

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Badji Mokhtar – Annaba



جامعة باجي مختار_ عنابة

FACULTE : Sciences de L'ingéniorat

Département : Électrotechnique

MEMOIRE DE MASTER

DEMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Électrotechnique

OPTION : Réseaux électrique

Thème

Etude d'un réseau de transport d'énergie à haute tension 90 KV

Présenté par :

- Sari Loubna
- Diabi Chaima

Dirigé par :

Ms .Mesbah

Jury de soutenance :

_ Azzag El Bahi	Président	MCA	Université d'Annaba
_ Mesbah Tarek	Rapporteur	MCA	Université d'Annaba
_ Adjabi Mohamed	Examineur	MCA	Université d'Annaba

Promotion : juin 2017



Remerciements

Mon remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur

Mr.MESBAH.TAREK.

Qui m'a apporté une aide précieuse. Je lui exprime ma gratitude pour sa grande disponibilité ainsi que pour la compréhension et les encouragements qu'il m'a apportés.....

Mes remerciements vont aussi à tous mes enseignants qui m'ont contribué à mon formation et à tous les membres du jury.

DEDICACE

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont encouragé de près ou de loin pour achever ce mémoire.

A ma très chère mère et mon cher père qui m'ont toujours encouragé.

Je tiens à remercier mon marie et ma petite fille qui m'a toujours encouragé.

✚ A mes frères SABRI & MOUHAMED & KHAIRE ELDINE

✚ mes sœurs KHADIJA & ASMA

✚ Et tous ma famille surtout mes tentes :

WARDA ET FARIDA

✚ A tous mes amis : AMEN ; MARWA ; AMINA ; ASSIA ;

BOUCHRA ; LOUBNA ; SAFA ; AMIRA ; LYNDA ...

✚ A tous mes collègues de la promotion de l'électrotechnique

2014 /2015

Je dédie ce modeste travail :

A notre prophète MOHAMED صلى الله عليه و سلم

qui nous a conseillé d'étudier : _ Ma très mère.

_Mon cher père .

pour leur sacrifier et leur encouragements

A mes frères : Hichem , Fayz , Riad.

mes sœurs :Abla, farida.

Et ma famille et tous mes proches surtout : Ishak, Boutayna,

Oumayma et Ibrahim.

A tous mes amis : amane, amina, assia, chaima, amira

A tous mes collègues de la promotion de électrotechnique

2012 /2017 .

Enfin je dédie cet humble mémoire à mes tantes et à mes ancles.

_ LOUBNA _

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTROUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I :

I.1. Introduction.....	(3)
I.2. Diagramme unifilaire d'un réseau.....	(4)
I.3. Les éléments constitutifs d'un réseau.....	(4)
I.3.1 .La source.....	(4)
I.3.2 Les lignes électriques.....	(5)
I.3.3.Les transformateurs de puissance	(6)
I.3.4 . Les postes électriques	(7)
I.3.5. Types des postes.....	(8)
I.3. 6. Les différents éléments de poste électrique.....	(9)
I.4. Les classifications des tensions du réseau électrique.....	(11)
I.5Classificastions des réseaux électriques.....	(12)
I.5.1.Les réseaux de trasport.....	(12)
I.5.2. Les réseaux de répartition	(13)
I.5.3 Les réseaux de distribution.....	(13)
I.5.4 Les réseaux d'interconnexion.....	(13)
I.6.Structures d'un réseau électrique.....	(15)
I.6.1. Les réseaux radiaux	(15)
I.6.2.Les réseaux maillés.....	(16)
I.7.Type de courant utilise dans les réseaux électriques	(17)
I.8. conclusion.....	(18)

SOMMAIRE

CHAPITRE II :

II-I :Description du réseau étudié :

II.1-Calcul de la répartition des puissance.....(19)

II.2- calcul des courants dans les lignes..... (21)

II.3.Régime après avarie (21)

II.3.1.Vérification des courants admissibles..... (21)

II-4-Choix des section(23)

II-5-Les résultats de calcul(24)

II-6-les impédances des lignes(24)

CHAPITRE III :

III -Etude Du Régime NORMAL

III.1. calcul des puissances capacitives des lignes(26)

III.1.1.Les Chute De Tensions(28)

III.1.2 Les tensions (29)

III.1. 3 Les modules(29)

III.1-4-Les écarts relatives en (%) des tensions.....(29)

Chapitre IV :

IV - Régime Future Et Compensation.....(31)

IV-1-Détermination des chutes de tension.....(32)

IV. 2-Détermination des tensions au niveau de chaque nœud(32)

IV-3-Les modules.....(33)

IV-4-Détermination les écarts des tension.....(33)

Chapitre V :

SOMMAIRE

V-2-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A3.....	(36)
Les Chute de tension.....	(36)
V-2-1-Les Tension	(37)
V-2-2-Les Module	(37)
V-2-3-Les écarts des tension.....	(37)
V-3-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A2.....	(38)
V-3-1-Les chutes de tension.....	(38)
V-3-2-Les modules.....	(38)
V-3-3-Les écartes de tension.....	(39)
<u>Chapitre VI :</u>	
VI-introduction.....	(41)
VI-2-Nécessité d'utilisation des FACTS.....	(41)
VI-3-Présentation générale des FACTS	(42)
VI-4-Classification des dispositifs de contrôle de puissance dans les réseaux	(42)
VI-5-Les principaux dispositifs FACTS	(44)
VI-5-1- Dispositifs séries.....	(44)
VI-5-1-1- TCSC (Thyristor controlled series capacitor).....	(44)
VI-5-1-2- TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor).....	(45)
VI-5-1-3- TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor).....	(45)
VI-5-1-4- TSSR (Thyristor Switched Series Reactor).....	(45)
VI-5-1-5- SSSC (Static Synchronous Series Compensator.....	(46)
VI-5-2- Dispositifs shunts (parallèles).....	(46)
VI-5-2-1- TCR (Thyristor Controlled Reactor) ou TSR (Thyristor Switched Reactor).....	(47)
VI-5-2-2- TSC (Thyristor Switched Capacitor).....	(47)

SOMMAIRE

VI-5-2-3- SVC (Static Var Compensator).....	(48)
VI-5-2-4- TCBR (Thyristor Control Breaking Resistor).....	(49)
VI-5-2-4- STATCOM (STATIC COMpensator).....	(49)
VI-5-3-Dispositifs hybrides (série-shunt).....	(50)
VI-5-3-1- Compensateur hybrides à base de thyristors.....	(50)
VI-5-3-1-1- TCPST (Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer).....	(50)
VI-5-3-1-2- TCPAR (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator).....	(51)
VI-5-3-1-3- TCVR (Thyristor Controlled Voltage Regulator).....	(52)
VI-5-3-2- Compensateurs hybrides à base de GTO	(52)
VI-5-3-2-1-IPFC (Interline Power Flow Controller).....	(52)
VI-5-3-2-2-UPFC (Unified Power Flow Controller).....	(53)
VI-6-Com pa raison entre les caractéristiques de quelque dispositif de FACTS	(54)
VI-7-Avantages des systèmes FACTS.....	(55)
VI-8- Inconvénient des systèmes FACTS.....	(55)
VI-9-Introduction.....	(56)
VI-10-Renforcement de la capacité de transmission.....	(56)
VI-11- Définitions TCSC.....	(56)
VI-12-Les conceptions de TCSC.....	(57)
VI-13-Présentation de la contrôlabilité.....	(59)
VI-14-Conclusion.....	(60)
CONCLUSION GENERALE	(61)

Introduction générale

Il y'a a peine un siècle que l'électricité a cessé d'être seulement une science pour devenir aussi une technique et la place qu'elle occupe dans le monde est telle qu'on imagine mal, déjà comment l'on a pu vivre sans elle.

L'Algérie est devenue à l'heure actuelle un pays industrialisé.

L'électricité joue un rôle très important dans toutes les branches de l'économie national, tel que l'industrie, l'agriculture, l'usage domestique et le transport.

Cependant, le progrès technique et social exige le développement de tout ce qui est lié au processus de production, de transport, de distribution et de consommation de l'énergie électrique.

Depuis sa découverte, elle n'a cessé de se développer et actuellement elle est devenue la base de tout développement du point de vue matériel et modernité.

La vie demande de plus en plus de l'énergie électrique pour la consommation industrielle et domestique.

On a donc intérêt de produire plus et de transporter loin, malheureusement les sources de production ne sont pas proches des consommateurs, c'est pourquoi on est obligé de la transporter à travers des réseaux de haute tension.

L'énergie électrique doit être utilisée au moment où elle est produite puisqu'il est impossible de la stocker, ce qui explique que sa production dans différent type de centrales et sa consommation se font d'une manière simultanée ce qui exige l'utilisation de plusieurs types de réseaux électriques tels que :

- Les réseaux de transports à tension élevée qui relient les postes d'interconnexions au site de production.
- Les réseaux de répartitions qui fournissent la puissance aux réseaux de distribution, mais ne peuvent la transiter que sur des distances limitées à quelques kilomètres.
- Les réseaux de distribution ont pour fonction aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin.

Introduction générale

- Les réseaux industriels sont des réseaux d'alimentation mis avec des puissances élevées.
- Les réseaux d'utilisation doivent souvent pouvoir alimenter un grand nombre de moteurs et d'appareils domestiques, dont la puissance ne dépasse pas quelques kilowatts.
- La demande de certains consommateurs en énergie électrique exige une qualité, une fiabilité et une bonne continuité de service suivant les différentes catégories tels que :
 - Les consommateurs de 1^{ère} catégorie qui n'admettent pas la rupture de la fourniture d'énergie électrique sauf pour un temps égal à 1,5 secondes.
 - Les consommateurs 2^{ème} catégorie qui admettent une rupture de la fourniture en énergie électrique pendant une durée inférieure à 2 heures.
 - Les consommateurs 3^{ème} catégorie qui admettent une rupture de la fourniture en énergie électrique pendant une durée nécessaire au remplacement de l'installation défectueuse.

I.1. Introduction :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centrales de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique est dissocié en quatre grandes parties :

- > **La production** : elle consiste à la génération de l'ensemble de la puissance active et la puissance réactive consommées par le réseau tout entier.
- > **Le transport** : il consiste à acheminer les puissances produites par les unités de production auprès des lieux de consommation.
- > **La distribution** : elle permet à chaque utilisateur d'être à proximité d'une liaison au réseau.
- > **La consommation** : chaque récepteur connecté au réseau consomme une puissance active et réactive.

Les sociétés qui produisent et délivrent l'énergie électrique dans un site donné doivent veiller au respect des règles suivantes:

- Le bon fonctionnement des processus industriels,
- La sécurité des personnes,
- La stabilité des réseaux en régime permanent et en régime troublé,

- Les systèmes de protection destinés à protéger les lignes ou les machines,
- La répartition des puissances actives et réactives à chaque instant.

I.2. Diagramme unifilaire d'un réseau :

Il représente le schéma du réseau d'une manière simplifiée

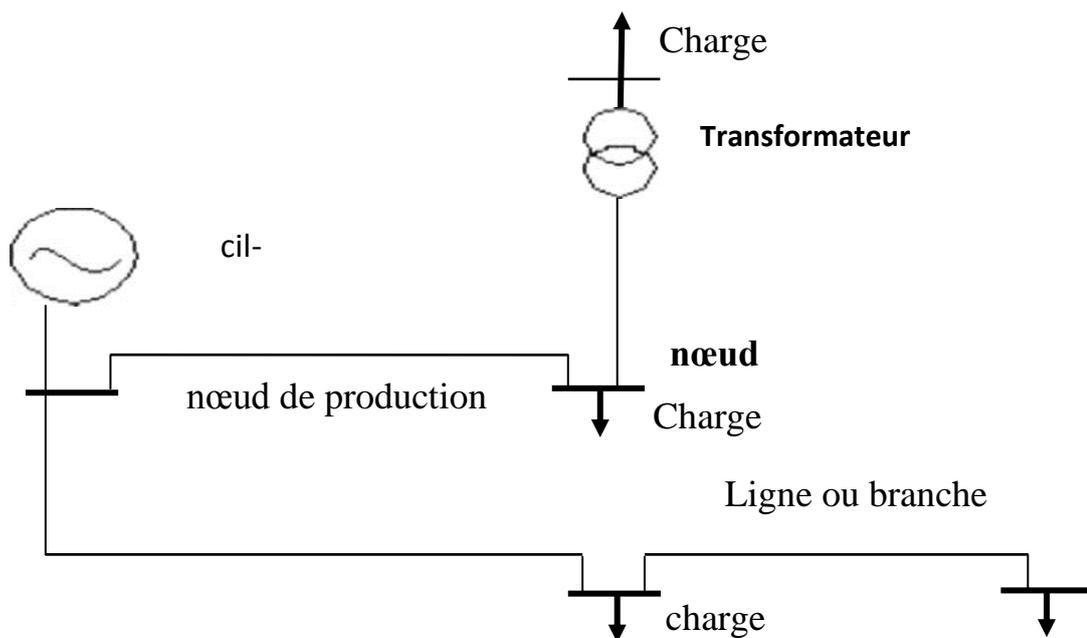


Figure I-1 : Schéma unifilaire d'un réseau

I.3. Les éléments constitutifs d'un réseau d'énergie électrique:

I.3.1. La source :

La source ou le générateur est un élément de base du réseau électrique. Il constitue le cœur de l'ensemble, sa fonction est de transformer l'énergie d'origine (hydraulique ou thermique ...) en énergie électrique.

combustion interne ; l'alternateur est maintenu à vitesse sensiblement constante par son moteur d'entraînement à l'aide d'un système asservi de manière à développer une fréquence pratiquement constante indépendamment de la charge.

I.3.2. Les lignes électriques :

Les lignes électriques assurent la fonction "transport de l'énergie" sur les longues distances, leur rôle est donc de transporter l'énergie électrique en un site de la production vers les consommateurs.

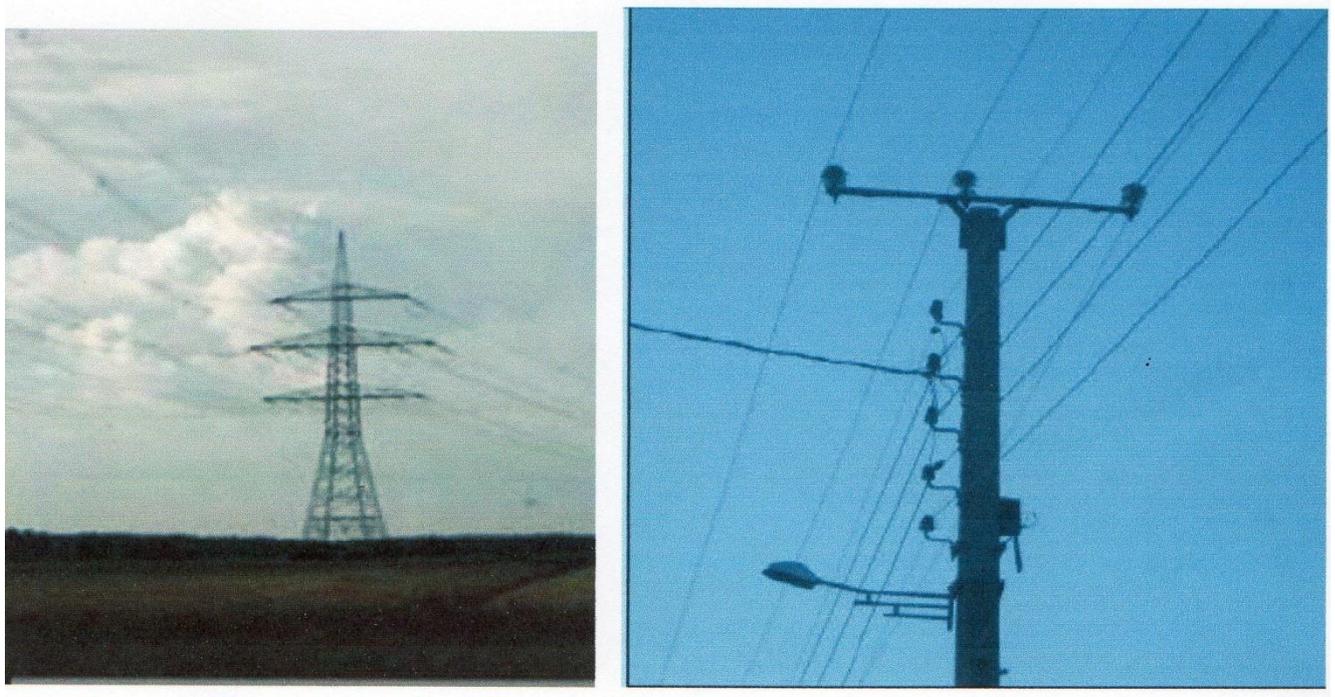


Figure I-2 : Les lignes électriques

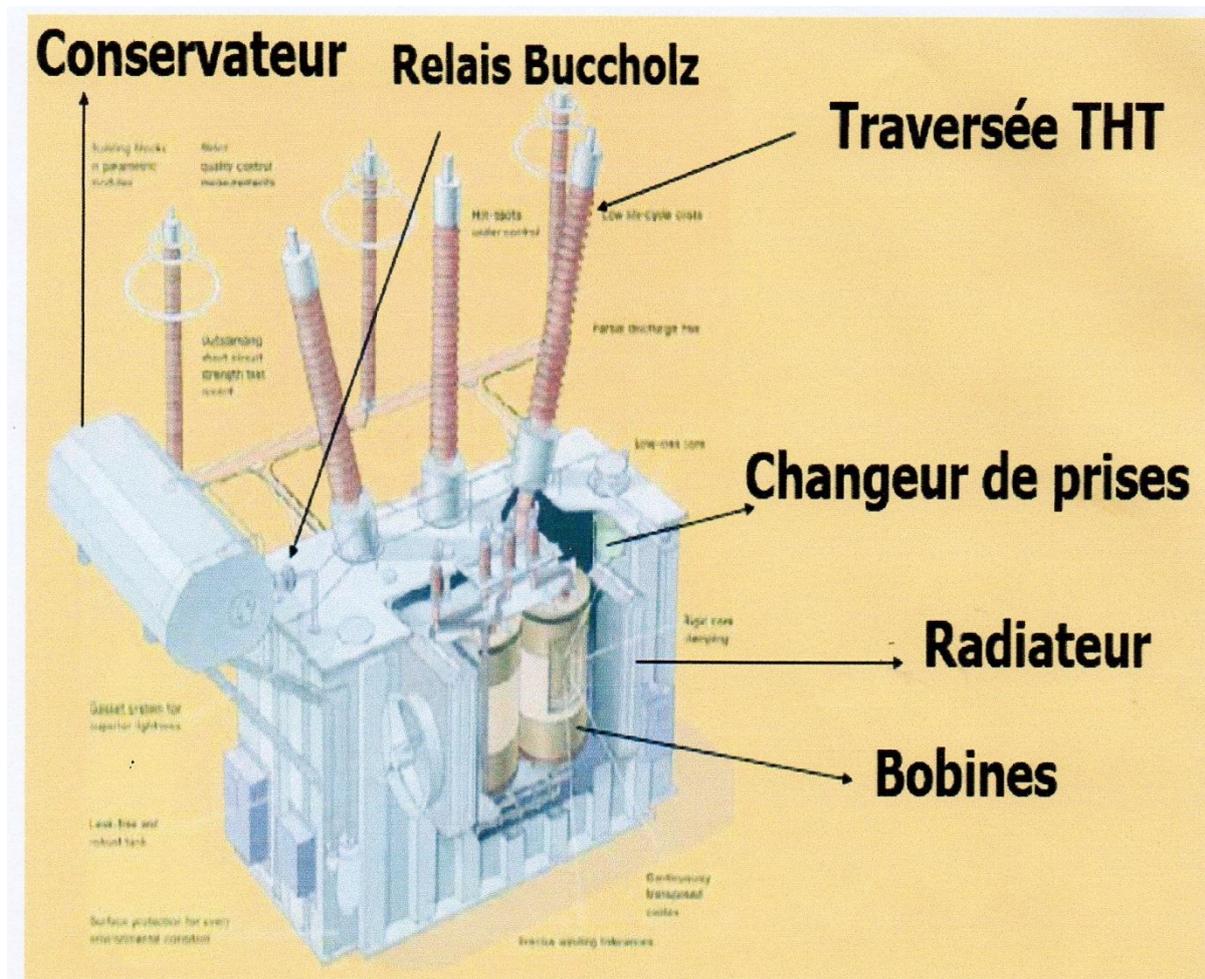
I.3.3. Les transformateurs de puissance :**Conservateur Relais Bucholz**

Figure I-3 : Vue en coupe d'un transformateur

Un transformateur est un appareil destiné à transférer de la puissance en modifiant l'amplitude des signaux (courant, tension) et en conservant la même fréquence.

On trouve sur les réseaux électriques deux types de transformateurs de puissance :

- les autotransformateurs qui n'ont pas d'isolement entre le primaire et le secondaire. Ils ont un rapport de transformation fixe quand ils sont en service, mais qui peut être changé si l'autotransformateur est mis hors service.
- les transformateurs avec régleurs en charge sont capables de changer leur rapport de transformation quand ils sont en service. Ils sont utilisés pour maintenir une tension constante au secondaire et jouent un rôle important dans le maintien de la tension.

Les transformateurs étant des matériels particulièrement coûteux, leur protection est assurée par différents mécanismes redondants.

I.3.4. Les postes électriques :

Les postes électriques sont les nœuds du réseau électrique. Ce sont les points de connexion des lignes électriques.



Figure I-4 : Poste électrique haute tension

I.3.5. Types des postes :

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- **Les postes à fonction d'interconnexion** : qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés ;
- **Les postes de transformation** : dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs ;
- **Les postes mixtes** : les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées par l'appareillage à haute et très haute tension installé dans le poste et qui permet:

- D'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux disjoncteurs ;
- D'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux sectionneurs ;
- De modifier la *tension* de l'énergie électrique, grâce aux *transformateurs* de puissance.

Un ensemble de protections et d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborées par des réducteurs de mesure (tension et courant principalement) et agit sur l'appareillage à haute tension afin d'assurer les conditions d'exploitation pour lesquelles le réseau a été conçu.

Nous retiendrons donc que, par définition, les appareils de coupure, ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à un départ, sont regroupés dans une cellule.

Un poste comporte donc autant de cellules que de départs qui sont raccordés à ses jeux de barres.

En outre, les jeux de barres sont susceptibles de constituer plusieurs nœuds électriques par l'ouverture de disjoncteurs ; on appelle alors sommet le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi constitué. Le nombre des sommets d'un poste caractérise ainsi son aptitude à former des nœuds électriques.

I.3.6. Les différents éléments de poste électrique :

On distingue parfois les éléments d'un poste en "éléments primaires" (les équipements haute tension) et "éléments secondaires" (équipements basse tension) Parmi les équipements primaires, on peut citer :

- Transformateur électrique.

- Autotransformateur électrique. -

Disjoncteur à haute tension. -

Sectionneur.

- Sectionneur de mise à la terre. -

Parafoudre.

- Transformateur de courant. -

Transformateur de tension.

- Combiné de mesure (courant + tension).

-jeux de barres.

Parmi les éléments secondaires on peut citer : -

relais de protection, -équipements de

surveillance, -équipements de contrôle, -système

de télé conduite.

- équipements de télécommunication.

- comptage d'énergie.

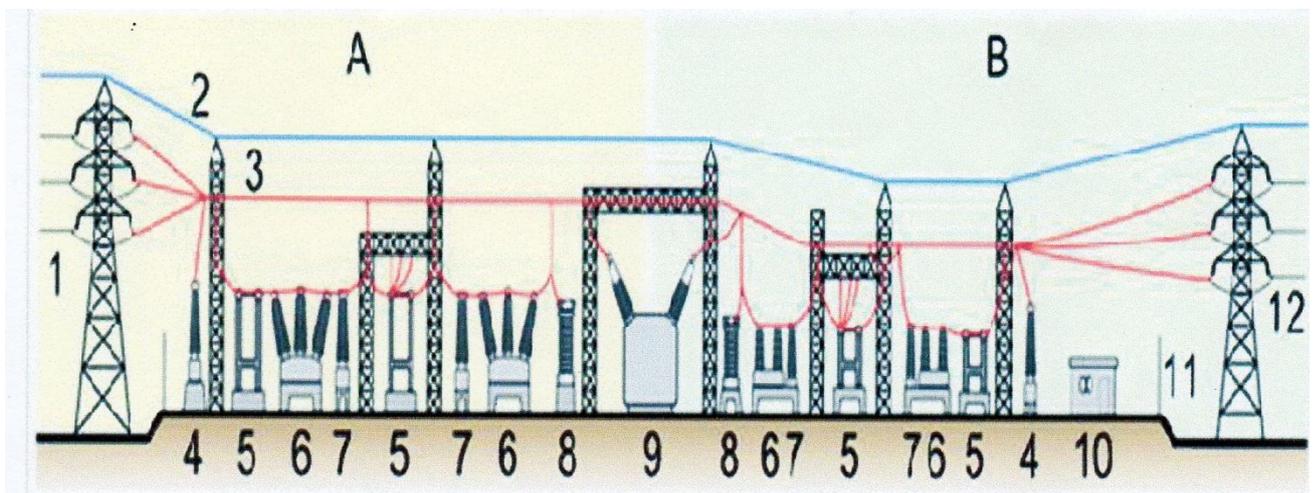


Figure I-5 : Les différents éléments dans un poste

A : Coté primaire

B : Coté secondaire

1. Ligne électrique

2. Câble de garde

3. Ligne électrique
4. Transformateur de tension
5. Sectionneur
6. Disjoncteur
7. Transformateur (de puissance)

10. Bâtiment secondaire
11. Collecteur
12. Ligne électrique secondaire

I.4. Les classifications des tensions du réseau électrique :

On peut classer la tension d'un réseau de :

-Très basses tensions (TBT) : tensions inférieures à 50 volts et plus généralement à 30 volts, elles sont utilisées pour les jouets électriques et dans des locaux très humides.

-Les basses tensions (BT) : tensions de 50 à 1000 volts, elles sont utilisées pour les appareils domestiques et plupart des appareils industriels.

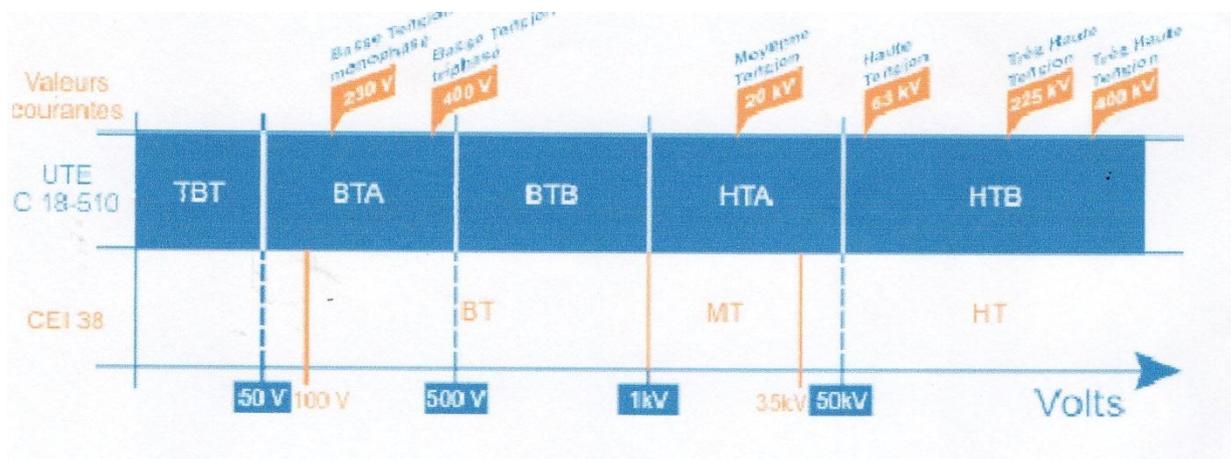
-Les moyennes tensions (MT) : tensions comprises entre 1 et 35 kV, elles sont utilisées pour le transport d'énergie à moyenne distance et les réseaux industriels.

-Les hautes tensions (HT) : tensions de 35 à 275 kV, elles sont utilisées pour le transport d'énergie à long distance et au transit élevées.

-**Les réseaux très hautes tensions (THT)** : tensions égales ou supérieure à 300kV. Ils ont été rendus nécessaires par l'accroissement des puissances à transporter.

La nouvelle norme UTE C 18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- > **HTB**: pour une tension composée supérieure à 50 kV
- > **HTA** : pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV
- > **BTB** : pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV
- > **BTA** : pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V
- > **TBT** : pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V



I.5. Classifications des réseaux électriques :

I.5.1. Les réseaux de transport :

Les réseaux de transport sont à très haute tension et ont pour but de transporter l'énergie des grands centres de production vers les régions consommatrices d'électricité. Les grandes puissances transitées imposent des lignes électriques de forte capacité de transit.

I.5.2. Les réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition sont à haute tension et ont pour but d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais également par des centrales électriques de moyennes puissances (inférieures à environ 100 MW). Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région.

I.5.3. Les réseaux de distribution :

Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension :

- Les réseaux à moyenne tension;
- Les réseaux à basse tension, sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques.

Contrairement aux réseaux de transport et de répartition, les réseaux de distribution présentent une grande diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, ainsi que selon la densité de population.

I.5.4. Les réseaux d'interconnexion :

Le réseau d'interconnexion est utilisé pour faire l'échange d'énergie entre les différentes centrales en service. Il permet aussi le dépannage des réseaux dans le cas de défaillance d'une source où un incident s'est produit.

Avantage :

- Elle permet de mieux exploiter les ressources du parc de production et d'utiliser à chaque instant les groupes électrogènes disponibles les plus économiques pour équilibrer la demande et la production.
- Elle permet d'optimiser les gains sur les coûts d'exploitation et rend plus réguliers les conditions de marche des différentes centrales dans le cas où les pointes de consommations des deux endroits interconnectés ne seraient pas simultanées.
- Elle permet aussi d'atténuer les variations de fréquences et de tensions consécutives aux fluctuations de la consommation.

Contraintes :

Les contraintes pour les réseaux interconnectés sont :

- Réglage de la répartition des charges actives et de la fréquence
- Réglage de la tension et de la puissance réactive
- Dysfonctionnement d'une partie du réseau affecte l'équilibre de l'ensemble
- Nécessité absolue de maintenir le synchronisme entre les générateurs en service

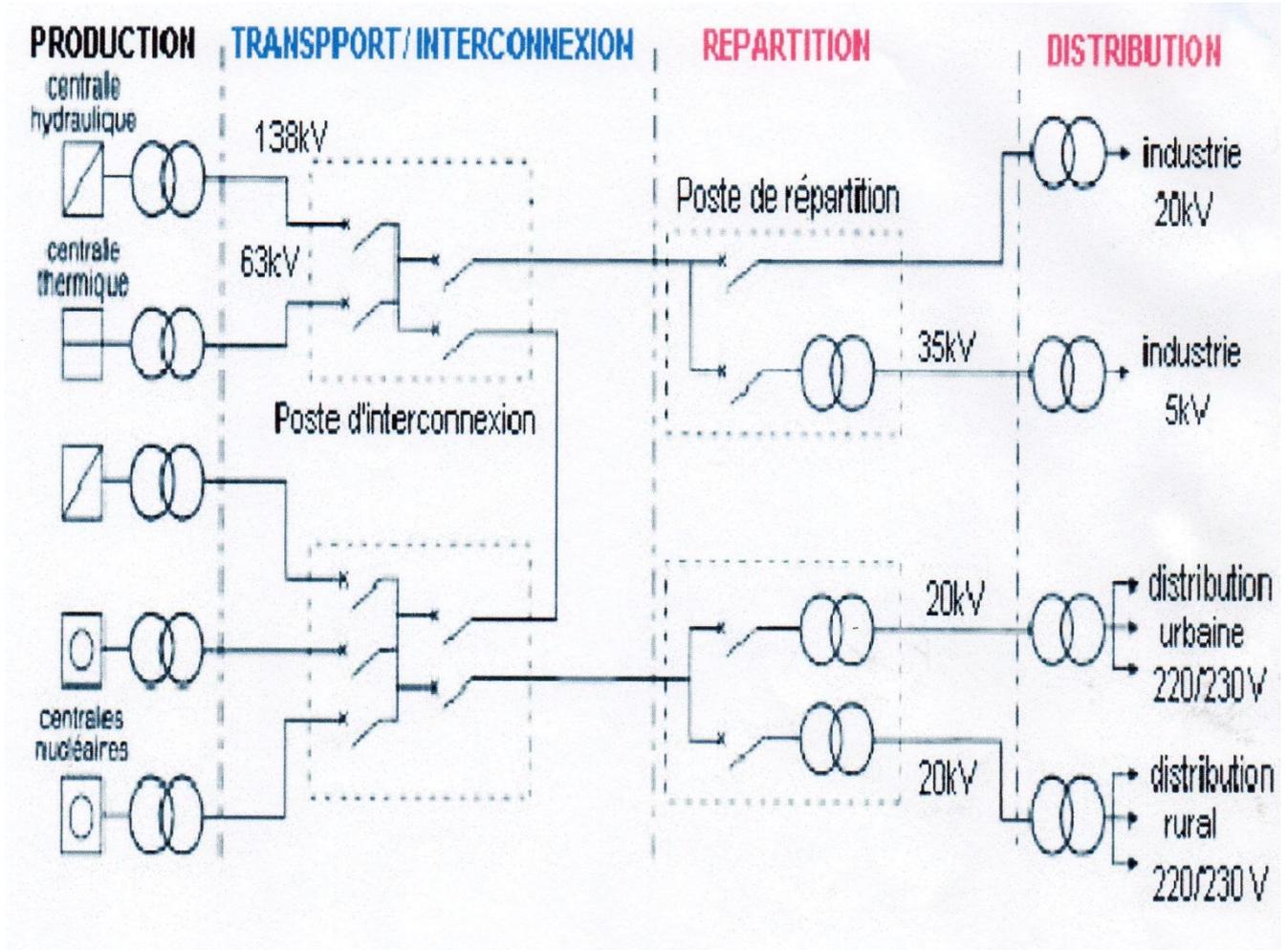


Figure I-6 : Schéma de la classification des réseaux électriques

I.6. Structures d'un réseau électrique

I.6.1. Les réseaux radiaux :

Utilisés surtout pour le réseau de distribution à moyenne tension, leurs protections sont simples et peu coûteuses : à partir d'un poste source, l'électricité parcourt une artère (ou ossature) sur laquelle sont reliées directement des branches de dérivation au bout desquelles se trouvent les postes MT/BT de

distribution publique, qui alimentent les réseaux basse tension (BT) sur lesquels sont raccordés les plus petits consommateurs.

Pour ces réseaux, les impédances de lignes sont importantes et s'ajoutent les unes aux autres (équivalent série). Les chutes de tension ont tendance à être fortes et il est nécessaire de prévoir de nombreux points de compensation du réactif.

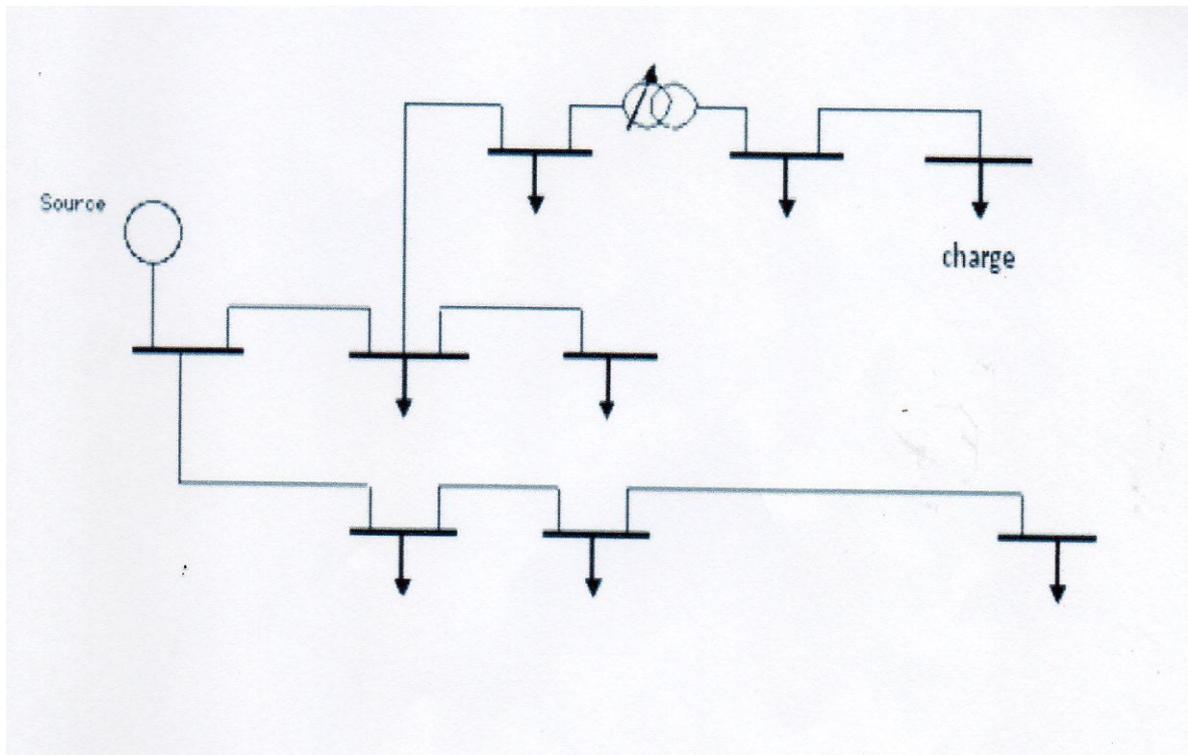


Figure I-7 : Schéma unifilaire d'un réseau à structure radiale

I.6.2. Les réseaux maillés :

Utilisés pour les réseaux de transport et de répartition. Les réseaux maillés garantissent une très bonne sécurité d'alimentation, car la perte de n'importe quel élément (ligne électrique, transformateur ou groupe de production) n'entraîne aucune coupure d'électricité si l'exploitant du réseau de transport respecte la règle dite du "N-1" (possibilité de perdre n'importe quel élément du réseau sans conséquences inacceptables pour les consommateurs).

Pour ces réseaux, les impédances des lignes se divisent (équivalent parallèle). Les chutes de tension ont tendance à rester faibles et les groupes peuvent se charger eux-mêmes de la plupart de la fourniture de réactif.

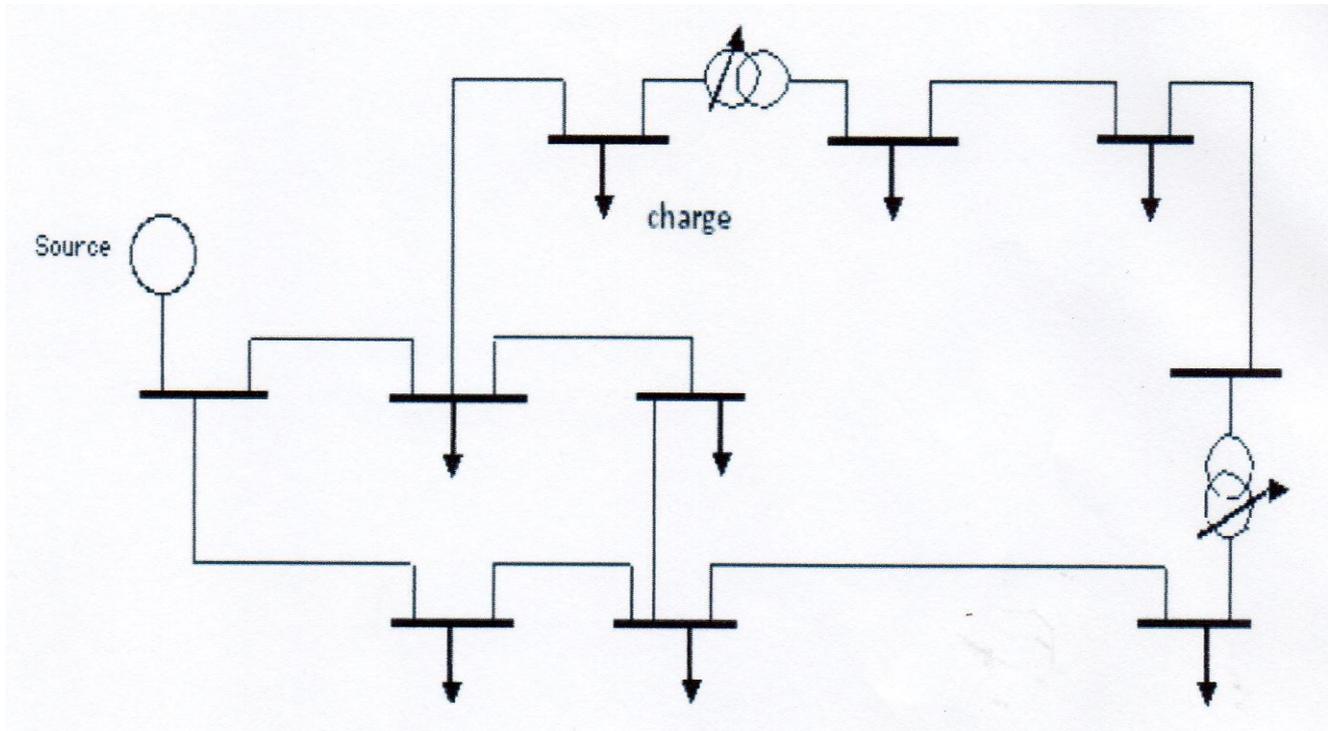


Figure I.8 : Schéma unifilaire d'un réseau à structure maillée

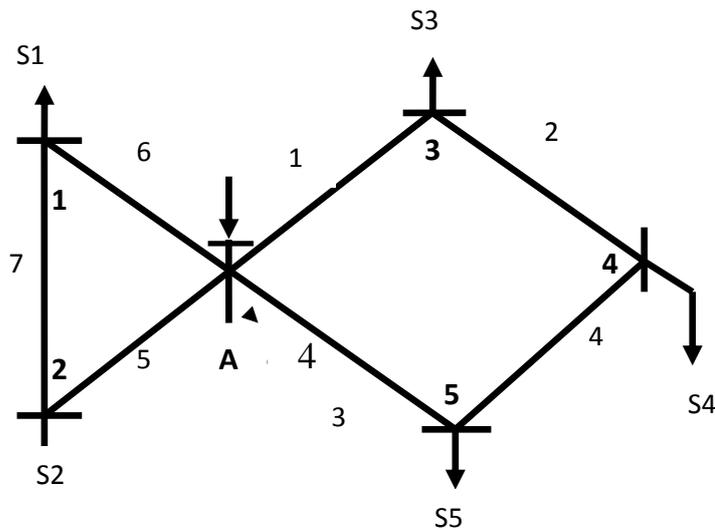
I.7. Type de courant utilisé dans les réseaux électriques :

On utilise dans les réseaux électriques soit :

- Le courant continu
- Le courant alternatif

I-8- CONCLUSION :

Dans ce chapitre, on a étudié théoriquement les constituants d'un réseau d'énergie électrique ainsi ces classifications.

II-1-Description du réseau à étudier :**Fig-II-1-Calcul de la répartition des puissances :**

Dans ce cas on suppose que les pertes de puissance sont négligeable et que le réseau est homogène, c'est-à-dire les paramètres linéique des différents tronçons sont égaux.

La tension nominale : $U_n = 90 \text{ kv}$

* choix des sections des conducteurs :

Les données du réseau sont :

Poste 1 charge : $S_1 = (20 + j8)$ MVA

Poste 2 charge $S_2 = (40 + j20)$ MVA

Poste 3 charge : $S_3 = (60 + j30)$ MVA

Poste 4 charge : $S_4 = (40 + j15)$ MVA

Poste 5 charge : $S_5 = (20 + j6)$ MVA

Les longueurs des lignes :

$L_{12} = 50.0899$ km

$L_{A3} = 24.1867$ km

$L_{34} = 26.9072$ km

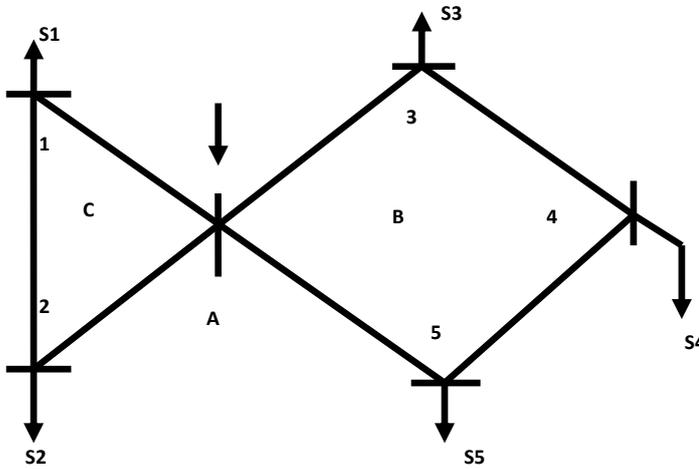
$L_{A5} = 23.0869$ km

$L_{45} = 14.1421$ km

$$L_{A2}=21.6333 \quad \text{km}$$

$$l_{A1}=25.45584 \quad \text{km}$$

Transite de la puissance dans le réseau a étudié .



$$\dot{S}_{A3} = \frac{\dot{S}_3 \cdot (l_{34}+l_{45}+l_{A5}) + \dot{S}_4 \cdot (l_{45}+L_{A5}) + \dot{S}_5 \cdot (l_{A5})}{l_{A3}+l_{34}+l_{45}+l_{A5}}$$

$$\frac{(60+j20)(26.9072+14.1421+23.0867) + (40+j15)(14.1421+23.0867) + (20+j0.0867)}{26.9072+14.1421+23.0867+24.1867}$$

$$\dot{S}_{A3} = 65.65749542 + j22.4140866 \quad \text{[MVA]}$$

Les équations dans les nœuds :

$$\dot{S}_{34} = \dot{S}_{A3} - \dot{S}_3 = 5.65749542 + j2.41408661 \quad \text{[MVA]}$$

$$\dot{S}_{45} = \dot{S}_4 - \dot{S}_{34} = 34.34250458 + j12.58591339 \quad \text{[MVA]}$$

$$\dot{S}_{A5} = \dot{S}_5 + \dot{S}_{45} = 54.34250458 + j18.58591339 \quad \text{[MVA]}$$

$$\dot{S}_{A3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{A3}$$

$$I_{A3} = \frac{\dot{S}_{A3}}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$\dot{S}_{A1} = \dot{S}_1 (l_{12} + l_{A2}) + \dot{S}_2 (l_{A2}) = (20+j8) \cdot (50.0899+21.6333) + (40+j20) \cdot (21.6333)$$

$$L_{A2} + l_{12} + l_{A1}$$

$$50.0899 + 21.6333 + 25.4558$$

$$\dot{S}_{A1} = 23.6655549 + j10.35667336 \quad \text{[MVA]}$$

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_{A1} - \dot{S}_1 = 3.6655549 + j2.35667338 \quad \text{[MVA]}$$

II-2-calcul des courants dans les lignes :

$$I_{A3} = \frac{\dot{S}_{A3}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{65.6574 + j22.4141}{\sqrt{3} \cdot 90}$$

$$I_{A3} = 0.4217 + j0.1439 \quad [\text{KA}]$$

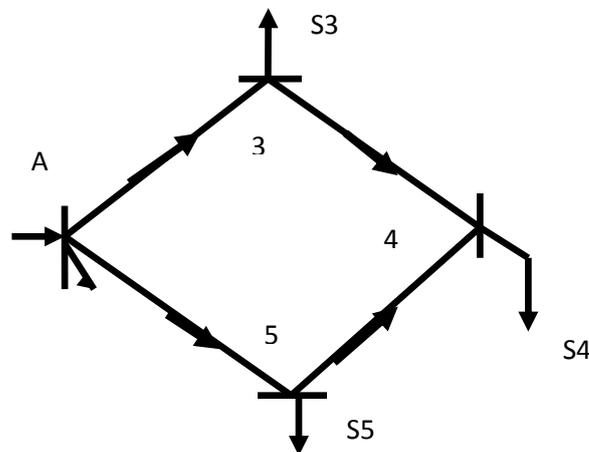
$$I_{A5} = \frac{\dot{S}_{A5}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{54.3425 + j18.5859}{\sqrt{3} \cdot 90}$$

$$I_{A5} = 0.3490 + j0.1194 \quad [\text{KA}]$$

II-3-Régime après avarie :

II-3-1-Vérification des courants admissibles :

réseau B:



Dans le régime après avarie on a coupé les lignes les plus chargé électriquement afin de déterminer les courants admissible

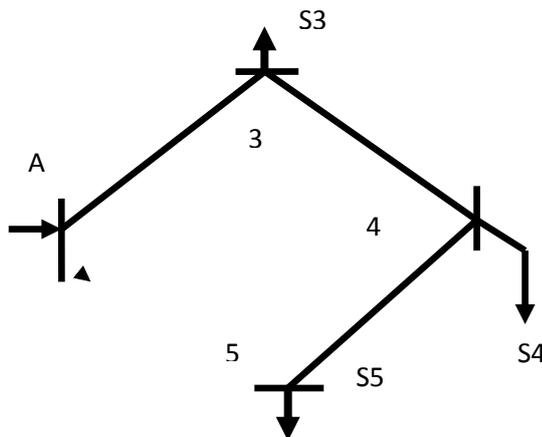


Fig II-1 :Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A5

$$\dot{S}_{A3} = \dot{S}_3 + \dot{S}_4 + \dot{S}_5 = 120 + j41$$

[MVA]

$$|I_{A3}| = 0,8127$$

[KA]

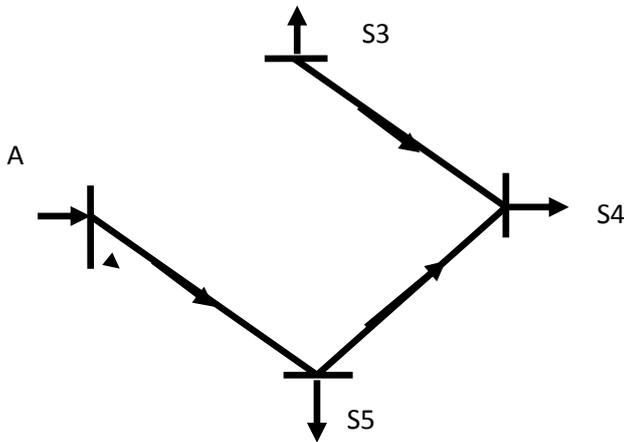


Fig-II-2_Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A3

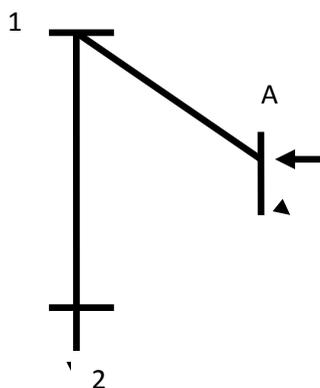
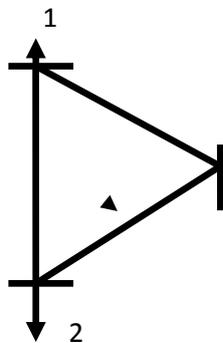
$$\dot{S}_{A5} = \dot{S}_3 + \dot{S}_4 + \dot{S}_5 = 120 + j41$$

[MVA]

$$|I_{A5}| = 0.8127$$

[KA]

Réseau C



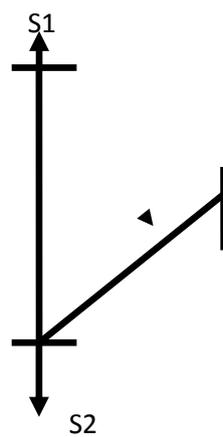
$$\dot{S}_{A1} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 = 60 + j 28 \text{ [MVA]}$$

$$A1 = \frac{SA1}{\sqrt{3} \cdot Un} = \frac{23.66555549 + j10.35667338}{\sqrt{3} \cdot 90}$$

$$= 0.151994 + j 0.066516 \text{ MVA}$$

$$| I_{A1} || = 0.165912 \text{ KA}$$

Fig-II-3-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A2



$$\begin{aligned} \dot{S}_{A2} &= \dot{S}_1 + \dot{S}_2 = 60 + j 28 \text{ [MVA]} \\ S_{A2} &= \frac{S_{A2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{36.334444 + j 17.643326}{\sqrt{3.90}} \\ &= 0.233361 + j 0.113316 \text{ MVA} \\ |I_{A2}| &= 0.416231 \text{ KA} \end{aligned}$$

Fig-II-3-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A1

II-4-Choix des sections :

$$F = \frac{|I|}{J_{EU}}$$

$$F_3 = \frac{I_{A3}}{|1.1|} = \frac{445.4}{1.1} = 404.90 \text{ mm}^2 \quad \text{AC-500}$$

$$F_{A5} = \frac{369}{1.1} = 333.45 \text{ mm}^2 \quad \text{AC-400}$$

$$F_{A1} = \frac{165.91}{1.1} = 150.83 \text{ mm}^2 \quad \text{AC-185}$$

$$F_{A2} = \frac{259.42}{1.1} = 235.85 \text{ mm}^2 \quad \text{AC-300}$$

$$F_{12} = \frac{435.78}{1.1} = 396.16 \text{ mm}^2 \quad \text{AC-400}$$

$$F_{45} = \frac{390.49}{1.1} = 354.99 \text{ mm}^2 \quad \text{AC-400}$$

$$F_{43} = \underline{61,510} = 55,91 \text{ mm}^2$$

AC-70

1, 1

II-5-Les résultats de calcul :

– D'après le catalogue on a obtenu le tableau suivant :

Ligne	Fij (mm^2)	R_0 (Ω/km)	X_0 (Ω/km)	b_0 (10^{-6} siemens)
A3	AC-500	0.059	0.41	2.79
A5	AC-400	0.08	0.40	2.95
A1	AC-185	0.156	0.384	2.84
A2	AC-300	0.098	0.422	2.71
12	AC-400	0.08	0.40	2.95
45	AC-400	0.08	0.40	2.95
43	AC-70	0.33	0.422	2.78

II-6-les impédances des lignes :

$$Z_i = (R_i + j x_i) \cdot L_i \quad (\Omega)$$

$$Z_{12} = (0.08 + j 0.40) \times 50.08 = 4.01 + j 20.03 \quad (\Omega)$$

$$Z_{45} = (0.08 + j 0.40) \times 14.14 = 1.13 + j 5.65 \quad (\Omega)$$

$$Z_{5A} = (0.08 + j 0.140) \times 23.08 = 1.85 + j 9.23 \quad (\Omega)$$

$$Z_{A3} = (0.059 + j 0.41) \times 24.18 = 1.43 + j 9.91 \quad (\Omega)$$

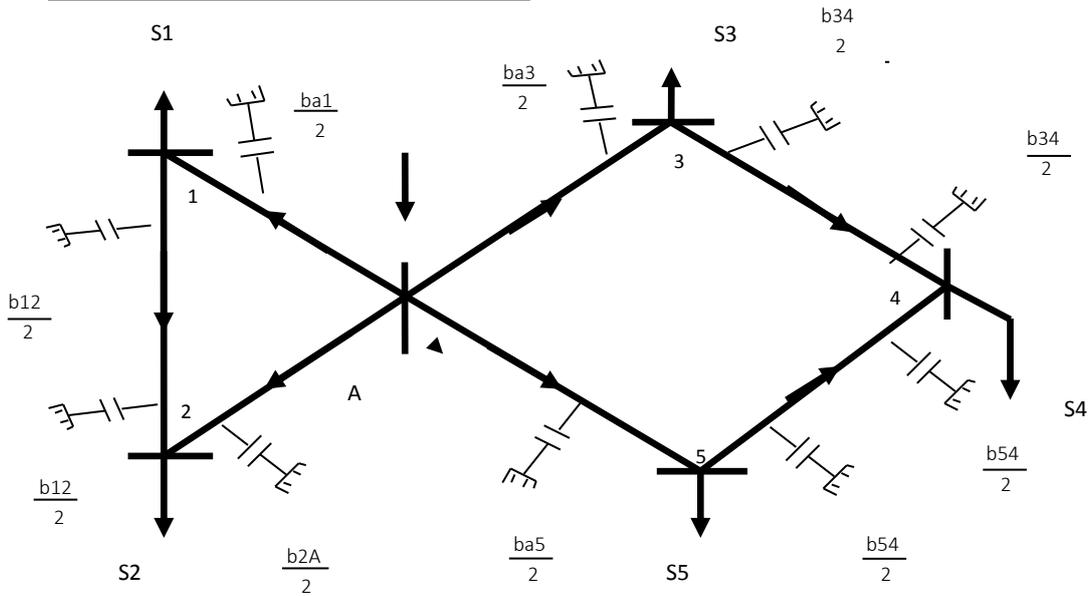
$$Z_{34} = (0.33 + j 0.422) \times 26.90 = 8.88 + j 11.35 \quad (\Omega)$$

$$Z_{A2} = (0.105 + j 0.416) \times 21.63 = 21.27 + j 8.99 \quad (\Omega)$$

$$Z_{A1} = (0.17 + j 0.40) \times 25.45 = 4.32 + j 10.18 \quad (\Omega)$$

Traçant	R_0 (Ω/km)	X_0 (Ω/km)	L_{ij} (km)
1-2	0.08	0.40	50.08
4-5	0.08	0.40	14.14
A-5	0.08	0.140	23.08
A-3	0.059	0.41	24.18
3-4	0.33	0.422	26.90
A-2	0.105	0.416	21.63
A-1	0.17	0.40	25.45

III- Etude Du Régime Normal



III-1-calcul des puissances capacitives des lignes :

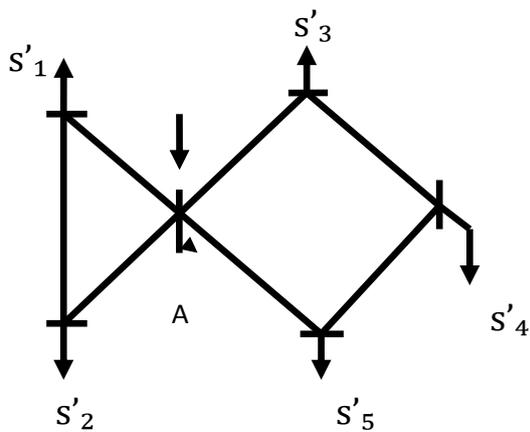
$$S_1' = S_1 - j (\Delta Q_{TA1} + \Delta Q_{TA12})$$

$$S_2' = S_2 - j (\Delta Q_{TA2} + \Delta Q_{TA12})$$

$$S_4' = S_4 - j (\Delta Q_{T45} + \Delta Q_{TA45})$$

$$S_5' = S_5 - j (\Delta Q_{T54} + \Delta Q_{TA5})$$

$$S_3' = S_3 - j (\Delta Q_{TA3} + \Delta Q_{TA34})$$



$$\Delta Q_{T1} = B_{0A1} \cdot L_{A1} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.71 \cdot 10^{-6} \cdot 25.455 \left(\frac{90}{2}\right) = 2.1794 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\Delta Q_{T12} = B_{012} \cdot L_{12} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.95 \cdot 10^{-6} \cdot 50.089 \left(\frac{90}{2}\right) = 5.984 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\Delta Q_{TA2} = B_{012} \cdot L_{A2} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.71 \cdot 10^{-6} \cdot 21.633 \left(\frac{90}{2}\right) = 2.374 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\Delta Q_{T45} = B_{045} \cdot L_{45} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.95 \cdot 10^{-6} \cdot 14.142 \left(\frac{90}{2}\right) = 1.689 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\Delta Q_{T43} = B_{043} \cdot L_{43} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.71 \cdot 10^{-6} \cdot 26.907 \left(\frac{90}{2}\right) = 3.029 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\Delta Q_{TA5} = B_{0A5} \cdot L_{A5} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.95 \cdot 10^{-6} \cdot 23.08 \left(\frac{90}{2}\right) = 2.758 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\Delta Q_{TA3} = B_{0A3} \cdot L_{A3} \cdot \frac{Un^2}{2} = 2.79 \cdot 10^{-6} \cdot 24.168 \left(\frac{90}{2}\right) = 2.733 \quad [\text{MVAR}]$$

$$\acute{S}'_1 = S_1 - j(\Delta Q_{TA1} + \Delta Q_{T12}) = (20 + j8) - j(2.794 + 5.984) = 20 - j0.778 \quad [\text{MVA}]$$

$$\acute{S}'_2 = S_2 - j(\Delta Q_{TA1} + \Delta Q_{T12}) = (40 + j20) - j(5.984 + 2.374) = 40 + j11.642 \quad [\text{MVA}]$$

$$\acute{S}'_3 = S_3 - j(\Delta Q_{TA3} + \Delta Q_{T34}) = (60 + j20) - j(2.733 + 3.029) = 60 + j14.238 \quad [\text{MVA}]$$

$$\acute{S}'_4 = S_4 - j(\Delta Q_{T45} + \Delta Q_{T43}) = (40 + j15) - j(1.689 + 3.029) = 40 + j10.282 \quad [\text{MVA}]$$

$$\acute{S}'_5 = S_5 - j(\Delta Q_{T54} + \Delta Q_{TA5}) = (20 + j6) - j(1.689 + 2.758) = 20 + j1.553 \quad [\text{MVA}]$$

$$U_n = 90$$

$$U_a = 90$$

$$P1 = 60$$

$$Q1 = 14.238$$

$$P2 = 40$$

$$Q2 = 10.282$$

$$P3 = 20$$

$$Q3 = 1.553$$

$$\acute{S}_{A3} = \frac{S_3 + S_4 + S_5 + S_3' + S_4' + S_5'}{\hat{Z}_{A3} + \hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{A5}}$$

$$\acute{S}_{A3} = 65.0596 + j15.0512 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}'_{34} = \hat{S}'_{A3} - \hat{S}'_3 = 5.0596 + j0.8132 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}'_{A1} = \frac{\hat{S}'_1 \cdot (\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{2A}) + \hat{S}'_2 \cdot \hat{Z}_{2A}}{\hat{Z}_{A1} + \hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{2A}}$$

$$\hat{S}'_{A1} = 23.7522 + j1.1915 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}'_{12} = \hat{S}'_{A1} - \hat{S}'_1 = 3.7522 + j1.9695 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}'_{A2} = \hat{S}'_2 + \hat{S}'_{12} = 43.7522 + j13.6115 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}'_{A5} = \frac{\hat{S}'_5 \cdot (\hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{A3}) + \hat{S}'_{4A} (\hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{A3}) + \hat{S}'_3 \cdot \hat{Z}_{A3}}{\hat{Z}_{A3} + \hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{A5}}$$

$$= 54.9403 + j11.0217 \quad [\text{MVA}]$$

$$S_{45} = 34.9403 + j9.4687 \quad [\text{MVA}]$$

III-1-1-Les Chutes De Tensions :

$$\Delta \hat{U}_{A3} = \frac{\hat{S}_{A3} \cdot Z_{A3}}{U_n} = 2.6910 + j6.9246 \quad [\text{kV}]$$

$$\Delta \hat{U}_{34} = \frac{\hat{S}_{34} \cdot Z_{34}}{U_n} = 0.6017 + j0.5578 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta \hat{U}_{A5} = \frac{\hat{S}_{A5} \cdot Z_{A5}}{U_n} = 2.2596 + j5.4078 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta \hat{U}_{A1} = \frac{\hat{S}_{A1} \cdot Z_{A1}}{U_n} = 1.2748 + j2.6294 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta \hat{U}_{A2} = \frac{\hat{S}_{A2} \cdot Z_{A2}}{U_n} = 2.4631 + j4.0270 \quad [\text{KV}]$$

$$\frac{\Delta \dot{U}_{45} = \hat{S}_{A2} Z_{A2} = 1.0331 + j2.0745 \text{ [KV]}}{U_n}$$

III-1-2-Les Tensions :

$$\dot{U}_1 = U_A - \Delta \dot{U}_{A1} = 88.7252 - j2.6294 \text{ [KV]}$$

$$\dot{U}_2 = U_A - \dot{U}_{\Delta A2} = 87.5369 - j 4.027 \text{ [KV]}$$

$$\dot{U}_3 = U_A - \Delta \dot{U}_{A3} = 87.3089 - j 6.9246 \text{ [KV]}$$

$$\dot{U}_4 = U_A - \Delta \dot{U}_{34} = 86.7071 - j 7.4824 \text{ [KV]}$$

$$\dot{U}_5 = U_A - \Delta \dot{U}_{A5} = 87.7403 - j 5.4078 \text{ [KV]}$$

III-1-3-Les modules :

$$|U_1| = 88.7641 \text{ [KV]}$$

$$|U_2| = 87.6294 \text{ [KV]}$$

$$|U_3| = 87.5830 \text{ [KV]}$$

$$|U_4| = 87.0293 \text{ [KV]}$$

$$|U_5| = 87.9067 \text{ [KV]}$$

III-1-4-Les écarts relatives en (%) des tensions :

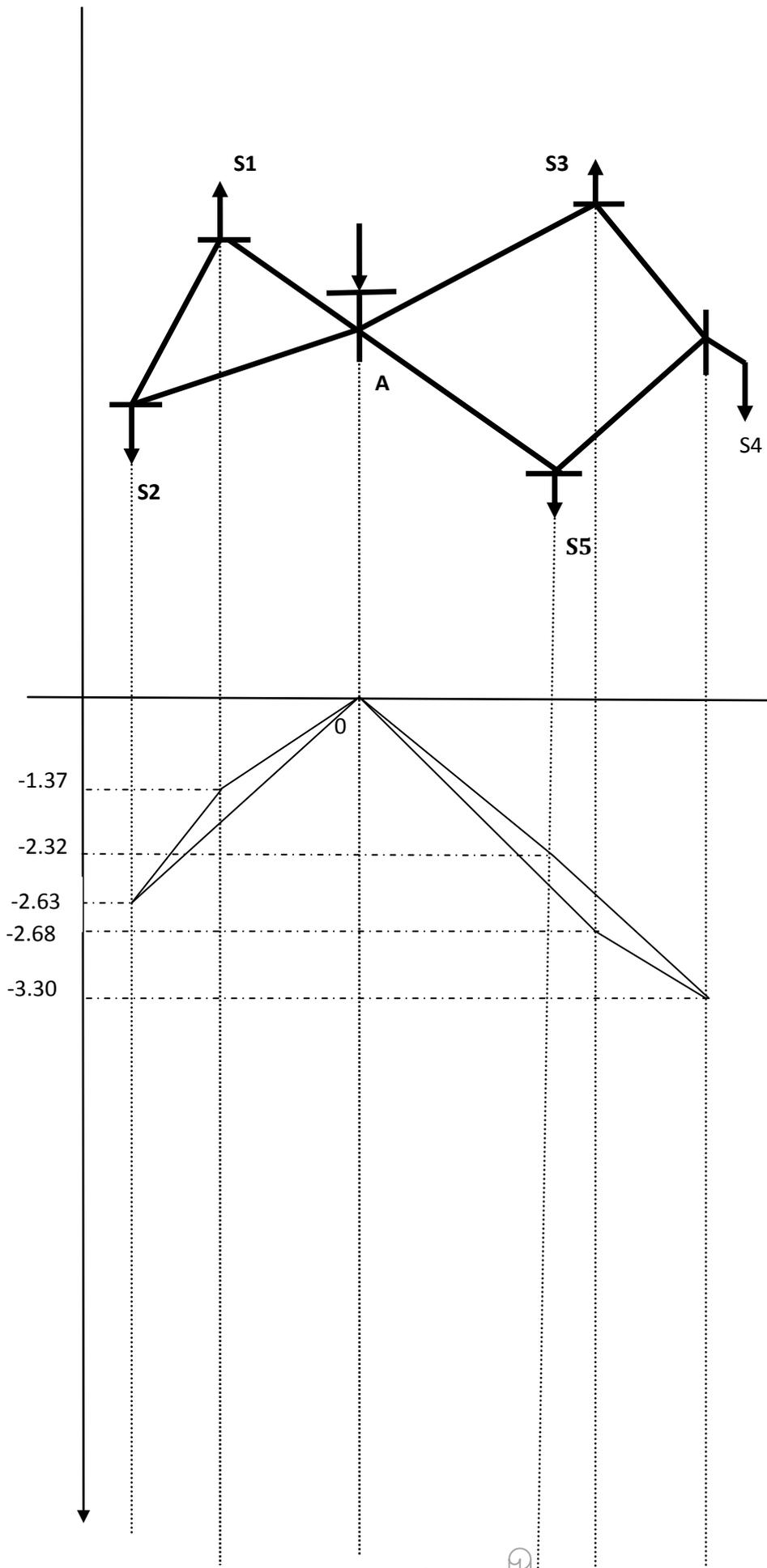
$$U_1^* \% = \frac{|U_1| - U_n}{U_n} 100\% = -1.3732\%$$

$$U_2^* \% = \frac{|U_2| - U_n}{U_n} 100\% = -2.634\%$$

$$U_3^* \% = \frac{|U_3| - U_n}{U_n} 100\% = -2.6855\%$$

$$U_4^* \% = \frac{|U_4| - U_n}{U_n} 100\% = -3.3007\%$$

$$U_5^* \% = \frac{|U_5| - U_n}{U_n} 100\% = -2.3258 \%$$



Régime Future :

L'étude du régime future consiste à déterminer les tensions dans les différents nœuds et vérifier l'exploitation dans les normes c'est à dire si les écarts de tension en % en chaque nœud sont inférieurs à 10%, les charges augmentent de 5% chaque année, après 10ans on aura des charges de 1,5 fois plus grandes donc :

$$S_{\text{Futur}} = 1,5 S$$

On a obtenu les résultats suivants avec une augmentation de 50% de la charge.

Les Nouvelles Puissances :

$$S_{\text{futur}} = 1.5 s$$

N	S_F (MVA)
1	$30+j3.222$
2	$60+j21.6413$
3	$90+j24.2380$
4	$60+j17.78$
5	$30+j4.55$

$$U_n = 90$$

$$U_a = 90$$

$$P1 = 90$$

$$Q1 = 24.238$$

$$P2 = 60$$

$$Q2 = 17.78$$

$$P3 = 30$$

$$Q3 = 4.55$$

$$\hat{S}_{A3F} = \frac{\hat{S}_{3F} (\hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{5A}) + \hat{S}_{4F} (\hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{5A}) + \hat{S}_{5F} \hat{Z}_{5A}}{\hat{Z}_{A3} + \hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{A5}}$$

$$= 97.6607 + j 26.1792$$

[MVA]

$$\hat{S}_{34F} = \hat{S}_{A3F} - \hat{S}_{3F} = 7.6607 + j1.9412 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}_{45F} = \hat{S}_{A5F} - \hat{S}_{5F} = 52.3393 + j15.8388 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}_{A5F} = \frac{\hat{S}_{5F}(\hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{A3}) + \hat{S}_{4F}(\hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{A3}) + \hat{S}_{4F} \cdot \hat{Z}_{A3}}{\hat{Z}_{A3} + \hat{Z}_{34} + \hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{5A}}$$

$$\hat{S}_{A5F} = 82.3393 + j20.3888 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}_{A1F} = \frac{\hat{S}_{1F}(\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{2A}) + \hat{S}_{2F} \cdot \hat{Z}_{2A}}{\hat{Z}_{A1} + \hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{45} + \hat{Z}_{2A}}$$

$$\hat{S}_{A1F} = 31.3218 + j5.4683 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}_{A2F} = \hat{S}_{2F} - \hat{S}_{12F} = 27.8200 + j19.3927 \quad [\text{MVA}]$$

$$\hat{S}_{12F} = \hat{S}_{A1F} - \hat{S}_{1F} = 32.18 + j2.24863 \quad [\text{MVA}]$$

IV-1-Détermination des chutes de tension :

$$\Delta U_i' = \frac{\hat{S}_i \cdot Z_i}{U_n}$$

$$\Delta U'_{A3F} = \frac{\hat{S}_{A3F} \cdot Z_{A3}}{U_n} = 4.4343 + j10.3376 \quad [\text{KV}]$$

U_n

$$\Delta U'_{A5F} = 3.7835 + j8.0252 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta U'_{34F} = 1.0006 + j0.7745 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta U'_{A1F} = 2.1220 + j3.2804 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta U'_{A2F} = 2.6388 + j2.2898 \quad [\text{KV}]$$

$$\Delta U'_{45F} = 1.6514 + j3.0868 \quad [\text{KV}]$$

IV-2-Détermination des tensions au niveau de chaque nœud :

$$U_{1F} = U_A - \Delta U_{A1F} = 87.8780 - j3.2804 \quad [\text{KV}]$$

$$U_{2F} = U_A - \Delta U_{A2F} = 87.3612 - j2.2898 \quad [\text{KV}]$$

$$U_{3F}=U_A-\Delta U_{A3F}=85.5656-j10.3375 \quad [\text{KV}]$$

$$U_{4F}=U_A-\Delta U_{A4F}=84.5650-j11.1121 \quad [\text{KV}]$$

$$U_{5F}=U_A-\Delta U_{A5F}=86.2164-j8.0252 \quad [\text{KV}]$$

IV-3-Les modules :

$$|U_{1F}|=88.0004 \quad [\text{KV}]$$

$$|U_{2F}|=87.4212 \quad [\text{KV}]$$

$$|U_{3F}|=86.1877 \quad [\text{KV}]$$

$$|U_{4F}|=85.2919 \quad [\text{KV}]$$

$$|U_{5F}|=86.5890 \quad [\text{KV}]$$

IV-4-Détermination les écarts des tensions :

$$U_i^*(\%)=\frac{U_i-U_n}{U_n}\cdot 100\%$$

$$U_{1F}^* = -2.2218(\%)$$

$$U_{2F}^* = -2.8653(\%)$$

$$U_{3F}^* = -4.2358(\%)$$

$$U_{4F}^* = -5.2312(\%)$$

$$U_{5F}^* = -3.79(\%)$$

Remarque : on remarque pour ce régime, que les tension aux 5 nœuds sortent des limites admissible Recommendation : on remarque que certains régimes les tensions nodales sortent des limites admissible .afin de vendre notre exploitable, il faut prévenir des moyens les compensations de l'énergie réactive (compensation statique ou batterie de condensateur)

Calcul des pertes dans les traçons :

$$\Delta P'_{IA2} = \frac{(54.2)^2 + (18.92)^2}{90^2} \cdot 0.059 \cdot 21.63 = 0.1812 \quad [\text{MVA}]$$

$$90^2$$

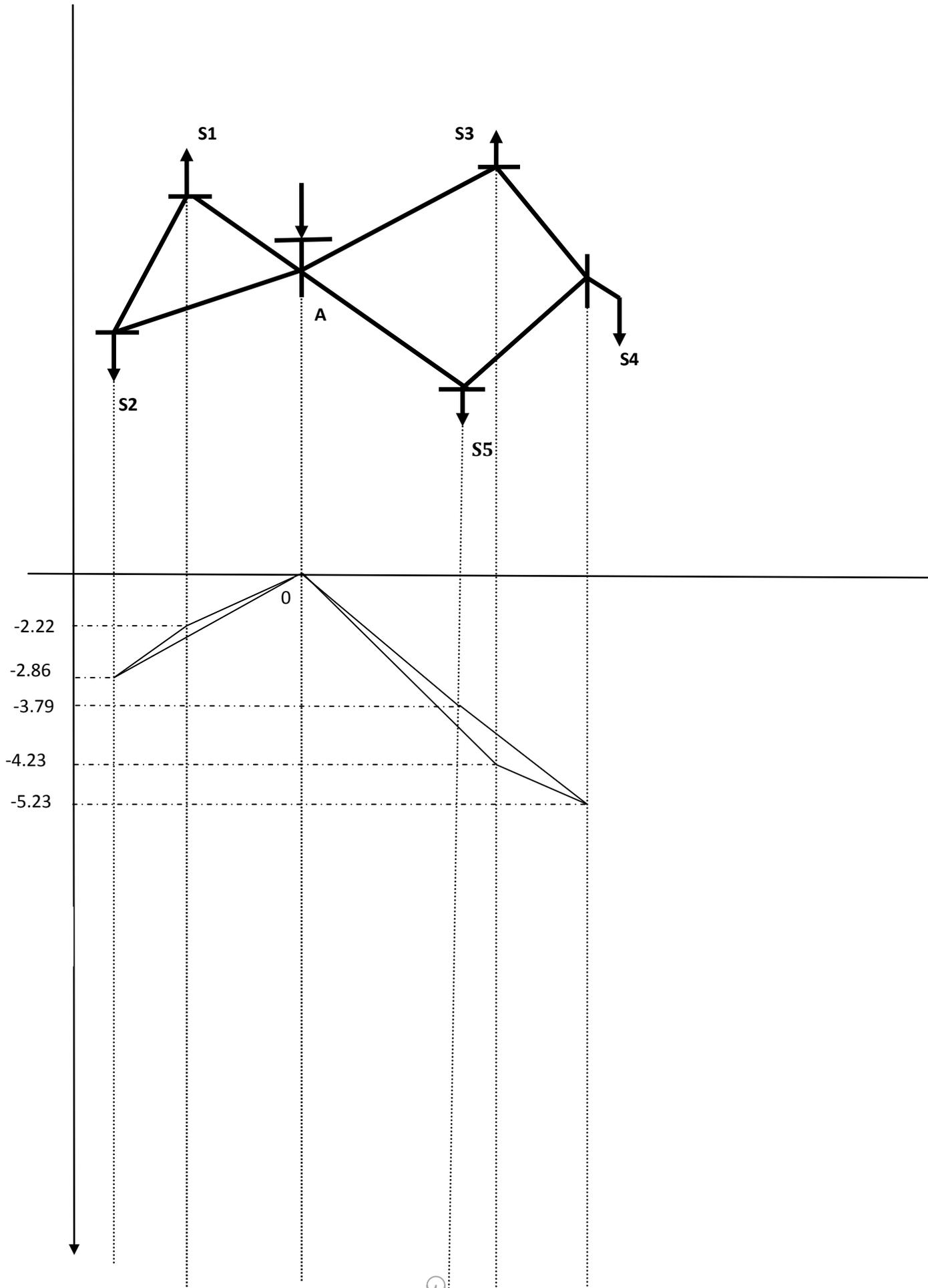
$$\Delta P'_{112} = \frac{(5.808)^2 + (2.728)^2 \cdot 0.08 \cdot 50 \cdot 0.08}{90^2} = 0.7547 \quad [\text{MVA}]$$

$$\Delta P'_{A1F} = \frac{(35.80)^2 + (5.95)^2 \cdot 0.059 \cdot 25 \cdot 0.45}{90^2} = 0.1874 \quad [\text{MVA}]$$

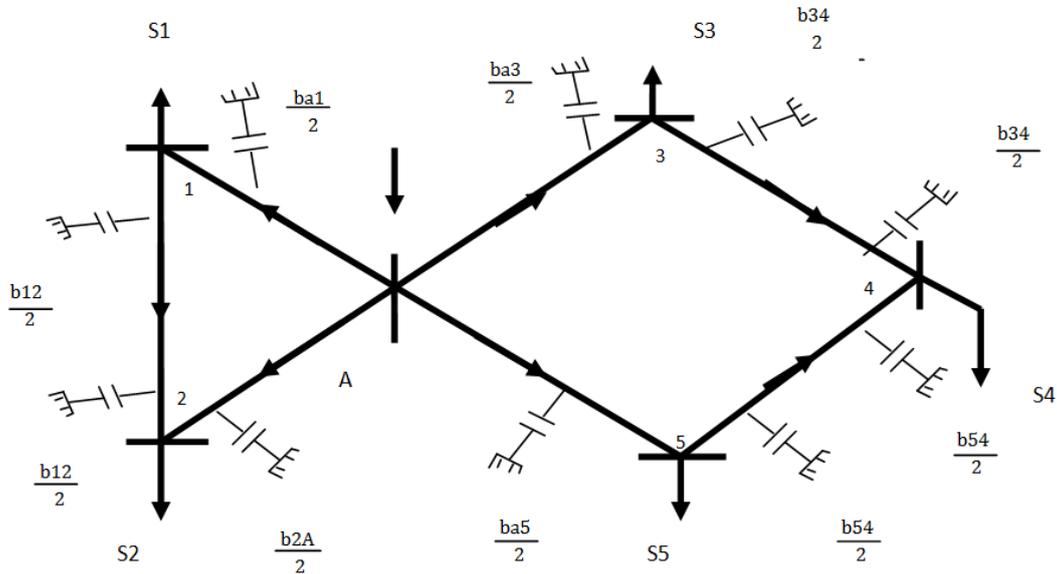
$$\Delta P'_{A3F} = \frac{(97.60)^2 + (25.79)^2 \cdot 0.08 \cdot 24 \cdot 0.18}{90^2} = 2.4412 \quad [\text{MVA}]$$

$$\Delta P'_{A5F} = \frac{(82.39)^2 + (19.78)^2 \cdot 0.195 \cdot 23 \cdot 0.8}{90^2} = 0.5616 \quad [\text{MVA}]$$

$$\Delta P'_{45F} = \frac{(52.40)^2 + (15.23)^2 \cdot 0.17 \cdot 14 \cdot 0.14}{90^2} = 0.6579 \quad [\text{MVA}]$$



Un régime après avarie est un régime dont il Ya rupture d'une ligne la plus chargé ou la plus longue car elle présente beaucoup d'incident que les autres ce qui peut nuire beaucoup sur le niveau de tension dont lequel des traçant seront très chargés.



V-2-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A3 :

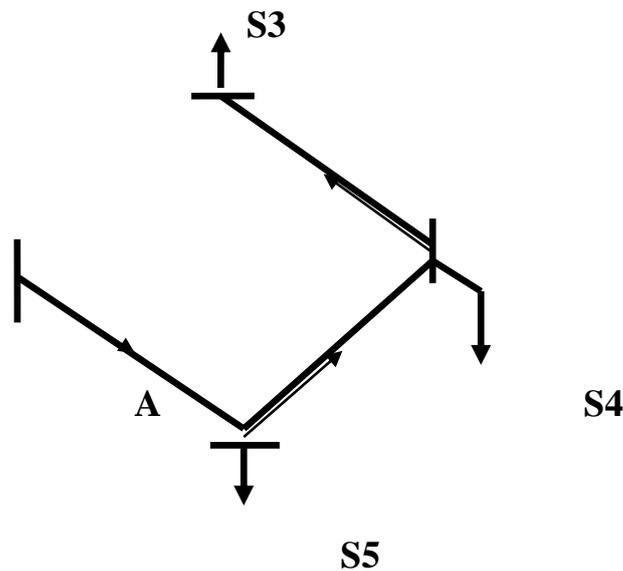


Fig-1-V-2- Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A3

$$S_{3F}=S_{43F} =90+j24.238$$

$$S_{54F}= S_{4F}+S_{3F}=150+ j41.02$$

$$S_{A5F}=S_5+S_{3F}+S_{4F}=180+ j45.573$$

Les Chute de tension:

$$\Delta U_{A5F} = \frac{\hat{S}_{A5F} \cdot \dot{Z}_{A5}}{U_N} = 8.3737 + j17.5232 \quad [\text{KV}]$$

$$U_N$$

$$\Delta U_{54F} = \frac{\hat{S}_{54F} \cdot \dot{Z}_{54}}{U_N} = 4.4585 + j8.9016 \quad [\text{KV}]$$

$$U_N$$

$$\Delta U_{43F} = \frac{\hat{S}_{43F} \cdot \dot{Z}_{43}}{U_N} = 11.9367 + j8.9585 \quad [\text{KV}]$$

$$U_N$$

V-2-1-Les Tension :

$$U_5 = U_A - \Delta U_{A5F} = 81.6262 - j17.5232 \text{ KV} = 83.4860 e^{-j12.11}$$

$$U_4 = U_5 - \Delta U_{45F} = 77.1677 - j26.4282 \text{ KV} = 81.5678 e^{-j18.90}$$

$$U_3 = U_4 - \Delta U_{43F} = 65.2310 - j35.3867 \text{ KV} = 74.2112 e^{-j28.47}$$

V-2-2-Les Module:

$$|U_5| = 83.4860 \text{ KV}$$

$$|U_4| = 81.5678 \text{ KV}$$

$$|U_3| = 74.2112 \text{ KV}$$

V-2-3-Les écarts des tensions :

$$U_5^* = -7,2378 \%$$

$$U_4^* = -9.3691\%$$

$$U_3^* = -17.5431\%$$

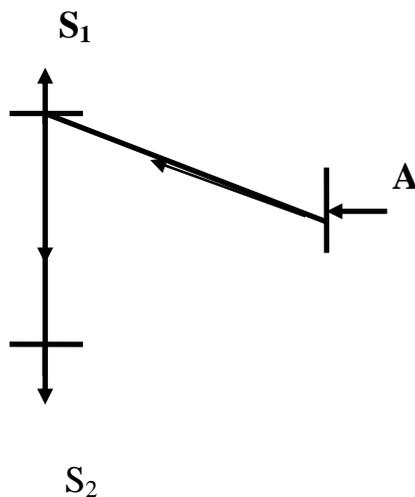
V-3-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A2 :

Fig-2-V-3-Régime après avarie lors de la coupure de la ligne A2

$$S_{A1F} = S_1 + S_2 = 90 + j24,8633$$

$$S_{12F} = S_2 = 60 + j21,6413$$

V-3-1-Les chutes de tension:

$$\frac{\Delta U_{A1F}}{UN} = \frac{\hat{S}_{A1F}}{UN} \cdot \underline{\hat{Z}}_{A1} = 7.1323 + j8.9866 \text{ [KV]}$$

$$\frac{\Delta U_{12F}}{UN} = \frac{\hat{S}_{12F}}{UN} \cdot \underline{\hat{Z}}_{12} = 7.4897 + j12.3891 \text{ [KV]}$$

V-3-2-Les tensions :

$$U_1 = 82.8677 - j8.9866 \text{ [KV]} = 83.3536 e^{-j6.1893}$$

$$U_2 = 75.3780 - j21.3757 \text{ [KV]} = 78.3503 e^{-j15.8323}$$

V-3-3-Les modules :

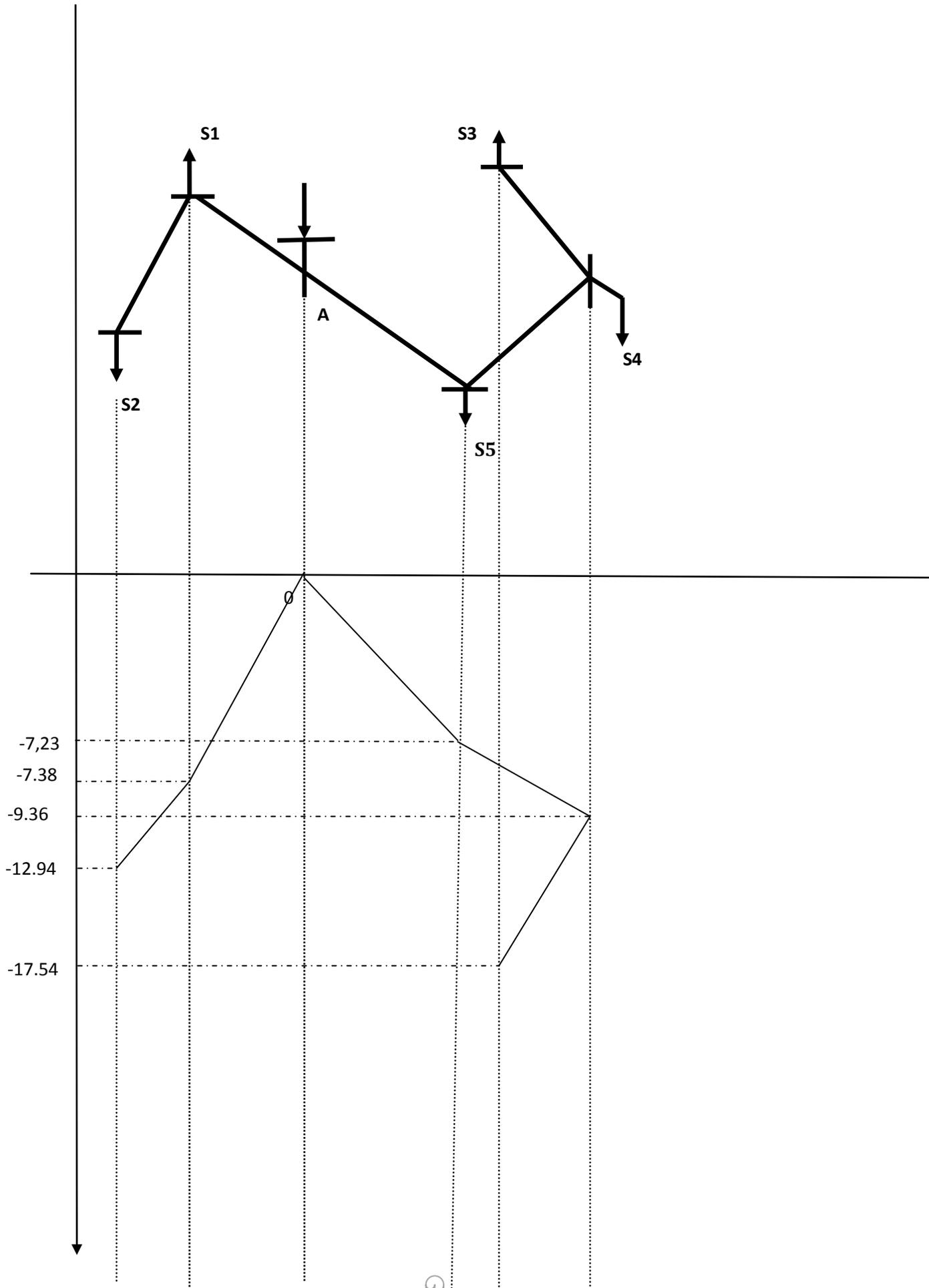
$$|U_1| = 83.3536$$

$$|U_2| = 78.3503$$

V-3-4-Les écarts de tension :

$$U_1^* = -7.3849 \%$$

$$U_2^* = -12.9441\%$$



V- l'introduction :

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement.

D'autre part plus que le réseau augmente plus qu'il devient complexe et plus difficile à contrôler.

Jusqu'à la fin des années quatre vingt, Les réseaux électriques étaient contrôlés par des dispositifs électromécaniques ayant un temps de réponse plus au moins long, ils sont par conséquent difficilement utilisables pour un contrôle continu des flux de puissance.

Une autre technique de réglage et de contrôle des puissances réactives, des tensions et des transits de puissance utilisant l'électronique de puissance a fait ses preuves par l'introduction des dispositifs de contrôle à base des composants d'électronique de puissance très avancés (GTO, IGBT) connus sous l'acronyme FACTS: « Flexible Alternating Current Transmission Systems ».

Ces convertisseurs sont distingués en compensateurs shunt, série et hybride ou comme d'autres outils pour interconnecter les réseaux impossibles à interconnecter.

L'objectif de ce travail est de présenter le dispositif FACTS le STATCOM et comment il peut être utilisé pour le contrôle de la tension dans un réseau électrique.

VI-2-Nécessité d'utilisation des FACTS :

Les réseaux électriques à courant alternatif fournissent de la puissance apparente. Cette puissance se décompose en deux formes:

- > **La puissance active:** est la puissance utilisée et transformée en énergie mécanique (travail), chimique, radiante, en chaleur.
- > **La puissance réactive:** se transforme en champs magnétiques ou en champ électrique.

Actuellement, avec la complexité des réseaux, la participation du générateur dans la production de l'énergie réactive est devenue insuffisante. Elle est générée en grande partie par les moyens de compensation existants comme les condensateurs et les compensateurs synchrones (machines synchrones surexcitées marchent à vide).

Aussi ces réseaux électriques de taille importante seront confrontés par divers problèmes de fonctionnement à cause du contrôle traditionnel utilisant des systèmes de commande électromécaniques de temps de réponse lent par rapport aux nouveaux systèmes FACTS.

VI-3-Présentation générale des FACTS:

D'après l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), FACTS qui est l'abréviation de «Flexible Alternating Current Transmission Systems» est défini comme suit: « Les systèmes de transmission en courant alternatif incorporant des contrôleurs à base d'électronique de puissance et autres contrôleurs statiques afin d'améliorer la contrôlabilité des réseaux électriques ainsi que la capacité de transfert des lignes électriques ».

La technologie FACTS n'est pas limitée en un seul dispositif mais elle regroupe une collection de dispositifs à base de l'électronique de puissance implantés dans les réseaux électriques.

Flexibilité de Transmission de l'énergie: l'aptitude d'accommoder aux changements du système énergétique et aux conditions de fonctionnement en maintenant l'état stable et de suffisantes marges de stabilité transitoire.

VI-4-Classification des dispositifs de contrôle de puissance dans les réseaux:

On peut classer 3 types principaux selon le niveau de technologie :

- Par commande conventionnelle (électromécanique)
- Par dispositifs FACTS à base des thyristors
- Par dispositifs FACTS à base des convertisseurs de tension.

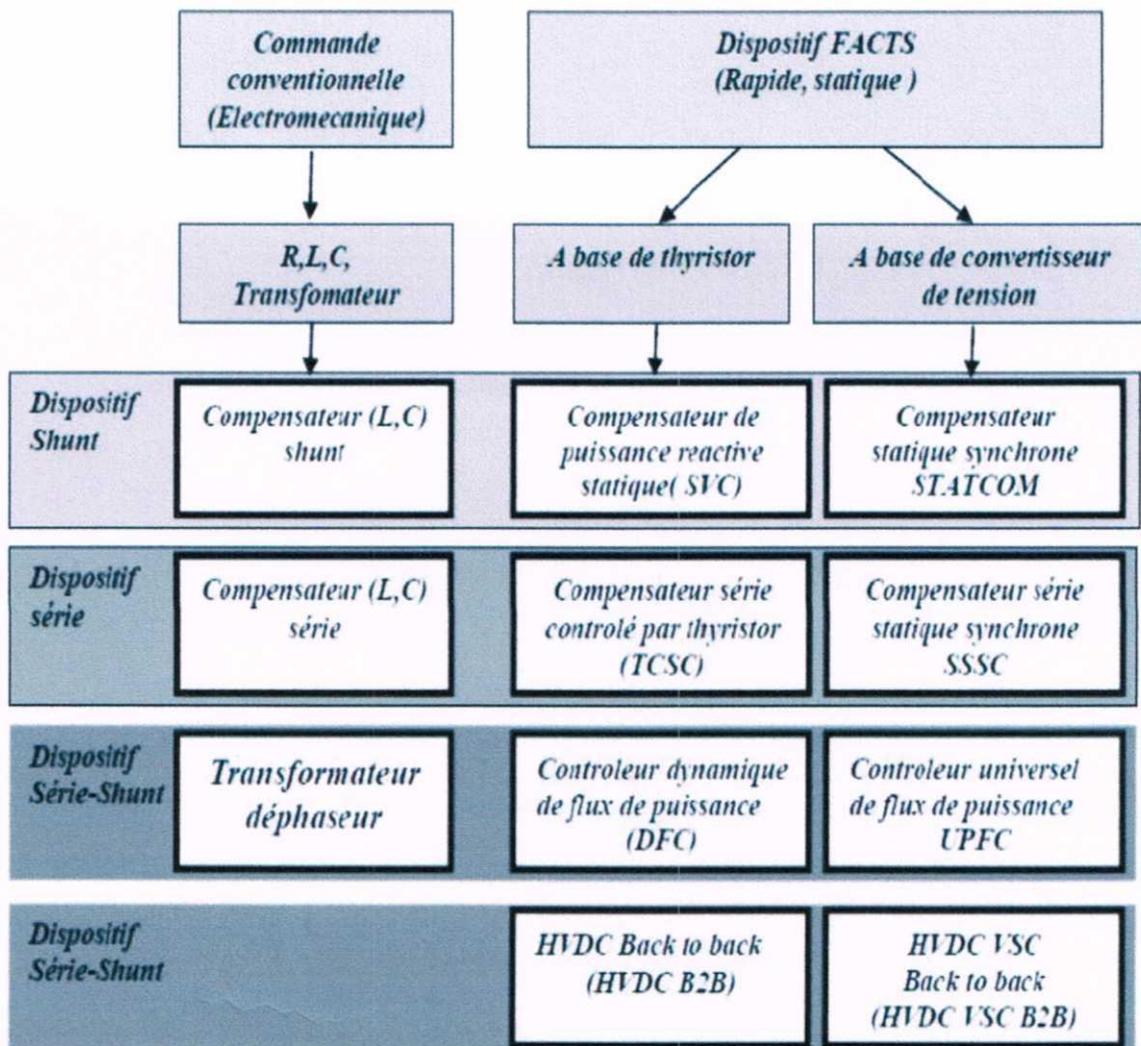
On peut remarquer que les dispositifs sont classés selon le mode de connexion avec le réseau en trois classes:

Dispositifs shunts

Dispositifs séries

Dispositifs série-shunt

On remarque que pour chaque dispositif on a un de chaque type.



VI-5-Les principaux dispositifs FACTS :**VI-5-1- Dispositifs séries:**

Ces compensateurs sont connectés en série avec le réseau comme une impédance variable (inductive ou capacitive) ou une source de tension variable.

Les FACTS dans la compensation série modifient l'impédance de la ligne : la reactance (X) de la ligne est diminuée, donc augmenter la puissance active transmissible. Cependant la puissance réactive doit être plus ou moins fournie.

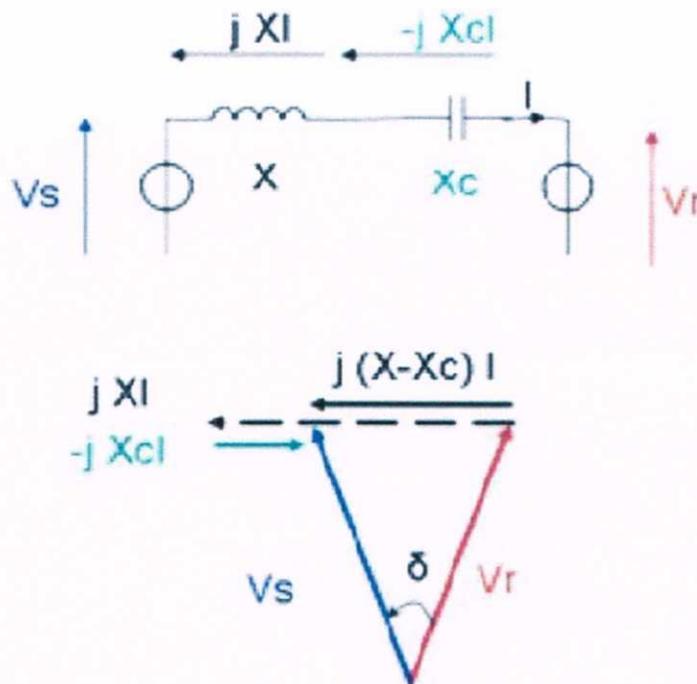


Fig-VI-1

VI-5-1-1- TCSC (Thyristor controlled series capacitor):

Le compensateur série commandé par thyristor TCSC est composé d'une inductance en série avec un gradateur à thyristors, le tout en parallèle avec un condensateur.

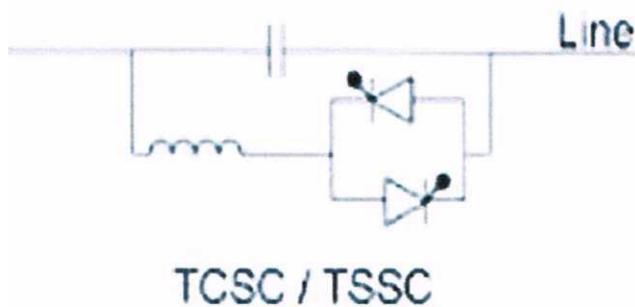


Fig-VI-2

VI-5-1-2- TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor):

Le compensateur série commuté par thyristor TSSC est le premier qui apparaît dans la famille des compensateurs série. La différence entre le (TSSC) et le TCSC est que l'angle d'amorçage est soit de "90" soit de "180".

VI-5-1-3- TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor):

Le TCSR est un compensateur inductif qui se compose d'une inductance en parallèle avec une autre inductance commandée par thyristors afin de fournir une réactance inductive série variable.

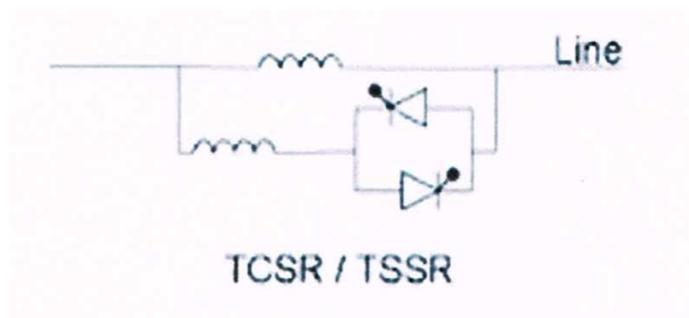


Fig-VI-3

VI-5-1-4- TSSR (Thyristor Switched Series Reactor):

La différence entre ce système et le TCSR est que l'angle d'amorçage est soit de "90" soit de "180".

VI-5-1-5- SSSC (Static Synchronous Series Compensator)

Le compensateur série synchrone (Static Synchronous Série Compensator) est le plus important dispositif de cette famille . Il est constitué d'un onduleur triphasé couplé en série avec la ligne électrique à l'aide d'un transformateur. Son rôle est d'introduire une tension triphasée, à la fréquence du réseau, en série avec la ligne de transport.

Ce dispositif appelé aussi DVR (Dynamic Voltage Restorer) est utilisé généralement dans les réseaux de distribution afin de résoudre les problèmes de qualité d'énergie tel que les creux de tensions et maintenir ces dernières à des niveaux constants.

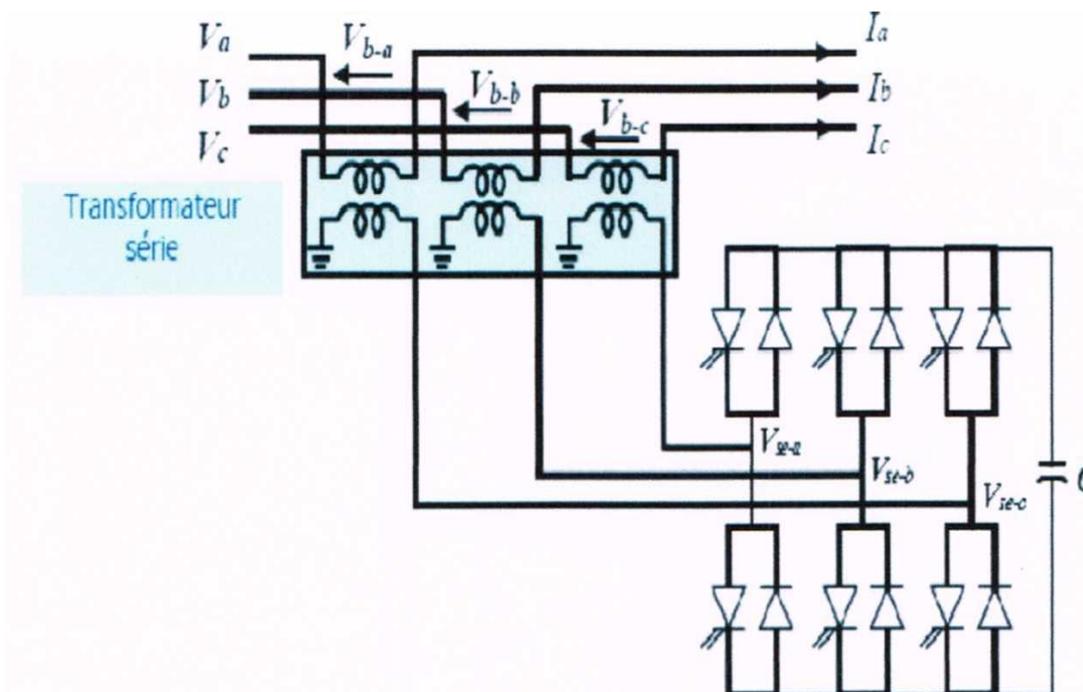


Fig-VI-4

VI-5-2- Dispositifs shunts (parallèles) :

Ils consistent en une impédance variable, source variable ou une combinaison des deux. Ils injectent un courant dans le réseau à travers le point de connexion. Ils sont principalement pour la compensation de la puissance réactive et par conséquent contrôler de tension des nœuds.

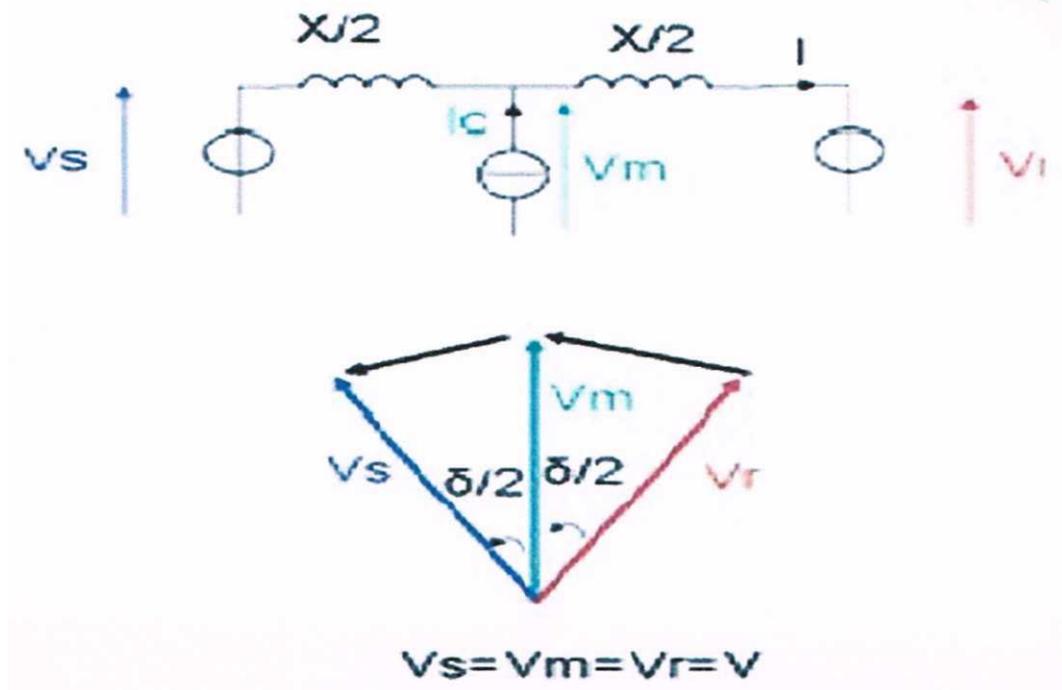


Fig-VI-5

VI-5-2-1- TCR (Thyristor Controlled Reactor) ou TSR (Thyristor Switched Reactor):

Dans le TCR (RCT: Reactance Commandées par Thyristors), le circuit est composé d'une reactance placé en série avec deux thyristors montés en antiparallèle. Il sert à absorber l'excès de puissance réactive dans le réseau.

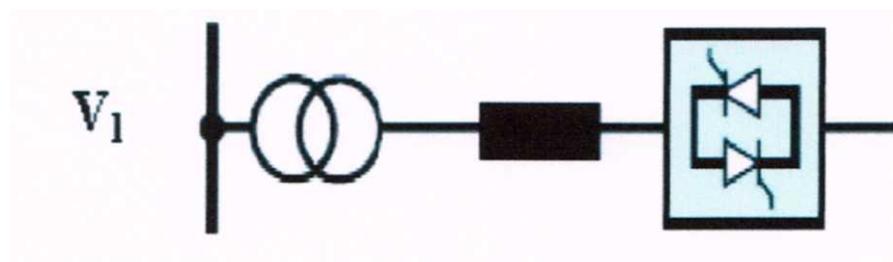


Fig- VI-6

VI-5-2-2- TSC (Thyristor Switched Capacitor):

Dans le TSC (CCT: Condensateurs Commandés par Thyristor), le circuit est composé d'un condensateur placée en série avec deux thyristors montés en antiparallèle.

Il sert à générer une puissance réactive variable au réseau.

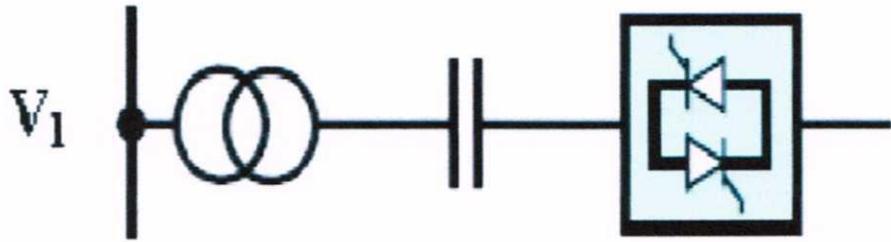


Fig-VI-7

VI-5-2-3- SVC (Static Var Compensator)

L'association des dispositifs TCR, TSC, bancs de capacités fixes et filtres d'harmoniques constitue le compensateur plus connu sous le nom de SVC (compensateur statique de puissance réactive) (CSPR).

Pour augmenter ou diminuer la tension d'une ligne de transport, on peut brancher un condensateur ou une inductance shunt qui génère ou absorbe de la puissance réactive. Cette manœuvre peut se faire automatiquement en utilisant un compensateur statique.

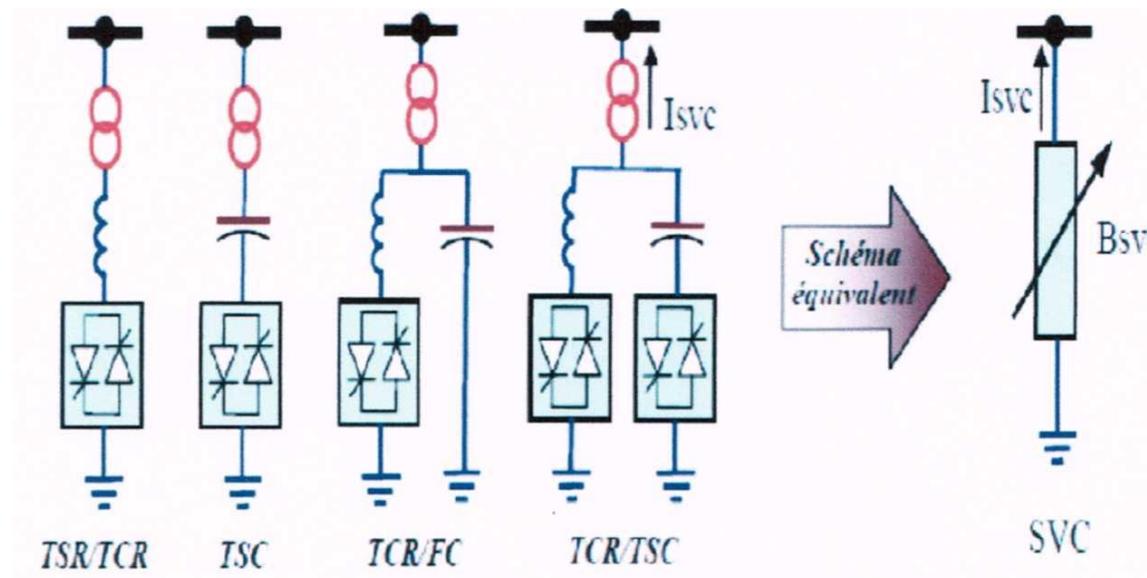
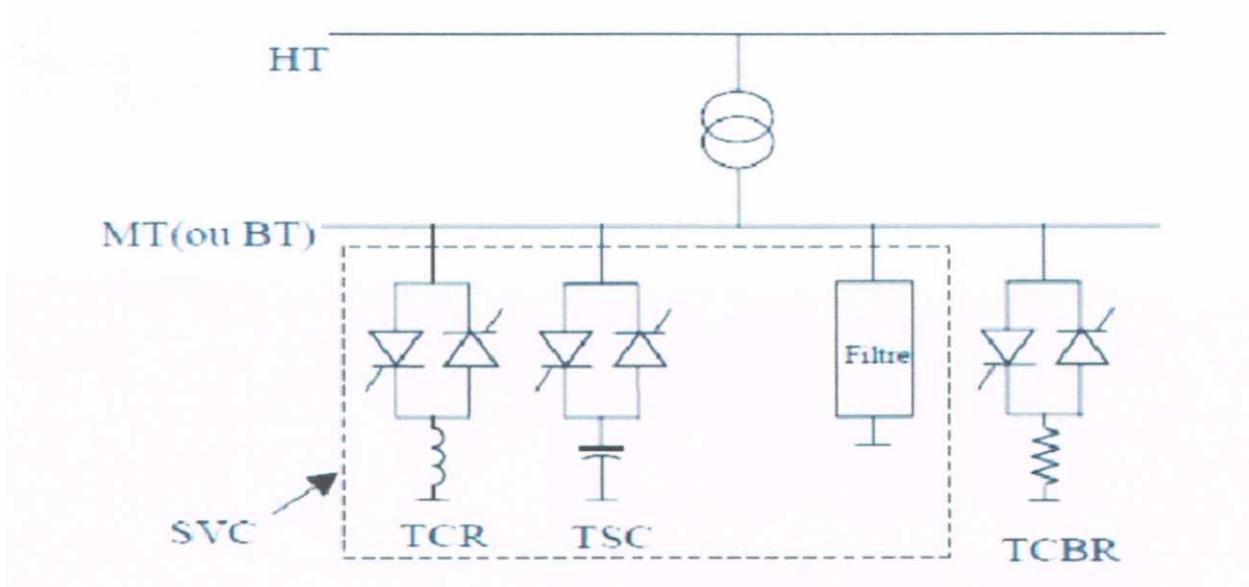


Fig-VI-8

VI-5-2-4- TCBR (Thyristor Control Breaking Resistor):

Ce type de compensateur TCBR (résistance de freinage contrôlée par thyristors); connecté en parallèle et utilisée pour améliorer la stabilité du réseau ou pour diminuer l'accélération des générateurs en cas de la présence des perturbations.

VI-5-2-4- STATCOM (STATIC COMPensator) :**Fig-VI-9**

C'est un compensateur shunt (compensateur statique synchrone) qui utilise des convertisseurs à base des thyristors GTO (Gâte Turn Off).

Le STATCOM a une fonction comparable à celle des SVC, avec des performances dynamiques plus importantes.

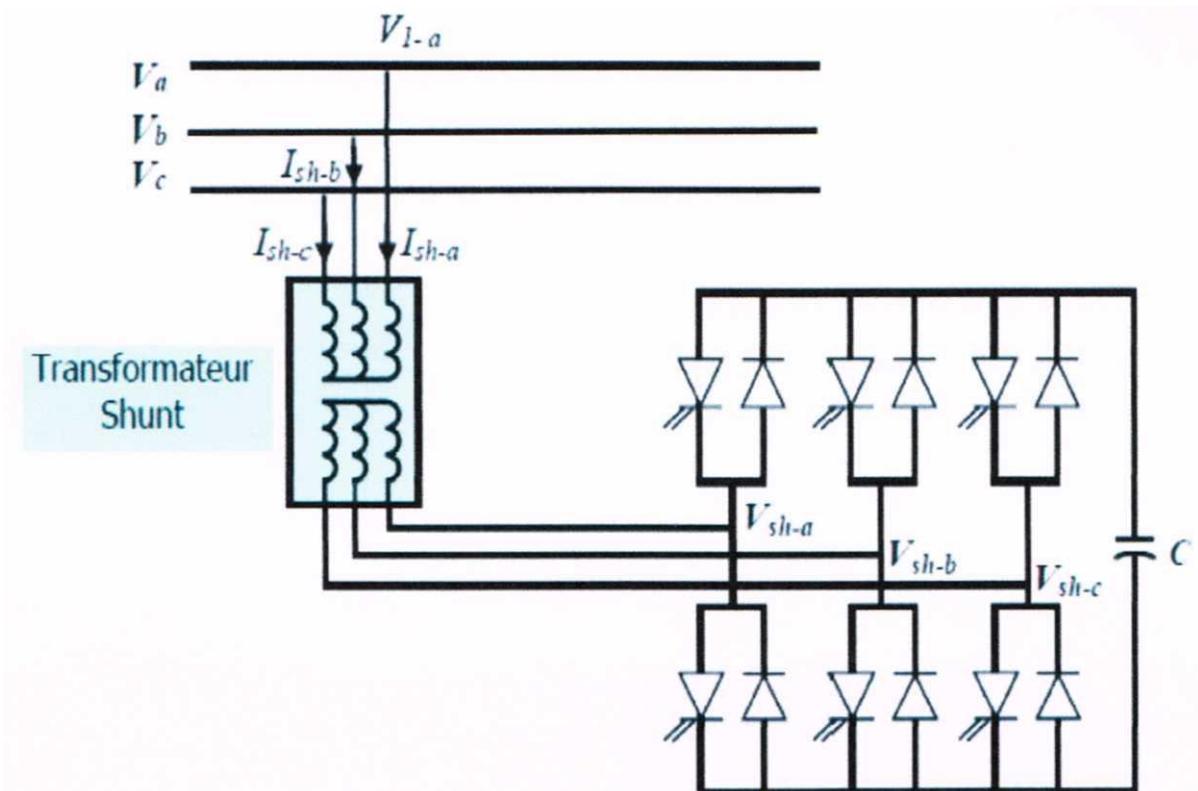


Fig-VI-10

VI-5-3-Dispositifs hybrides (série-shunt) :

C'est une combinaison des dispositifs séries et shunts commandé d'une manière coordonné afin d'accomplir un contrôle prédéfini. Ils permettent un contrôle multi variables, ils servent à contrôler le flux de puissance active et réactive, la tension et l'angle de transport de l'énergie.

VI-5-3-1- Compensateur hybrides à base de thyristors:

VI-5-3-1-1- TCPST (Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer)

L'IEEE définit le Transformateur déphaseur commandé par thyristor TCPST comme étant un transformateur déphaseur ajusté par thyristor afin de fournir un angle de phase rapidement variable.

Le transformateur déphaseur commandé par thyristor TCPST, est le premier équipement FACTS combiné.

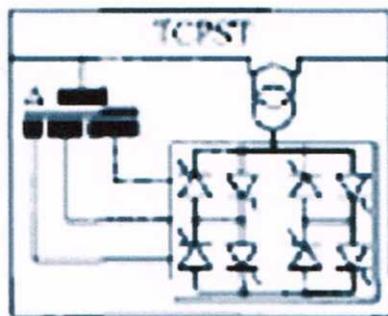


Fig-VI-11

VI-5-3-1-2- TCPAR (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator):

L'IEEE définit le TCPAR (*Thyristor Controlled Phase Angle Regulator*), comme étant un transformateur déphaseur qui permet le contrôle du déphasage entre ses tensions terminales tout en gardant leurs amplitudes invariables.

Ce dispositif a été créé pour remplacer les déphaseurs à transformateurs ou régleurs en charge (LTC : Load Tap Changer) qui sont commandés mécaniquement

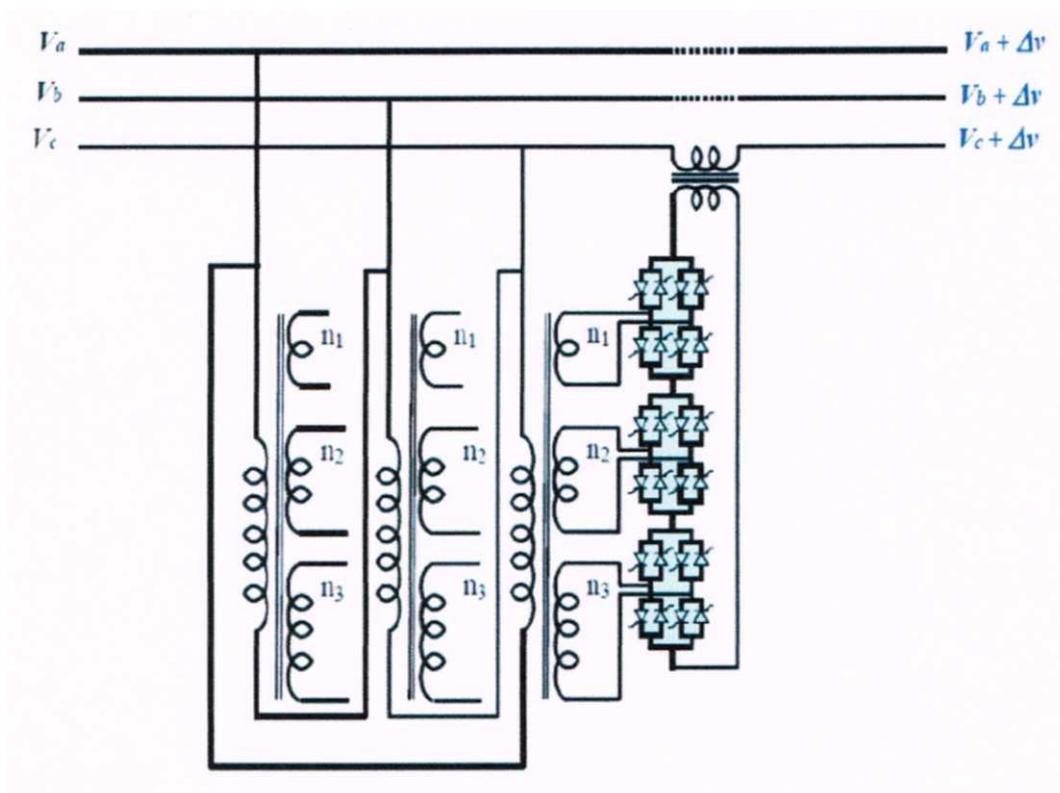


Fig-VI-12

VI-5-3-1-3- TCVR (Thyristor Controlled Voltage Regulator):

L'IEEE définit le Régulateur de tension commandé par thyristor TCVR comme étant un transformateur contrôlé par thyristor qui permet la commande de la phase de tension d'une manière continue.

Le régulateur de tension commandé par thyristor TCVR, est un autre membre de la famille des FACTS combinés. Leur prix relativement réduit.

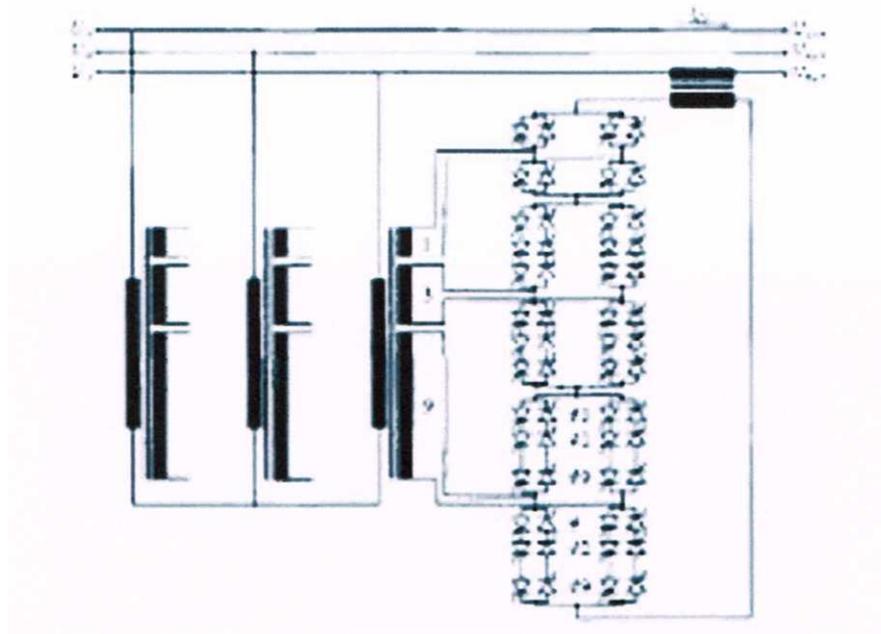


Fig-VI13

VI-5-3-2- Compensateurs hybrides à base de GTO :**VI-5-3-2-1-IPFC (Interline Power Flow Controller)**

Le contrôleur de transit de puissance entre ligne IPFC est utilisé dans le cas d'un système de lignes multiples reliées à un même poste. Il est formé de plusieurs SSSC, chacun d'eux fournissant une compensation série à une ligne différente. Du côté continu, tous les convertisseurs sont reliés entre eux via des disjoncteurs.

L'IPFC permet de transférer de la puissance active entre les lignes compensées pour égaliser les transits de puissances active et réactive sur les lignes ou pour décharger une ligne surchargée vers une autre moins chargée.

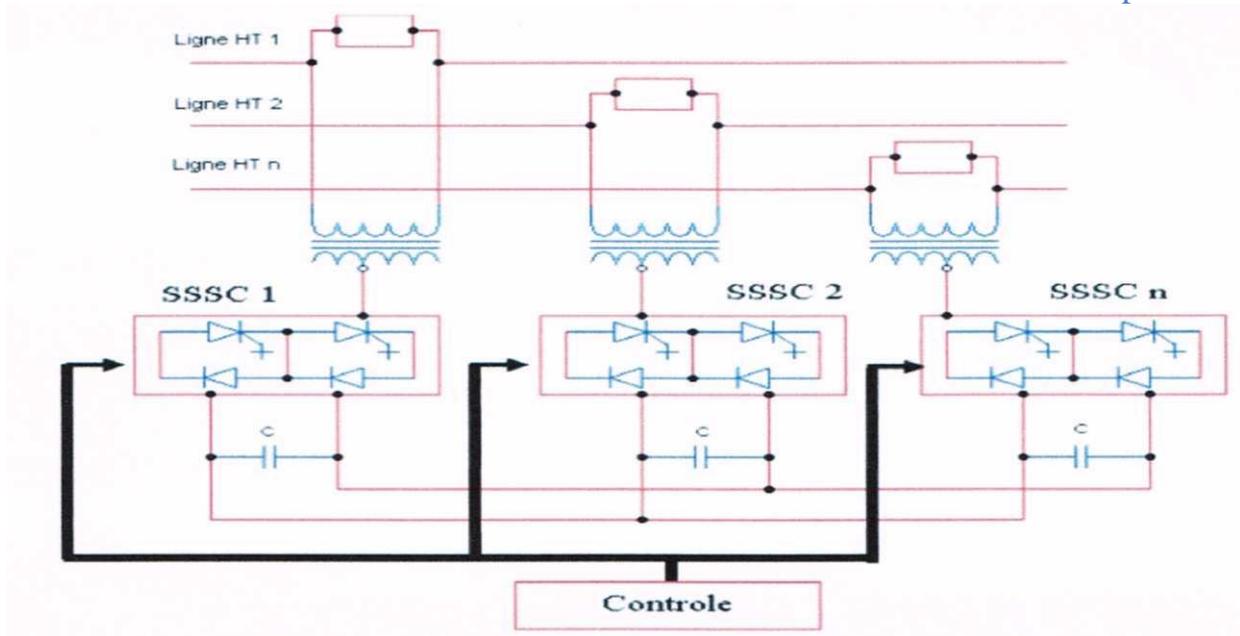


Fig-VI14

VI-5-3-2-2-UPFC (Unified Power Flow Controller)

Le contrôleur de transit de puissance universel UPFC est l'union de deux compensateurs, l'un est un compensateur série et l'autre est un compensateur parallèle. Il est capable de contrôler simultanément et indépendamment la puissance active et la puissance réactive.

L'UPFC est constitué de deux onduleurs de tension triphasés, l'un est connecté en parallèle au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur et l'autre est connecté en série à travers un deuxième transformateur. Les deux onduleurs sont interconnectés par un bus continu représenté par le condensateur.

L'UPFC permet à la fois le contrôle de la puissance active et celui de la tension de la ligne, il est capable d'accomplir les fonctions des autres dispositifs FACTS à savoir le réglage de la tension, la répartition de flux d'énergie, l'amélioration de la stabilité et l'atténuation des oscillations de puissance.

VI-6-Com pa raison entre les caractéristiques de quelque dispositifs de FACTS

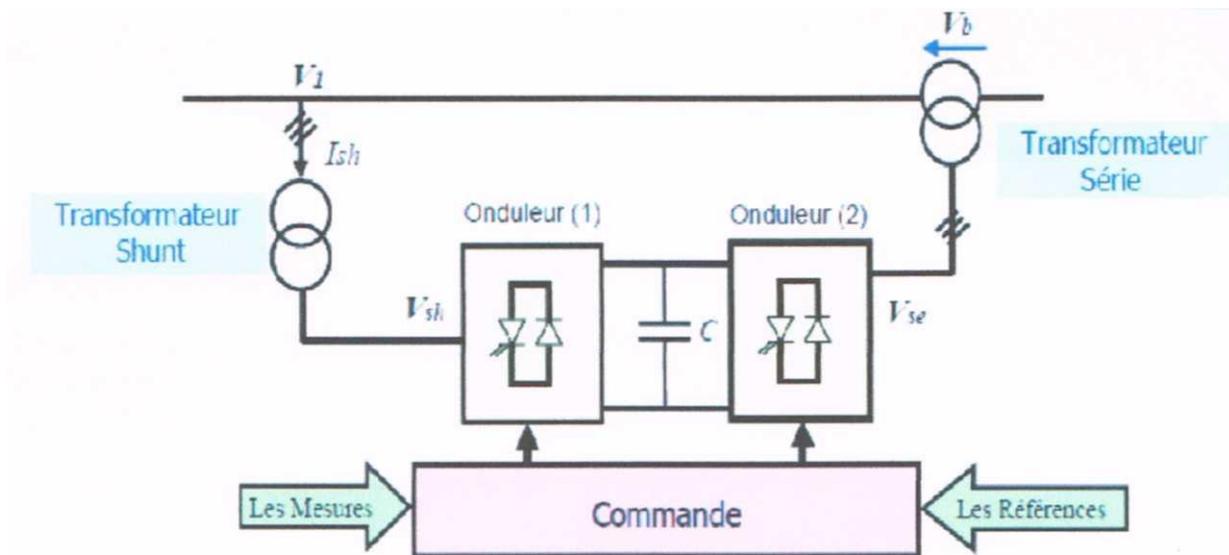


Fig-VI15

:

	Contrôle de Charge	Contrôle de Tension	Stabilité Transitoire	Affpitude des Oscillations
SVC	*	***	*	**
STATCOM	*	***	*	**
Rese	**	*	***	**
Ssse	***	*	***	**
TCPAR	***	**	*	**
UPFC	***	***	***	***

Influence:

Petite *, Moyenne **, Forte ***

Type	Nombre	Puissance installée (MVA)
SVC	600	90.000
STATCOM	15	1.200
TCSC	10	2.000
HVDC B2B	41	14.000
IPFC	2-3	250

VI-7-Avantages des systèmes FACTS:

- Possibilité de contrôle du flux de puissance pour satisfaire les besoins des consommateurs.
- L'amélioration de la stabilité transitoire, atténuation des oscillations et le contrôle de la stabilité des tensions.
- Contrôle des tensions dans les nœuds.
- Augmenter les capacités de charge des lignes vers leurs limites thermiques
- Réduction de l'écoulement de la puissance réactive, donc permettre aux lignes de transmettre plus d'énergies active et par conséquent réduire les pertes de transmission.
- Amélioration de la qualité d'énergie

VI-8- Inconvénient des systèmes FACTS:

Mis à part les avantages techniques apportés par les FACTS, d'autres critères liés au coût doivent être pris en considération dans la décision d'installer un dispositif.

Le coût d'une installation FACTS dépend principalement des facteurs tels que :

- Les performances requises.
- La puissance de l'installation.
- Le niveau de tension du système.
- La technologie du semi-conducteur utilisé.

VI-9-Introduction:

Défini La compensation de série commandée par un thyristor (TCSC) est utilisée dans les systèmes de puissance pour contrôler dynamiquement la réactance d'une ligne de transmission afin de fournir une compensation de charge suffisante. Les avantages de TCSC sont caractérisés par sa capacité à contrôler le niveau de compensation d'une ligne de transmission et par sa capacité à fonctionner selon différents modes. Ces traits sont très souhaitables car les charges changent constamment et ne peuvent pas toujours être prédites. ons TCSC :

TCSC (Thyristor Controller Série Capacités) est constitué d'un condensateur mis en parallèle avec des thyristors et une bobine en série. Leur contrôle permet de faire varier la longueur électrique de la ligne. La bobine en série avec les thyristors se comportent comme un TCR, mais comme l'impédance de la capacité est inférieure à celle de la ligne, les harmoniques ne se propagent que très peu dans le réseau.

VI-10-Renforcement de la capacité de transmission:

La compensation en série a été utilisée avec succès pendant de nombreuses années dans les réseaux électriques. Avec la compensation en série, il est possible d'augmenter la capacité de transfert de la puissance existante Systèmes de transmission à un coût d'investissement plus faible et avec un temps d'installation plus court par rapport à la construction de nouvelles lignes supplémentaires. Cela est dû à la capacité inhérente de la série.

VI-11- Définitions TCSC :

TCSC (Thyristor Controller Série Capacités) est constitué d'un condensateur mis en parallèle avec des thyristors et une bobine en série. Leur contrôle permet de faire varier la longueur électrique de la ligne. La bobine en série avec les thyristors se comportent comme un TCR, mais comme l'impédance de la capacité est inférieure à celle de la ligne, les harmoniques ne se propagent que très peu dans le réseau.

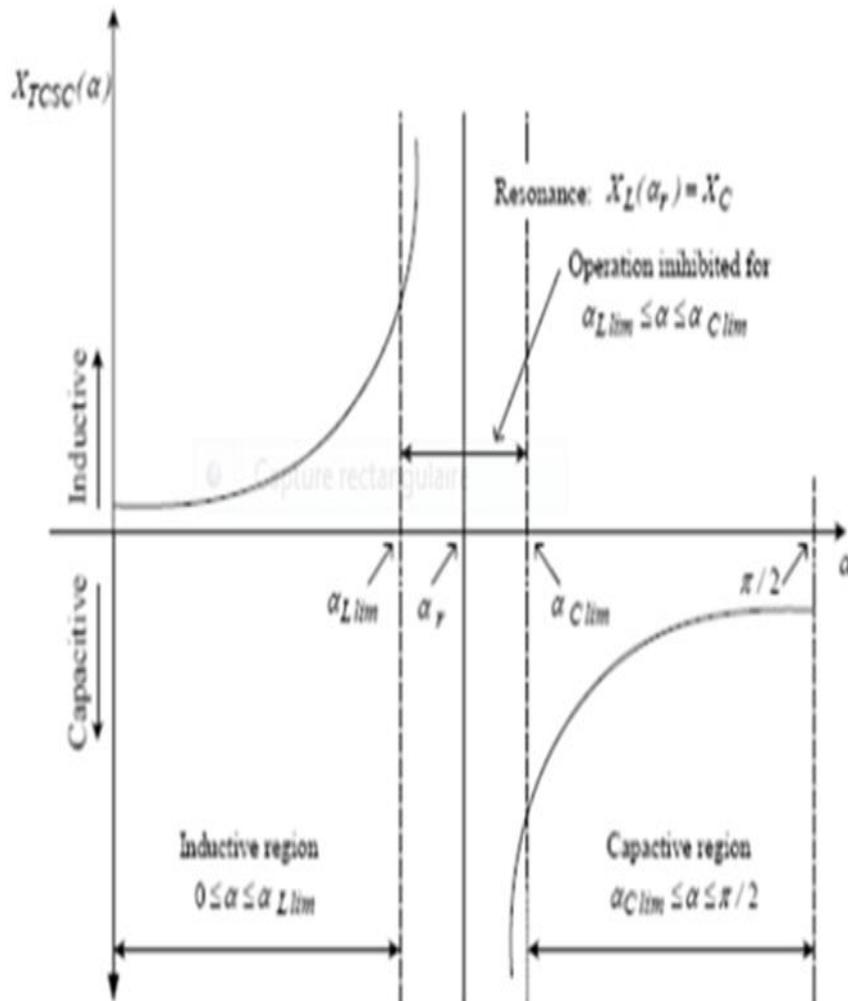


Fig-VI-16-Changement de X TCSC en modifiant l'angle α .

VI-12-Les conceptions de TCSC:

Les conceptions de TCSC fonctionnent de la même manière que la compensation fixe de série, mais fournissent la commande variable de la réactance absorbée par le dispositif de condensateur. La structure de base d'un TCSC peut être vue ci-dessous:

Un compensateur série commandé par un thyristor est composé d'une capacité en série qui a une branche parallèle comprenant un réacteur commandé par un thyristor.

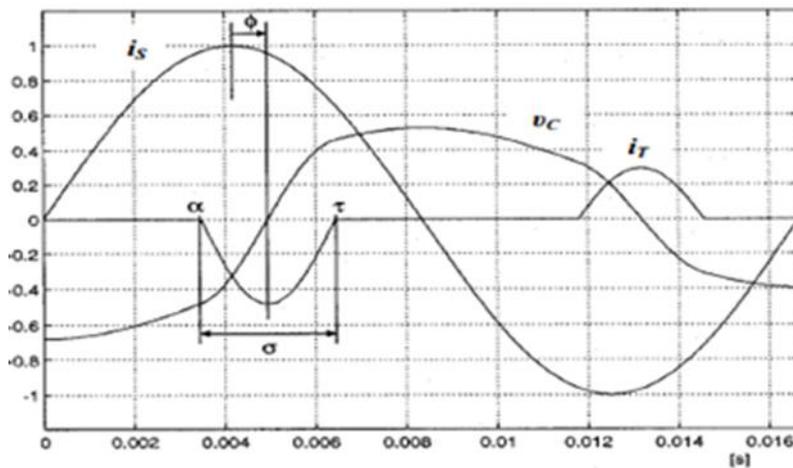


Figure VI-17-Formes d'ondes de TCSC

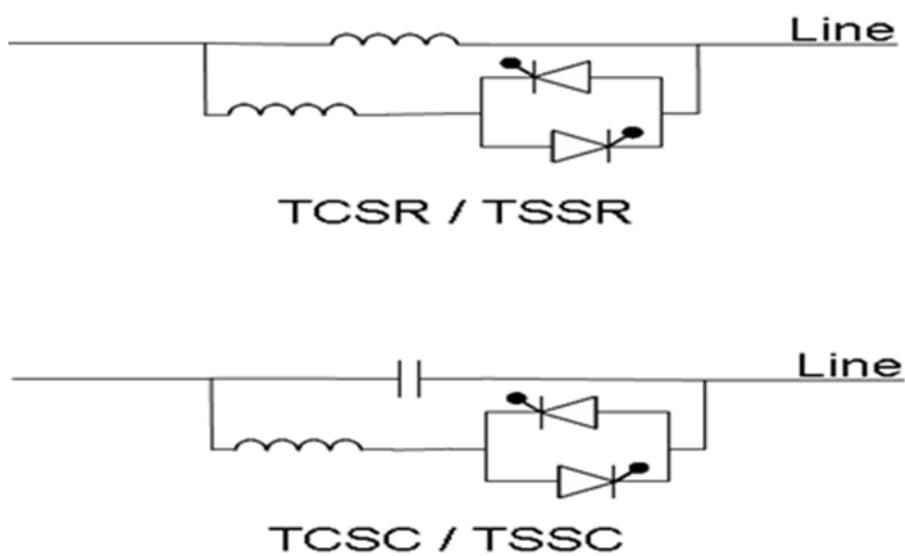


Fig-VI-18-FACTS séries compensation

Classification des principaux types de FACTS			
	Commande conventionnelle (électromécanique)	Dispositif FACTS (électronique de puissance)	
	RLC, transformateurs	À base de thyristors	À base de convertisseurs de tension (GTO, IG-CT ou IGBT)
Dispositif shunt	Compensateur série (L ou C)	SVC	STATCOM
Dispositif série	FSC	TCSC, TCSR (moins courant)	SSSC
Dispositif hybride	transformateur déphaseur (PST)	IPFC	UPFC
Autres dispositif hybride		HVDC Back-to-Back LCC	HVDC Back-to-Back VSC

VI-13-Présentation de la contrôlabilité:

Les configurations TCSC comprennent des réacteurs commandés en parallèle, avec des sections d'une batterie de condensateurs. Cette combinaison permet un contrôle régulier de la réactance capacitive de fréquence fondamentale sur une large plage. La batterie de condensateurs de chaque phase est montée sur une plate-forme pour permettre une isolation totale à la masse.

Les avantages importants dans l'application de la série compensation:

- TCSC introduisent un certain nombre d'avantages importants dans l'application de la série Compensation:
- Élimination des risques de résonance sue synchrones
- Amortissement des oscillations de la puissance active
- Amélioration de la stabilité post-contingence
- Dynamique de contrôle de flux de puissance
- Augmentation de la capacité de transfert
- Le résultat global apparaît généralement comme une capacité de transfert accrue.

VI-14-Conclusion:

Grâce à cette qualité du TCSC, le degré de compensation d'un condensateur en série peut être augmenté temporairement à la suite d'une contingence de réseau, ce qui ajoute à la stabilité dynamique du réseau (tension et angulaire) précisément quand il est nécessaire. Grâce à cette caractéristique, le condensateur en série peut être inférieur pour les conditions stables.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Les réseaux d'énergie électrique ont pour mission essentielle de véhiculer et de répartir le produit que constitue l'électricité. Leur étude est donc aussi importante que celle des moyens de production ou celles des appareils d'utilisation, puisqu'ils constituent le lien entre la centrale électrique et l'utilisateur.

Une telle étude doit envisager les aspects techniques du transport, et notamment la réalisation, l'exploitation et le fonctionnement des réseaux en fonction des tensions utilisées. De plus, chacun sait que le choix d'un système de réseau a une incidence sur le coût de la fourniture de l'électricité aux usagers. C'est pourquoi l'aspect économique du problème doit être également pris en considération.

Afin de limiter les dégâts que peuvent causer les défauts survenus sur un réseau électrique et d'éviter les répercussions que le maintien d'un défaut aurait sur le fonctionnement général du réseau (en particulier la stabilité), il est indispensable de mettre hors tension le plus rapidement possible l'élément du réseau (ligne, transformateur ou générateurs...) en défaut. Cette opération est confiée aux systèmes de protection.

Dans le premier chapitre du mémoire, nous avons caractérisé l'architecture, la topologie et l'évolution des réseaux électriques.

Le deuxième chapitre on a fait l'étude du réseau 90 KV, on commence par la détermination du niveau de tension, dimensionnement des conducteurs, la répartition des puissances et la détermination des tensions des nœuds de charge.

CONCLUSION GENERALE

Dans le troisième chapitre on a fait l'étude du régime futur avec la compensation.

Le quatrième chapitre décrit les éléments de système de protection dans les lignes de transport d'énergie, dont la connaissance de ces paramètres est importante pour conserver la sélectivité.

Ainsi dans le dernier chapitre, on décrit les différents types de dispositifs de protection cote ligne de transport HTB, situés à l'intérieur de la centrale (ou poste HTB) ainsi les formules utilisées pour calculer le réglage des dispositifs de protection des lignes de transport.

L'utilisation de deux technologies dans le système de protection offre plusieurs avantages par rapport à l'utilisation d'une seule technologie. Ces avantages peuvent être résumés comme suit :

1. Détection rapide,
2. Fiabilité meilleure,
3. Accès confortable à la programmation,
4. Couverture de la totalité des zones d'une manière redondante.

Enfin, ce mémoire s'agit d'un très vaste domaine, puisqu'il englobe le choix de la topologie d'un réseau, puis on améliore le réseau actuel par utilisation de la compensation pour ramélioration du réseau, et cette compensation peut être dans un ou dans plusieurs nœuds.

Bibliographies

- Technique de l'ingénieur
- http://WWW.memoireonline.com/10/12/6190/m_Modilisation_e_t_calcul_des_courant_de_defaut_dans_un_reseau_multi_machines3.html
- Mémoire de fin d'étude DEUA
- Généralités_sur_les_reseaux_electrique .htm
- Cahier de fonctionnement et exploitation Mr. Mesbah
- Mémoires de Magistère en Electrotechnique option Réseau électrique
- Cahier de Modélisation de Réseaux Electrique Mme Benalia