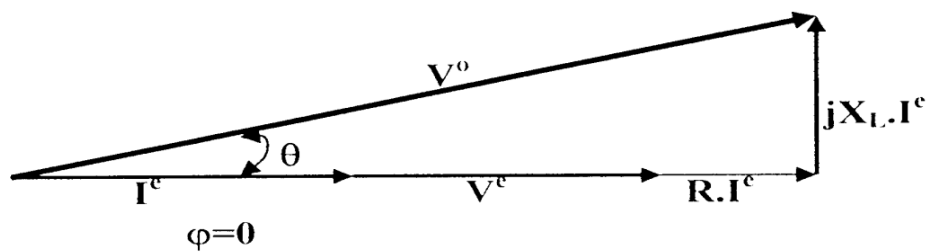
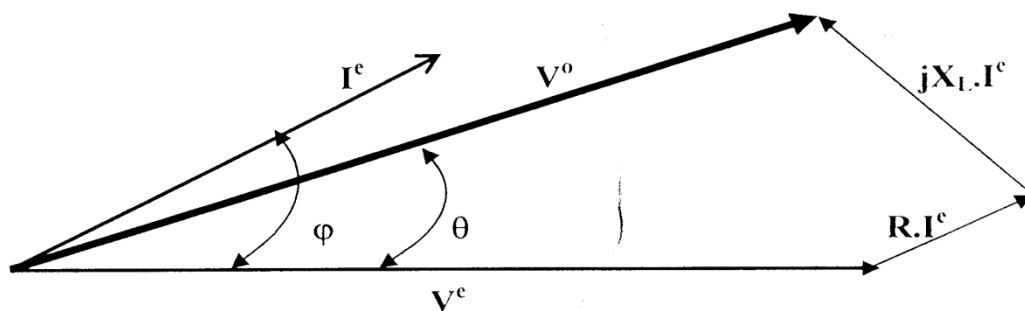
$$\begin{cases} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{cases} \quad (\text{I-1})$$

Donc pour : $Y=0$ $A = D = 1$, $B = Z$, $C=0$ on obtient

$$\begin{cases} V^o = V_e + Z.I_e \\ I^o = I_e \end{cases} \quad (\text{I-2}) \quad \text{ou} \quad Z = R + j X$$

L'effet de la variation du facteur de puissance de la charge sur la tension de régulation de la ligne est facilement compris pour les lignes courtes, la tension de régulation d'une ligne de transmission est l'augmentation en tension à l'origine, exprimée en pour-cent pour U pleine charge. . Lorsque cette pleine charge est spécifiée, le facteur de puissance change, tandis que la tension à l'origine est prise constante.

$$\varepsilon \% = \frac{|V^o|/|A| - |V_{pc}^e|}{|V_{pc}^e|} \cdot 100$$

I-9-2. Diagramme vectoriel :**A/ Facteur de puissance en arrière : ($\cos \varphi = 0,7$)**Figure I -7. *Diagramme vectoriel les Facteur de puissance en arrière : ($\cos \varphi = 0,7$)***B/ Facteur de puissance: ($\cos \varphi = 1$)**Figure I -8. *Diagramme vectoriel les Facteur de puissance en arrière : ($\cos \varphi = 1$)***C/ Facteur de puissance en avance: ($\cos \varphi = 0,7$)**Figure I -9. *Diagramme vectoriel les Facteur de puissance en avance: ($\cos \varphi = 0,7$)*

I-9-2. Ligne moyenne:

Les lignes moyennes sont caractérisées par la longueur comprise entre 80 et 250 Km. Dans le calcul de ces types de lignes on introduit généralement une admittance composée d'une capacité pure (voir schéma ci-dessous). Si l'admittance totale de la ligne est divisée en deux parties égales placées à l'origine et à l'extrémité de cette ligne, le circuit est appelé n nominal dont le schéma équivalent est le suivant :

Pour obtenir les expressions des tensions appliquons la méthode des Quadripôles, sachant que la conductance linéique propre a été négligée ($g_0 = 0$, ligne moyenne) $Y_0 = jb_0$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A} = \mathbf{D} = \mathbf{1} + \frac{\mathbf{Y.Z}}{2} \neq \mathbf{1} + \frac{[(jb_0l).(R_0l+jX_0l)]}{2} = \mathbf{1} + \frac{[(jbL+jXL)l]}{2} \\ \mathbf{B} = \mathbf{Z} = (R_0+jX_0).l = \mathbf{R} + j\mathbf{X} \\ \mathbf{C} = \mathbf{Y} \left(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{Y.Z}}{4} \right) = [(jb_0l).(\mathbf{1} + jb_0l).(R_0l + jX_0l)].\frac{1}{4} = \frac{[jb.(1 + R + jX.l)]}{4} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{V}^o = \mathbf{A}.\mathbf{V}_e + \mathbf{B}.\mathbf{I}_e = \mathbf{V}_e.\left(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{Y.Z}}{2}\right) + \mathbf{I}_e.\mathbf{Z} \\ \mathbf{I}^o = \mathbf{C}.\mathbf{V}_e + \mathbf{D}.\mathbf{I}_e = \mathbf{V}_e.\mathbf{Y}\left(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{Y.Z}}{4}\right) + \mathbf{I}_e.\left(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{Y.Z}}{2}\right) \end{array} \right.$$

I-10. Evolution des réseaux[3] :**I-10-1. Développement économique :**

Le développement économique étant étroitement lié à l'accroissement de la consommation d'énergie électrique. Nous pouvons avancer l'hypothèse que cet accroissement mesure le niveau de civilisation.

Il faut cependant souligner que les plus élevés dans les en voie de développement.

I-10-2. Evolution des puissances :

Pour des raisons économiques « comme il a été souligné plus haut » les puissances des unités de production tendent à croître. L'évolution des puissances entraîne celle des énergies produites ou consommées, cependant, un facteur supplémentaire est à prendre en considération celui de la forme des courbes de charges, courbes représentant la variation de la puissance dans le temps « journée, semaine, année ».

L'accroissement plus rapide de la puissance en 30KV est du à l'impact l'industrialisation et de l'électrification des zones rurales.

I-11. But de l'étude d'un réseau électrique[3] :

En pratique ; on ne peut pas obtenir une qualité parfaite qui suppose une fourniture continue à tension et à fréquence constante, mais on doit toujours chercher à s'en rapprocher le plus possible.

Pour cela, l'exploitant du réseau de distribution doit mettre à sa disposition des moyens destinés à réduire aussi bien le nombre que la durée des interruptions ainsi que le maintien de la tension voisine de sa valeur nominale.

L'étude de ces moyens pour l'obtention d'une bonne qualité de service nécessite la connaissance du fonctionnement du réseau de distribution à ses états sain et d'incident.

I-12. Avantages de l'utilisation du courant alternatif triphasé:

Avant on utilisait le courant continu pour le transport et la distribution de l'énergie électrique mais actuellement c'est le courant alternatif qui assure ses fonctions, par ce qu'il permet à travers les transformateurs d'adapter la tension à la puissance à transporter ou à distribuer donc assurant une liaison facile entre ces deux réseaux, ainsi que la transformation, pas trop compliquée, d'un champ sinusoïdal en un champ tournant, notamment si le courant alternatif est triphasé ce qui permet de réaliser des générateurs de puissances alternatives plus simples que les générateurs à courant continue.

I-13. Qualité de service[1] [2] :

Que signifie desservir la clientèle ?

Bien évidemment, en premier lieu, les clients attendent :

La permanence de la mise à disposition de l'électricité délivrée : tension, fréquence, qualité de l'onde, qualité de service.

I-13-1. Qualité de tension [1] [2]:

Pour le fonctionnement normal des appareils, il est très important d'avoir la tension à leurs bornes dans les limites données, du fait qu'un écart important de la tension risque de provoquer des préjudices considérables aux appareils.

La tension à n'importe quel point du réseau électrique peut changer tout le temps.

On distingue :

- a)- les changements longs de tension conditionnés par les variations des régimes de tension dans le centre d'alimentation et par les variations des charges du réseau, quand la vitesse de changement de la tension est inférieure à 1% par seconde, on les appelle : les écarts de tension.
- b)- les variations rapides de tension de courte durée conditionnées par les branchements des consommateurs puissants au réseau (les démarrages) ou par les courts-circuits.

Quand la vitesse de changement de tension est supérieure à 1% par seconde on les appelle : les variations de tension. Cette variation rapide de la tension constitue le phénomène appelé «Flicker».

I-13-2. Qualité de la fréquence[1] [2]:

La fréquence est le critère le plus important pour les consommateurs de l'énergie électrique et pour les centrales électriques.

En ce qui concerne la fréquence, la déviation de sa valeur est admise dans les limites de 0.4% de la fréquence nominale qui est égale à 50%Hz. En général, on évalue la Qualité de la fréquence selon la stabilité.

I-13-3. Qualité de l'onde[1] [2] :

Le générateur alimentant un réseau d'énergie électrique est construit de façon à fournir une F.e.m la plus proche possible d'une sinusoïdale d'où il supprimer totalement les harmoniques en dentures de la fréquence fondamentale.

De telle sujétions entraîneraient un surcoût certainement excessif, eu égard à ce que la clientèle est prête à payer pour disposer d'un service de qualité.

De même pour assurer une qualité totale du produit livré, il faudrait que le distributeur consente des investissements colossaux :

- augmenter la puissance de court-circuit.
- Multiplier les régulateurs de tension.
- Disposer de filtre pour réduire les harmoniques.

En résumé, l'exploitant d'un réseau de distribution doit mettre en œuvre un ensemble de moyens destinés à réduire le nombre et la durée des interruptions et à maintenir la tension voisine de la tension nominale. Mais il faut signaler que le distributeur d'électricité n'est pas seul responsable de la mauvaise qualité de l'électricité desservit. Par exemple :

Les fours à arcs sont à l'origine de phénomènes de flickers, c-à-d de tension variable dans le réseau proche, la mise en court-circuit de démarrage de gros moteurs asynchrones crée des chutes de tension ressenties dans le voisinage comme des microcoupures.

Le maintien de la fréquence est une préoccupation aussi bien du distributeur que du producteur.

I-13-4. Qualité de service[1] [2]:

La qualité de service dépend également, des règles techniques de construction et d'exploitation du réseau électrique. Ainsi est-on assuré d'œuvrer au mieux de l'intérêt collectif : le service est assuré au coût minimal et le produit n'est pas gaspillé puisque chaque utilisateur paie ce que coûte la fourniture.[8]

I-14.Conclusion :

Dans ce chapitre on a analysé les composants des réseaux et la manière d'exploiter pour le transport de l'électricité et les types des réseaux (réseau radial, réseaux bouclés, réseaux mailles), et on est arrivé à une autre problématique qui nous permettons de commencer le chapitre deuxième : ((Comment le transfert d'énergie électrique à moindre coût et assurance de la qualité conformément aux normes techniques))

Chapitre II : Compensation d'énergie réactive

II.1- Introduction :

Comment le transfert d'énergie électrique à moindre coût et assurance de la qualité conformément aux normes techniques)), On utilise des techniques pour élever le facteur de puissance à (1) pour réduire les pertes au lignes, On étudier deux type des compensations (compensation classique, compensation statique) .

II.2- compensation classique:

II.2-1-Limite de la puissance transmissible sur un réseau[4] :

Le transport d'énergie réactive occasionne des chutes de tension qui peuvent atteindre une valeur critique de tension, lorsque un réseau est très chargé, c'est ainsi qu'on prévoit une instabilité de tension.

Cette notion de limite peut être mise en évidence de manière assez simple dans le cas d'un dipôle représenté par la figure (2).

Nous considérons une impédance :

$$\overline{Z_{ch}} = Z \angle \varphi = Z(\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (\Omega) \quad (\text{II.1})$$

Alimentée à travers un réseau assimilable à une impédance :

$$\overline{Z_l} = jX \quad (\Omega) \quad (\text{II.2})$$

Et une tension de source :

$$\overline{V_s} = |V_s| \angle 0^\circ$$

Le courant traversant le dipôle est égale à :

$$\overline{I} = \frac{\overline{V_s}}{\overline{Z_l} + \overline{Z_{ch}}} = \frac{\overline{V_s}}{jX(Z \cdot \cos \varphi + jZ \cdot \sin \varphi)}$$

$$\overline{I} = \frac{\overline{V_s}}{Z \cdot \cos \varphi + j(X + Z \cdot \sin \varphi)}$$

$$I = \frac{V_s}{\sqrt{Z^2 \cdot \cos^2 \varphi + (X + Z \sin \varphi)^2}}$$

$$I = \frac{V_s}{\sqrt{Z^2 + X^2 + 2ZX \sin \varphi}} \quad (\text{II.3})$$

La tension aux bornes la charge est :

$$\overline{V_{ch}} = \overline{Z_{ch}} \cdot \overline{I} \Rightarrow V_{ch} = Z \cdot \frac{V_s}{\sqrt{Z^2 + X^2 + 2ZX \sin \varphi}}$$

$$V_{ch} = \frac{V_s}{\sqrt{1 + \frac{X^2}{Z^2} + 2\frac{X}{Z} \sin \varphi}} \quad (\text{II.4})$$

et la puissance active absorbée par la charge est :

$$P_{ch} = V_{ch} \cdot I \cdot \cos \varphi$$

D'après l'équation (II, 3) et (II,4) on peut écrire :

$$P_{ch} = \frac{V_s^2 \cdot \cos \varphi}{\frac{1}{Z} (Z^2 + X^2 + 2ZX \sin \varphi)}$$

$$P_{ch} = \frac{V_s^2 \cdot \cos \varphi}{Z + \frac{X^2}{Z} + 2 \cdot X \sin \varphi} \text{ (W)} \quad (\text{II.5})$$

En cherchant la valeur maximale de la puissance transmissible vers la charge, l'impédance de cette dernière $Z(\Omega)$ est variable avec conservation du déphasage φ (rad) constant.

$$P_{ch} = P_{\max} \quad \text{si} \quad \frac{dP_{ch}}{dZ} = 0$$

La valeur de Z qui vérifie cette dernière équation est X ce qui donne :

$$P_{MAX} = \frac{V_s^2 \cos \varphi}{2 \cdot X (1 + \sin \varphi)} \text{ (W)} \quad (\text{II.6})$$

Les valeurs réduites des trois grandeurs (courant I^* , tension V_{ch}^* et puissance P_{ch}^*) sont données comme suit :

- $I^* = \frac{I}{I_{cc}} \quad \text{avec} \quad I_{cc} = \frac{V_s}{X}$

alors : $I^* = \frac{X}{\sqrt{Z^2 + X^2 + 2ZX \sin \varphi}} \quad (\text{II.7})$

$$\bullet \quad V_{ch}^* = \frac{V_{ch}}{V_s} = \frac{V_s}{V_s \sqrt{1 + \frac{X^2}{Z^2} + \frac{2X}{Z} \sin \varphi}}$$

$$V_{ch}^* = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{X^2}{Z^2} + \frac{2X}{Z} \sin \varphi}} \quad (\text{II.8})$$

$$\bullet \quad P^* = \frac{P_{ch}}{P_{\max}} = \frac{V_s^2 \cdot \cos \varphi}{Z + \frac{X^2}{Z} + 2X \cdot \sin \varphi} \cdot \frac{2X \cdot (1 + \sin \varphi)}{V_s^2 \cdot \cos \varphi}$$

$$P_{ch}^* = \frac{2X(1 + \sin \varphi)}{Z + \frac{X^2}{Z} + 2X \sin \varphi} \quad (\text{II.9})$$

On peut tracer la variation de courant I^* , la tension V_{ch}^* et la puissance active P_{ch}^* en fonction de l'admittance de la charge ($Y_{ch}(\Omega^{-1})$) qui égale à : $Y_{ch}^* = \frac{1}{Z_{ch}}(\Omega^{-1})$, pour une valeur $\varphi(\text{rad})$ constante et $X(\Omega)$ constante.

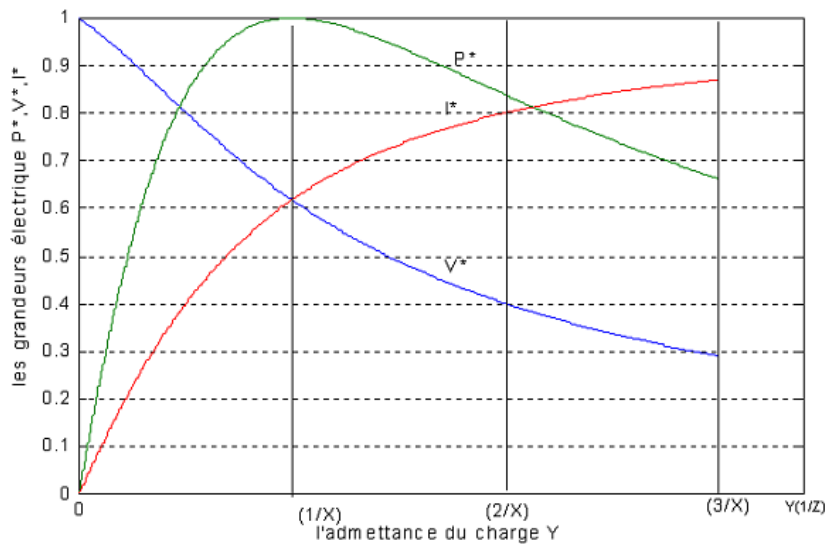


Figure (II.1) Variation des grandeurs électriques aux bornes de la charge

Lorsque la charge croît, on a une augmentation de l'admittance $Y_{ch}(\Omega)$, on constate qu'au début la puissance active croît avec le courant, elle augmente ensuite de moins en moins, passe par maximum puis diminue au-delà du maximum, en effet la chute de tension dans le réseau provoquée par l'appel de courant devient très importante et l'augmentation de courant ne suffit plus à compenser la diminution de tension de charge dans l'expression de P_{ch} (W).

II.2-2-Compensation de l'énergie réactive [4] :

Pour limiter les courants en ligne et donc l'énergie réactive absorbée par l'installation, on doit donc installer des sources d'énergie réactive en parallèle sur notre installation. On appelle cette technique " *Compensation de l'énergie réactive* ". Cette compensation permet d'améliorer le facteur de puissance ($\cos \varphi$). Soit un appareil ou groupe d'appareils appelant une puissance active P (W) et une puissance réactive (VAR). On souhaite réduire la $\tan \varphi$ à une valeur plus faible $\tan(\varphi')$.

Figure (II.2.a) *Diagramme traduisant l'échange d'énergie et l'intérêt de la compensation*

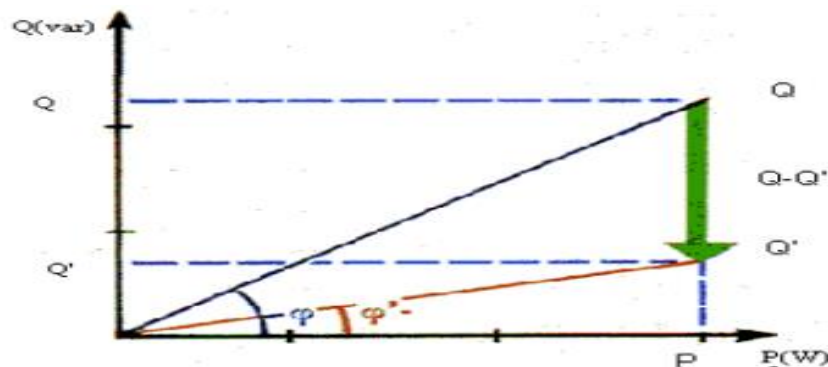
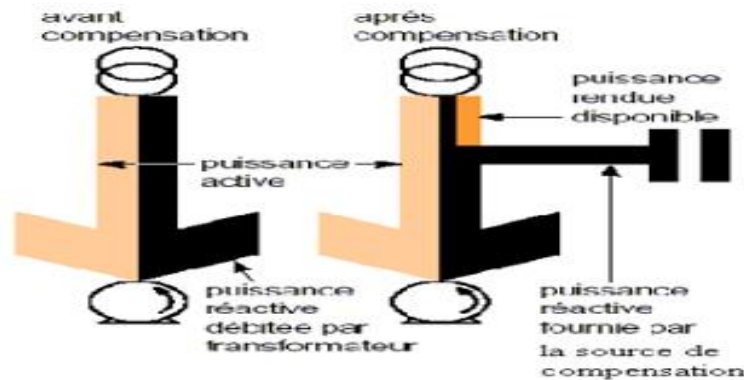


Figure (II.2.b) *Diagramme vectoriel représentant l'importance de la compensation*

- Q : la puissance réactive appelée par la charge seul.
- $Q - Q'$: la puissance réactive fournie par la source supplémentaire.
- Q' : la puissance réactive transitée par la source principale.
- P : la puissance active appelée par la charge.

$$Q = P.tg \varphi \quad \text{et} \quad Q' = P.tg \varphi '$$

La puissance des condensateurs à installer sera égale à :

$$Q_b = Q - Q' \quad (II.10)$$

$$Q_b = P(tg \varphi - tg \varphi ') \quad (II.11)$$

les valeurs de $\cos \varphi$ et de $tg \varphi$ évoluent avec le temps il convient d'utiliser des valeurs moyennes de ces dernières pour l'utilisation de la formule (II.11).

II.2-3-Les moyens de compensation :

Il y a plusieurs sources qui sont capables de produire de l'énergie réactive, ce qui permet de les utiliser comme des moyens de compensation d'énergie réactive et peut les classer comme suit :

- Les compensateurs rotatives : qui sont les moteurs synchrones.
- Les compensateurs statiques : qui sont les batteries de condensateurs

A) Les moteurs synchrones [5] :

On appelle compensateur synchrone, un moteur synchrone qui tourne à vide et dont la seule fonction est de fournir ou d'absorber de la puissance réactive sur une ligne de transport ou sur un réseau. Pour régulariser la tension d'un réseau, on doit lui fournir une puissance réactive pendant les heures de pointe. Inversement, pendant les périodes creuses, on doit absorber l'excès de puissance réactive générée par les lignes. Le compensateur synchrone permet de compenser ces fluctuations de puissance réactive en ajustant l'excitation selon les besoins.

Le compensateur agit alors comme une énormes capacitance ou inductance variable dont la valeur est réglable en faisant varier le courant d'excitation de son rotor.

Supposons que le moteur absorbe une puissance active de 800kW d'un réseau triphasé à 577V, et une réactance synchrone de 0.35Ω . Sa courbe de saturation donnant E en fonction de J le courant d'excitation. Figure (II.3)

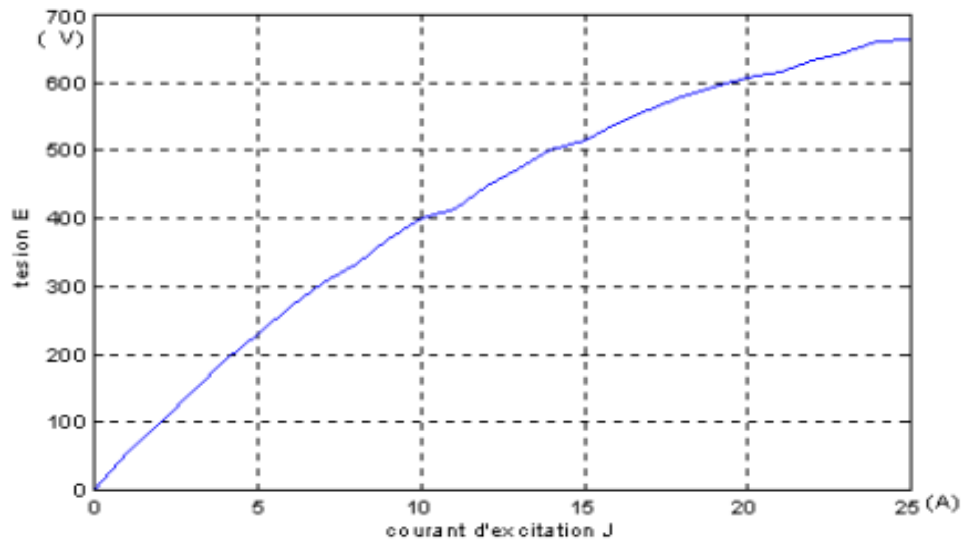


Figure (II.3) courbe de saturation d'un moteur synchrone de 800KW

a)- ajustons l'excitation de sorte que le moteur opère à un facteur de puissance unitaire

le tiré du réseau est donné par :

$$I = (800/3 \times 333) = 800 \text{ (A)}$$

La chute de tension dans la réactance synchrone est :

$$E_x = 800 \text{ (A)} \times 0.35 \text{ (}\Omega\text{)} = 280 \text{ (V)}$$

D'après le diagramme vectoriel, la tension induite égale à 435V, et obtient cette valeur, il faut J d'environ 11(A), figure (II.4.a).

b)_si l'on réduit le courant d'excitation à 7(A), le moteur absorbera une puissance réactive du réseau (le moteur est sous-excité), en plus la puissance active la valeur correspondante de E est de 306 (V), cela fait augmenter la puissance apparente à 1000 (A) le circuit équivalent et le diagramme vectoriel sont donnés sur la figure (II.4.b)

c)_augmentons le courant d'excitation, le moteur devienne surexcité. supposons que l'excitation soit ajustée afin que le moteur ait un facteur de puissance de 0.8 en avance (égale à la même valeur de deuxième cas $J=7\text{(A)}$). donc le moteur débite 600 (KVAR) au réseau, avec toujours une puissance active constante figure (II.4.c).

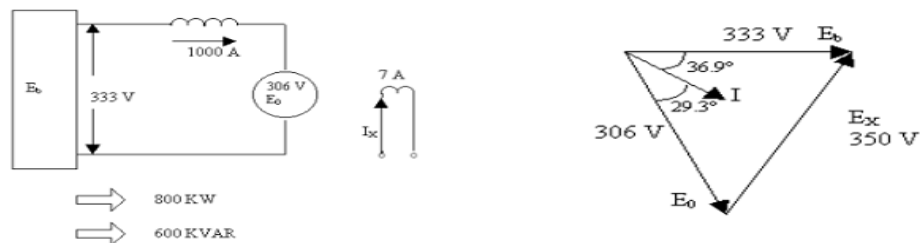
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 800^2} = 1000 \text{ (VA)}$$

le courant du réseau sera 1000(A)

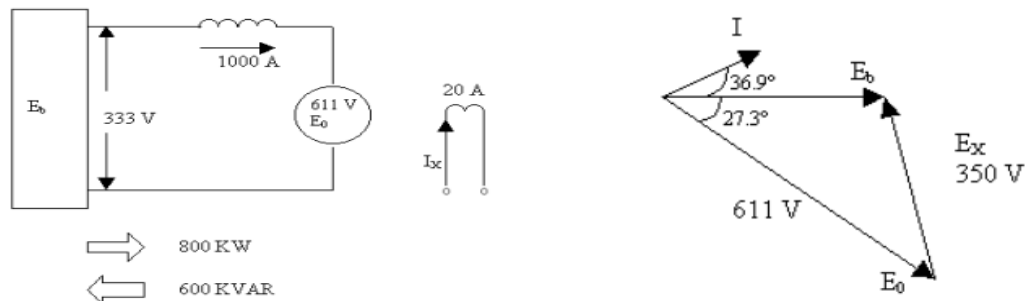
le diagramme vectoriel indique que la tension E est 6011(V) ce qui exige un courant d'excitation de 20(A)



A) excitation normale $I_x = 11 \text{ A}$



B) moteur sous-excité $I_x = 7 \text{ A}$



C) moteur surexcité $I_x = 20 \text{ A}$

Figure (II.4) : *puissance active et réactive pour trois excitations différentes et diagramme vectoriels correspondants*

B) Les batteries de condensateurs[6] [7]:

. La puissance réactive fournie par la batterie est constante quelles que soient les variations du facteur de puissance de la charge et de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

*** La puissance réactive d'une batterie de condensateurs :**

Soit un condensateur de capacité C (Farad) sous une tension sinusoïdale de valeur efficace $V(V)$, et de fréquence $f(Hz)$, fournit une puissance réactive :

$$q_c = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot V^2 \quad (VAR) \quad (II.12)$$

Les condensateurs de puissance sont groupés sous forme de batteries généralement triphasé, couplés au réseau en deux montage suivantes :

- montage triangle : qui est représenté par la figure suivante.

On a $Q_{\Delta} = 3 \cdot q_c$

Alors

$$Q_{\Delta} = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U^2 \quad (VAR) \quad (II.13)$$

avec :

_ Q_{Δ} : la puissance réactive du montage (Δ) en (VAR).

_ q_c : la puissance réactive d'un condensateur en (VAR).

_ U : tension composée en (V).

_ ω : la pulsation de tension en (rad/s).

_ C : la capacité d'un condensateur en (farad).

- montage étoile : qui est représenté par la figure suivante .

$$Q_Y = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot V^2 \quad (VAR) \quad (II.14)$$

avec :

_ Q_Y : la puissance réactive du montage étoile en (VAR).

_ V : la tension simple en (V) avec $U = \sqrt{3}V$ (V).

donc d'après (II.11),(II.12) on peut déduire

$$Q_{\Delta} = 3 \cdot Q_Y \quad (VAR) \quad (II.15)$$

de cette dernière formule (II,15), on remarque que l'énergie réactive fournie par le montage triangle est trois fois que l'énergie réactive fournie par le montage étoile et pour ça l'utilisation du montage triangle est très vaste pour la compensation de l'énergie réactive.

- **Types de batteries[6] [1]:**

On distingue deux types de batteries suivant leur raccordement :

- le branchement en dérivation pour les batteries shunt .
- le branchement en série entre la source et la charge pour les batteries en série.

- **Batterie shunt :**

Une batterie de condensateurs shunt est une installation en dérivation du réseau. Elle est raccordée entre phases, ou entre phase et neutre, ou entre phase et terre.

Les batteries peuvent être installées en simple étoile ou en double étoile (figure 2,6) quand elles sont raccordées entre phase et neutre ou terre. Elles sont installées en triangle (figure 2,7) quand elles sont entre phases.

Les batteries shunts sont le plus souvent utilisées sur les réseaux.

Elles peuvent être :

- Uniques (figure. 2,4) :Lorsque leur puissance réactive est faible et la charge relativement stable.
- Multiples ou fractionnées (figure. 2, 5) :Ce type de compensation est communément appelé en « gradins » (condensateur+disjoncteur). Ce type de batterie est très utilisé par certaines grosses industries (forte puissance installée) et les distributeurs d'énergie (dans les postes sources). Il permet une régulation pas par pas de l'énergie réactive.

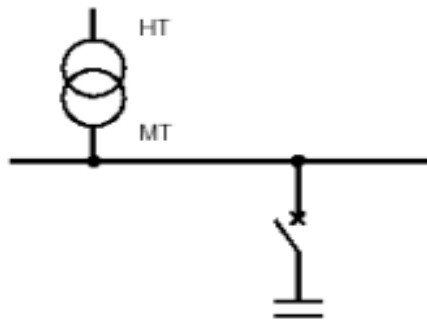


Figure (II.4) : **Batterie de condensateur unique**

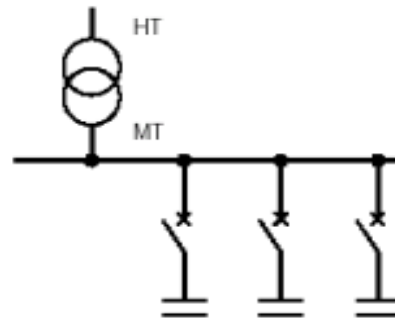
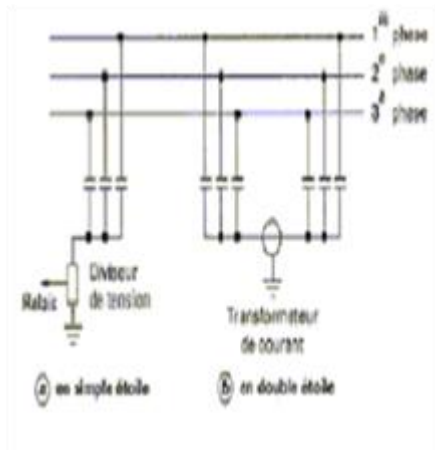
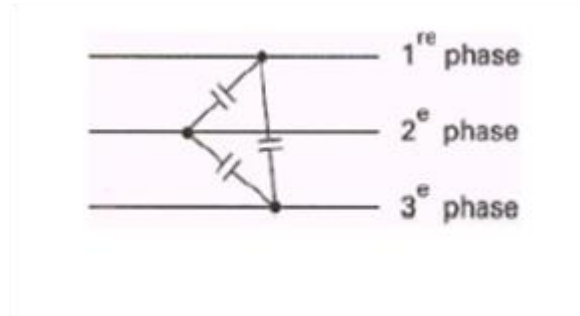


Figure (II.5) : **Batterie de condensateur multiple**

Figure (II.6) : *Batterie shunt en étoile*Figure (II.7) : *Batterie shunt en triangle*

- **Batteries en série :**

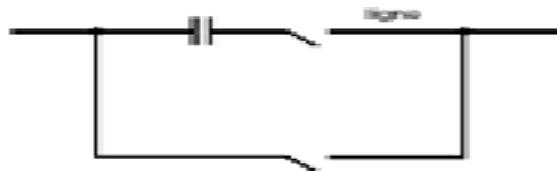
On peut réduire $X = jL$ en insérant en série sur la ligne électrique une capacitance $1 / C$; l'impédance de la ligne devient alors. D'où $Z < X$

Les batteries en série sont peu utilisées sur les réseaux, surtout à moyenne et basse tensions. Par contre, sur les lignes de transport à grande distance, sous des tensions supérieures à 220kV, leur utilisation est fréquente et leur puissance réactive est toujours importante.

Ces batteries jouent, en plus de l'amélioration de la capacité de transport d'énergie du réseau (équation (II.6)), d'autres rôles :

- maintien de la tension d'un réseau à facteur de puissance normal.
- répartition des charges, dans le cas de lignes fonctionnant en parallèle.

Les puissances des batteries en série atteignent quelques centaines de méga vars. Elles comportent des plates-formes isolées, à la même tension que la ligne (figure (II,8)) .

Figure (II.8) : *Batterie série*

La mise sous tension de ces batteries est assurée suivant les moyens :

- soit manuelle par disjoncteur ou interrupteur.
- soit semi-automatique par contacteur commandé à distance.

C) Les avantages des batteries :

de tous les équipements statiques :

- l'absence d'usure mécanique et un entretien réduit ;
- de faibles pertes ;
- un faible volume et une installation facile.
- Peuvent être fractionnés suivant les besoins.
- Soit leur prix est moins élevé que les compensateurs rotatifs, qu'elle que soit la puissance.

D) Les inconvénients des batteries :

- la puissance réactive fournie n'est pas réglable simplement ;
- la puissance réactive fournie varie avec la tension d'alimentation ;
- la mise sous tension provoque un violent appel de courant ;
- si la fréquence de résonance avec l'inductance de la source est proche de celle d'un harmonique existant, cet harmonique est amplifié et peut devenir gênant ou dangereux.
- l'inconvénient le plus important c'est le régime transitoire après l'enclenchement et déclenchement parce que :

L'enclenchement d'une batterie de condensateurs destinée à fonctionner en dérivation sur un réseau est accompagné d'un régime transitoire résultant de la charge de la batterie.

schéma de principe et courbes de courant et de tension montrant la surintensité de courant et les surtensions amont et aval qui accompagnent l'enclenchement est représenté sur la figure (II,9).

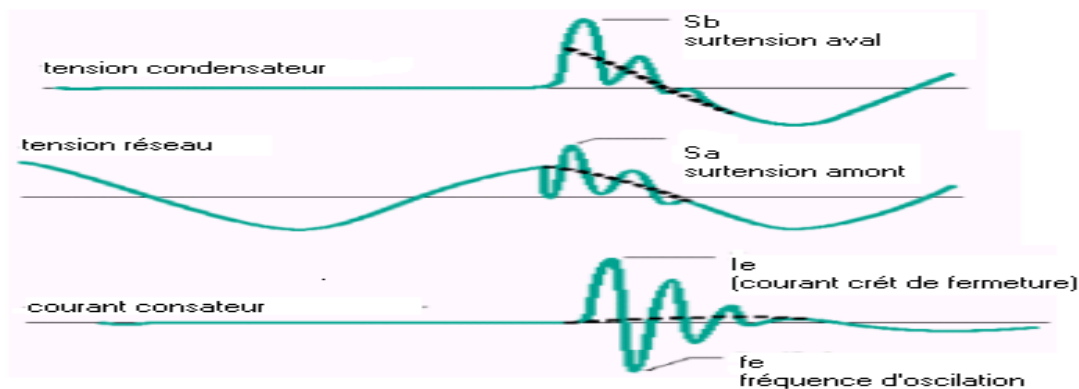


Figure (II.9) : *courbe courant et tension lors de couplage au réseau d'une batterie isolé*

Lors de l'extinction de l'arc de l'appareil de manœuvre figure (II.10), à un passage à zéro du courant, la batterie séparée reste chargée à la tension crête. Celle-ci est ensuite ramenée à zéro grâce aux résistances de décharge qui équipent chaque condensateur (temps : de 1 à 5 minutes).

La tension de rétablissement aux bornes de l'interrupteur atteint donc $2 U_m$ en une demi-période (hypothèse : temps d'arc très faible).

Si la régénération diélectrique de l'interrupteur croît plus vite que la tension de rétablissement, la coupure se passe normalement figure (II.11).

Par contre, si elle croît moins vite que la tension de rétablissement, il y a claquage (II.11)

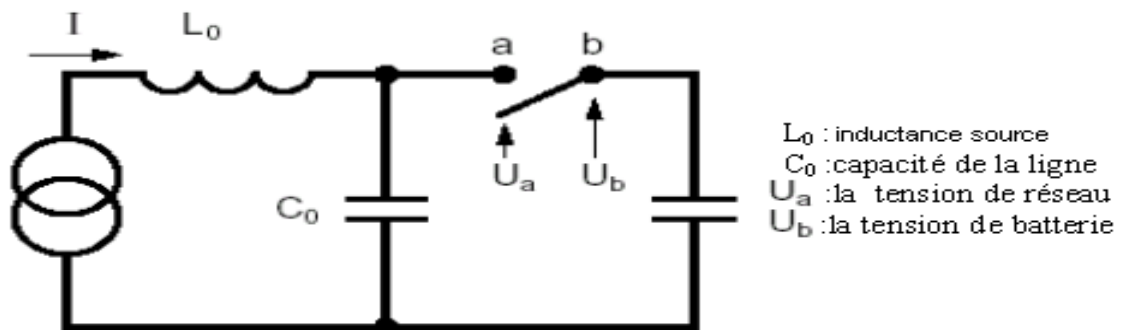


Figure (II.10) : *schéma de principe de déclenchement*

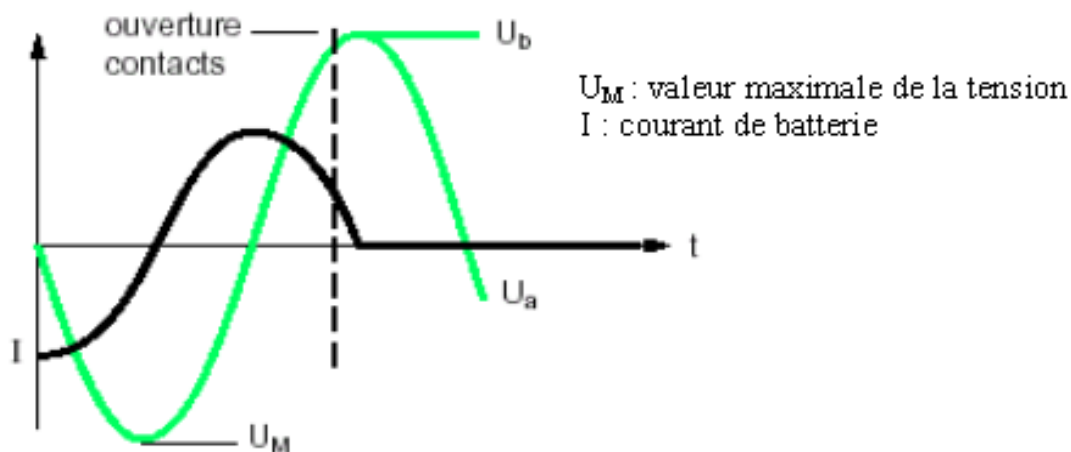


Figure (II.11) : *courbe courant et tension du batterie et la tensions de réseau*

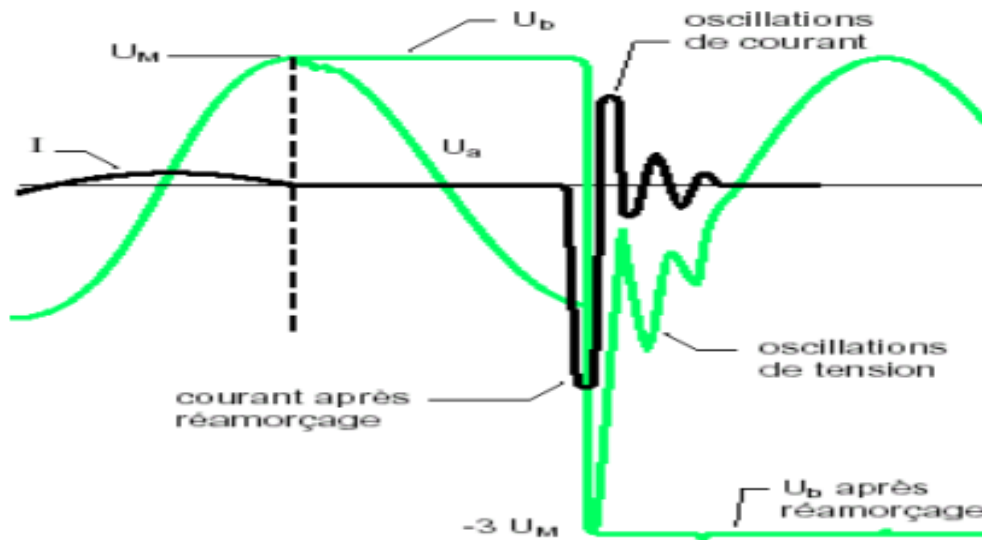


Figure (II.12) : *courbe courant et tension en cas de réamorçage*

Remarque : Dans le cas de charges à cycles ultra rapides (soudeuses ...), la manœuvre des condensateurs par système traditionnel (contacteurs électromécaniques) n'est plus adaptée.

II.2-4. Les perturbateurs : Figure (II.13)

a) Le four à arc :

Le four à arc est le principal générateur de flicker (C'est un phénomène de gêne physiologique visuelle ressenti par les utilisateurs de lampes alimentées par une source commune à l'éclairage et à une charge perturbatrice.). Les fluctuations de tension, que son fonctionnement normal fait naître, sont d'autant plus ressenties que la puissance des fours est élevée, en particulier par rapport à la puissance de court-circuit du réseau : elle se chiffre couramment en dizaines de MVA.

b) Machines à charges fluctuantes :

Les moteurs puissants, ou groupes de moteurs, à démarrages et arrêts fréquents, ou à charge variable, (tels ceux des laminoirs), ainsi que les machines à couple résistant alternatif (compresseurs),

c) Régulateurs de puissance à thyristors :

Pour échapper aux inconvénients de la «commande de phase» (harmoniques et parasites HF), les régulateurs à thyristors (parfois appelés gradateurs) fonctionnent en «commande syncope» chaque fois que leur charge le permet. Les thyristors à commande syncope sont allumés pendant des périodes

entières (régulation par train d'ondes entières), mais les temps de conduction sont très brefs, répétés à des fréquences de quelques Hz.

Par exemple, pour éviter ce phénomène dans le domaine du chauffage électrique, les normes imposent aux constructeurs des systèmes de régulation tels que la puissance ne soit pas commutée plus d'une fois toutes les vingt secondes.

d) Les machines à souder :

Les soudeuses à arc de puissance relativement faible sont peu gênantes (sauf utilisation intensive chez un abonné BT). Par contre les cycles répétitifs des soudeuses par résistance, à des fréquences comprises entre 0,1 et 1 Hz, sont à l'origine de perturbations sous la forme d'à-coups de tension.

RECEPTEUR		$\cos \varphi$	TG φ
Moteurs asynchrones ordinaires chargés à	0 %	0,17	5,80
	25 %	0,55	1,52
	50 %	0,73	0,94
	75 %	0,80	0,75
	100 %	0,85	0,62
Fours à arc		0,8	0,75
Redresseurs de puissance à thyristors		0,4 à 0,8	2,25 à 0,75
Postes statiques monophasés de soudage à l'arc		env. 0,5	env. 1,73
Transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc		0,7 à 0,9 0,7 à 0,8	1,02 à 0,48 1,02 à 0,75

Figure (II.13) *Facteurs de puissance des principaux récepteurs*

II.3-Compensation statique [3]:

II.3-1. COMPENSATION : COMMENT ? ET POURQUOI ?

Les réseaux électrique à pour but de véhiculer de la puissance depuis sa source jusqu'aux centres de consommations dans un réseau à courant alternatif. La puissance apparente S à deux composantes : la puissance P et la puissance Q liées par le déphasage.

$$S = P + jQ = UI[\cos \varphi + j \sin \varphi]. \quad (\text{II-16})$$

Le premier apparaît comme utile. L'autre comme une puissance parasite dont la circulation sur le réseau provoque des phénomènes indésirables.

On voit donc l'intérêt économique de réduire les transits de la puissance réactive pour réduire les pertes.

Mais comme les charges alimentées par le réseau absorbent en général de la puissance réactive, on cherchera à compenser cette puissance le plus près possible des consommateurs. La chute de tension à travers le réseau est donnée par :

$$\Delta U^* = \frac{PR + QX}{U^2} \quad (\text{II-17})$$

Par conséquent de transit de la puissance réactive est une composante de la chute de tension, composante qui est d'autant plus grande que le rapport X/R est plus grande. Ce qui est le cas de réseaux de transport à haute tension. Il apparaît clairement que la compensation de la puissance réactive et la tenue du plan de tension sont initialement liées et indissociables.

II.3-2. Différent type de compensation [3]:

a). Compensation Shunt :

Les condensateurs de puissance sont les plus souvent installés en dérivation sur le réseau. C'est ce que l'on nomme "la compensation SHUNT".

Pratiquement, ils sont connectés aux bornes du réseau suivant un couplage étoile ou triangle. Les condensateurs fournissent à la pulsation ω une puissance Q_c , la dimension du condensateur est liée à sa puissance. Celle-ci peut atteindre 200 à 300 MVAR.

Les condensateurs SHUNT sont utilisés soit en basse tension souvent auprès des appareils d'utilisation les plus puissants, soit en moyenne tension où ils sont regroupés en batteries de quelques MVAR.

En moyenne tension, les batteries sont installées pas l'intermédiaire d'un disjoncteur sur le jeu de barres moyennes tensions des postes HT / MT. Ces batteries compensent les charges réactives locales et une partie des pertes réactives sur les réseaux en amont.

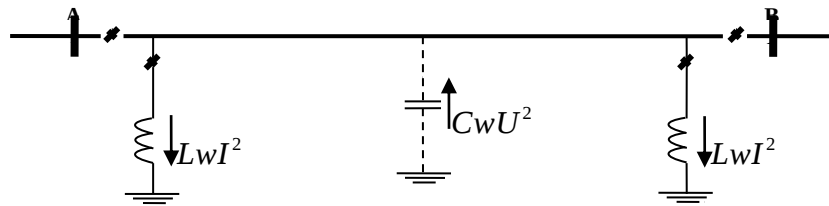


Figure (II.14) *schéma de la compensation shunt*

b). COMPENSATION SERIES :

Les condensateurs sont placés en série sur une ligne dont ils compensent la réactance. La compensation série est employée sur certaines lignes à haute tension à la fois très longues et très chargées. Elle est justifiée par des considérations telle que la stabilité. Ce type de compensation est assez exceptionnel.

Mentionnons que les principaux problèmes résident dans la protection contre les surintensités qui traversent les batteries lorsqu'un court-circuit se produit sur la ligne où elles sont installées.

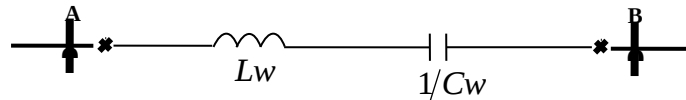


Figure (II.15) *schéma de la compensation séries*

II.3-3. Le facteur de puissance [3]:

a). INTRODUCTION :

Tout système électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive. Dans les processus industriels utilisant l'énergie électrique seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique, lumineuse, etc... L'autre, l'énergie réactive sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteurs, autotransformateurs, etc...). Par ailleurs, certains constituants des réseaux électriques de transport et de distribution (transformateurs, lignes, etc...) consomment également dans certains cas d'exploitation de l'énergie réactive.

b). L'énergie réactive :

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).

c). Le facteur de puissance : [3]

C'est le quotient de la puissance active consommée et de la puissance apparente fournie.

$$F = \frac{P(W)}{S(VA)} \approx \cos \varphi \quad (\text{II-18})$$

Le $\cos \varphi$ est le facteur de puissance du fondamental et ne prend pas en compte la puissance véhiculée par les harmoniques. Un facteur de puissance proche de 1 indique une faible consommation d'énergie réactive et optimise le fonctionnement d'une installation.

Les représentations graphiques :

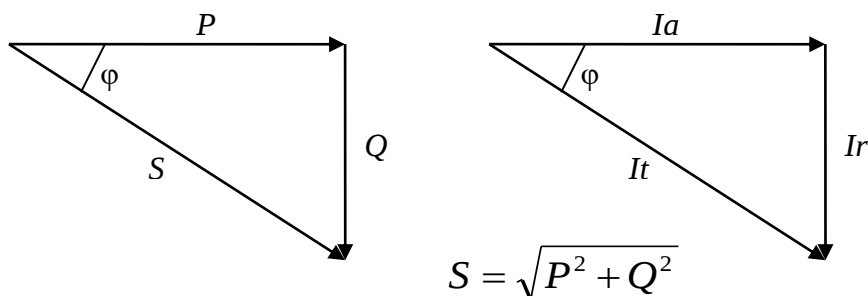


Figure (II.16) *représentations graphiques du facteur de puissance*

d). Avantages d'un bon facteur de puissance :

Un bon facteur de puissance c'est :

- $\cos \varphi$ élevé (proche de 1)
- Ou $\tan \varphi$ faible (proche de 0)

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :

- la diminution de la facturation d'énergie réactive.
- la diminution de la puissance souscrite en kVa.
- la limitation des pertes d'énergie active dans les câbles compte -tenu de la diminution de l'intensité véhiculée dans l'installation.
- l'amélioration du niveau de tension en bout de ligne.

L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire.

e). Inconvénients d'un mauvais $\cos \varphi$ [3] :

Comme nous venons de le voir précédemment, pour une même puissance utile fournie par un appareil électrique, il faut transporter dans tous les circuits électriques une intensité d'autant plus grande que le $\cos \varphi$ est faible, cela entraîne :

- Une augmentation du montant de la facture . (une consommation excessive d'énergie réactive peut également entraîner une majoration sous forme de pénalité du montant de votre facture : difficulté qu'a à prévoir la quantité d'énergie à produire).
- Une surcharge ou un surdimensionnement de l'installation. En effet, si le $\cos \varphi$ diminue, et (courant réellement transporté) augmente, or, les facteurs qui limitent la puissance maximale que peut transmettre une ligne sont, d'une part la chute de tension (fonction de I), d'autre part la température maximale admissible par l'isolant : à peu près 70° pour du PVC (fonction de I^2).

*** Un mauvais Cos ϕ [3]:**

accroît les chutes de tension dans les câbles.

Augmente les pertes par effet joule lors du transport de l'énergie électrique.

- entraîne une surfacturation par une surconsommation ou une pénalité.
- dégrade la capacité de transport de l'énergie électrique par des câbles.
- entraîne un surdimensionnement des installations neuves: câbles (section), transfo (S), etc...
- entraîne des renforcements prématurés des installations existantes.
- Ne laisse pas de réserve de marche au secondaire du transformateur.

f)- L'amélioration du facteur de puissance :

Cette amélioration présente de nombreux avantages :

- 1- Réduction de la puissance souscrite pour les abonnés au tarif jeune (36KVA < S < 250KVA).
- 2- Diminution de la section des câbles.
- 3- Diminution des pertes en ligne.
- 4- Réduction de la chute de tension.
- 5- augmentation de la puissance disponible du transformateur.

Pour améliorer le facteur de puissance, il faut installer des **condensateurs** (source d'énergie réactive). Cette opération est appelée " compensation ".

En préalable à la compensation, il faut éviter le surdimensionnement des moteurs asynchrones et leur marche à vide (le facteur de puissance d'un moteur asynchrone est d'autant plus faible que le moteur fonctionne en deçà de sa puissance nominale).

II.3-4. Technique de Compensation en Basse Tension[12] [3]:**a). Principe général de la compensation :**

Le principe de compensation avec des condensateurs peut être représenté par les deux figures ci-après. La (figure 01) présente la composition vectorielle des différents courants et pour un courant actif donné, la réduction du courant total dans les conducteurs.

I_a = courant actif consommé

I_{t_1} = courant total avant compensation

I_{r1} = courant réactif fourni au travers du transformateur avant compensation

I_{t2} = courant total après compensation

I_{rC} = courant réactif fourni par le condensateur

I_{r2} = courant réactif fourni par le transformateur après compensation ($I_{r2} = I_{r1} - I_{rC}$).

La (figure II.18) illustre l'échange local d'énergie réactive entre le récepteur et le condensateur.

Le courant total fourni par le réseau I_{t2} est réduit, le rendement de l'installation se trouve donc amélioré puisque les pertes par effet Joule sont proportionnelles au carré du courant.

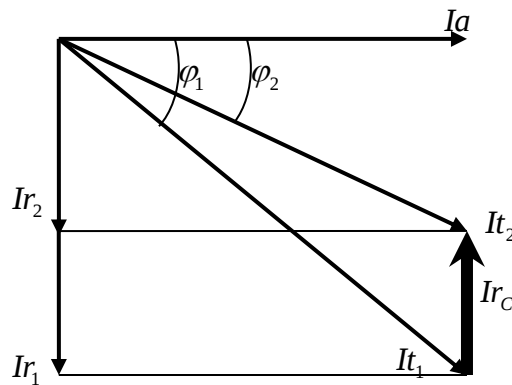


Figure (II.17): *Composition vectorielle des différents courants, et l'effet de la compensation.*

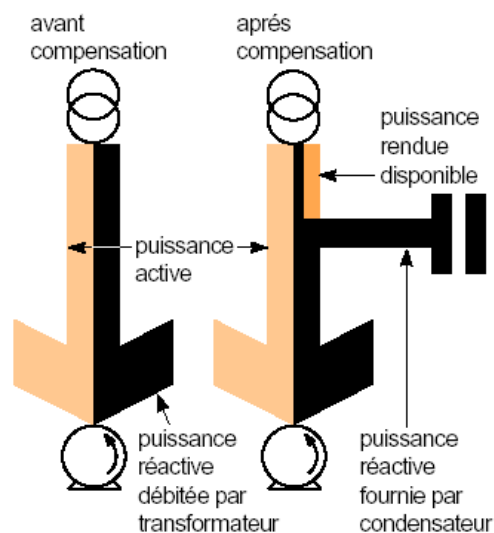


Figure (II.18) : *diagramme traduisant les changes d'énergie dans le circuit d'alimentation d'un récepteur est montrant l'intérêt de la compensation.*

b). Calcul de la puissance des condensateurs de compensation :

Sur une installation de puissance réactive Q , et de puissance apparente S , on installe une batterie de condensateurs de puissance Q_c .

- La puissance réactive passe de Q à Q' : $Q' = Q - Q_c$
- La puissance apparente passe de S à S' .
- La puissance apparente après compensation S' est donc diminuée.

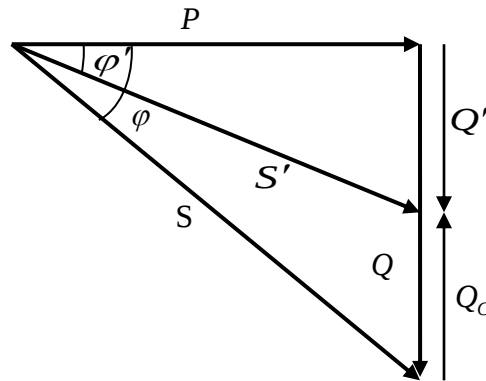


Figure (II.19) : *représentations graphiques la puissance des condensateurs de compensation*

La quantité d'énergie réactive fournie par un condensateur est $Q_c = U^2.C.w$ avec :

- U = tension aux bornes du condensateur
- C = capacité du condensateur
- $w = 2.\pi.f$ = pulsation du réseau d'alimentation

Si nous avons un couplage triangle alors 3 condensateurs :

La capacité des condensateurs se calcule par : $Q_c = 3.U^2.C.w$

$$C = \frac{Q_c}{3.U^2.w}$$

Remarque :

- La capacité des condensateurs couplés en triangle est trois fois plus petite.
- La tension à supporter par les condensateurs lors du couplage étoile est dans un rapport de racine de 3.
- les dimensions de la batterie de condensateurs couplés en triangle seront plus petites.

c).Mode de compensation :

Suivant les conditions qui peuvent se présenter et en tenant compte des explications qui suivent, il existe quatre modes de compensation de l'énergie réactive en basse tension :

- Compensation individuelle.
- Compensation par secteur.
- Compensation globale.
- Compensation combinée.

*** Compensation individuelle:**

- La compensation individuelle est surtout conseillée lorsqu'un récepteur de puissance supérieur à 25KW existe, ou doit être installé, et s'il demeure sous tension pendant la majeure partie des moteurs entraînant des machines de grande inertie : pompes, compresseurs ou ventilateur.

La manœuvre de l'interrupteur propre au récepteur provoque alors automatiquement l'enclenchement ou le déclenchement du condensateur.

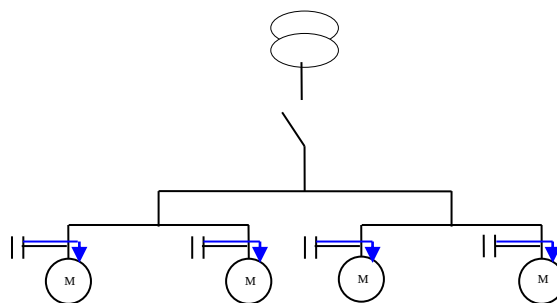


Figure (II.20) : *représentations
compensation individuelle*

A)- Avantages :

- Supprime la facturation d'énergie réactive.
- Constitue, sur le plan technique, la solution idéale puisque l'énergie réactive est produite à l'endroit où elle est consommée ; les pertes joules (Rl^2) sont donc diminuées dans toutes les lignes.
- Soulage le transformateur.

Remarque : Solution la plus coûteuse compte tenu :

- de la multiplicité des installations.
- de la non-intégration du coefficient de foisonnement.

B)-Inconvénients :

Quant il s'agit de récepteurs qui sont relativement peu souvent alimentés, la compensation individuelle ne permet pas d'utiliser au mieux la puissance des condensateurs installés car elle ne prend pas en compte le foisonnement des charge. Pour les petits récepteurs, la compensation individuelle est relativement coûteuse, car Plusieurs petits condensateurs plus chers qu'un seul condensateur de puissance totale.

*** Compensation par secteur (groupe) :**

Dans le cas de la Compensation par secteur (ou atelier) plusieurs récepteurs sont reliés à une batterie de condensateur commune qui est manœuvrée par son propre appareillage. Dans les grandes installations, la batterie compense l'ensemble des consommateurs d'énergie réactive d'un atelier ou d'un secteur. Cette forme de compensation est conseillée pour des installations où un certain nombre de récepteurs sont simultanément mis en service et d'une façon quasi reproductible dans le temps. Dans ce cas, un seul organe de manœuvre se fait.

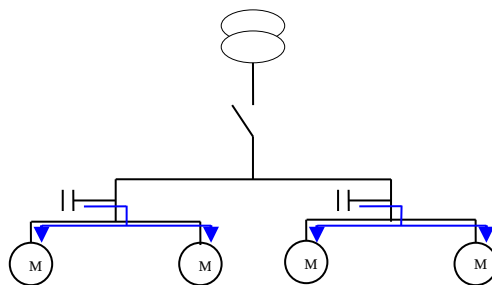


Figure (II.21) :
représentations
compensation groupe

A)- Avantages :

- Supprime la facturation d'énergie réactive.
- Soulage une grande partie des FEEDERS d'alimentation et diminue dans ces FEEDERS les pertes joules (RI^2).
- Intègre le foisonnement de chaque secteur.
- Soulage le transformateur.
- Reste économique.

Remarque : Solution généralement utilisée pour un réseau usine très étendu.

B)- Inconvénients :

- Les câbles alimentant les différents récepteurs ne sont pas soulagés.
- Il faut prévoir une protection des condensateurs (fusible, disjoncteur, etc.) et des résistances de décharge pour des questions de sécurité lors maintenances.
- Il faut en outre surveiller régulièrement les fusibles.

*** Compensation globale :**

Dans le cas de la compensation globale, la production d'énergie réactive est groupée en seul endroit, le plus souvent dans le poste de transformation. Toutefois, il n'est pas nécessaire que l'installation des condensateurs soit faite juste au niveau de comptage. Au contraire, il est recommandé d'installer les condensateurs à un endroit approprié qui tienne compte de contraintes diverses telles que l'encombrement. Il faut toutefois veiller à ce que la puissance réactive soit la mieux répartie possible sur la ligne principale.

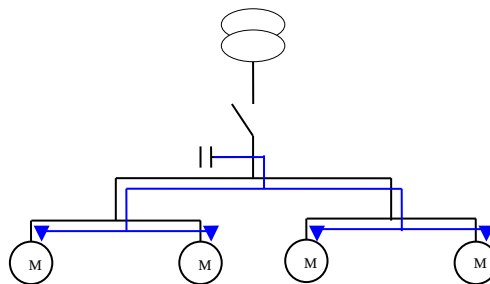


Figure (2.22) : *représentations compensation globale*

A)- Avantages :

- Supprime la facturation d'énergie réactive.
- Représente la solution la plus économique car toute la puissance est concentrée en un point et le coefficient de foisonnement permet des batteries bien optimisées.
- Soulage le transformateur.

Remarque : Les pertes dans les câbles (Rl^2) ne sont pas diminuées.

B)-Inconvénients :

les installations de distribution en aval du raccordement de la compensation globale véhiculent toute la puissance.

II.3-5. Compensation en moyenne tension[3]: :

Les batteries sont installées par l'intermédiaire d'un disjoncteur sur les jeux de barres moyenne tension des poste HT/MT ou THT/MT ces batteries compensent les charges réactives locales et une partie des pertes réactives sur les réseaux amont.

Elles pouvant être fractionnés en gradins mis en service successivement pour obtenir une compensation optimale en fonction de la courbe journalière de charge, dans ce cas chaque gradin est manœuvré par un interrupteur spécialement prévu à cet effet.

La commande de la batterie est assurée par un relais var métrique ou par un horloge. La programmation par horloge pose de nombreux problèmes, car il s'avère difficile de suivre avec précision les évolutions de la courbe de charge au cours de cycles journaliers hebdomadaires et annuels, c'est la raison pour laquelle il faut décidé de commander les batteries de condensateurs MT au moyen de relais basé sur le principe suivant :

La puissance réactive Q absorbée par le réseau MT est calculée à partir de la puissance réactive au niveau des arrivées et des départs condensateurs. Q est intégrée avec une constante de temps de 10min et la valeur moyenne résultante est comparées, en permanence aux seuils d'enclenchement et de déclenchement des gradins ,ces seuils tiennent compte de la puissance apparente du poste et de la puissance (apparente) active mesurée par le relais.

On utilise rarement ces batteries en cabine placés le long de la ligne MT à cause de leur coût plus élevé, elle peuvent être remplacées par des batteries sur poteau plus simple et de prix plus réduit.

II.3-6. Compensation en haute tension :

Les batteries de condensateur HT sont toujours de puissance importante elles sont réalisées au moyen de condensateurs couplés en série - parallèle montés sur des châssis isolés, elles sont généralement raccordées aux jeux de barres haute tension des postes THT/ HT et leur puissance est comprise entre 20 et 30 Mvar, elles assurent principalement la compensation des pertes réactives des réseaux HT et THT, elles sont également utilisées pour maintenir la tension, ces batteries ne sont pas fractionnées.

II. 4-Conclusion

La difficulté de bien évaluer les problèmes liés à la circulation d'énergie réactive, en particulier dans les réseaux électriques, pourrait conduire à envisager, à partir de centrale électrique, la solution **définitive** qui serait capable de résoudre, par nature, tous ces problèmes est les compensateurs statiques.

Mais tous les types de compensateur statique et classique ne présentent pas les mêmes possibilités. De plus, l'investissement est relativement lourd (il équivaut à une fraction notable de la puissance des convertisseurs de production) et cette dépense doit être justifiée par une nécessité reconnue.

C'est pourquoi, il a paru utile, plutôt que de décrire en détail une technologie qui est tout à fait classique, de réserver une place importante à l'analyse des divers aspects possibles du problème général de compensation, tel qu'il peut se poser au concepteur d'une installation industrielle.

Chapitre III :Réalisation et Résultat d'une ligne de transport électrique

III-1. Introduction:

Théoriquement, une ligne de transport doit être considérée comme un ensemble de résistances et réactances réparties le long de la ligne. Pour des raisons de calculs, une ligne peut être représentée sous forme d'un schéma électrique dont les paramètres sont :

.Réparties et dépendent de la longueur

Tiennent compte de la résistance au courant alternatif passant par la ligne D'où l'on a les paramètres longitudinaux appelés impédance Z de la ligne avec :

$$Zl = Rl + jXl$$

- Xl : Impédance de la ligne

- Rl : Résistance de la ligne

Tiennent compte des effets engendrés par la tension appliquée les paramètres transversaux appelés admittance. $Y = G + jB$; dans le troisième chapitre: on a présenté une réalisation des lignes électriques par des composants électroniques (R, L, C)

III-2. Conception du circuit:

III-2.1-Schéma équivalent:

Un tronçon de ligne dont la longueur est assez courte, peut être remplacé Par un quadripôle.

On distingue le schéma en « π » et celui en « T »

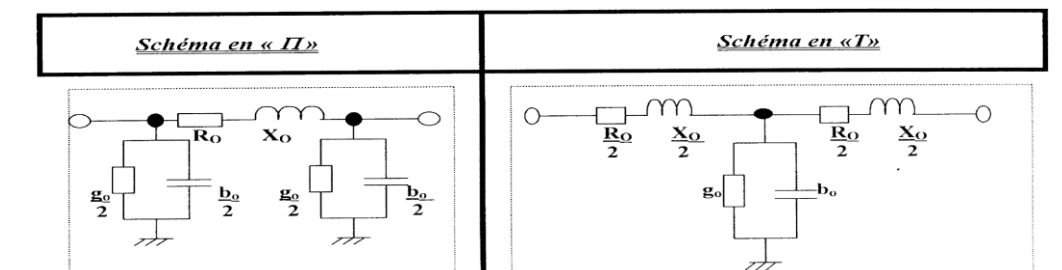


Figure III -1 Schéma d'un quadripôle en « T ». « π »

pour composer le schéma équivalent de toutes les lignes, il faut considérer une chaîne de Quadripôles dont le nombre dépend de la longueur de la ligne.

pour cette chaîne, on calcule les paramètres équivalents, après cela, la ligne peut être représentée par les paramètres concentrés. L'expérience du calcul montre l'utilisation du schéma équivalent suivant : Pour les lignes de grande longueur ; des coefficients de correction peuvent être utilisés pour corriger les valeurs des Paramètres de la ligne.

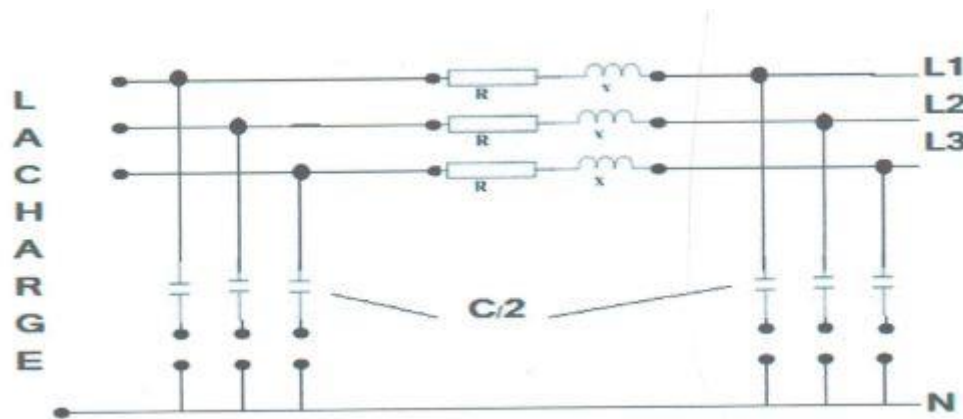
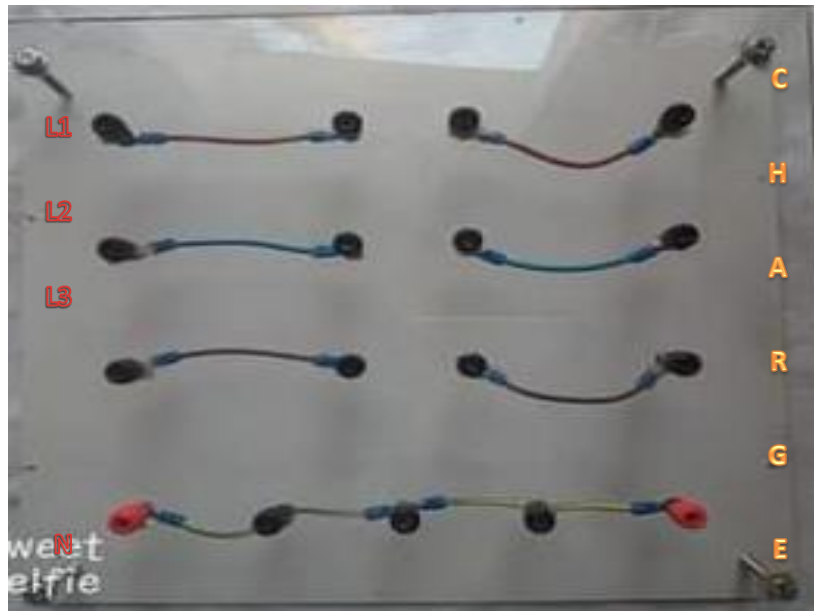


Figure III-2 Schéma équivalent d'une ligne moyenne



III-3 Figure Schéma de circuit de réalisation

III-2. 2-Quadripôles et détermination des paramètres A,C,D,C:

A) Ligne courte:

On appelle une ligne courte, une ligne de longueur comprise entre 50 et 80 Km

, son schéma équivalent est représenté sur la Figure (III -4)

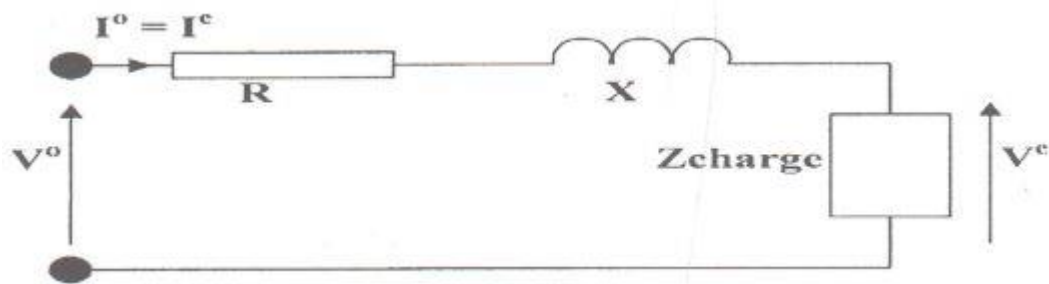


Figure III-4 Schéma équivalent une ligne courte

D'après le schéma équivalent simple, on remarque que les courants de dérivation sont négligeables ($\Rightarrow I_o : I_e$) ; par conséquent la susceptance spécifique b_o ainsi que la conductance spécifique g_o sont très faibles, donc négligeables ($y_o : g_o + j.b_o : 0$) et d'après on peut écrire:

$$\left\{ \begin{array}{l} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{array} \right. \quad (III-1)$$

Donc pour : $Y=0$ $A = D = 1$, $B = Z$, $C=0$ on obtient

$$\left\{ \begin{array}{l} V^o = V_e + Z.I_e \\ I^o = I_e \end{array} \right. \quad (III-2) \quad \text{ou} \quad Z = R + jX$$

L'effet de la variation du facteur de puissance de la charge sur la tension de régulation de la ligne est facilement compris pour les lignes courtes, la tension de régulation d'une ligne de transmission est l'augmentation en tension à l'origine, exprimée en pour-cent pour U pleine charge. . Lorsque cette pleine charge est spécifiée, le facteur de puissance change, tandis que la tension à l'origine est prise constante.

B) Ligne moyenne:

Les lignes moyennes sont caractérisées par la longueur comprise entre 80 et 250 Km. Dans le calcul de ces types de lignes on introduit généralement une admittance composée d'une capacité pure (voir schéma ci-dessous). Si l'admittance totale de la ligne est divisée en deux parties égales placées à l'origine et à l'extrémité de cette ligne, le circuit est appelé n nominal dont le schéma équivalent est le suivant:

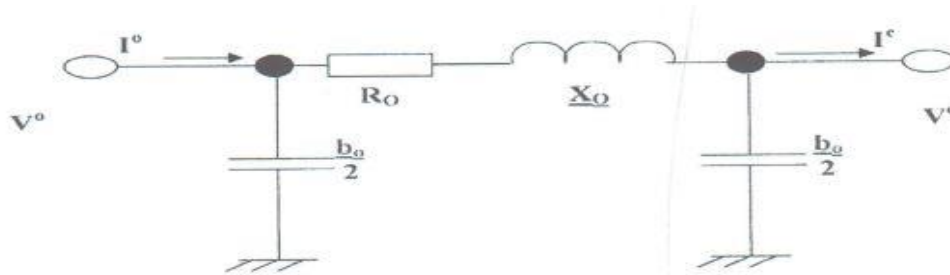


Figure III-5 Schéma équivalent d'une ligne moyenne

Pour obtenir les expressions des tensions appliquons la méthode des quadripôles, sachant que la conductance linéique propre a été négligée ($g_0 = 0$, ligne moyenne) $Y_0 = j b_0$.

Sachant qu'on peut représenter un tronçon de ligne par un quadripôle comportant une entrée et une sortie, on peut calculer les grandeurs d'entrée ou de sortie en utilisant ce dernier.

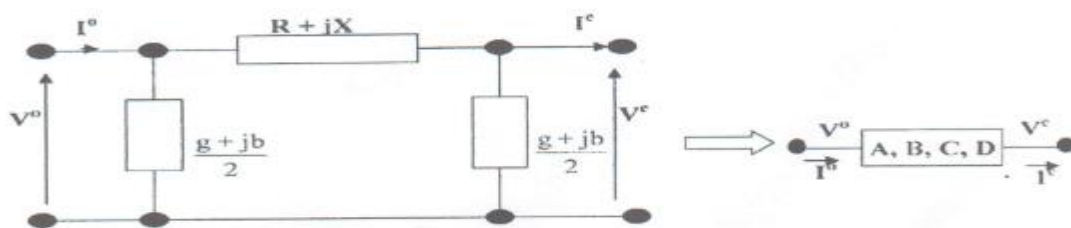


Figure III-6 Schéma équivalent représenté la ligne par un quadripôle en π

V° : Tension simple à l'origine (début) de la ligne

V^e : Tension simple à l'extrémité (fin) de la ligne

I° : Courant simple à l'origine (début) de la ligne

I^e : Courant simple à l'extrémité (fin) de la ligne

Les paramètres de l'entrée (l'origine) sont déterminés à partir de ceux de l'extrémité.

$$\begin{cases} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{cases} \longrightarrow \begin{bmatrix} V^o \\ I^o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_e \\ I_e \end{bmatrix} \quad \text{(III-3)}$$

Pour déterminer les coefficients A, B, C et D du quadripôle nous devons examiner deux régimes de fonctionnement particuliers de la ligne :

*** Le régime à vide :**

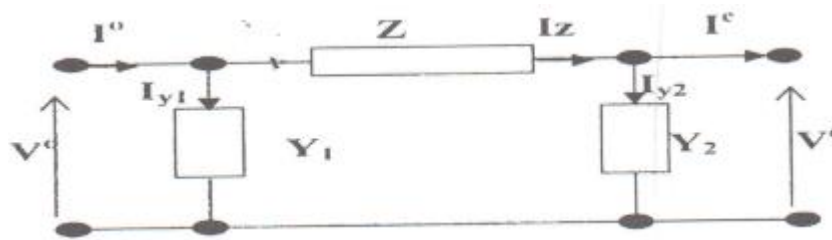


Figure III-7 Schéma équivalent Le régime à vide

Pour la marche à vide $I_e = 0 \Rightarrow I_z = I_{y2}$

$$V^o - V_e + I_z.Z = V_e + I_{y2}.Z ; I_{y2} = V_e.Y_2$$

$$V^o = V_e + V_e.Y_2.Z = V_e.(1 + Y_2.Z) = A.V_e$$

$$\boxed{A = 1 + Y_2.Z = 1 + (Y.Z)/2} \quad \text{(III-4)}$$

Remarque:

On appelle quadripôle symétrique un quadripôle pour lequel la permutation des bornes d'entrée et de sortie ne varie pas la tension et le courant par la charge et par la source.

$$I^o = I_{y1} + I_{y2} = V_o.Y_1 + V_e.Y_2 = (1 + Y_2.Z). V_e Y_1 + V_e Y_2$$

$$I^o = V_e.(Y_1 + Y_2 + Y_2.Z) = C.V_e$$

$$\boxed{C = Y_1 + Y_2 + Y_2.Z = Y_1.(1 + Y_2.Z)} \quad \text{(III-5)}$$

*** Le régime en court-circuit:**

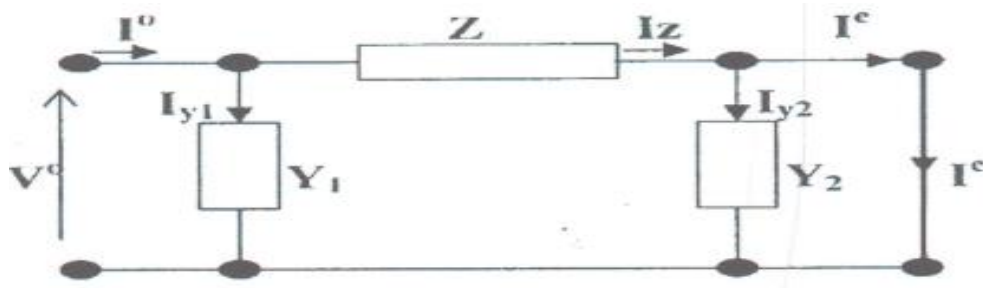


Figure III-8 Schéma équivalent Le régime en court-circuit

La vérification des coefficients du quadripôle se fait par la satisfaction de la Relation :

$$\left\{ \begin{array}{l} A=1+Y_2.Z=1+((1+Y.Z)/2) \\ B=Z \\ C=Y_1+Y_2+Y_1.Y_2.Z=Y.((1+Y.Z)/4) \\ D=1+Y_2.Z=1+(Y.Z)/2 \end{array} \right. \quad \text{(III-6)}$$

Suivante : $A.D-B.C=1$; Ainsi on pourra choisir la méthode matricielle :

$$= A^{-1} \begin{bmatrix} V^\circ \\ I^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D & -B \\ -C & A \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V^\circ \\ I^\circ \end{bmatrix} \quad \text{(III-7)} \begin{bmatrix} V_e \\ I_e \end{bmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_e=D.V_e-B.I_e \\ I_e=-C.V_e+A.I_e \end{array} \right. \quad \text{(III-8)}$$

Pour déterminer les paramètres à l'extrémité en fonction de ceux à l'origine, on utilise la Matrice inverse A^{-1} .

Remarque :

Si on écrit le système (III.8) comme suit (existe dans certain Ouvrages)

$$\left\{ \begin{array}{l} U=D.V_e+B.I_e \\ I^\circ=C.U_e+A.I_e \end{array} \right. \quad \text{(III-9)}$$

IL ne faut pas oublier de mentionner que :

- U_0 : Tension composée, donc il faut avoir I_e composé.
- I_0 : Courant simple, donc il faut avoir V_e simple.

Le système (III.10) devient pour un système triphasé :

$$\begin{cases} U = A.U_e + \sqrt{3}.B.I_e \\ I^0 = C.U_e/\sqrt{3} + D.I_e \end{cases} \quad (\text{III-10})$$

:III-3. Réalisation et teste

III-3. 1. Ligne courte :

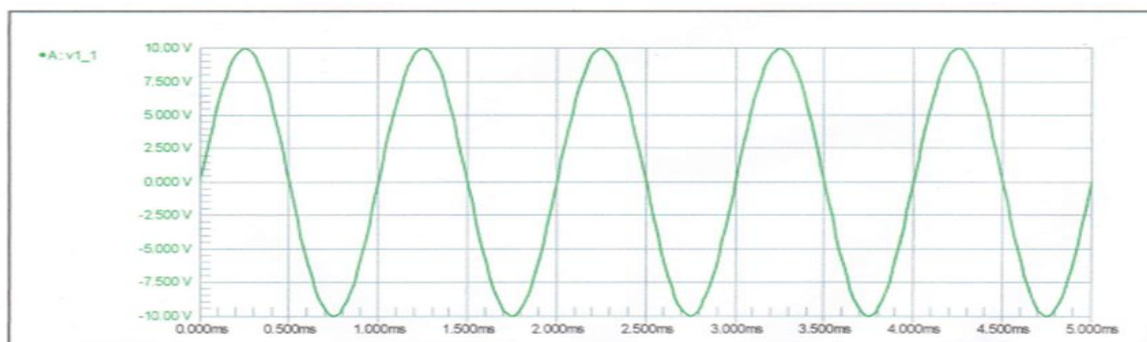
a). Essai à vide pour une ligne résistif:

On a obtenues les résultats inscrits dans le tableau ci-dessous.

V^0	I^0	P^0	Q^0	V_e	I_e	P_e	Q_e	R	$X_L(m)$
(v)	(A)	(w)	(VAR)	(v)	(A)	(w)	(VAR)	(Ω)	(H)
10	0	0	0	10	0	0	0	2,5	0

Tableau III -1 Essai à vide pour une ligne résistif

Donc on remarque que pour une ligne courte que se soit résistif ou inductif ou les deux à la fois puisque il n'ya pas une charge le courant est nulle ainsi que le puissance active et réactive, la tension d'entrée et la même que la tension de sorti.



Fuguer (III-9) : Présentations de la tension de sortie pour la ligne a vide

*** détermination le paramètre des lignes :**

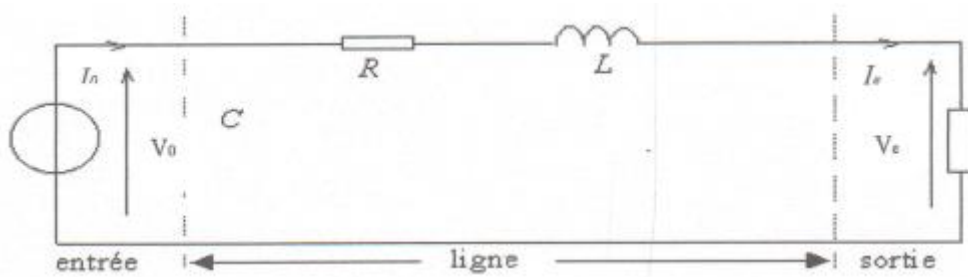


Figure III-10 Schéma équivalent Les ligne courte

V^o : Tension simple à l'origine (début) de la ligne

V_e : Tension simple à l'extrémité (fin) de la ligne

I^o : Courant simple à l'origine (début) de la ligne

I_e : Courant simple à l'extrémité (fin) de la ligne

Les paramètres de l'entrée (début) sont déterminés à partir de ceux de l'extrémité (fin) Pour $y=0$ on obtient $A=D=1$, $B=Z$, $C=0$; pour tous les lignes courtes :

$$\begin{cases} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{cases} \quad (III-11)$$

Donc pour : $Y=0$; $A=D=1$, $B=Z$, $C=0$.

$$\begin{cases} V^o = V_e + Z.I^o \\ I^o = I_e \end{cases} \quad (III-12)$$

$Z=R+jX=l_0$ (ligne résistive) (Ω)

$Z=R+jX = 10 + j2.826$ (Ligne inductive et résistive) (Ω)

$$x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V^0 \\ I^0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + Y \cdot \frac{Z}{2} & Z \\ Y \left(1 + Y \cdot \frac{Z}{4}\right) & 1 + Y \cdot \frac{Z}{2} \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}$$

$$x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V^0 \\ I^0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 10 + j2.826 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}$$

$$I^0 = I^e = 0 ; V^e = V^0 = 10 \text{ (v)}$$

$$P^e = P^0 = 0$$

$$\varepsilon \% = \frac{|V^0|/|A| - |V_{pc}^e|}{V_{pc}^e} \times 100 = 0$$

$$\Delta u = V^e - V^0 = 10 - 10 = 0 \text{ (v)}$$

Remarque: que à l'essai à vide de toute ligne courte nous donne un rendement et une chute de tension et un facteur de régulation de tension (nulle) donc pas de chute de tension pour une ligne courte à vide et pas de rendement parce qu'il n'y a pas de charge.

b) Essai en charge

* charge résistive :

La charge R(Ω)	V ⁰ (v)	I ⁰ (mA)	P ⁰ (w)	Q ⁰ (VAR)	R _L (Ω)	X _L (mH)	V ^e (v)	I ^e (mA)	P ^e (w)	Q ^e (VAR)
50	10	166.5	20	0	10	9	8.32	166	17	0
75	10	117.6	16.5	0	10	9	8.81	117.6	15	0
100	10	90.89	11	0	10	9	9.06	90.89	10.5	0
125	10	74.07	5.5	0	10	9	9.25	74.07	5.5	0

Tableau III-2 : Essai à charge résistive une ligne court

* Détermination des paramètres des Lignes:

$$\begin{cases} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{cases} \quad (\text{II-13})$$

Donc pour : $Y=0$; $A=D=1$, $B=Z$, $C=0$.

$$\begin{cases} V^o = V_e + Z.I^o \\ I^o = I_e \end{cases} \quad (\text{III-14}) \quad \text{ou } Z=R+jX$$

$Z=R+jX=10$ (ligne résistive) (Ω)

$$\begin{aligned} x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} V^o \\ I^o \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + Y \cdot \frac{Z}{2} & Z \\ Y \left(1 + Y \cdot \frac{Z}{4}\right) & 1 + Y \cdot \frac{Z}{2} \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \\ x \begin{vmatrix} 9.56 \\ 0 \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 10 \\ 0.067 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 10 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

* La vérification des coefficients du quadripôle :

La vérification des coefficients du quadripôle se fait par la satisfaction de la relation suivante:

$$A \cdot D - B \cdot C = 1$$

$$\zeta = \frac{p^e}{p^o}$$

$$\varepsilon \% = \frac{|V^o|/|A| - |V_{pc}^e|}{V_{pc}^e} \times 100$$

$$\Delta u = V^e - V^o$$

La charge $R(\Omega)$	$I^0(\text{mA})$	$I^e(\text{mA})$	$\cos \varphi$	Δu	$\varepsilon \%$	$\zeta \%$
50	166.5	166.5	0,096	1.68	20	85
75	62.19	62.19	0,105	1.19	13.5	90
100	62.18	62.19	0,10	0,94	10	95
125	52.10	52.10	0,126	0,75	8.1	100

Tableau III -3 : les coefficients du quadripôle une charge résistive

Remarque:

1- pour une charge résistive plus qu'il y a augmentation de la charge plus que le rendement augmente aussi mais progressivement.

2- La puissance de sortie est inférieure à la puissance d'entrée à cause des pertes.

3- Le facteur de régulation diminue avec l'augmentation de la charge résistive.

4- La chute de tension diminue lorsque la charge résistive augmente.

e) Charge résistive et charge inductive (max):

La charge $R(\Omega)$	V^0 (v)	I^0 (A)	P^0 (w)	Q^0 (VAR)	R_L (Ω)	X_L (mH)	V^e (v)	I^e (A)	P^e (w)	Q^e (VAR)
50	10	67.07	6	11	2,5	9	9.56	67.07	3	10
75	10	62.19	5	10	2,5	9	9.53	62.19	5	9,9
100	10	62.18	5	10	2,5	9	9.52	62.18	5	9,9
125	10	52.10	6	60	2,5	9	9.531	52.10	6	5,50

Tableau III -4: Essai à charge résistive et inductive (max) une ligne court

* Détermination des paramètres des Lignes:

$$\begin{cases} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{cases} \quad (\text{II-15})$$

Donc pour : $Y=0$; $A=D=1$, $B=Z$, $C=0$.

$$\begin{cases} V^o = V_e + Z.I^o \\ I^o = I_e \end{cases} \quad (\text{III-16}) \quad \text{ou } Z=R+jX$$

$$Z=R+jX=10 + 2.826j \quad (\text{ligne résistive}) (\Omega)$$

$$x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V^o \\ I^o \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + Y \cdot \frac{Z}{2} & Z \\ Y \left(1 + Y \cdot \frac{Z}{4}\right) & 1 + Y \cdot \frac{Z}{2} \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} V^e \\ I^e \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}$$

$$x \begin{vmatrix} 9.56 \\ 0.067 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10 \\ 0.067 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 10 + j2.826 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$$

* La vérification des coefficients du quadripôle :

La vérification des coefficients du quadripôle se fait par la satisfaction de la relation

Suivante:

$$A \cdot D - B \cdot C = 1$$

$$= (1 \times 1) - ((10 + j2.826) \times 0) = 1$$

$$\zeta = \frac{p^e}{p^o}$$

$$\varepsilon \% = \frac{|V^o|/|A| - |V_{pc}^e|}{V_{pc}^e} \times 100$$

$$\Delta u = V^e - V^o$$

La charge $R(\Omega)$	$I^0(\text{mA})$	$I^e(\text{mA})$	$\cos \varphi$	Δu	$\varepsilon \%$	$\zeta \%$
50	67.07	67.07	0,091	0.44	4.6	50
75	62.19	62.19	0,151	0.47	4.9	100
100	62.18	62.18	0,153	0.48	5	100
125	52.10	52.10	0,183	0.47	4.9	100

Tableau III -4: les coefficients du quadripôle une charge résistive et inductive (max)

Remarque:

1- pour une charge résistive variable et une inductance max fixe plus que la résistance augmente plus que le rendement augmente aussi jusqu'à devenir stable de 100 pour 1000 et rapidement.

2- le facteur de régulation diminue avec l'augmentation de la charge résistive et inductance max.

3- la chute de tension diminue lorsque la charge résistive augmente même si l'inductance à une valeur max

III-3-2 Ligne moyenne :

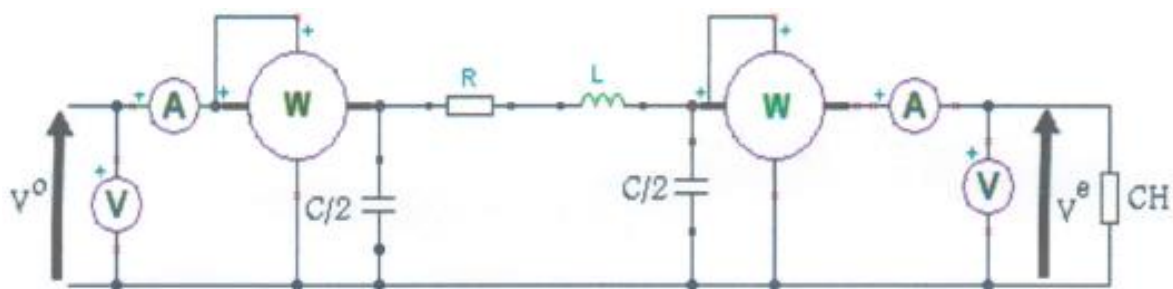


Figure III-11 Schéma équivalent Les ligne moyenne

a) -Essai a vide :

$V^0(\text{v})$	$I^0(\text{A})$	$P^0(\text{w})$	$Q^0(\text{VAR})$	$V^e(\text{v})$	$I^e(\text{A})$	$P^e(\text{w})$	$Q^e(\text{VAR})$	$R_L(\Omega)$	$X_L(\text{mH})$	$C(\mu\text{f})$
10	0	0	0	10.02	0	0	0	10	9	1

Tableau III -5 Essai à vide pour une ligne moyenne résistif

* Détermination des paramètres des Lignes:

Etude théorique

Pour : $Y=C=1(\mu f)$ on obtient $A=D=1+Y \cdot \frac{Z}{2}$; $B=Z$, $C=Y(1+Y \cdot \frac{Z}{4})$

$$\left[\begin{array}{l} V^o = A.V_e + B.I_e \\ I^o = C.V_e + D.I_e \end{array} \right. \longrightarrow \left[\begin{array}{l} V^o = (1+Y \cdot \frac{Z}{2})V_e + Z.I_e \\ I^o = Y.(1+Y \cdot \frac{Z}{4}).V_e + (1+Y \cdot \frac{Z}{2}).I_e \end{array} \right.$$

$$Z=R+jX=10+j2.826$$

$$A=D=(1+Y \cdot \frac{Z}{2}) = 0.99 + j157 * 10^{-5}$$

$$A=0.99 \angle 0.0908$$

$$B=Z=10+j2.826$$

$$B=10.39 \angle 15.74$$

$$C=Y.(1+Y \cdot \frac{Z}{4})= 3.13 * 10^{-9} \angle 90.04$$

* Etude pratique

Puisque $I^o + I_e = 0$, $V^o = A.V_e \longrightarrow A=(V^o/V_e)=(I^o/I_e)=1$

Donc $A=D=1$

$$B=Z=10+j2.826=10.39 \angle 15.74$$

$$\zeta = \frac{p^e}{p^0} = 0$$

$$\Delta u = V^e - V^o = 10 - 10 = 0$$

$$|A| = \sqrt{((0.99)^2 + (157 * 10^{-5})^2)} = 0.99$$

$$\varepsilon \% = \frac{|V^0|/|A| - |V_{pc}^e|}{V_{pc}^e} \times 100 = \frac{|10|/|0.99| - |10|}{10} \times 100$$

$$\varepsilon \% = 0.01 \%$$

Remarque: que à l'essai à vide nous donne un rendement et une chute de tension nulle le facteur de régulation de la tension est très très petit, puisque la chute de tension est nulle pour une ligne de résistance 10 Ω , et une inductance 9 mH.

X_L mH	R L	A	B	C	D	Δu	$\varepsilon \%$
9	10	$\angle 0.0908$ 0.99	$10.39 \angle 15.74$	3.13 $\times 10^{-9} \angle 90.04$	$\angle 0.0908$ 0.99	0	0.01

Tableau III -6 les paramètres des Lignes du quadripôle une charge résistive une ligne moyenne

b) Essai en charge résistive $C = 1\mu f$:

La charge (Ω)	V^0 (v)	I^0 (mA)	P^0 (w)	Q^0 (VAR)	V^e (v)	I^e (mA)	P^e (w)	Q^e (VAR)	R_L (Ω)	X_L (mH)
R=50	10	166.8	11.5	0	8.334	166	10	0	10	9
R=75	10	55.84	9.5	0	9.588	67.21	9	0	10	9
R=100	10	149.8	8	0	9.067	142.6	8	0	10	9

Tableau III -7 Essai en charge résistive une ligne moyenne

*** la vérification des coefficients du quadripôle :**

$$\zeta = \frac{P^e}{P^0}, \quad \varepsilon \% = \frac{|V^0|/|A| - |V_{pc}^e|}{V_{pc}^e} \times 100, \quad \Delta u = V^0 - V^e$$

R charge	$\zeta \%$	Δu	$\varepsilon \%$
50	86	1.66	21.2
75	94	0.41	5.35
100	100	0.93	11.4

III-8 Tableau les coefficients du quadripôle une Charge résistive

Remarque:

1- pour une charge résistive le rendement diminue avec chaque diminution l'entrée de la résistance, le courant de sortie est supérieure par rapport à l'entrée.

2- le facteur de régulation de la tension et la chute de tension ont augmenté par rapport à l'essai à vide pour les mêmes paramètres de la ligne

3- une amélioration du facteur de puissance pour chaque élévation de la résistance de charge.

c) Essai en charge résistive et charge inductive (L=0.664H):

*Condensateur C =1µf

La charge (Ω)	V ⁰ (v)	I ⁰ (mA)	P ⁰ (w)	Q ⁰ (VAR)	V ^e (v)	I ^e (mA)	P ^e (w)	Q ^e (VAR)	R _L (Ω)	X _L (mH)
R=50	10	166.7	4.5	54	8.333	166.7	1	15	10	9
R=75	10	117.6	5.5	42	8.824	117.6	3	12	10	9
R=100	10	90.91	6	21	9.091	90.91	5	7	10	9

Tableau III -9 Essai en charge résistive et charge inductive une ligne moyenne

*** La vérification des coefficients du quadripôle :**

$$\zeta = \frac{p^e}{p^0}, \quad \varepsilon \% = \frac{|V^0|/|A| - |V_{pc}^e|}{V_{pc}^e} \times 100, \quad \Delta u = V^e - V^0$$

R charge	ζ%	Δu	ε %
50	25	1.66	18.84
75	54.54	1.18	13.32
100	83.33	0.909	9.89

Tableau III -10: les coefficients du quadripôle une charge résistive et charge inductive

Remarque:

* pour une charge résistive et inductive max fixe le rendement augmente et le courant (entrée-sorties) diminue avec l'augmentation de la résistance (charge) et le courant de sortie est supérieur au courant d'entrée.

* le facteur de puissance et le rendement ont augmentés et la chute de tension a diminuée pour chaque élévation de la résistance .

III-4: Conclusion

A travers ce travaux pratique réaliser sur une ligne courte à vide, une ligne courte en charge, une ligne moyenne à vide, une ligne moyenne en charge, essai en court-circuit, ligne parallèle en charge on a retenue ce qui suit:

-ligne courte à vide : la chute de tension et le facteur de régulation sont nulle.

-ligne courte avec charge résistive: R augmente, ζ augmente, ε diminue, Δu diminue.

-ligne courte avec charge inductif :R augmente, ζ augmente, ε diminue, Δu diminue. et donne de meilleurs résultats que pour une charge résistive la présence de l'inductance a amélioré les résultats.

- ligne moyenne à vide : $\Delta u=0$, ζ diminue mais pour des grands paramètres de la ligne a fait que Δu augmente, ε augmente.

- ligne moyenne avec charge résistive : R augmente, ζ augmente, ε diminue, Δu diminue. Mais par rapport à vide la chute de tension et le facteur de régulation ont augmentés.

-ligne moyenne avec charge inductive : R augmente, ζ augmente, ε diminue, Δu diminue. Comparée avec une charge résistive la chute de tension a encore diminué, et comparée avec une ligne avec de grands paramètres nous donne encore une amélioration des résultats.

Conclusion général

Notre mémoire a été consacrée à l'étude des lignes de transport électrique et les méthodes classiques de compensation pour l'énergie réactive, pour simplifier l'étude des réseaux électrique par des simulations, pour connaître les problèmes opérationnels et mener des expériences sans exposition au danger, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

1-Dans ce chapitre on a analysé les composants des réseaux et la manière d'exploiter pour le transport de l'électricité et les types des réseaux (réseau radial, réseaux bouclés, réseaux mailles), et on est arrivé à une autre problématique qui nous permettons de commencer.

2- La difficulté de bien évaluer les problèmes liés à la circulation d'énergie réactive, en particulier dans les réseaux électriques, pourrait conduire à envisager, à partir de centrale électrique, la solution définitive qui serait capable de résoudre, par nature, tous ces problèmes est les compensateurs statiques.

Mais tous les types de compensateur statique et classique ne présentent pas les mêmes possibilités. De plus, l'investissement est relativement lourd (il équivaut à une fraction notable de la puissance des convertisseurs de production) et cette dépense doit être justifiée par une nécessité reconnue.

3- A travers ce travail pratique réaliser sur une ligne courte à vide, une ligne courte en charge, une ligne moyenne à vide, une ligne moyenne en charge, essai en court-circuit, ligne parallèle en charge.

Après réalisation de ce travail pratiques ; nous avons établi de nombreux résultants et expliqué dans le troisième chapitre : l'importance des travaux pratiques en ce qu'elle nous a donné des résultants acceptable.

Bibliographie

[1] Hadj Ammar Abdelhamid & Lidi Hamz4 * ETUDE DE L'À LIGNE MT-30kV ENASEL II ", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur D'état, Université de Biskra, juin 2006.

[2] Debabeche Riadh & Ben Salah Malek, " Renforcement en énergie électrique Du Départ MT 30 kV de ZERIBET EL-OUED ", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, Université de Biskra" Juin 1999.

[3] Laiadi Belgacem, " compensation dynamique de l'énergie réactive dans les Réseaux électrique ", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur D'état, Juin 2005.

[4] P SARRAND, J VERSEILLE «compensation de l'énergie réactive et tenue de La tension dans les réseaux publiques »

[5] R WIERDA « flicker ou scintillement des sources lumineuses »

[6] course d'électrotechnique.

[7] CHANTOUCHE «condensateurs de puissance >>

[8] R FOUNIE, J CPELLE << condensateurs de puissance >>

[9] D ROCK « Manœuvre et protection des batteries de condensateurs MT »

[10] ALPES TECHNOLOGIES « généralités »