



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



Université Ahmed Draïa Adrar
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et Technologies
Domaine : Sciences et de la Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commande Electrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :
MASTER

Thème

**Amélioration et Régulation de la tension dans un réseau
électrique moyen tension MT par l'utilisation du système
FACT (DVR)**

Présenté par :

BACHA ABDERRHMENE

HAMMOUALI HOUARI

Devant le jury :

Encadré par : Dr. Berbaoui Brahim

M.C.A

Univ. Adrar

Examineur 1 : Dr. Bouiadjra Bachir

M.C.B

Univ. Adrar

Examineur 2 : Dr. Bourbia wafa

M.C.A

Univ. Adrar

Année Universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أحمد دراية - أدرار
المكتبة المركزية
مصلحة البحث البليوغرافي

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): بن باوي براهيم
المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ: Amélioration et Régulation de la tension sous un réseau électrique moyen tension MT par utilisation du système FACT (DVR)
من إنجاز الطالب(ة): حمو علي هواري
و الطالب(ة): باشا عبد الرحمان
كلية: العلوم والتكنولوجيا
القسم: علوم وتكنولوجيا
التخصص: تحكم كهر بائي
تاريخ تقييم / مناقشة: 2022 / 05 / 28

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
ويمكنهم إيداع النسخ الورقية (02) والإلكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في: 2022 / 07 / 06

مساعد رئيس القسم:





Dédicace

NOUS AVONS DEDIE CET HUMBLE TRAVAIL EN
PREMIER LIEU

À NOS TRÈS CHERS PARENTS POUR LEUR SOUTIEN
MORAL ET FINANIER, POUR LEURS
ENCOURAGEMENTS ET LES SACRIFICES QU'ILS ONT
ENDURÈ, QUE DIEU LES PROTÈGE

À TOUS NOS FRERES ET SŒURS

À TOUS NOS GRANDES FAMILLES

À TOUS NOS AMIS ET A TOUS LES ELEVES AVEC QUI
NOUS AVONS PARTAGE DE BONS MOMENTS ET DE
BONS SOUVENIRS.

ET ENFIN A TOUS CEUX QU'ON AIME, CEUX QUI NOUS
AIMENT ET CEUX QUI NOUS ONT AIDES.

HOUARI

ABDERRAHEMEN



Remercîment

TOUT D'ABORD, NOUS REMERCIONS DIEU TOUT-PUISSANT POUR LA VOLONTE, LA SANTE ET LA PATIENCE QU'IL NOUS A DONNEES DURANT TOUTES CES ANNEES SCOLAIRES.

NOUS REMERCIONS NOTRE SUPERVISEUR **D.^r Berbaoui Brahim** TOUS LES AUTRES COLLEGUES ET LES PROFESSEURS QUI NOUS ONT AIDES AVEC LEURS CONSEILS ET LEUR DOCUMENTATION.

NOUS REMERCIONS EGALEMENT TOUS CEUX QUI NOUS ONT SOUTENU DE PRES OU DE LOIN POUR MENER A BIEN CE PROJET PARTICULIER.

NOUS NE POUVONS PAS OUBLIER NOS PROFESSEURS POUR LEURS EFFORTS TOUT AU LONG DE NOS ANNEES D'ETUDES A L'UNIVERSITE ET LEUR SOUTIEN TOUT AU LONG DE LA REALISATION DE CETTE THESE.

SANS OUBLIER TOUS LES PROFESSEURS QUE CE SOIT DU PRIMAIRE, DU MOYEN, DU SECONDAIRE OU DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR.

ENFIN, NOUS TENONS A REMERCIER TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUE DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT A RENDRE CE TRAVAIL POSSIBLE ET FORMIDABLE.



Sommaire

La liste des Figures	I
La liste des Tableaux	III
Liste des symboles.....	VV
Abréviation	V
Chapitre I Perturbation électrique dans Le Réseau électrique	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
I.1 INTRODUCTION :	3
I.2. RESEAU ELECTRIQUE :	3
I.2.1 STRUCTURE DU RESEAU ELECTRIQUE EN ALGERIE :	9
I.2.1.1 LA PRODUCTION :	9
I.2.1.2 LE TRANSPORT :	9
I.2.1.3 LA REPARTITION :	10
I.2.1.4 LA DISTRIBUTION :	10
I.2.2 LES DIFFERENTS TYPES DES RESEAUX ELECTRIQUES (TOPOLOGIE ET NIVEAU DE TENSION) :	10
I.2.2.1 RESEAUX DE TRANSPORT ET D'INTERCONNEXION A TRES HAUTE TENSION (THT) :	10
I.2.2.2 RESEAUX DE REPARTITION HAUTE ET MOYENNE TENSION (HT, MT) :	11
I.2.2.3 RESEAUX DE DISTRIBUTION BASSE TENSION (BT) :	11
I.2.3 LES NIVEAUX DE TENSION :	12
I.3 QUALITE D'ENERGIE ELECTRIQUE DANS LES RESEAUX :	13
I.3.1 IDENTIFICATION DES CARACTERISTIQUES D'ENERGIE ELECTRIQUE :	13
I.3.1.1 QUALITE DE TENSION :	13
I.4 PERTURBATION ELECTRIQUE :	15
I.4.1 CLASSIFICATION DES PERTURBATIONS ELECTRIQUES :	16
I.4.1.1 CREUX DE TENSION :	17
I.4.1.2 SURTENSION :	18
I.4.1.3 SURINTENSITE :	20
I.4.1.4 LES HARMONIQUES ET INTER-HARMONIQUES :	21
I.4.1.5 LES VARIATIONS ET FLUCTUATIONS DE TENSION :	24
I.4.1.6 VARIATIONS DE FREQUENCE :	24
I.4.1.7 DESEQUILIBRES DE TENSION :	25
I.5 EFFETS DES PERTURBATIONS SUR LES CHARGES :	25
I.6 CONCLUSION :	26

Chapitre II Généralité sur les systèmes FACTS

II.1 INTRODUCTION :	27
II.2 SYSTEMES FACTS :	27
II.2.1 DEFINITION ET LE ROLE D'UN DISPOSITIF FACTS :	27
II.3 EXPLOITATION D'UN RESEAU ELECTRIQUE :	28
II.4 FONCTIONNEMENT DES DISPOSITIFS FACTS :	29
II.4.1 RESEAUX DE DISTRIBUTIONS(MT) :	29
II.4.2 RESEAUX INDUSTRIELS :	29
II.5 APPLICATIONS PRATIQUES DES DISPOSITIFS FACTS :	29
II.6 CLASSIFICATION DES DISPOSITIFS FACTS :	30
II.6.1 LA PREMIERE :	30
II.6.2 LA DEUXIEME GENERATION :	30
II.6.3 UNE TROISIEME GENERATION :	31
II.7 TYPES DES DISPOSITIFS FACTS :	31
II.7.1 COMPENSATEURS PARALLELES :	31
II.7.2 COMPENSATEURS SERIE :	32
II.7.3 COMPENSATEURS HYBRIDES (SERIE-SERIE ET SHUNT-SERIE) :	34
II.8 STRUCTURE DES PRINCIPAUX DISPOSITIFS FACTS :	34
II.8.1 COMPENSATEURS PARALLELES :	34
II.8.1.1 COMPENSATEUR PARALLELES A BASE DE THYRISTORS :	34
II.8.1.2 COMPENSATEURS PARALLELES A BASE DE GTO THYRISTORS :	36
II.8.2 COMPENSATEURS SERIES :	37
II.8.2.2 COMPENSATEURS SERIES A BASE DE THYRISTORS GTO :	39
II.8.3 COMPENSATEURS HYBRIDES OU COMBINES SERIE-PARALLELE :	40
II.8.3.1 SPS (STATIC PHASE SHIFTER):	40
II.8.3.2 UPFC (UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER):	41
II.9 COUT DES DISPOSITIFS FACTS :	42
II.10 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE LA TECHNOLOGIE DES DISPOSITIFS FACTS :	42
II.10.1 LES AVANTAGE :	42
II.10.2 INCONVENIENTS :	42
II.11 CONCLUSION :	43

Sommaire

Chapitre III Étude Modélisation et commande de DVR

III.1 INTRODUCTION :	43
III.2 DEFINITION DE DVR :	43
III.3 HISTORIQUE DE DVR :	43
III.4 DOMAINES D'APPLICATIONS :	44
III.5 BESOINS DE DVR AU MARCHE :	44
III.6 DESCRIPTION GENERALE D'UN DVR :	45
III.6.1 CIRCUIT DE COMMANDE :	46
III.6.2 CONVERTISSEUR DE SOURCE DE TENSION VSC :	46
III.6.3 SYSTEME DE STOCKAGE D'ENERGIE :	47
III.6.3.1 SOURCE D'ENERGIE INDEPENDANTE :	47
III.6.3.2 : SOURCE D'ENERGIE DEPENDANT DE LA CHARGE PROTEGEE :	48
III.6.4 SYSTEME DE FILTRAGE :	48
III.6.5 TRANSFORMATEUR D'INJECTION :	49
III.7 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN DVR :	50
III.8 AVANTAGES :	51
III.9 INCONVENIENTS :	51
III.10 MODELISATION DE DVR :	51
III.11 CONCLUSION :	55

Chapitre IV Résultats et simulation

IV.1 INTRODUCTION :	56
IV.2 CORRECTEUR A ACTIONS PROPORTIONNELLE ET INTEGRALE (PI) :	56
IV.2.1 PRINCIPE :	56
IV.2.2 EFFET :	57
IV.3 DESCRIPTION DE SYSTEME A SIMULER :	58
IV.4 PARAMETRES DE SIMULATION :	59
IV.5 SIMULATION :	59
IV. 5.1 COMPENSATION DES CREUX DE TENSION TRIPHASES :	59
IV.5.2 COMPENSATION DES SURTENSIONS TRIPHASEES :	61
IV.5.3 COMPENSATION DES DESEQUILIBRES DE TENSION :	63
IV.6 CONCLUSION :	64
CONCLUSION GENERAL :	65

La liste des Figures

Chapitre I Perturbation électrique dans Le Réseau électrique

Figure I.1 Conception générale du réseau électrique	9
Figure I.2 Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau Bouclé, (c) Réseau radial, (d). Réseau arborescent	12
Figure I.3 Amplitude et fréquence de tension	14
Figure I.4 Système triphasé symétrie	15
Figure I.5 Représentation de creux de tension	17
Figure I.6 Représentation graphique d'une surtension	19
Figure I.7 Représentation d'un court-circuit monophasé.....	21
Figure I.8 Perturbation harmonique	22
Figure I.9 Déséquilibres de tension.....	25

Chapitre II Généralité sur les systèmes FACTS

Figure II. 1 Puissance transitée entre deux réseaux	28
Figure II. 2 Compensateurs Parallèle (shunt).....	32
Figure II. 3 Compensation série.	33
Figure II. 4 Structure du TCR(TSR).....	34
Figure II. 5 Structure du TSC.	35
Figure II. 6 Structure d'un SVC, schéma équivalent.....	35
Figure II. 7 Structure du TCBR.....	36
Figure II. 8 Structure d'un STATCOM (a) schéma équivalent (b) caractéristique tension/courant.	37
Figure II. 9 Structure du TCSC.	38
Figure II. 10 Structure du TCSR	38
Figure II. 11 SSSC (a) structure de base, (b) schéma équivalent.	39
Figure II. 12 Schéma de la Structure d'un DVR.....	40
Figure II. 13(a) structure du SPS (b) schéma équivalent du SPS.....	41
Figure II. 14(a) Schéma représentatif d'un UPFC, (b) Schéma équivalent du l'UPFC.....	41

Chapitre III Étude Modélisation et commande de DVR

Fig. III. 1 Représentation schématique d'un DVR	45
Fig. III. 2 Contrôleur PI.....	46
Fig. III. 3 Représentation schématique d'un VSC.....	47
Fig. III. 4 Alimentation indépendante ; a) par génératrice, b) par des batteries.....	48
Fig. III. 5 Alimentation à partir de la ligne de la charge protégée.	48
Fig. III. 6 Schéma d'emplacement d'un filtre passe-bas.	49
Fig. III. 7 Schéma d'emplacement de transformateur d'injection.	50
Fig. III. 8 Schéma équivalent d'un DVR	52

Chapitre IV Résultats et simulation

Figure IV. 1 Correction PI	56
Figure IV. 2 Entrée et sortie du correcteur PI	57
Figure IV. 3 Structure générale du DVR étudié.....	58
Figure IV. 4 Compensation des creux de tension des trois phases.	61
Figure IV. 5 Compensation des surtensions des trois phases.....	62
Figure IV. 6 Compensation du déséquilibre cause par un court-circuit phase-phase.....	64

La liste des Tableaux

La liste des Tableaux

Tableau I.1. Tableau des domaines de tension alternative	12
Tableau I.2 : Conséquences des creux de tension sur quelques équipements électriques sensible	18
<i>Tableau II.1 Dispositifs FACTS installés dans le monde et leurs puissances totales</i>	<i>30</i>
Tableau III.1 Les installations existantes des DVR de distribution en MT.....	44
Tableau .IV.1 Paramètres du système.....	59

Liste des symboles

V_s (V_c) : Tension générée par le compensateur série (SSSC)

z_{th} : l'impédance de système

V_{th} : tension apparaît de système

I_L : Désigne le courant de charge

α : l'angle de la tension v_{DVR}

V_{sd} : La composante directe de la tension générée par le compensateur série

V_{sq} : La composante quadrature de la tension générée par le compensateur série

V_p (V_{sh}) : Tension générée par le compensateur shunt (STATCOM)

V_{pd} : La composante directe de la tension générée par le compensateur shunt

V_{pq} : La composante quadrature de la tension générée par le compensateur shunt

V_m : Tension mesuré

V*(V_{ref}) : Tension de référence

V_t : Tension au nœud de connexion shunt,

V_{dc} : Tension continu aux bornes du condensateur

i_d : Composante du courant i selon l'axe d

i_p : Courant fournit par le compensateur shunt

I_{dc} : Courant dans le circuit continu

V_s : Tension de départ (source)

V_r : Tension d'arrivée

P : Puissance active

Q : Puissance réactive

P_s : Puissance active fournit par le compensateur série (SSSC)

Q_s : Puissance réactive fournit par le compensateur série (SSSC)

δ : Angle de charge entre V₁ et V₂

θ : Déphasage du courant de ligne

X(t) : Position de la particule

V(t) : Vitesse de la particule

Abréviations

BT : basse tension

MT : Moyenne Tension

THT : Très Haute Tension

QEE : qualité de l'énergie électrique

TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor

TCR: Thyristor Controlled Reactor

TSC: Thyristor Switched Capacitor

SVC: Static Var Compensator

STATCOM : Static Synchronous Compensator

SSSC: Statice Synchrones Série Compensateur

EPRI: Electric Power Research Institute

FACTS: Flexible Alternative Currents Transmission Systems

TCRB: Thyristor Control Breaking Resistor

TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor

UPFC: Unified Power Flow Controller

TCPAR: Thyristor Controlled Phase Angle Regulator

RCT : Réactance Commandées par Thyristors

CCT: Condensateurs Commandés par Thyristor

SPS: static phase shifter

UPFC: Unified Power Flow Controller

VSC: Voltage Source Converter

CC: Courant Continue

ZAPI: zéro active power injection

MAPI: minimum apparent power injection

CA: Courant Alternative

DVR: Dynamic Voltage Restorer

GTO: Gate Turn Off

IGBT : Insulate Gate Bipolaire Transistor

MLI : modulation par Largeur d'Impulsion

PI : Proportionnel Intégrateur

SVC : Static Var Compensator

THD : taux d'harmoniques de distorsion

Introduction Générale

Introduction Générale

Les systèmes d'alimentation électrique sont des réseaux complexes composés de centaines de stations de production, de milliers de centres de charge et de réseaux de distribution reliés par de longues lignes de transport d'électricité, le souci principal des consommateurs à des divers centres de charge où ils sont situés c'est la qualité et la fiabilité d'énergie. Idéalement, les systèmes de distribution d'énergie devraient fournir aux clients une énergie non interrompue d'une tension sinusoïdale en l'amplitude et rigide en fréquence. Cependant, dans la pratique, et particulièrement les systèmes de distribution ont des nombreuses charges non linéaires qui affectent de manière significative la pureté de la forme d'onde des tensions et la perte de l'alimentation électrique. Ceci produit beaucoup de problèmes de qualité d'énergie des charges critiques et sensibles qui incitent les chercheurs à trouver des moyens d'augmenter cette qualité.

Aujourd'hui, les problèmes de qualité de puissance les plus connus tels que les diminutions de tension (creux de tension, coupures brèves, courts circuits), les surtensions, les fluctuations et les déséquilibres de la tension ainsi les harmoniques de tension, sont les principaux soucis des industries en ce qui concerne notamment la perte énorme en termes de temps et d'argent.

Une chute de tension est un événement de réduction de la tension d'alimentation en valeur efficace pendant une période courte. Elle est souvent caractérisée seulement par deux paramètres, amplitude et durée. L'amplitude de la chute de tension est étendue de 10% à 90% de tension nominale avec une durée inférieure à 1 minute [1] [2]. Dans un système triphasé, la diminution de la tension, par la nature, est un phénomène de trois phases, qui affecte, par un court-circuit, deux phases ou une phase et le sol, et aussi un défaut dans le système de service du client où le courant de charge est augmenté de façon importante comme : lancement d'un moteur ou d'un transformateur.

Les utilités se concentrent souvent sur les perturbations d'utilisation des équipements qui sont la source des problèmes de qualité de puissance principale, comme les creux de tension qui ont principalement leur origine aux niveaux plus élevés de tension, en raison de la foudre, qui provoque les causes les plus communes aux chutes de tension sur les lignes aériennes. Et c'est ainsi pour beaucoup d'autres perturbations, fluctuation, déséquilibre de tension, harmoniques, etc., Si les pertes économiques dues aux chutes de tension sont significatives, les actions de réduction peuvent être profitables pour le client et égales, dans certains cas, pour l'utilité.

Dans cette circonstance, une nouvelle technologie qui a appelé la commande de puissance à émerger, est applicable aux systèmes de distribution pour augmenter la fiabilité et améliorer la qualité de l'alimentation d'énergie.

Actuellement, une gamme très flexible de contrôleurs qui tirent parti des composants électroniques de puissance nouvellement disponibles est le DVR, qui est un appareil très efficace qui doit être installé aux endroits appropriés ; il est basé sur le principe VSC to PI qui a été implémenté pour contrôler les vannes électroniques dans le VSC et un transformateur d'injection qui permet l'injection de tensions de compensation en série avec la tension d'alimentation pour corriger les anomalies de tension.

Une meilleure compréhension de ce dispositif est importante pour atténuer les problèmes de qualité de puissance. Ceci nous permet de nous servir des fonctions de tel dispositif d'une meilleure manière avec des techniques efficaces de commande. Par conséquent, en cette étude s'intéresse au rejet de ces perturbations en tension à l'aide d'un DVR comprenant un onduleur pour lequel il est nécessaire d'effectuer l'identification des creux et les surtensions.

Cette étude s'ajoute également à la mise en place d'un DVR dans un système de distribution électrique basse tension pour protéger les charges importantes et sensibles des perturbations diverses affectant uniquement la tension d'alimentation.

Dans le cadre de ce travail intitulé Amélioration et Régulation de la tension dans un réseau électrique moyenne tension MT par l'utilisation du système FACT (DVR). La mémoire master, spécialisée dans la commande électrique, a été lancée afin d'étudier et de simuler DVR dans l'environnement Matlab-Simulink Avant de conclure, les perspectives de ces travaux de recherche émergents de cette étude vont être proposées.

Chapitre I
Perturbation électrique dans
Le Réseau électrique

I.1 Introduction :

Les tensions maintenues aux bornes des réseaux électriques de puissance sont chargées de fournir de l'énergie aux charges liées.

Il est évident que la qualité de cette énergie est déterminée par la tension au point de livraison, les types de charges connectées et les impacts des différentes perturbations pouvant survenir sur le réseau. Ses perturbations peuvent être de tension ou de courant. [4]

Cependant ces perturbations sont généralement causées par la connexion au réseau de charges non linéaires (Les onduleurs, les ponts redresseurs, les fours à arc et à induction, les variateurs de vitesse des machines électriques, les appareils domestiques que Les téléviseurs...) qui provoquent une distorsion des courants et de la tension.

On peut dire que les perturbations ont des conséquences différentes :

Les pertes de matières premières, la remise en état de l'outil de production, le non qualité de production, les retards de livraison, le dysfonctionnement de récepteur tels que les ordinateurs, l'éclairage, ces perturbations dégradent le fonctionnement jusqu'à la destruction totale des équipements électriques.

Dans ce chapitre, nous allons présenter différents types de perturbation effectuant l'onde de tension du réseau électrique, telle que l'harmonique, surtension temporaire ou transitoires et creux de tension.

I.2. Réseau électrique :

Les réseaux électriques (transport et distribution) ont pour rôle d'acheminer l'énergie des sites de production vers les lieux de consommation, avec des étapes de baisse du niveau de tension dans des postes de transformation.

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter le centre de production telle que les centrales hydrauliques, thermiques...etc. Avec les centres de consommation (villes, usines...) [5].

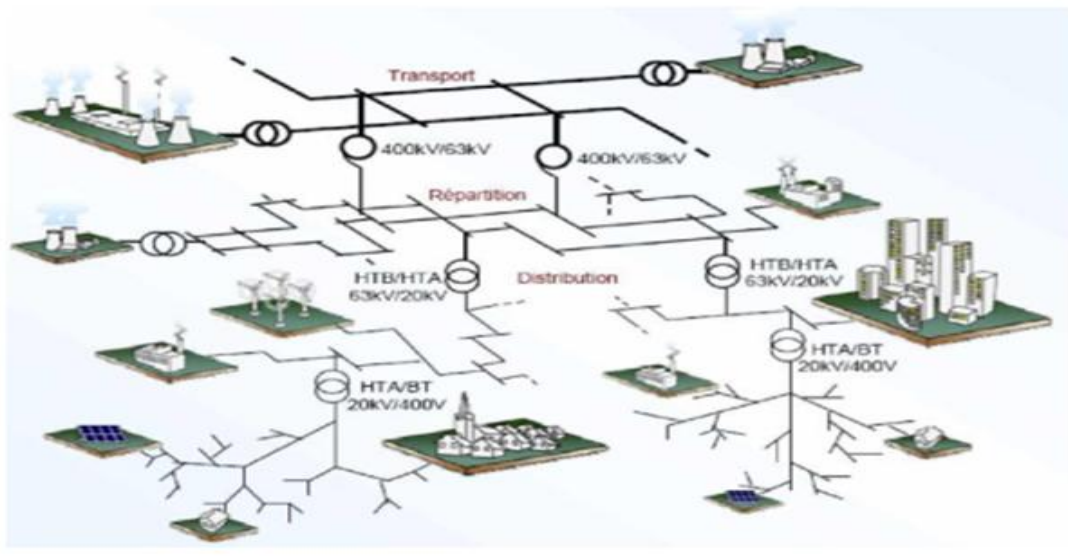


Figure I.1. 1 Conception générale du réseau électrique

I.2.1 Structure du réseau électrique en Algérie :

Une distribution électrique, importante et complète comprend les diverses parties suivantes :

I.2.1.1 La production :

La production sert à produire l'énergie électrique grâce à des turbo-alternateurs qui transforment l'énergie mécanique de rotation des turbines en énergie électrique à partir d'une source primaire fournie par la nature (gaz, pétrole, hydraulique...).

La majorité des centrales électriques comprend deux éléments de base une turbine à vapeur et un alternateur. Donc on distingue plusieurs types de centrales électriques :

1. Les centrales à combustion fossile.
2. Les centrales à fission nucléaire.
3. Les centrales hydrauliques.
4. Les centrales à énergie renouvelables. [6].

I.2.1.2 Le transport :

L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules. Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (12 à 15 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée [7].

I.2.1.3 La répartition :

Le réseau de répartition prend sa source dans le réseau de transport à partir des postes d'interconnexion THT/HT et sert à fournir les gros consommateurs industriels sous haute ou moyenne tension, et à répartir les puissances dans différentes régions rurales ou urbaines ce type de réseau utilise des tensions de 60 et 30 kV.

I.2.1.4 La distribution :

La distribution sert à alimenter un ensemble très diversifié des utilisateurs d'électricité en moyenne ou en basse tension (typiquement 400 V), grâce à des postes de transformation MT/BT [8].

I.2.2 Les différents types des réseaux électriques (topologie et niveau de tension) :

Le réseau électrique peut être facilement comparé à un réseau routier, il a ses autoroutes, ses voies nationales et départementales. Une fois produite, l'électricité doit être transportée et distribuée jusqu'au consommateur.

Pour des raisons de fiabilité, de flexibilité et la maintenance, ainsi que pour le coût d'investissement et d'exploitation ; le système électrique peut être séparé selon la fonction, la topologie et le niveau de tension en trois types principaux topologies.

I.2.2.1 Réseaux de transport et d'interconnexion à Très Haute Tension (THT) :

Assurent le transport et l'interconnexion en très haute tension et en haute tension des quantités importantes d'énergie sur de longues distances vers les points de consommation et de répartition. Son niveau de tension est de 400 kV. Ces réseaux comprennent les centrales de production ainsi que les lignes et les postes de transformation, Leurs rôles sont : collecter l'énergie produite par les centrales et de l'acheminer vers les zones de consommation (fonction transport) ; permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production, et assurer une compensation des différents manques (fonction interconnexion).

Au niveau de ce réseau tous les centres de production sont liés entre eux par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, ce qui forme un maillage donc il a une topologie maillée, Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport, cette structure permet une meilleure fiabilité mais nécessite une surveillance à l'échelle nationale voire continentale.

I.2.2.2 Réseaux de répartition Haute et Moyenne Tension (HT, MT) :

Les réseaux de répartition régionale ou locale : Ils sont destinés à répartir l'énergie en quantité moindre sur des distances plus courtes. Ces réseaux comprennent les lignes de transport et les postes de transformation intermédiaires entre le réseau de transport et le réseau de distribution. Ce sont des réseaux haute tension (90 et 63 kV).

Leur rôle est de répartir l'énergie électrique au niveau régional. Ils peuvent être aériens ou souterrains.

Au niveau de ce réseau les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux pour former des boucles, donc il a une topologie bouclée. Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT dans le but d'augmenter la disponibilité. Cependant, il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés. Les postes représentent les apports d'énergie et la sécurité d'alimentation, bien qu'inférieure à celle de la structure maillée.

I.2.2.3 Réseaux de distribution Basse Tension (BT) :

La distribution est assurée en moyenne tension (20 kV) et en basse tension (400 et 230 volts) alimentées par des postes HT/MT et fournissant de l'énergie électrique, soit directement aux consommateurs importants soit aux différents postes MT/BT.

Ils ont pour rôle d'acheminer l'électricité à l'échelle locale et de fournir aux réseaux d'utilisation la puissance dont ils ont besoin. Ils utilisent deux tensions : Des lignes à moyenne tension (MT ou HTA) et des lignes à basse tension qui alimentent les usagers soit en monophasé soit en triphasé. Les réseaux MT font pratiquement partie, dans leur totalité des réseaux de distribution.

Dans le réseau de distribution on peut utiliser deux types de topologie :

Radial : C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT.

Arborescent : Cette topologie est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle est constituée d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution (BT) grâce à des piquages à différents niveaux des lignes alimentant les postes MT/BT.

La sécurité d'alimentation est faible puisqu'un défaut sur la ligne ou sur le poste coupe l'ensemble des clients en aval [9]

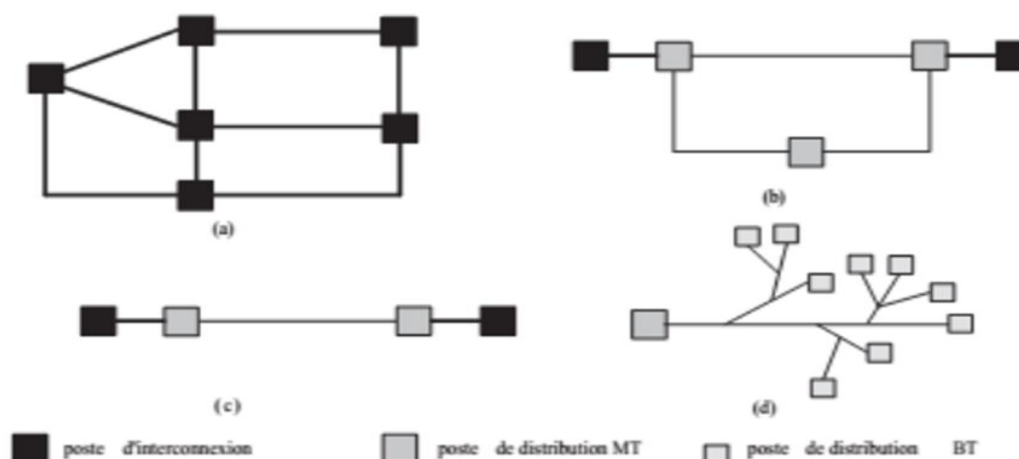


Figure I.1. 2 Différentes topologies des réseaux électriques :

(a) Réseau maillé, (b) Réseau Bouclé, (c) Réseau radial, (d) Réseau arborescent

I.2.3 Les niveaux de tension :

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension alternative comme suit :

Appellation courante	Domine de tension	Tension alternative	Tension continue
Très basse tension	TBT	$U_n \leq 50 \text{ V}$	$U_n \leq 120 \text{ V}$
Basse tension(BT)	BTA	$50 \text{ V} \leq U_n \leq 500 \text{ V}$	$120 \text{ V} \leq U_n \leq 750 \text{ V}$
	BTB	$500 \text{ V} \leq U_n \leq 1000 \text{ V}$	$750 \text{ V} \leq U_n \leq 1500 \text{ V}$
Moyenne tension(MT)	HTA	$1 \text{ KV} \leq U_n \leq 50 \text{ KV}$	$1500 \text{ V} \leq U_n \leq 75 \text{ KV}$
Haute tension(HT)	HTB	$U_n \geq 50 \text{ KV}$	$U_n \geq 75 \text{ KV}$

Tableau I.1. Tableau des domaines de tension alternative [10]

I.3 Qualité d'énergie électrique dans les réseaux :

La qualité de l'énergie électrique (QEE) est un terme très répandu dans le domaine scientifique et industriel. Ce concept détermine les paramètres qui définissent les propriétés du produit électricité en conditions normales, en termes de continuité de la fourniture [11] qui recouvre les coupures ou interruptions du réseau et des caractéristiques de la tension qui désigne les perturbations liées à la forme de l'onde de tension délivrée par le réseau, susceptibles d'altérer le fonctionnement des appareils électriques raccordés au réseau, voire de les endommager.

Cette vision a pour but de déterminer les caractéristiques de la fourniture électrique afin de limiter son influence sur les différentes charges connectées au réseau, les principales perturbations électriques ainsi que leurs origines, caractéristiques et conséquences.

I.3.1 Identification des caractéristiques d'énergie électrique :

La qualité de l'énergie électrique est considérée comme une combinaison de la qualité de la tension et de la qualité du courant.

Cependant, tous les phénomènes qui affectent la qualité de l'énergie électrique affectent essentiellement la tension qui est fournie à l'utilisateur. C'est pourquoi on dit que la qualité de l'énergie électrique est liée à la qualité de la tension.

Si l'utilisateur n'utilise pas de charge perturbatrice, le courant sera peut-être déformé, mais uniquement d'une manière qui résulte des caractéristiques de la tension fournie. Donc le terme qualité de courant est rarement utilisé car il se caractérise par les mêmes paramètres de tension (amplitude, fréquence, symétrie et la forme d'onde), généralement on parle de la qualité de la tension.

I.3.1.1 Qualité de tension :

L'énergie électrique, principalement produite et distribuée sous forme de tensions triphasées sinusoïdales, permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux différentes charges sur le réseau électrique. Les paramètres caractéristiques de ce réseau sont l'amplitude, la fréquence, la symétrie du système triphasé et la forme d'onde de la tension.

I.3.1.1.1 L'amplitude :

L'amplitude de la tension est un facteur très important pour la qualité d'énergie électrique. Dans le cas idéal trois tensions ont la même amplitude qui est en générale doit être maintenue dans un intervalle de $\pm 10\%$ autour de la valeur nominale.

Dans un réseau électrique, l'amplitude de la tension d'alimentation dépend des caractéristiques de conception du réseau, des variations de charge et des changements d'état auxquels il est soumis. Donc plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude de tension, on distingue deux grandes familles de perturbations :

- Les creux de tension, coupures et surtensions.
- Les variations de l'amplitude de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale.

En pratique, il est d'usage de corriger l'amplitude de la tension à différents points du réseau, par exemple, au moyen des changeurs de prises automatiques dans les postes de transformation, ou par l'utilisation d'équipements de compensation réactive.

I.3.1.1.2 La fréquence :

Dans le cas idéal, la fréquence nominale de la tension alternative sinusoïdale fournie par le réseau est constante et de 50/60 Hz selon le pays [12]

Le maintien de la fréquence de la tension en réseau dépend de l'équilibre établi entre la charge et la puissance des centrales. Comme cet équilibre évolue dans le temps, il en résulte de petits écarts de fréquence qui dépendent des particularités de la charge et de la réponse de la production. Par ailleurs, le réseau peut être soumis à des variations plus importantes dues à des courts-circuits ou des variations importantes de charge ou de production qui causent des variations de fréquence temporaires dont l'amplitude et la durée dépendent de la sévérité de l'événement.

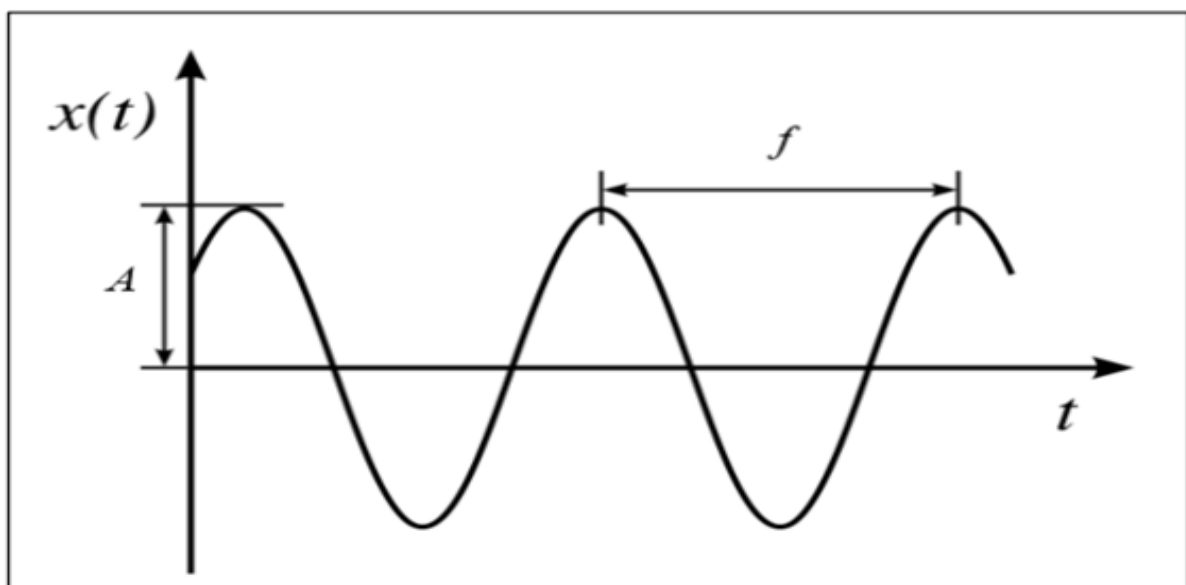


Figure I.1. 3 Amplitude et fréquence de tension

I.3.1.1.3 La symétrie du système triphasé

Le système est symétrique si les amplitudes des grandeurs sinusoïdales sont égales et si le déphasage entre deux grandeurs consécutives vaut 120° ($2\pi/3$).

Le déséquilibre de tension sert à caractériser les asymétries d'amplitude et de déphasage des tensions d'alimentation triphasées. Le taux de déséquilibre de tension est défini, suivant la méthode des composantes symétriques de Fortescue.

Le déséquilibre de tension qui s'applique aux tensions triphasées a deux causes principales, soient les asymétries d'impédance de réseau et les déséquilibres de charge (ou de courant) [13].

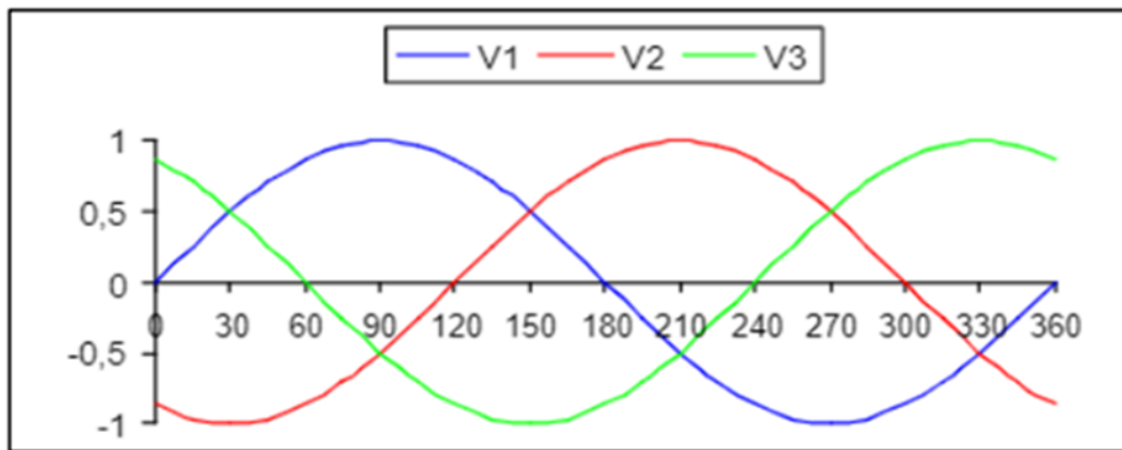


Figure I.1. 4 Système triphasé symétrie

I.3.1.1.4 La forme d'onde :

La forme d'onde des trois tensions formant un système triphasé doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. En cas de perturbations au niveau de la forme d'onde, la tension n'est plus sinusoïdale et peut en général être considérée comme une onde fondamentale à 50Hz associée à des ondes de fréquences supérieures ou inférieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non périodiques (bruits) [11].

I.4 Perturbation électrique :

Les perturbations sont tous les phénomènes internes ou externes au réseau ayant un pouvoir de modifier d'une manière transitoire ou permanente en amplitude et/ou en forme les grandeurs électriques du réseau (courant, tension, fréquence). Ces perturbations peuvent être classées selon deux critères ; selon la durée de persistance ou selon le mode d'affectation C'est -à- dire leurs conséquences sur les grandeurs électriques [14].

- Selon les critères de durée :
 - Les perturbations transitoires ;

- Les perturbations de courte durée ;
- Les perturbations permanentes.
- Selon leur mode d'affectation, on distingue trois familles principales :
 - Perturbation sur l'amplitude ou la valeur efficace ;
 - Déséquilibre des systèmes triphasés ;
 - Distorsions harmoniques

I.4.1 Classification des perturbations électriques :

Les perturbations électriques sont classifiées selon plusieurs critères :

• Selon les paramètres caractérisant de tension :

Elles peuvent être groupées en quatre catégories qu'elles affectent l'amplitude, la forme d'onde, la fréquence et la symétrie de la tension :

- Variations de l'amplitude.
- Modifications de la forme de l'onde de tension.
- Dissymétrie du système triphasé (déséquilibre).
- Variations de la fréquence fondamentale à 50 Hz.

• Selon leurs durée on distingue :

- Perturbations transitoires (moins d'une demi-période fondamentale).
- Perturbations de courte durée (quelques minutes).
- Perturbation permanent.

• Selon les critères de compatibilité électromagnétique :

Les perturbations électromagnétiques susceptibles de perturber le bon fonctionnement des équipements et des procédés industriels sont en général rangées en plusieurs classes appartenant aux perturbations conduites et rayonnées :

- Basse fréquence (< 9 kHz).
- Haute fréquence (> 9 kHz).
- De décharges électrostatiques.

La mesure de QEE consiste habituellement à caractériser les perturbations électromagnétiques conduites basse fréquence (gamme élargie pour les surtensions transitoires et la transmission de signaux sur réseau) :

1. Creux de tension.
2. Surtensions.
3. Harmoniques et inter-harmoniques.
4. Fluctuations de tension.
5. Variations de fréquence.
6. Déséquilibres de tension. [15].

I.4.1.1 Creux de tension :

C'est une diminution brusque de la tension de source située entre (10% et 90%) de l'amplitude de la tension nominale qui peut durer de (10ms à 3mn) et une dégradation de fonctionnement des équipements électriques qui peut aller jusqu'à la destruction totale de ces équipements. [4]

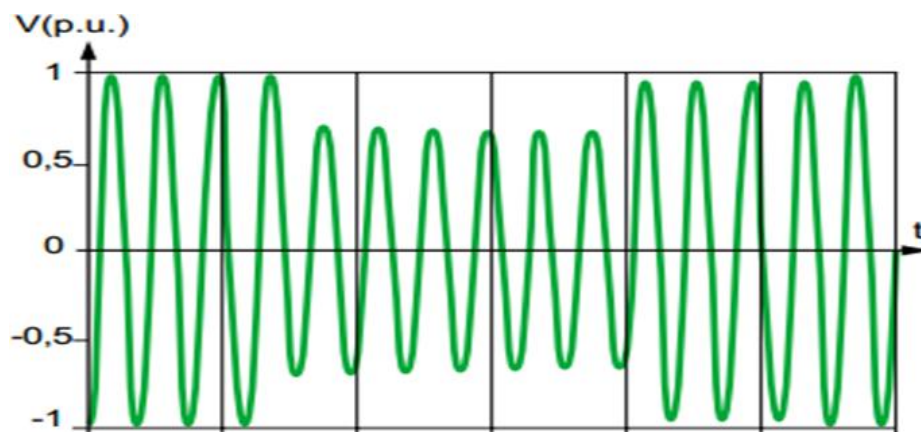


Figure I.1. 5 Représentation de creux de tension

I.4.1.1.1 Origine des creux de tension :

Ses causes principales de creux de tension sont :

- Phénomène provenant du fonctionnement d'appareils à charge fluctuante ou de la mise en service d'appareils appelant un courant élevé au démarrage.

En général, le courant des moteurs atteint au moment de leur démarrage 5 à 6 fois le courant nominal et diminue progressivement lorsque la machine se rapproche de sa vitesse nominale. [16]

- Lié aux phénomènes aléatoires, ex : foudre ou court-circuit accidentel sur les réseaux de distribution, de transmission ou les réseaux internes des clients (défaut d'isolation, blessure de câble, projection de branches sur les lignes aériennes). [17]

I.4.1.1.2 Conséquences des creux de tension :

Type d'équipements	Conséquences néfastes
Systèmes d'éclairage	Moins de luminosité, extinction et rallumage
Systèmes à base d'électronique de Puissance	Arrêt ou mauvais fonctionnement des équipements.
Dispositifs de protection	Déclenchement et ouverture des contacteurs
Moteurs asynchrones	Ralentissement, décrochage, surintensité au retour de la tension.
Moteurs synchrones	Perte de synchronisme, décrochage et arrêt du Moteur
Variateurs de vitesse pour un moteur à courant continu	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En mode onduleur : destruction des protections ➤ En mode redresseur : ralentissement de la machine.
Variateurs de vitesse pour un moteur Asynchrone	Ralentissement, décrochage, surintensité au retour de la tension, destruction éventuelle de matériel au niveau du convertisseur

Tableau I.2 : Conséquences des creux de tension sur quelques équipements électriques sensible

I.4.1.2 Surtension :

Une surtension de courte durée désigne l'augmentation de l'amplitude de la tension entre 110% et 180% la valeur nominale à la fréquence fondamentale pour une durée allant de 0.5 cycle jusqu'à 1 minute [18].

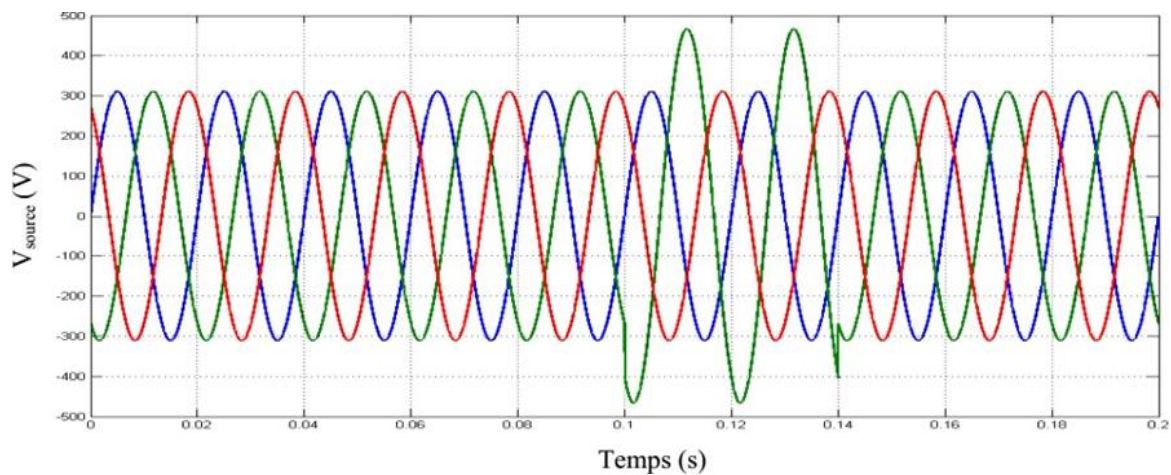


Figure I.1. 6 Représentation graphique d'une surtension

I.4.1.2.1 Origine de surtension :

Les surtensions sont de deux natures :

- Les surtensions à fréquence industrielle ;
- Les surtensions transitoires : elles peuvent être :
 - a) D'origine externe (foudre) ;
 - b) D'origine interne (fausse manœuvre).

1) Surtensions à fréquence industrielle :

Sous cette appellation de fréquence industrielle sont regroupées les surtensions ayant des fréquences inférieures à 500 Hz. Les surtensions à fréquence industrielle ont généralement pour origine :

- Un défaut à la terre ;
- Une résonance ou une Ferro-résonance ;
- Une rupture du conducteur neutre ;
- Une surcompensation de l'énergie réactive ;
- Un délestage de charge, notamment lorsque la source d'alimentation est un alternateur.

2) Surtension transitoire :

Surtension de courte durée ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie.

Les surtensions transitoires sont divisées en :

- ❖ Surtension à front lent ;
- ❖ Surtension à front rapide ;
- ❖ Surtension à front très rapide.

a) Surtensions de manœuvre :

Lors des manœuvres de mise sous tension ou de mise hors tension de récepteurs, des surtensions transitoires apparaissent sur le réseau. Ces surtensions sont d'autant plus dangereuses si le courant coupé est inductif ou capacitif.

b) Surtensions atmosphériques (foudre) :

L'orage est un phénomène naturel connu de tous, spectaculaire et dangereux. Les réseaux aériens sont les plus affectés par les surtensions et surintensités d'origine atmosphérique.

Une particularité des coups de foudre est leur polarisation : ils sont généralement négatifs (nuage négatif et sol positif). Environ 10 % sont de polarité inverse, mais ce sont les plus violents.

I.4.1.2.2 Conséquence de surtension :

Les conséquences peuvent être très diverses suivant la nature des surtensions, leur amplitude et leur durée. Elles sont résumées dans ce qui suit :

- Claquage du diélectrique isolant des équipements ;
- Dégradation du matériel par vieillissement ;
- Perte de l'alimentation suite aux coupures longues ;
- Perturbation des circuits de contrôle - commande et de communication ;
- Contraintes électrodynamiques (destruction ou déformation de matériel) et thermiques (fusion d'éléments, incendie, explosion).

I.4.1.3 Surintensité :

I.4.1.3.1 Courant de court-circuit : Le courant de court-circuit (Fig. I.7) de nature instantanée est une surintensité produite par un défaut d'impédance dont la valeur devient négligeable entre deux points du même circuit [19]. Les causes susceptibles de produire un courant de court-circuit sont les ruptures de conducteurs, coup de foudre, contacts

intempestifs, claquages d'isolants, et les fausses manœuvres. Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais électromagnétiques ;
- Fusibles.

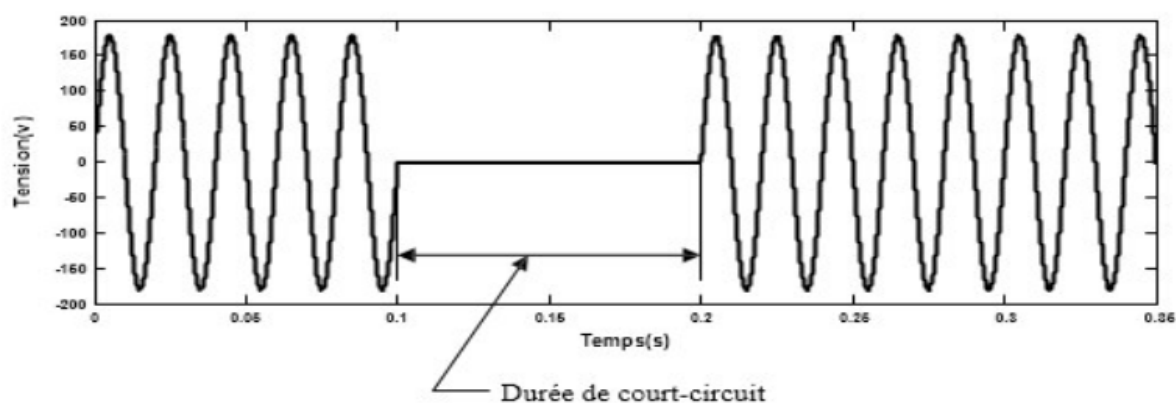


Figure I.1. 7 Représentation d'un court-circuit monophasé

I.4.1.3.2 Courant de Surcharge :

Le courant de surcharge est une surintensité de nature progressive qui se produit dans un circuit sain suite à une augmentation de la charge [20] [21].

Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge sont les appareils utilisés au-delà de sa puissance nominale (volontaire ou accidentelle), et les mauvais fonctionnements.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais thermiques ;
- Fusibles ;

I.4.1.4 Les harmoniques et inter-harmoniques :

Les harmoniques sont des tensions multiples de la fréquence de base 50 Hz qui viennent se superposer sur la sinusoïde pour la déformer [22].

Les courants harmoniques se superposent au fondamental du courant de ligne, Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau créent des tensions harmoniques qui peuvent perturber le fonctionnement des autres utilisateurs raccordés à la même source. Proviennent principalement de charges non linéaires dont la caractéristique est d'absorber un courant qui n'a pas la même forme que la tension qui les alimente : convertisseurs de puissance, lampes fluorescentes, ordinateurs et imprimantes [15].

Les inter-harmoniques sont des tensions sinusoïdales dont la fréquence est comprise entre deux fréquences harmoniques consécutives. Sa fréquence ne correspond donc pas à un multiple entier de la fréquence fondamentale (50 ou 60 Hz). Il peut s'agir d'une fréquence isolée ou d'un spectre dans une bande de fréquences.

Les sources principales des inter-harmoniques sont les charges produisant des arcs, les systèmes de contrôle électrique des charges variables et les convertisseurs statiques de fréquence (dont ceux à modulation de largeur d'impulsions).

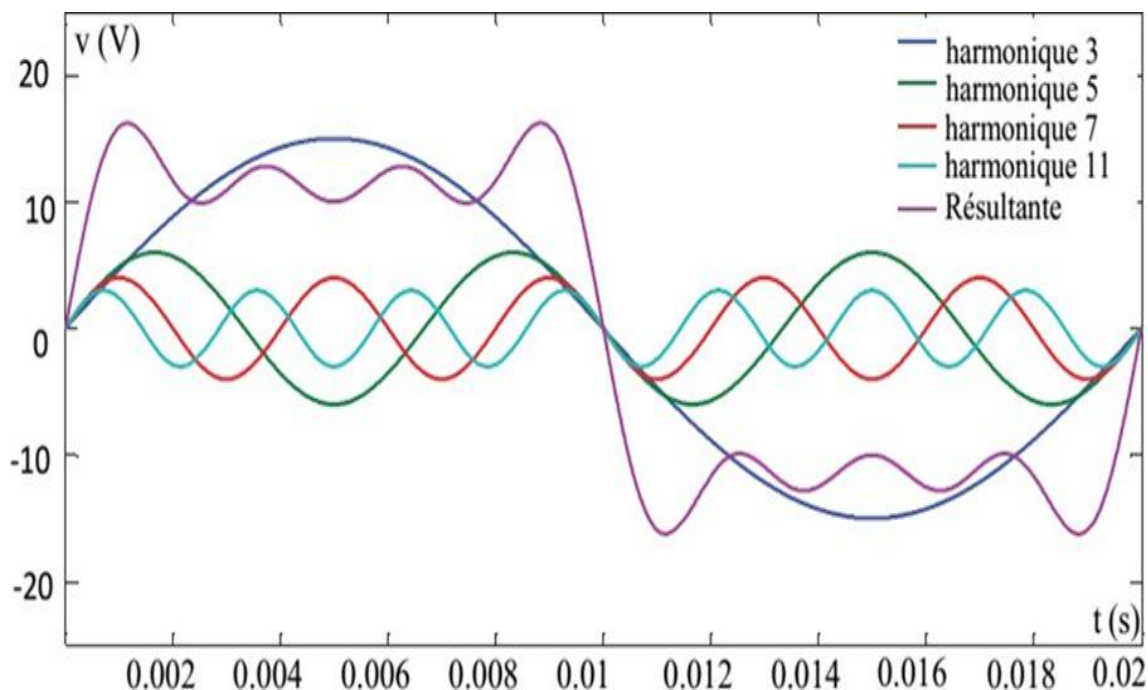


Figure I.1. 8 Perturbation harmonique

I.4.1.4.1 Les principales sources d'harmoniques

a) Convertisseurs statiques :

Les redresseurs monophasés et triphasés, les cyclo -convertisseurs utilisés pour régler la vitesse des moteurs à courant alternatif, Les gradateurs utilisés dans les entraînements de faible puissance, les systèmes d'éclairage et de chauffage et les systèmes de conduite des réseaux.

b) Dispositifs à caractéristique tension-courant non linéaire :

Les inductances saturées, les fours à arc, les transformateurs. A cause de leur caractéristique tension-courant non linéaire, Les machines tournantes.

I.4.1.4.2 Principales perturbations provoquées par les harmoniques

Les harmoniques peuvent provoquer :

- L'échauffement des transformateurs, câbles, moteurs, générateurs. Il en va de même pour les condensateurs raccordés à la même alimentation que les dispositifs générateurs d'harmoniques.
- Les afficheurs des appareils électroniques et les éclairages se mettent à papilloter. Les disjoncteurs peuvent déclencher.
- Les ordinateurs dysfonctionner et les instruments de mesure donnent des valeurs erronées.

I.4.1.4.3 Les effets d'harmoniques

Les effets qu'ils produisent se conjuguent et apparaissent différemment selon les récepteurs. On peut considérer deux types d'effets mesurables :

a) Les Effets Instantanés

Altérer le bon fonctionnement de systèmes comportant des composants électroniques du fait de la distorsion en tension qu'ils occasionnent.

b) les Effets à terme

- Échauffement des condensateurs ;
- Échauffement des machines tournantes et des transformateurs ;
- Échauffement des câbles ;
- Augmentation de la valeur efficace du courant pour une même puissance active consommée.

c) L'impact économique

- Le vieillissement prématuré du matériel conduit à le remplacer plus tôt, à moins de l'avoir initialement surdimensionné,
- Les surcharges du réseau obligent à augmenter la puissance souscrite, et impliquent, à moins d'un surdimensionnement des installations des pertes supplémentaires,

- Les déformations du courant provoquant des déclenchements intempestifs et l'arrêt des installations de production.

I.4.1.4.4 Les solutions pour atténuer les harmoniques

- Adaptations de l'installation,
- Utilisation de dispositifs particuliers dans l'alimentation,
- Filtrage :
 - ❖ Le filtre passif ;
 - ❖ Le filtre actif ;
 - ❖ Le filtre hybride. [6]

I.4.1.5 Les variations et fluctuations de tension :

I.4.1.5.1 Définition, Origine et Effets :

Les fluctuations de la tension désignent une variation systématique de l'enveloppe de la tension ou une série d'évolutions aléatoires de la tension, dont l'amplitude reste généralement entre 90% et 10% de la valeur nominale. Les charges industrielles rapidement variables comme les machines à souder et les fours à arc représentent les sources les plus communes de ces fluctuations dans les réseaux de transport et de distribution.

Généralement les fluctuations de la tension n'ont pas un grand impact, on cite des fluctuations de la luminosité des lampes, dénommé effet de flicker ou papillotement. [6]

I.4.1.6 Variations de fréquence :

I.4.1.6.1 Définition, Origine :

La périodicité de la sinusoïde n'est plus constante. Les variations de fréquence sont très faibles (< 1%) au sein des grands réseaux interconnectés et une variation sensible de la fréquence du réseau peut apparaître sur les réseaux des utilisateurs non interconnectés ou alimentés par une source thermique autonome. Au niveau des réseaux de distribution ou de transport, cette variation de la fréquence est très rare et n'est présente que lors de circonstances exceptionnelles, comme dans le cas de certains défauts graves sur le réseau. Dans des conditions normales d'exploitation, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale doit être comprise dans l'intervalle $50 \text{ Hz} \pm 1\%$; qui ne causent aucun préjudice aux équipements électriques ou électroniques [23].

Les variations de fréquence dues à un déséquilibre entre la production et la consommation, c'est notamment le cas lorsque la charge varie ou quand la production d'énergie électrique par un groupe électrogène dont la vitesse n'est pas constante.

I.4.1.7 Déséquilibres de tension :

I.4.1.7.1 Définition, Origine :

Un système triphasé déséquilibré est un système dont les tensions ou les courants ne vérifient pas les conditions de phases ou d'amplitudes lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou déphasées de 120° les unes par rapport aux autres. La fréquence est contre identique pour les trois grandeurs [23].

Les déséquilibres de tension peuvent résulter de plusieurs manières :

- ❖ de l'alimentation de charges déséquilibrées telles que les charges monophasées mal réparties de forte puissance ;
- ❖ la distribution d'énergie basse tension sur une branche ou claquage de la résistance d'isolement dans les enroulements moteur...etc.

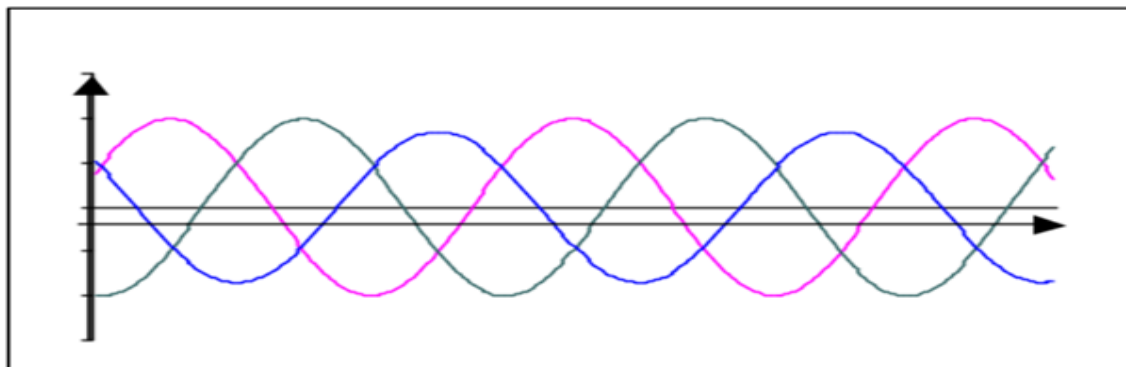


Figure I.19 . Déséquilibres de tension

I.5 Effets des perturbations sur les charges :

Les récepteurs raccordés au réseau électrique ont des niveaux de sensibilité différents vis-à-vis des perturbations conduites à basse fréquence. Il est donc important de connaître leur courbe de tolérance.

A titre d'exemple, les équipements informatiques sont sensibles aux creux de tension dont l'amplitude est supérieure à 10 % de la tension nominale alors que la plupart des moteurs, du fait de leur inertie, offre une bonne immunité aux creux de tension.

La norme IEC 1000-2-4 définit trois catégories d'environnements électromagnétiques susceptibles d'être rencontrées dans les installations industrielles. Les équipements doivent être choisis de façon à fonctionner correctement dans un environnement donné.

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre Nous avons présenté un aperçu sur le fonctionnement des réseaux d'énergie électrique qui, influents sur la qualité de la tension, en commençant par une étude générale sur les réseaux, l'acheminement de puissance à travers ces réseaux.

Comme nous avons présenté différents types de perturbations qui influencent sur l'onde de tension du réseau électrique ainsi que les différentes sources de ces perturbations et leur effet qui ont des conséquences néfastes sur les équipements électriques, ces effets peuvent aller des échauffements et de la dégradation du fonctionnement jusqu'à la destruction totale de ces équipements.

Chapitre II
Généralité sur les systèmes FACTS

II.1 Introduction :

L'amélioration de la qualité de l'énergie, l'augmentation de la capacité transitée et le contrôle des réseaux existants peut être obtenue grâce à la mise en place de nouvelles technologies. La compagnie américaine EPRI (Electric Power Research Institute) a lancé, en 1988, un projet d'étude des systèmes FACTS afin de mieux maîtriser le transit de puissance sur les lignes électriques.

Le concept FACTS englobe tous les dispositifs basés sur l'électronique de puissance qui améliorent le fonctionnement du réseau électrique. La technologie de ces systèmes (interrupteur statique) leur offre plus de rapidité et de fiabilité que les systèmes électromécaniques standards. L'objectif de ces systèmes n'est pas seulement de gérer les flux d'énergie dans les réseaux, mais également d'augmenter la capacité de transmission effective jusqu'à leur limite thermique maximale.

Dans ce chapitre, on va donner un aperçu général sur les systèmes de FACTS. [24].

II.2 Systèmes FACTS :

Les systèmes FACTS (ou D-FACTS en réseau de distribution : Distribution FACTS) ont été développés pour maintenir la tension dans les limites admissibles et limiter les transits de puissance réactive. Ces systèmes à base d'électronique de puissance utilisent les performances de contrôle offertes par l'utilisation de cette technologie. Une liste non exhaustive des moyens de réglages par compensation d'énergie réactive va être donnée. [25].

II.2.1 Définition et le rôle d'un dispositif FACTS :

Le concept FACTS « Flexible Alternative Currents Transmission Systems » est un terme générique qui caractérise l'ensemble des équipements mettant en jeu de l'électronique de puissance (diodes, thyristors, GTO, IGBT.....).

Ces équipements permettent d'améliorer l'exploitation du réseau électrique c'est-à-dire les différents paramètres du réseau électrique tension, impédance déphasage ...etc.

La technologie de ces systèmes (commutateur statique) leur permet de fonctionner plus rapidement que les systèmes électromécaniques traditionnels. En outre, ils peuvent gérer le transit d'énergie dans les réseaux et augmenter la capacité de transmission effective tout en préservant, voire en augmentant la stabilité du réseau. [24].

II.3 Exploitation d'un réseau électrique :

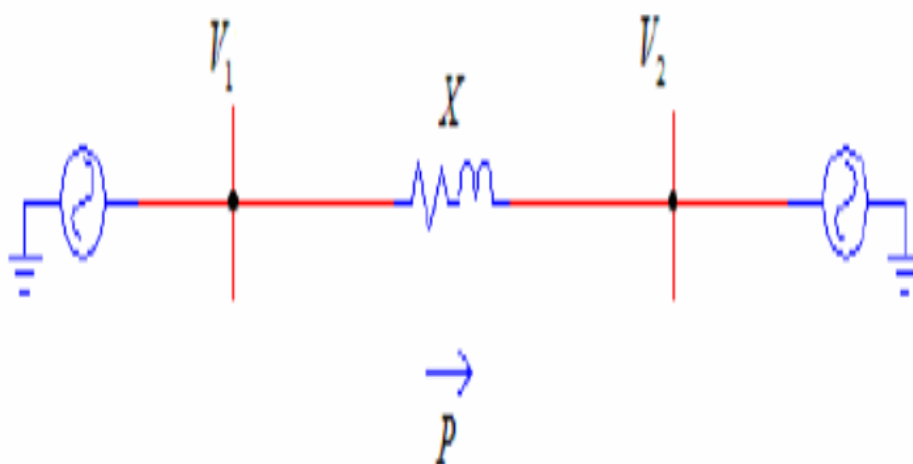


Figure II. 1 Puissance transité entre deux réseaux

La puissance active P transitée entre deux réseaux de tensions V_1 et V_2 présentant un angle de transport δ (déphasage entre V_1 et V_2) et connectés par une liaison d'impédance X est donnée par l'équation suivante :

$$P = \frac{V_1 \cdot V_2}{X} \sin \delta \quad (\text{II.1})$$

Cette équation indique qu'il est possible d'augmenter la puissance active communiquée entre deux réseaux soit en maintenant la tension des systèmes, soit en augmentant la tension des systèmes, soit en augmentant l'angle de transport entre les deux systèmes, soit en réduisant artificiellement l'impédance de la liaison. En jouant sur un ou plusieurs de ces paramètres, les FACTS permettent un contrôle précis des transits de puissance réactive, une optimisation des transits de puissance active sur les installations existantes et une amélioration de la stabilité dynamique du réseau. Ils permettent aussi aux consommateurs industriels de réduire les déséquilibres de charges et de contrôler les fluctuations de tensions créés par des variations rapides de la demande de puissance réactive et ainsi d'augmenter les productions, de réduire les coûts et d'allonger la durée de vie des équipements. [26].

II.4 Fonctionnement des dispositifs FACTS :

Un dispositif FACTS agit, généralement, en fournissant ou en consommant dynamiquement de la Puissance réactive (courant réactive) sur le réseau. Ceci a pour effet de modifier l'amplitude de la tension à son point de connexion et par conséquent, la puissance active maximale transmissible. Les FACTS sont utilisés aussi pour le filtrage des courants harmoniques vêt la stabilisation de la tension. L'ordre de grandeur de la puissance d'un FACTS varie de quelques MVA à quelques centaines de MVA. Ils s'appliquent dans deux secteurs principaux :

- ❖ Réseaux de distributions.
- ❖ Réseaux Industriels.

II.4.1 Réseaux de distributions(MT) :

Dans un réseau (MT), de transport d'énergie bien dimensionné, les pertes par effet Joule dans les lignes représentent habituellement quelques pour-cent de la puissance totale transitée.

L'insertion des FACTS ont plusieurs avantages :

- ❖ assurent l'échanger de l'énergie réactive avec le réseau électrique ;
- ❖ assurent le contrôle optimal de la tension, les phases sont contrôlées séparément pendant les perturbations du système ;
- ❖ augmentent la capacité des puissances transmises et assister à la récupération du réseau suite à un défaut.

II.4.2 Réseaux industriels :

Le raccordement des FACTS dans les réseaux industriels doivent être étudié de façon à identifier une solution répondant strictement au besoin de raccordement du demandeur tout en garantissant que ce raccordement n'aura pas de conséquence sur le fonctionnement du réseau, et la qualité de l'énergie fournie aux autres utilisateurs déjà raccordés, l'utilités d'insertions des FACTS sont :

- ❖ l'amélioration de la qualité de la puissance fournie en un point précis du réseau AC en présence de fluctuations des charges ;
- ❖ Gamme de puissance inférieure à celle d'un réseau de transmission. [27].

II.5 Applications Pratiques des Dispositifs FACTS :

Les systèmes FACTS sont habituellement connus comme nouvelle technologie, mais des centaines d'installations dans le monde, plus particulièrement du SVC depuis 1970 avec une puissance totale installée de 90.000 MVAR, prouvent l'acceptation de ce genre de technologie. Le Tableau II.1 montre des chiffres approximatifs des dispositifs FACTS installés dans le monde avec les puissances totales installées. [28].

Type	Nombre	Puissance installée en MVA
SVC	600	90.000
STATCOM	15	1.200
Série compensation	700	350.000
TCSC	10	2.000
HVDC B2B	41	14.000
UPFC	2-3	250

Tableau II.1 Dispositifs FACTS installés dans le monde et leurs puissances totales

II.6 Classification des dispositifs FACTS :

Depuis les premiers compensateurs, trois générations de dispositifs FACTS ont vu le jour. Elles se distinguent par la technologie des semi-conducteurs et des éléments de puissance utilisés :

II.6.1 La première :

Génération est basée sur les thyristors classiques .Ceux-ci sont généralement utilisés pour enclencher ou déclencher les composants afin de fournir ou absorber de la puissance réactive dans les transformateurs de réglage.

II.6.2 La deuxième génération :

Dite avancée, est née avec l'avènement des semi- conducteurs de puissance commandable à la fermeture et à l'ouverture, comme le thyristor GTO. Ces éléments sont assemblés pour former les convertisseurs de tension ou de courant afin d'injecter des tensions contrôlables dans le réseau.

II.6.3 Une troisième génération :

De FACTS utilisant des composants hybrides et qui est adaptée à chaque cas. Contrairement aux deux premières générations, celle-ci n'utilise pas de dispositifs auxiliaires encombrants tels que des transformateurs pour le couplage avec le réseau.

Une autre classification des contrôleurs FATCS basée sur les cinq caractéristiques indépendantes :

- Selon le type de Raccordement sur le réseau (Connexion).
- Selon le mode de Commutation.
- Selon la Fréquences de Commutation.
- Selon le mode de Stockage d'énergie.
- Selon le mode de Connexion au Port DC.

Selon ces critères, trois familles de dispositifs FACTS peuvent être mises en évidence:

- les dispositifs shunt connectés en parallèle dans les postes du réseau.
- Les dispositifs séries insérées en série avec les lignes de transport.
- Les dispositifs combinés série-parallèle qui recourent simultanément aux deux couplages. [29]

II.7 Types des dispositifs FACTS :

Typiquement les systèmes FACTS sont divisés en trois catégories :

- ❖ Les compensateurs parallèles
- ❖ .Les compensateurs séries.
- ❖ Les compensateurs hybrides (série - parallèle)

II.7.1 Compensateurs Parallèles :

Les compensateurs parallèles sont utilisés depuis longtemps dans les réseaux électriques, leurs objectifs principaux sont le contrôle des tensions aux niveaux désirés lorsqu'il y a un changement sur les conditions du système et l'accroissement de la puissance transmissible dans les lignes [30].

Le principe de compensation consiste à fournir ou à absorber de la puissance réactive de telle sorte que les caractéristiques naturelles des lignes soient modifiées pour les rendre plus

compatibles avec la charge, d'où un temps de réaction très rapide. Le compensateur parallèle le plus couramment utilisé dans les réseaux électriques de nos jours est :

SVC Compensateur statique d'énergie réactive (Static Var Compensator).

STATCOM Compensateur statique synchrone (Static Synchronous Compensator).

TCR (Thyristor Controlled Reactor)

TSC (Thyristor Switched Capacitor)

TCBR (Thyristor Control Breaking Resistor)

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 contrôler les tensions des nœuds [31].

Le courant réactif est injecté dans la ligne pour maintenir la magnitude du voltage. La puissance active transmissible est augmentée mais la puissance réactive sera plus fournie **figure II.2.** [32]

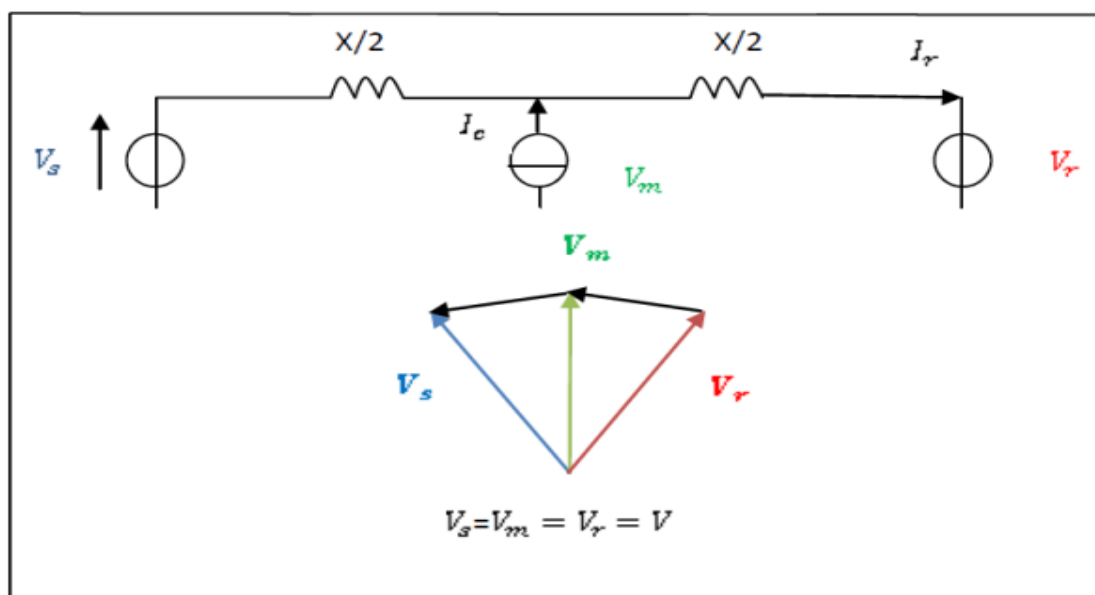


Figure II. 2 Compensateurs Parallèle (shunt)

II.7.2 Compensateurs série :

Les dispositifs FACTS de compensation série sont des impédances variables (inductives, capacitives) ou des sources de tensions variables employées afin de réduire la partie réactive

de l'impédance de la ligne, Ils agissent généralement en insérant une tension capacitive sur la ligne de transport qui permet de compenser la chute de tension inductive (Figure II.3) [28].

Leurs applications principales sont:

- ❖ La commande statique et dynamique des flux de puissances ;
- ❖ Amélioration de la stabilité angulaire ;
- ❖ L'amortissement des oscillations de puissance ;
- ❖ L'équilibrage des flux de charge dans les réseaux de transport ;
- ❖ Réduction des problèmes dus aux phénomènes de résonance sub synchrone ;
- ❖ Prévention des risques de rupture des arbres mécaniques ;

Les compensateurs séries les plus connus sont les:

Condensateur Série Commandé par thyristor :

TCSC (Thyristor Controlled Série Capacitor)

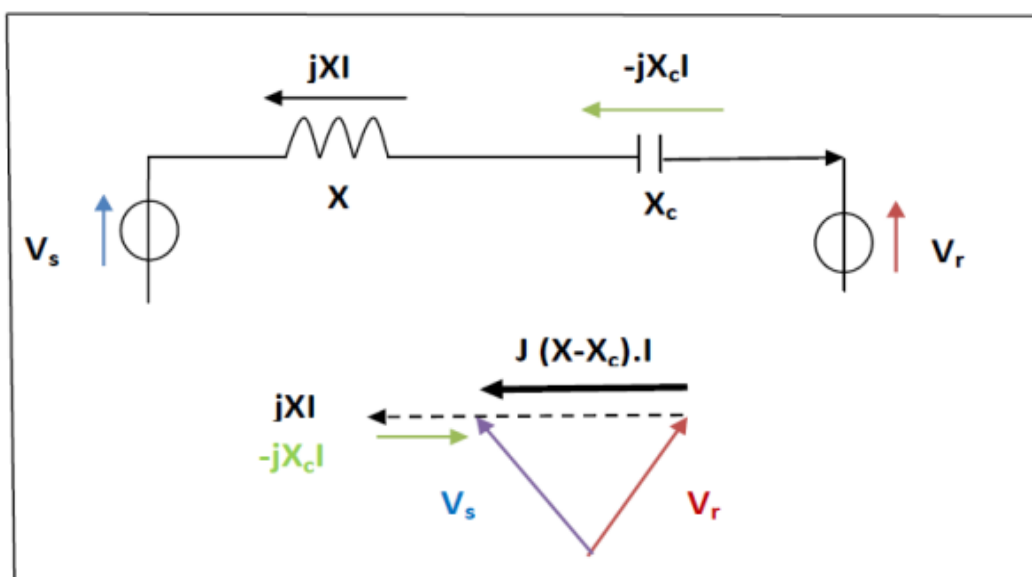
SSSC (Static Synchronous Series Compensator)

TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor)

DVR (Dynamic Voltage Restorer)

TCSC (Thyristor controlled series capacitor):

Les FACTS dans la compensation série modifient l'impédance de la ligne : la réactance (X) de la ligne est diminué, donc augmenter la puissance active transmissible. Cependant la puissance réactive doit être plus fournie (Figure II.3) [32].



II.7.3 Compensateurs hybrides (série-série et shunt-série) :

C'est une combinaison des dispositifs séries et shunts commandée d'une manière coordonnée afin d'accomplir un contrôle prédéfini. Ils sont donc capables d'agir sur les trois paramètres (tension, impédance et angle de déphasage) qui permettent de contrôler le transit de puissance sur une ligne de transport. Un des compensateurs hybrides les plus connus sont les :

- ❖ UPFC : Contrôleur universel de flux de puissance, (Unified Power Flow Controller).
- ❖ TCPAR (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator) [30].

II.8 Structure des principaux dispositifs FACTS :

II.8.1 Compensateurs parallèles :

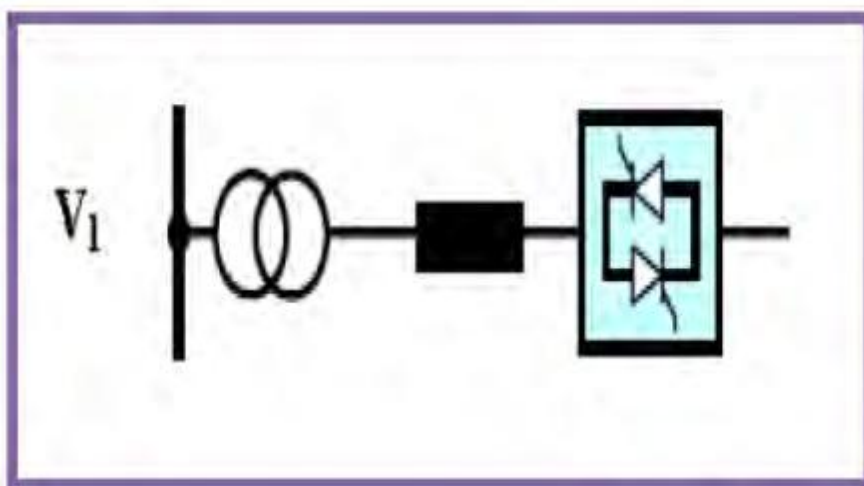
II.8.1.1 Compensateurs parallèles à base de thyristors :

II.8.1.1.1 TCR (Thyristor Controlled Reactor) ou TSR (Thyristor Switched Reactor) :

Dans le TCR (RCT : Réactance Commandées par Thyristors), le circuit est composé d'une

réactance placée en série avec deux thyristors montés en antiparallèle. La valeur de l'inductance est continuellement changée par l'amorçage des thyristors. [35]

Un dispositif TCR seul n'est pas suffisant pour pouvoir compenser la puissance dans un réseau, car il ne dispose pas de source de puissance réactive. Généralement on dispose avec un TCR des bancs de condensateurs comme source de puissance réactive, et le TCR contrôle cette source de puissance [29].



II.8.1.1.2 TSC (Thyristor Switched Capacitor):

Dans le TSC (Thyristor Switched Capacitor), Le TSC ou CCT : (Condensateurs Commandés par Thyristor), un TSC comprend un condensateur branché en série avec une valve thyristors bidirectionnelle et une inductance d'atténuation.

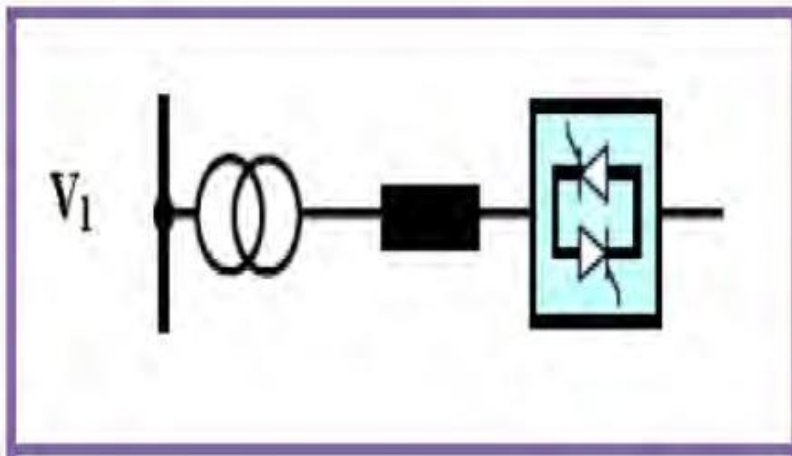
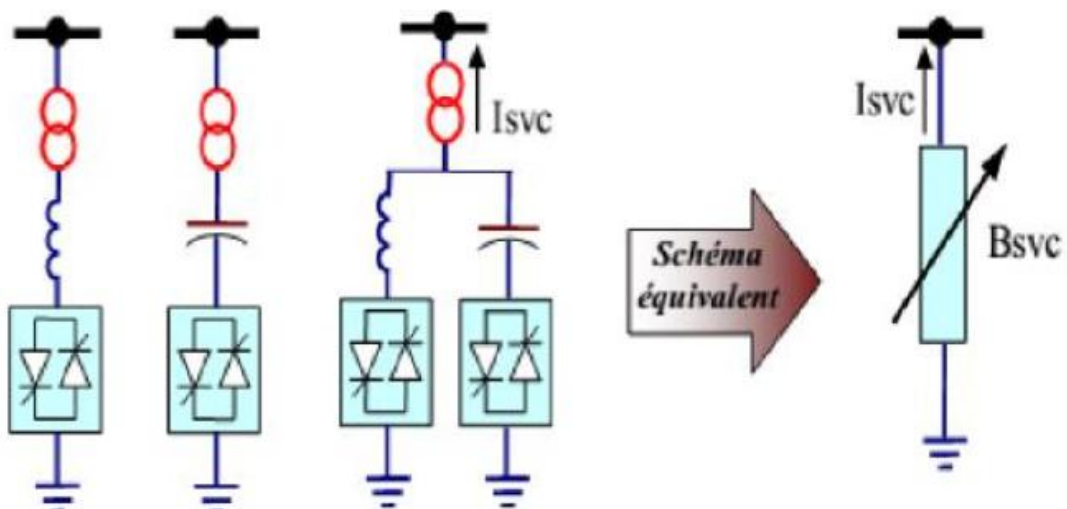


Figure II. 5 Structure du TSC.

II.8.1.1.3 SVC (Static Var Compensator):

Dans le SVC (Static Var Compensator), L'association des dispositifs TCR, TSC, bancs de capacités fixes et filtre d'harmoniques constitue le compensateur statique d'énergie réactive. La figure (II.6) montre le schéma de base d'un SVC et sa caractéristique statique. [36] dont le premier exemple a été installé en 1979 en Afrique du Sud.



Les principales applications du compensateur statique de puissance réactive sont :

- ❖ Soutien de la tension en régime permanent ;
- ❖ Compensation rapide de la puissance réactive ;
- ❖ Stabilisation statique et transitoire de la tension ;
- ❖ Equilibrage dynamique des charges ; [38].

II.8.1.1.4 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. La figure (II.7) représente un TCBR en parallèle avec un SVC équipé d'un banc de condensateurs et d'un filtre d'harmonique. [29]

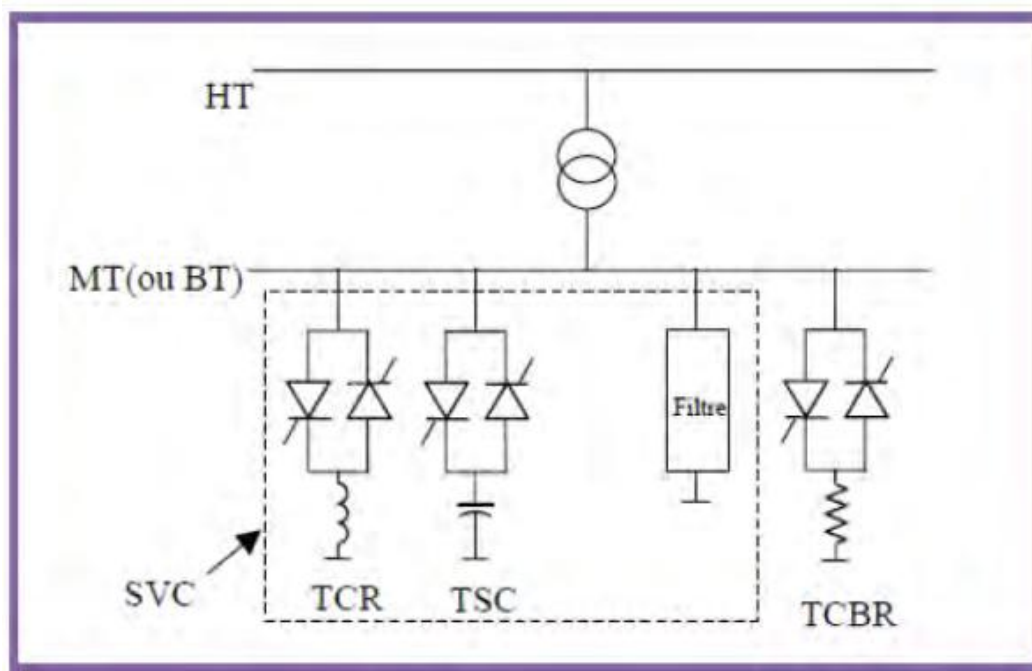


Figure II. 7 Structure du TCBR

II.8.1.2 Compensateurs parallèles à base de GTO thyristors :

II.8.1.2.1 STATCOM (STATIC COMPensator) :

C'est en 1990 que le premier STATCOM a été conçu. C'est un convertisseur de tension à base de GTO ou de IGBT alimenté par des batteries de condensateur, l'ensemble est connecté parallèlement au réseau à travers un transformateur de couplage Figure (II.8), Ce dispositif est l'analogue d'un compensateur synchrone , et comme c'est un dispositif électronique il n'a pas d'inertie mécanique présentant alors de meilleures caractéristiques tel que sa dynamique rapide et son faible coût d'installation et de sa maintenance devant les compensateurs synchrones [38].

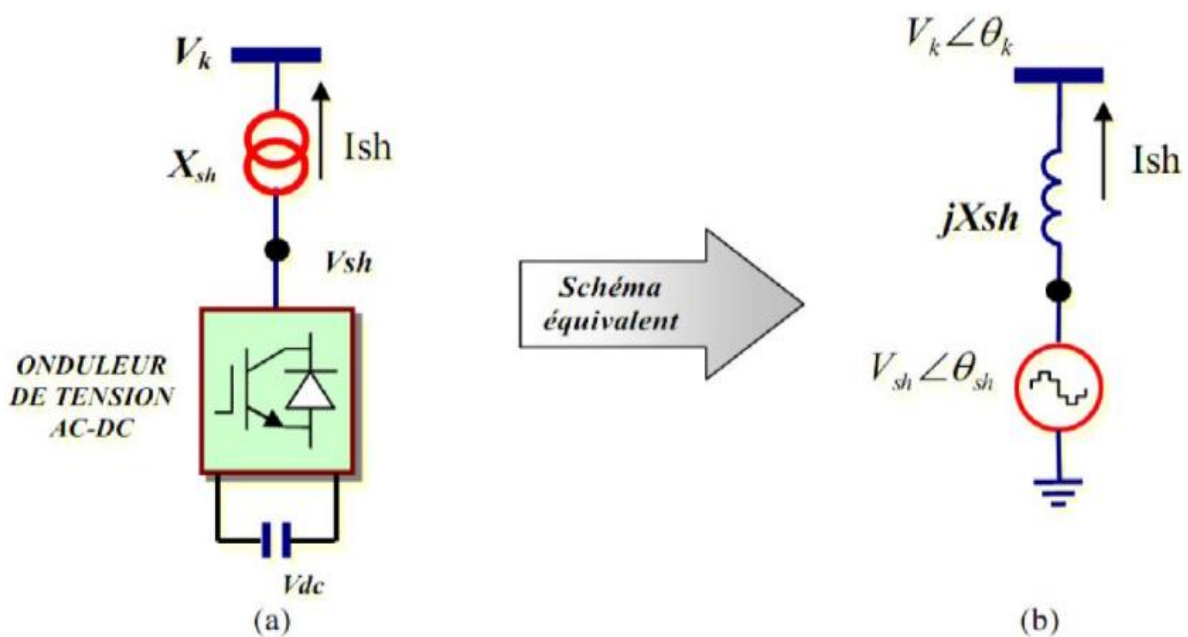


Figure II. 8 Structure d'un STATCOM (a) schéma équivalent (b) caractéristique tension/courant.

II.8.2 Compensateurs séries :

II.8.2.1 Compensateurs séries à base de thyristors :

II.8.2.1.1 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". [29]

II.8.2.1.2 TCSC (Thyristor controlled series capacitor) :

Le compensateur série commandé par thyristor TCSC (Thyristor controlled series capacitor) est composé d'une inductance en série avec un gradateur à thyristors, le tout en parallèle avec un condensateur. [34][33]

Pour augmenter la puissance transitée par une ligne triphasée, on doit ajouter un condensateur de capacité fixe en série dans chaque phase de la ligne. Ce qui a pour effet de réduire la réactance inductive de celle-ci. Le condensateur série commandé par thyristors permet de faire varier le transit de la puissance en agissant sur la nouvelle valeur de la réactance de la ligne.

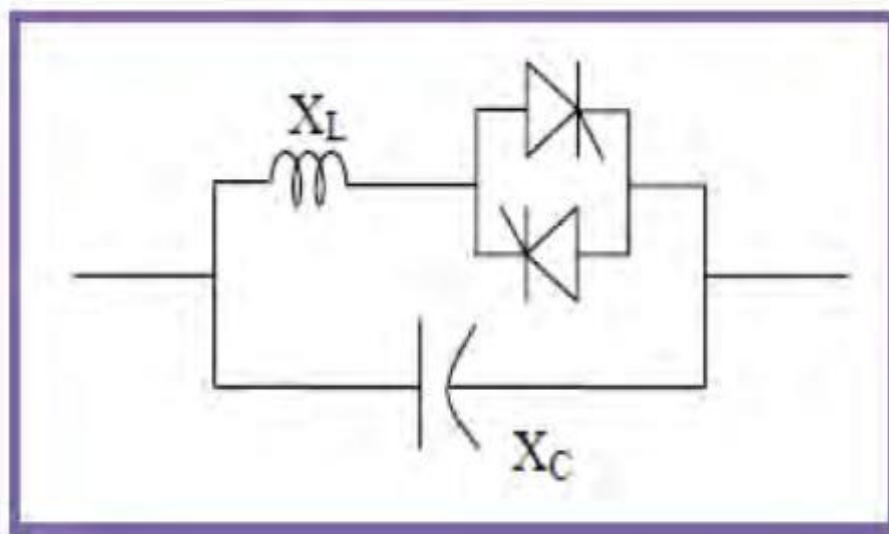


Figure II. 9 Structure du TCSC.

II.8.2.1.3 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. [34]

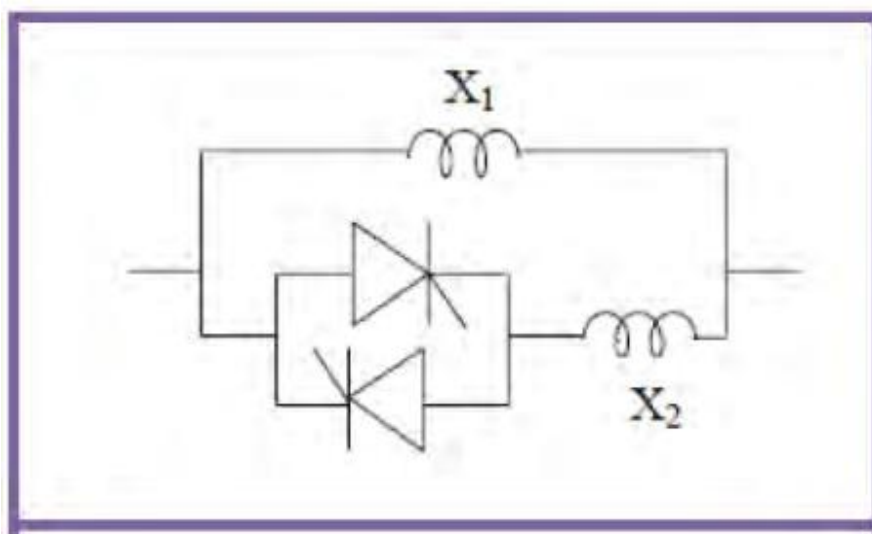


Figure II. 10 Structure du TCSR

II.8.2.2 Compensateurs séries à base de thyristors GTO :

II.8.2.2.1 Static Synchronous Series Compensator (SSSC) :

C'est l'un des plus importants dispositifs FACTS ; similaire à un STATCOM mais avec une tension de sortie injectée en série dans la ligne, son schéma de principe est donné par la figure (II.11). 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. [36]

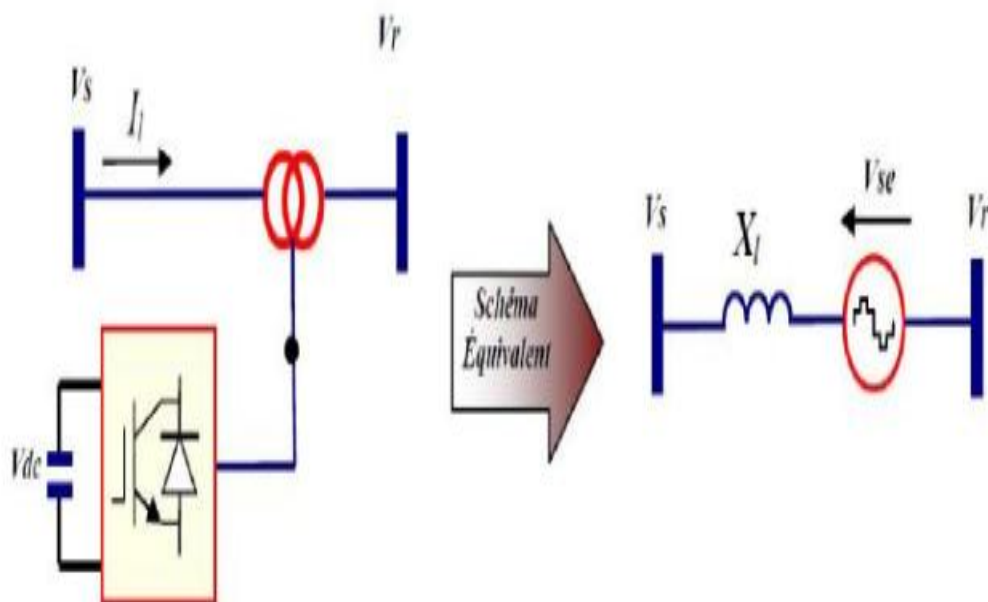


Figure II. 11 SSSC (a) structure de base, (b) schéma équivalent.

Dans le but d'un fonctionnement stable, ce dispositif performe les mêmes fonctions d'un SPS (static phase shifter) ou d'une impédance série variable de compensation : il injecte une tension en quadrature avec une tension des extrémités de la ligne pour contrôler le flux de puissance active.

Et comme ce système ne consomme pas de la puissance réactive à partir du réseau et possède son propre énergie réactive stockée dans les batteries de condensateur, il a l'aptitude de contrôler à la fois la puissance active et réactive. [36]

II.8.2.2.2 Restaurateur dynamique de tension (DVR) :

C'est l'un des plus importants dispositifs FACTS ; similaire à un STATCOM mais avec une tension de sortie injectée en série dans la ligne, son schéma de principe est donné par la figure (II.12). Ce dispositif appelé aussi DVR (Dynamic Voltage Restorer) lorsque le condensateur est remplacé par une batterie à courant continu, il est utilisé généralement dans les réseaux de distribution afin de résoudre les problèmes de qualité d'énergie tels que les creux de tensions et maintenir ces dernières à des niveaux constants. [27]

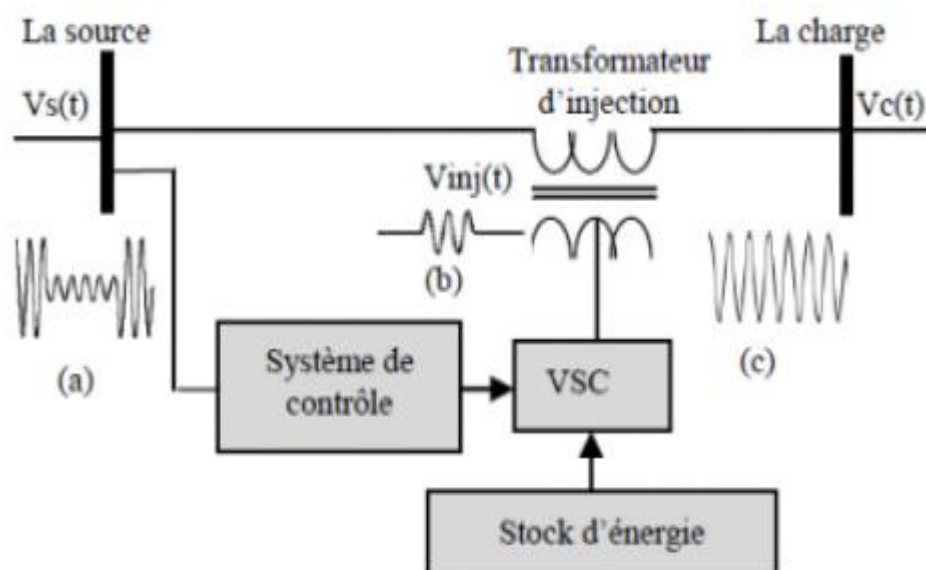


Figure II. 12 Schéma de la Structure d'un DVR

II.8.3 Compensateurs hybrides ou combinés série-parallèle :

Cette famille de compensateurs est la combinaison des autres groupes. 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. On d'écrira ci-après les principaux types de ce compensateur.

II.8.3.1 SPS (*Static Phase Shifter*):

Le déphaseur statique est un transformateur déphaseur à base de thyristors, ce dispositif a été conçu pour remplacer les anciens transformateurs déphaseurs commandés mécaniquement. Il est constitué de deux transformateurs l'un branché en série avec la ligne et l'autre en parallèle, la figure (II.13) donne un schéma de principe de ce dispositif et son schéma équivalent. [39]

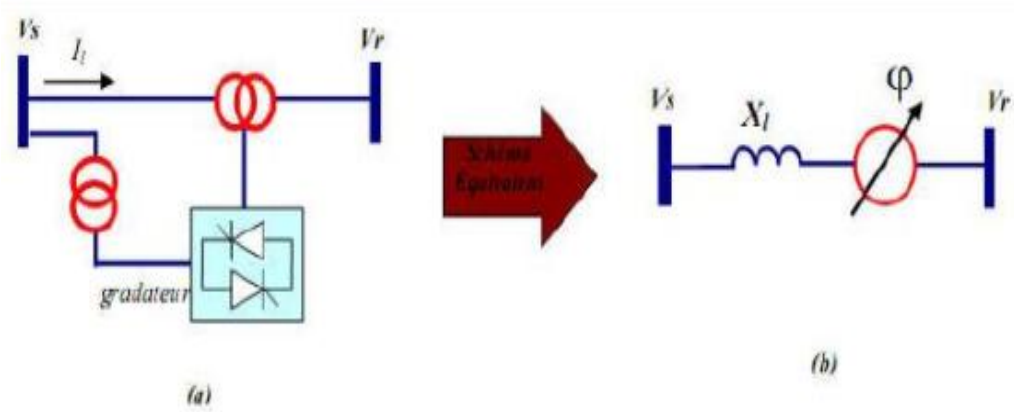


Figure II. 13(a) structure du SPS (b) schéma équivalent du SPS

II.8.3.2 UPFC (Unified Power Flow Controller) :

Le contrôleur de transit de puissance unifié UPFC (Unified Power Flow Controller) est formé de deux convertisseurs de tension reliés par une liaison à courant continu formée par un Condensateur. Il s'agit, en fait, de la combinaison d'un STATCOM et d'un SSSC. Son schéma est représenté à la figure (II.14). [29]

Le principe de l'UPFC consiste à dériver une partie du courant circulant dans la ligne pour le réinjecter avec une phase appropriée. Le convertisseur (1), connecté en parallèle, a pour fonction de prélever la puissance active et de la délivrer au convertisseur série (2). Ce dernier génère une tension U_{pq} , contrôlée en amplitude et en phase, qui est insérée dans la ligne.

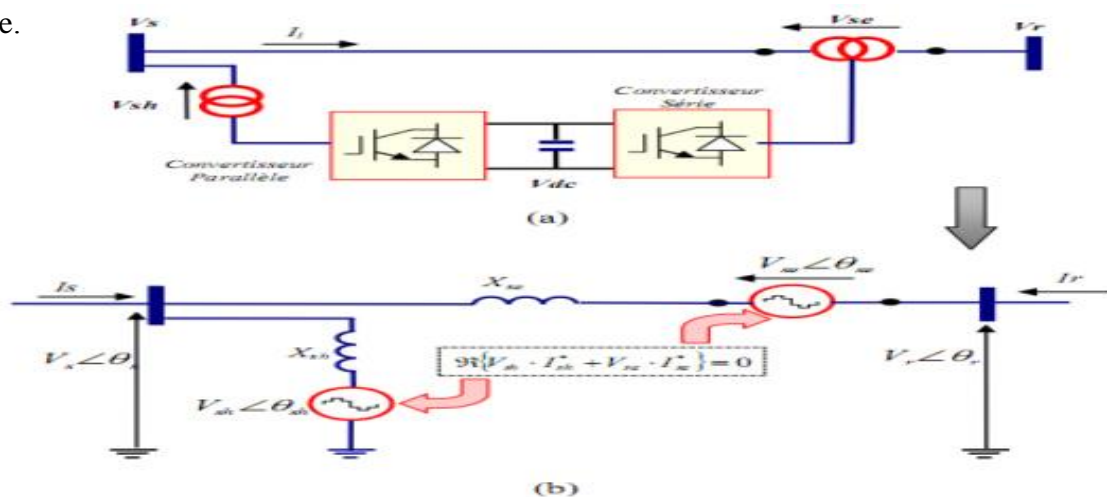


Figure II. 14(a) Schéma représentatif d'un UPFC, (b) Schéma équivalent du l'UPFC

Les principales applications du contrôleur de puissance universel sont :

- ❖ La commande des transits de puissances sur les lignes ;
- ❖ L'amélioration de la stabilité des réseaux électriques ;

- ❖ L'exploitation à pleine capacité des équipements et des lignes ;
- ❖ L'interconnexion des réseaux ; [37]
- ❖ Le réglage de la tension ;
- ❖ L'amélioration des flux de puissances active et réactive ;
- ❖ La limitation des courants de court-circuit ;
- ❖ L'amortissement des oscillations de puissance ;

II.9 Coût des dispositifs 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. Sur le plan économique, le critère généralement adopté dans l'évaluation des bénéfices obtenus par un FACTS est que l'accroissement des revenus doit excéder les coûts d'exploitations, de maintenance et d'amortissement de l'installation.

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 ou encore la technologie du semi-conducteur utilisé. [40]

II.10 Les avantages et les Inconvénients de la technologie des dispositifs FACTS :

II.10.1 Les avantage :

- ❖ contrôle du flux de puissance qui est la principale fonction des dispositifs FACTS. ce contrôle doit être réalisé selon un chi de charge prédéfini pour satisfaire les besoins des consommateurs.
- ❖ Améliorer la stabilité dynamique du système : entre autres des fonctions des FACTS 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.
- ❖ Contrôle de la puissance réactive : Réduction de l'écoulement de la puissance réactive, donc permettre aux lignes de transmettre plus d'énergies active et par conséquence réduire les pertes de transmission.
- ❖ Amélioration de la qualité de l'énergie. [41].

II.10.2 Inconvénients :

L'introduction des harmoniques du réseau électrique ce qui le rend pollué, c'est-à-dire le signal sera tendu et non sinusoïdale. Il rend le réseau vulnérable au sur tension dues aux commutations répétitives [42].

II.11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une vue globale sur les dispositifs FACTS (définition et le rôle, leurs classifications et différentes catégories, structure et principe de fonctionnement) avec des schémas qui structurent chaque dispositifs. Dans les chapitres suivants nous avons choisi d'étudier le DVR (Dynamic Voltage Restorer) comme dispositifs FACTS pour contrôler la tension et optimiser la puissance réactive dans un réseau de transport de l'énergie électrique.

Chapitre III

Étude Modélisation et commande de DVR

III.1 Introduction :

Les progrès rapides de la technologie de l'électronique de puissance ont permis d'atténuer les perturbations de tension dans les réseaux électriques. Les creux de tension sont la préoccupation la plus importante pour les charges sensibles parmi les perturbations de tension qui posent un défi à l'industrie. Le restaurateur de tension dynamique (DVR) est une alimentation connectée en série dispositif électronique qui peut rapidement atténuer les chutes de tension dans le système et rétablir la tension de charge à la valeur de pré-défaut. Le DVR est reconnu comme la meilleure solution efficace pour pallier ce problème. Le principal avantage du DVR est gardé les utilisateurs toujours en ligne avec une tension constante de haute qualité en maintenant la continuité de fabrication.

L'objectif fondamental de cette thèse est d'analyser, de modéliser et de simuler les DVR, que protège une charge sensible de 50 kVa. Les performances et l'efficacité de la méthode proposée sont étudiées avec différentes études de simulation par MATLAB/programme Simulink.

III.2 définition de DVR :

Le DVR est un dispositif de la commande de puissance qui peut avoir une excellente exécution dynamique, capable de protéger une charge sensible contre la majeure partie de perturbation comme : les creux de tension, les coupures brèves, les surtensions, les fluctuations et le déséquilibre de tension. Le DVR est un dispositif basé sur le principe de l'électronique de puissance qui est utilisé pour injecter des tensions en série et en synchronisme avec les tensions d'alimentation afin de compenser les anomalies de tension.

Il se compose d'un VSC, un transformateur d'injection, un filtre et un système de stockage d'énergie. Une meilleure compréhension de ce dispositif est importante pour atténuer ces problèmes de la qualité d'énergie, ceci nous permettrait de nous servir d'une meilleure manière des fonctions de tels dispositifs avec des techniques efficaces de commande [43].

III.3 Historique de DVR :

Les DVR ont été principalement développés pour protéger les dispositifs électriques sensibles des processus industriels de production comme la fabrication de semi-conducteurs et microprocesseurs. Ces industries peuvent avoir d'importantes pertes économiques à cause des creux de tension qui interrompent leurs processus de fabrication, d'où l'intérêt d'utiliser des systèmes de protection comme les DVR .Le premier DVR dans le monde a été installé en

1996 dans la sous-station (à 12.47 kV) de la société Duke Power en Caroline du Sud aux Etats-Unis. Il a été développé par Westinghouse Electric Corporation pour protéger une chaîne automatisée de fabrication [44]. Le Tableau 5.3 présente d'autres installations existantes [45] [46].

Emplacement	Pays	Année	Caractéristiques
PowerCor, Bonlac Foods	Australie	1997	22 KV, 2 MVA
Florida Power Corp	Etats-Unis	1997	12.47 KV, 2 MVA
Scottish Power, Caledonian Paper	Royaume-Uni	1997	11 KV, 4MVA
Asian Electronics Manufacturer	Inde	1998	2MVA
Salt River Project	Etats-Unis	1998	12.47 KV, 2x6 MAV
Fabrication de semi-conducteurs	Singapour	1988	22 KV, 4 MVA
Fabrication de semi-conducteurs	Etats-Unis	2001	10 MVA

Tableau III.1 Les installations existantes des DVR de distribution en MT

III.4 Domaines D'applications :

Utilisé dans les réseaux de distributions électriques moyennes (MT) ou basse tension(BT) pour compenser les anomalies liées à la tension, telle que les chutes de tension, les creux de tension, réduction des coupures de tension et d'harmoniques de tension [60].

III.5 Besoins de DVR au marché :

En raison de la réglementation du marché de l'énergie, le DVR comme nouvelle demande Équipement qui protège les équipements sensibles des rejets électriques, s'assurer

Pour le bon fonctionnement du DVR, le client place plusieurs conditions sur l'appareil .ces conditions Elle peut être liée aux points suivants [47] :

- La possibilité de compensation des creux de tension
- La fiabilité et disponibilité
- Les pertes
- La commande et la protection
- Les harmoniques
- La surveillance

III.6 Description générale d’un DVR :

Le DVR est conçu pour protéger les équipements sensibles et critiques contre de telles perturbations comme les creux de tension, ainsi, il est spécifiquement conçu pour des grandes charges (de 2MVA à 10MVA) servies à la tension de distribution [48]. La figure III.1 montre un diagramme schématique d’un DVR incorporé à un réseau de distribution.

Le DVR se compose de : un convertisseur VSC à MLI, un bloc de commande, un dispositif de stockage d’énergie de C.C, et un transformateur d’injection reliant en série au système à C.A [49]. Ce dispositif est approprié à résoudre une variété de problèmes de qualité et de fiabilité de puissance comprenant :

- Creux de tension.
- Surtension.
- Déséquilibres.
- Harmoniques.

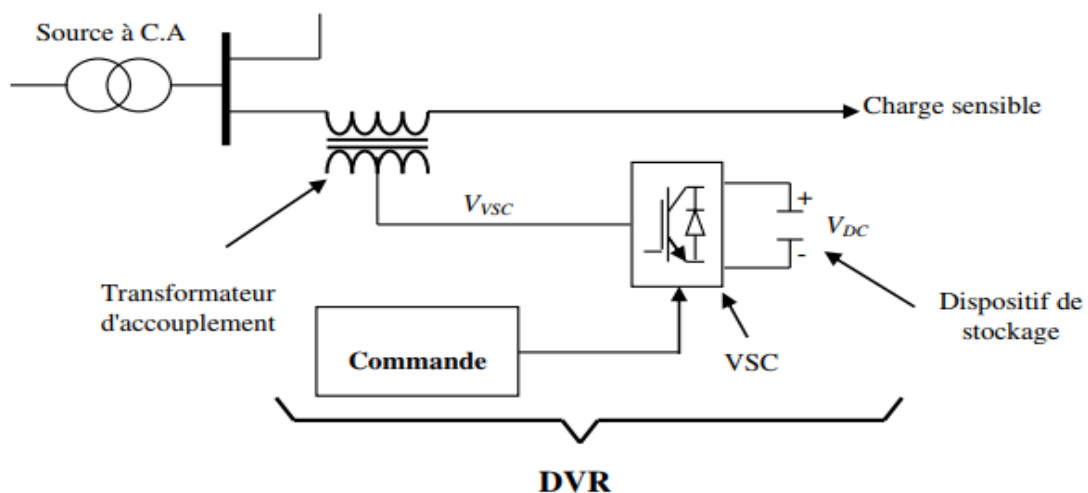


Fig. III. 1 Représentation schématique d’un DVR

III.6.1 Circuit de commande :

Lors de perturbations du système, l'objectif du circuit de contrôle est de maintenir une amplitude de tension constante au point de connexion d'une charge sensible. Le système de commande mesure seulement la valeur efficace de la tension au point de transition, c.à.d. aucune mesure de la puissance réactive n'est exigée. Ce circuit de commande est basé sur des contrôleurs pour ajuster les résultats, parmi ces contrôleurs, on spécifie notre étude sur les contrôleurs PI [50].

Le contrôleur PI est représenté par deux structures de régulation, l'une proportionnelle, et l'autre intégrale, dont les gains sont respectivement K_p et K_i . L'objectif de ce régulateur est de régler le signal de modulation qui conduit le modulateur de largeur d'impulsion MLI. Ceci a été modélé par une combinaison en cascade de deux blocs séparés [51].

L'entrée de contrôleur PI est un signal d'erreur obtenu à partir de la comparaison entre la valeur efficace de la tension mesurée V_m et la tension de référence V_{ref} . La sortie de contrôleur PI est un signal traité d'angle δ , comme représenté dans la figure.III.2 ce qui est fourni au générateur MLI. Ce signal d'angle δ est exigé pour conduire l'erreur à zéro, c.-à-d., la tension efficace de la charge est apportée de nouveau à la tension de référence [52].

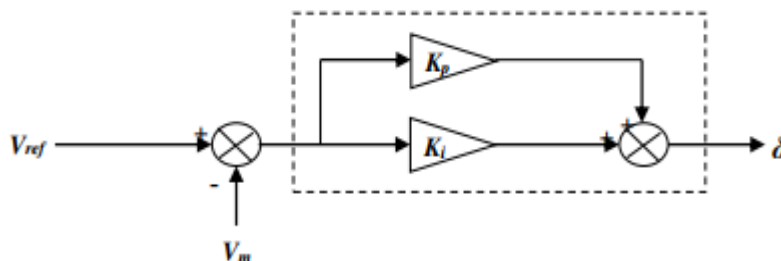


Fig. III. 2 Contrôleur PI

III.6.2 Convertisseur de source de tension VSC :

Un convertisseur de source de tension est un dispositif de l'électronique de puissance basé sur des commutateurs à semi-conducteurs, comme illustré dans la figure.III.3. Le VSC peut produire une tension sinusoïdale avec n'importe quel angle exigé d'amplitude, de fréquence et de phase. Il est largement répandu dans la commande de la vitesse réglable. Il est relié à un certain genre d'équipement de stockage d'énergie, qui fournira une tension en C.C, mais peut être également employé pour atténuer les chutes de tension, c.à.d. il est employé complètement pour absorber ou injecter la tension absente, cette tension est résulté par la différence entre la tension nominale et la tension réelle [52].

La stratégie de la commutation de VSC est basée sur la technique de la commande MLI qui offre la simplicité et la bonne réponse optimale.

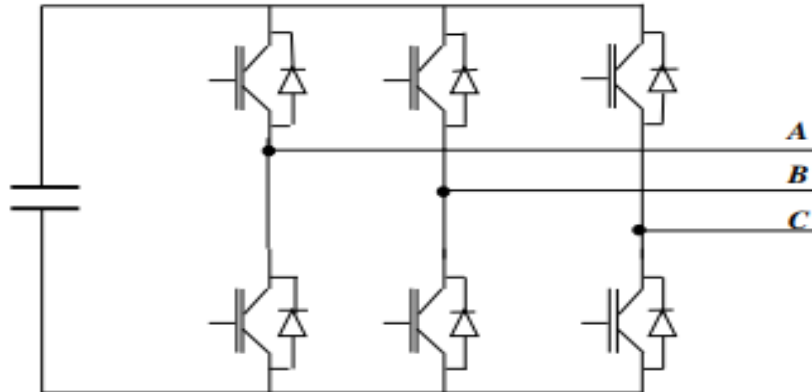


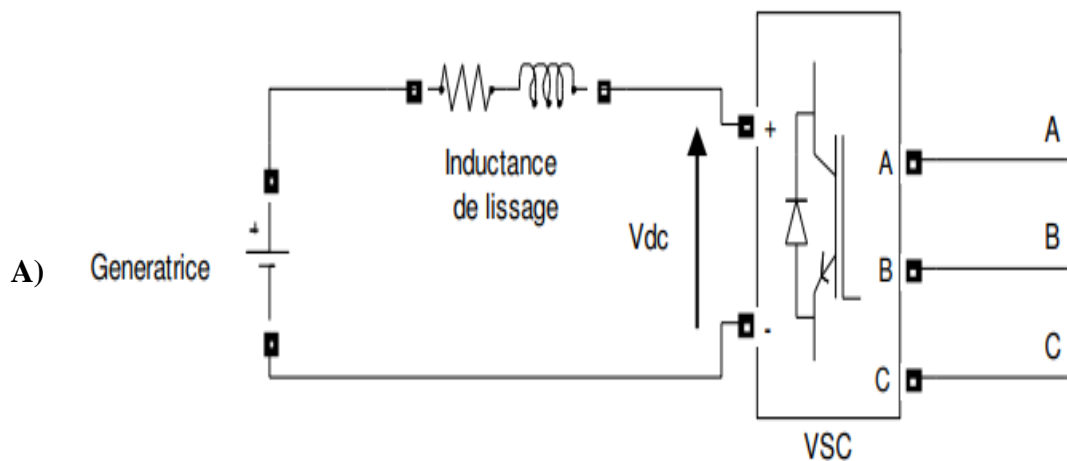
Fig. III. 3 Représentation schématique d'un VSC

III.6.3 Système de stockage d'énergie :

Le système de stockage d'énergie est basé sur deux paramètres plus importants pour avoir des possibilités de fournir l'énergie continue au VSC. Premièrement, la tension aux bornes de VSC de côté continu soit toujours suffisamment élevée pour générer la tension de compensation nécessaire. Deuxièmement, le dimensionnement du système de stockage d'énergie doit être conçu aux types de perturbations [53]. Les systèmes de stockage d'énergie ont pour but de charger le bus continu reliant le VSC. Dans l'industrie, l'utilisation des différents types de ces systèmes sont selon les besoins techniques étudiés.

III.6.3.1 Source d'énergie indépendante :

L'alimentation en énergie est assurée par une ligne indépendante ou une source d'énergie indépendante, qui n'est pas affectée par les perturbations fonctionnant sur la ligne protégée. La figure.III.4 donne des exemples sur des sources indépendantes alimentant le DVR.



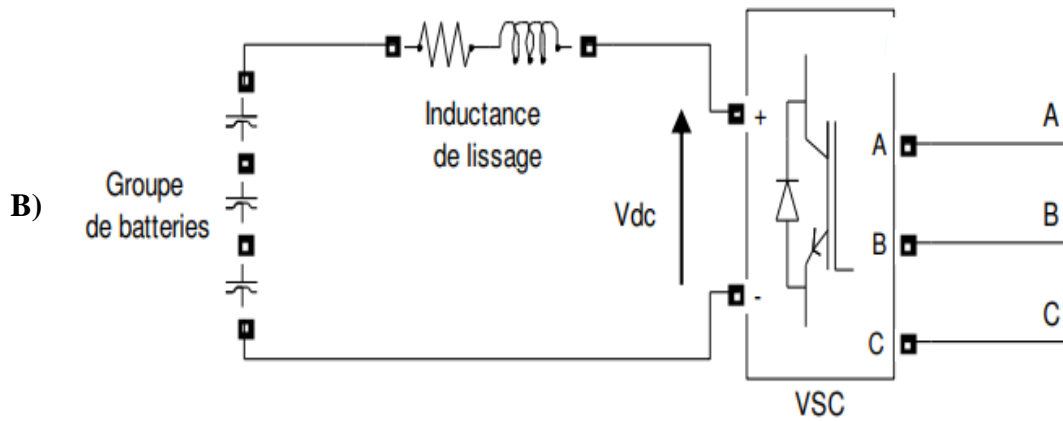


Fig. III. 4 Alimentation indépendante ; a) par génératrice, b) par des batteries

III.6.3.2 : Source d'énergie dépendant de la charge protégée :

Dans ce cas, cette source est réalisée sous forme d'une boucle fermée à l'aide d'un redresseur comme montré dans la figure.III.5, de façon que l'alimentation triphasée de redresseur soit obtenue par la ligne de la charge protégée pour assurer une tension continue propre et suffisante pour compenser les perturbations agissant sur le réseau d'alimentation [54].

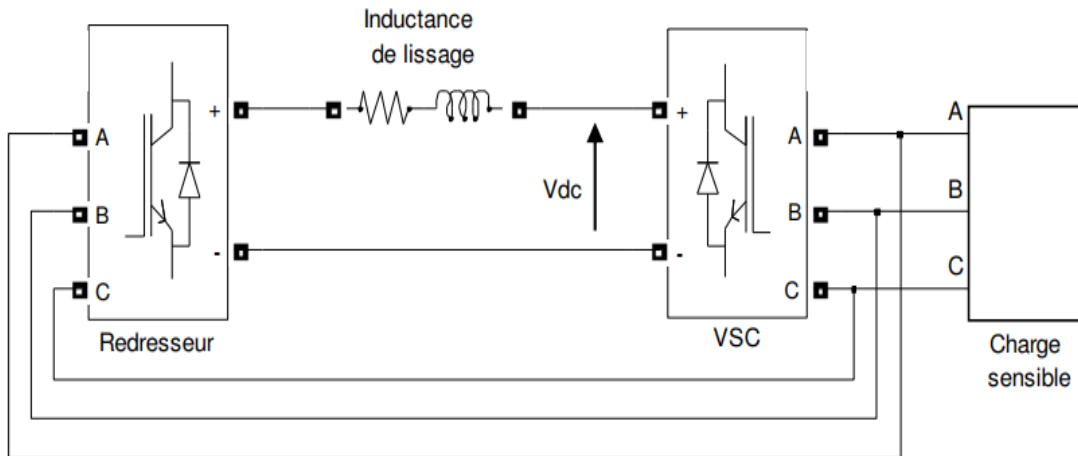


Fig. III. 5 Alimentation à partir de la ligne de la charge protégée.

III.6.4 Système de filtrage :

Le système de filtrage est un circuit électrique composé d'inductances et de capacités, son but est d'éliminer les harmoniques de découpage et d'obtention d'une tension compensatrice de bonne qualité. Ce système est placé entre le convertisseur VSC et le transformateur d'injection (Figer. III.6), pour éviter l'injection des harmoniques et protéger

les composantes de transformateur contre les atténuations dues aux commutations de l'onduleur [55].

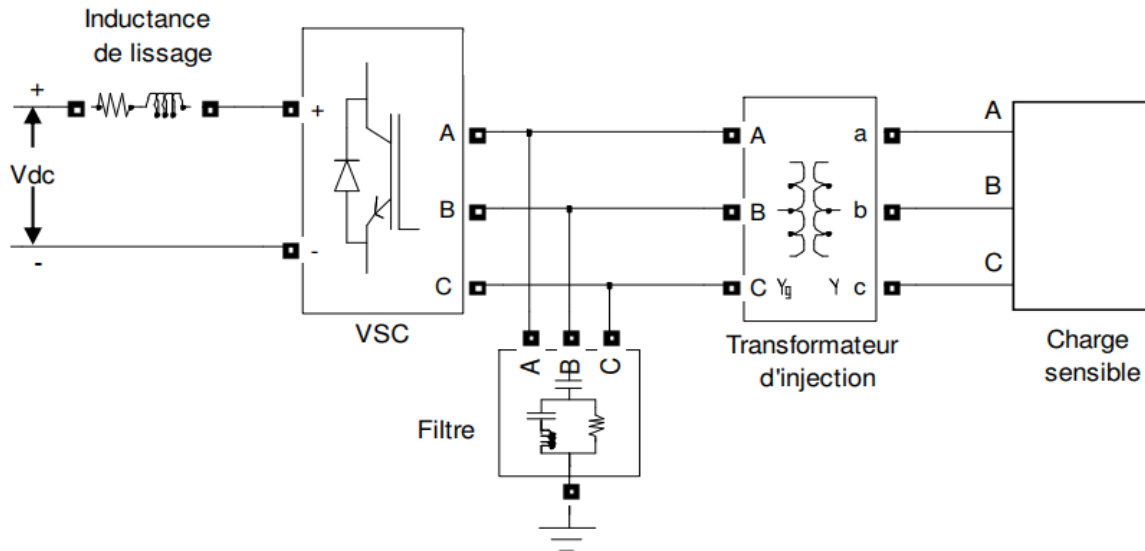


Fig. III. 6 Schéma d'emplacement d'un filtre passe-bas.

III.6.5 Transformateur d'injection :

Le transformateur d'injection ou dit aussi d'accouplement est un élément de raccordement en série des équipements de compensations avec le réseau d'alimentation d'une part, d'autre part permet l'injection des tensions souhaitées produites par le VSC en série dans ce réseau. La figure.III.7 présente un schéma d'emplacement de transformateur d'injection dans un tel système de distribution [56,57], l'utilisation de ces transformateurs impose des soucis économiques via leurs coûts élevés, et techniques à cause de chute de tension occasionnée par leurs inductances de fuite L_f , avec le développement des semi-conducteurs et des topologies multi-niveaux des VSC, les technologies de raccordement direct au réseau sont en évolution.

L'étude économique et technique d'un transformateur à tenir en compte spécialement ses dimensions et choix, ces règles sont basées sur deux aspects de son fonctionnement, l'une le fonctionnement en régime déséquilibré, et l'autre en chute de tension. Le couplage se fait en étoile pour compenser correctement toutes les perturbations, malgré le couplage en triangle qui permet une optimisation de la tension continue [58,59].

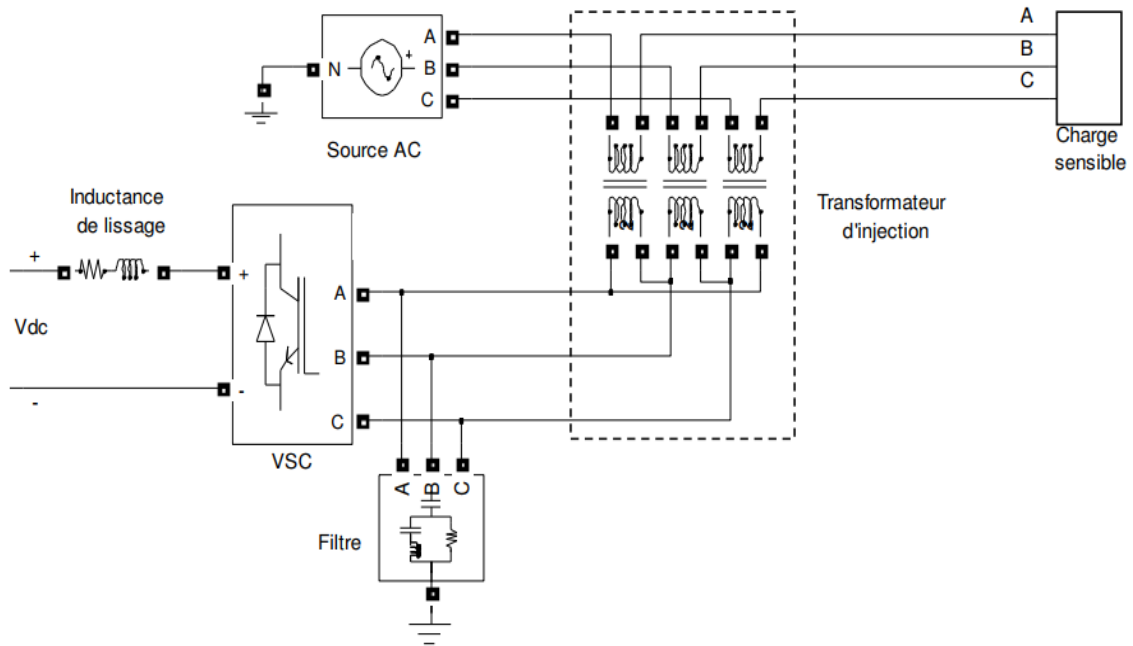


Fig. III. 7 Schéma d'emplacement de transformateur d'injection.

III.7 Principe de fonctionnement d'un DVR :

Durant son fonctionnement, le DVR permet d'injecter, en série au réseau, une tension fidèlement opposée à la perturbation enregistrée dans ce dernier. La détection, l'identification et la génération de cette tension est obtenue grâce à un dispositif de détection associé à une commande pilotant le convertisseur de source de tension (VSC) qui reproduit la perturbation à compenser.

Quand le DVR repère une déformation au niveau de la tension, le système de contrôle fait une comparaison entre la tension nominale et la tension perturbée afin d'obtenir une tension appropriée à la tension perdue qui sera injectée par le DVR pour maintenir la stabilité de la tension de charge, cette différence de tension exige une certaine quantité de la puissance active et réactive de DVR[60].

La puissance réactive troquée entre le DVR et le système de distribution est produite intérieurement par les composants de VSC à semi-conducteur de DVR. La puissance active échangée sur les bornes de sortie de DVR à C.A est fournie par l'équipement de stockage d'énergie. [61,62].

III.8 Avantages :

Le DVR offre plusieurs avantages dont certains sont les suivants :

- Elimine les surtensions, les creux de tension, et protéger les charges critiques
- Atténuer les problèmes de la qualité de l'énergie électrique.
- La simplicité et bonne réponse à cause de l'utilisation du VSC et une commande MLI
- Excellente exécution dynamique et capable d'une protection critique d'une charge sensible contre les différentes perturbations de tension.
- Le maintien de la tension de charge équilibrée et constante à la valeur nominale.
- Plus petit et moins coûteux que le D-STATCOM.

III.9 Inconvénients :

- Le DVR consomme certaine quantité d'énergie au moment de son intervention ce qui Favorise l'augmentation de courant de source.
 - Coût élevé Compense seulement les anomalies liées à la tension
 - La charge et la décharge du condensateur (pour le cas où le système de stockage d'énergie de DVR est un condensateur) durant le fonctionnement réduit la durée de vie de ce dernier en plus de ces inconvénients le DVR a des limitations qui sont :
- **Limite de tension** : La conception du DVR est limitée dans les possibilités d'injection pour réduire le coût et pour réduire la chute de tension à travers le dispositif dans l'opération de réserve.
 - **Limite courante** : Le DVR a une limitation dans des possibilités courantes de conduction pour réduire le coût.
 - **Limite de puissance** : La puissance est stockée dans le lien à C.C, mais la puissance en bloc est souvent convertie de l'approvisionnement lui-même ou d'un plus grand stockage de C.C. Un convertisseur additionnel est employé souvent pour maintenir une tension constante de lien C.C.et l'estimation du convertisseur peut présenter une limite de puissance au DVR.
 - **Limite d'énergie** : De l'énergie est employée pour maintenir la tension de charge constante et le stockage est normalement classé aussi bas que possible afin de réduire le coût. Quelques immersions épuiseront le stockage rapidement [60].

III.10 Modélisation de DVR :

Le DVR dispose de deux (02) modes de fonctionnement qui sont le mode d'injection zéro de la puissance active (ZAPI : zéro active power injection) et le mode d'injection minimum de la puissance apparente (MAPI : minimum apparent power injection) [63].

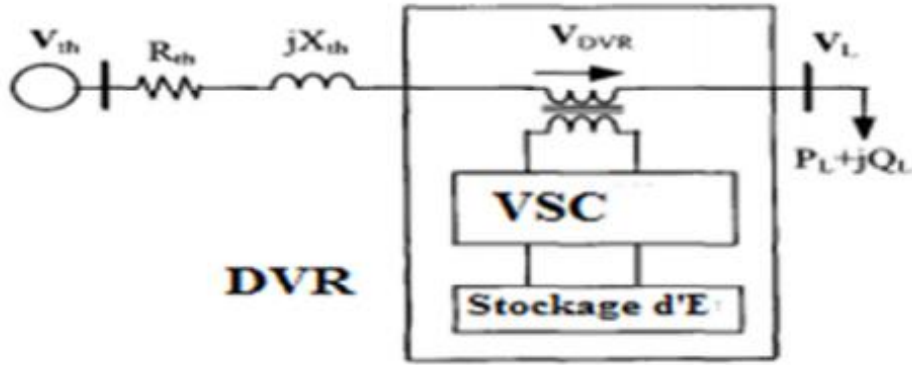


Fig. III. 8 Schéma équivalent d'un DVR

$$z_{th} = R_{th} + jx_{th} \tag{III.1}$$

Est l'impédance de système qui dépend de niveau de défaut de la liaison de charge. Quand des chutes de tension apparaissent dans le système (V_{th}), le DVR injecte une tension V_{DVR} en série via le transformateur d'injection de sorte que la grandeur désirée V_L de tension de charge doit être maintenue. (Figure. III.8). La tension injectée en série par DVR s'écrit :

$$v_{DVR} = v_L + z_{th}I_L - v_{th} \tag{III.2}$$

I_L : Désigne le courant de charge, est donné par :

$$I_L = \left[\frac{p_L + jQ_L}{v_L} \right] \tag{III.3}$$

Quand v_L est considéré comme référence, l'équation (III.1) devient :

$$v_{DVR}/\alpha = v_L/\alpha + v_L/0 + z_{th}I_L/(\alpha - \theta) - v_{th}/\delta \tag{III.4}$$

$\alpha \beta \delta$ Sont les angles de v_{DVR} et z_{th} et v_{th} respectivement et θ l'angle de facteur de puissance de la charge $\theta = \tan^{-1} \left(Q_L/P_L \right)$

L'injection de la puissance apparente complexe s'écrit :

$$S_{DVR} = V_{DVR}I_L^* \tag{III.5}$$

Quand la tension injectée de V_{DVR} est maintenue en quadrature avec I_L aucune injection de puissance réactive par le DVR destinée pour corriger la tension

Notons que v_{DVR} peut être maintenu en quadrature avec I_L seulement jusqu'à une certaine valeur de la diminution de tension et au-delà de cette valeur, le rapport en quadrature ne peut pas être maintenu pour corriger la chute de tension.

La puissance active injectée doit être fournie par le système de stockage d'énergie de DVR

et d'une part, quand l'importance de la tension injectée par DVR est réduite au minimum, la correction de la tension désirée peut être réalisée avec le minimum de puissance apparente injectée dans le système. Cet aspect de la correction de tension est également très important parce qu'elle réduit au minimum la taille du transformateur d'injection. La correction de tension par un DVR pour l'injection zéro de puissance active (ZAPI) et injection minimum de puissance apparente (MAPI) sont présentés ci-dessus

III.10.1 Injection zéro de la puissance active :(ZAPI : Zéro active power injection) :

Comme cité précédemment que, quand la différence d'angle de phase entre v_{DVR} est maintenue à $\frac{\pi}{2}$, aucune injection de puissance active dans le système n'est exigée pour corriger le fléchissement de tension, dans ce cas, l'angle α de la tension v_{DVR} injectée s'écrit :

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta \quad (III.6)$$

De l'équation (III.4), l'angle α est exprimé comme suit :

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{z_{th} I_L \sin(\beta - \alpha) - v_{th} \sin \delta}{v_L + z_{th} I_L \cos(\beta - \alpha) - v_{th} \cos \delta} \right] \quad (III.7)$$

On remplace de l'équation (III.5) dans (III.6) on obtient l'angle de phase δ et v_{th} qui peuvent s'exprimer par des équations suivantes :

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{c_1 - c_2}{\sqrt{c_3^2 + c_4^2}} \right) - \gamma \quad (III.8)$$

Ou' : $c_1 = VI + z_{th} I_L \cos(\beta - \alpha)$, $c_2 = z_{th} I_L \tan \theta \sin(\beta - \alpha)$,

$c_3 = V_{th} c_4 \tan \theta$ et $\delta = \tan^{-1}(c_4/c_3)$

Pour une valeur de δ suffisante la condition :

$$\frac{c_1 - c_2}{\sqrt{c_3^2 + c_4^2}} \leq 1 \quad (\text{III.9})$$

Doit être vérifiée.

Après quelques manipulations mathématiques de l'équation (III.9), elle s'écrit comme suit : $V_{th} \geq (V_L \cos \theta + z_{th} I_L \cos \theta)$

(III.10)

Le terme $(V_L \cos \theta + z_{th} I_L \cos \theta)$ dépend du courant de charge (I_L) de la tension de charge (v_L) et de l'impédance de la ligne z_{th}

Quand V_{th} est vérifiée (équation.III.10), la régulation de la tension désirée est réalisée sans aucune injection de la puissance active dans le système.

Dans ce cas-ci, l'injection de V_{th}^* sera obtenu à partir de l'équation (III.4) avec une valeur de δ trouvée dans l'équation (III.8).

Une fois que la valeur de V_{DVR} est connue, l'injection de S_{DVR} sera déduite à partir de l'équation (III.5) et contient juste le composant réactif.

III.10.2 Injection minimale de puissance apparente (MAPI : Minimum Apparent Power Injection) :

Pour un courant de charge donné, la puissance apparente injectée par le DVR dépend de la tension injectée. De l'équation (III.4), la tension injectée est :

$$V_{DVR}^2 = V_L^2 + V_{th}^2 + Z_{th}^2 I_L^2 + 2V_L Z_{th} I_L \cos(\alpha - \theta) - 2V_L Z_{th} I_L \cos(\beta - \theta - \delta) - 2V_L V_{th} \cos \delta \quad (\text{III.11})$$

Ainsi pour une injection minimale de la puissance apparente, la condition :

$$\frac{\partial V_{DVR}^2}{\partial \delta} = 0 \quad (\text{III.12})$$

Doit être vérifiée et la résolution de l'équation (III.11) dépend de la valeur de δ

L'expression de δ est donnée par :

$$\tan^{-1} \left[\frac{Z_{th} I_L \sin(\beta - \theta)}{V_L + z_{th} I_L \cos(\beta - \theta)} \right] \quad (\text{III.13})$$

Une fois que la δ valeur de est connue, la tension v_{DVR} et S_{DVR} peuvent être encore obtenues à partir des équations (III.3) et (III.4), respectivement.

III.11 Conclusion :

Ce chapitre est consacré à la modélisation de DVR dans certaines fonctions de contrôle et de régulation de tension au moyen de la compensation de puissance réactive.

Le DVR comporte obligatoirement un convertisseur de source de tension, un système de stockage d'énergie pour maintenir la tension continue de condensateur, et un transformateur d'accouplement qui relie le DVR en série avec le réseau d'alimentation, et dit aussi transformateur d'injection dans le but d'injecter des tensions compensatrices au réseau pour corriger les anomalies de tension des charges à protéger.

Les résultats d'une simulation du fonctionnement d'un DVR couplé à un réseau électrique seront traités en détail dans le chapitre quatrième.

Chapitre IV

Résultats et simulation

IV.1 Introduction :

Le signal électrique est soumis à diverses perturbations aux propriétés variables qui affectent la qualité de cette énergie en fonction de la tension au point de connexion, telles que les déséquilibres de tension et de courant, les distorsions harmoniques, les coupures brèves, les creux de tension, les surtensions transitoires, la fréquence et variations de tension, surtensions transitoires, etc.

Le but de ce chapitre est de simuler à l'aide du logiciel MATLAB /Simulink, l'influence de l'insertion d'un DVR sur les perturbations de la tension d'un réseau électrique sur une charge sensible.

IV.2 Correcteur à Actions Proportionnelle et Intégrale (PI) :

IV.2.1 Principe :

La relation entre la sortie $u(t)$ et le signal d'erreur $\varepsilon(t)$ est :

$$u(t) = k_p \cdot \varepsilon(t) + k_i \cdot \int_0^t \varepsilon(t) dt \quad (\text{IV.1})$$

Sa fonction de transfert est donc :

$$C(p) = \frac{u(p)}{\varepsilon(p)} = k_p + \frac{k_i}{p} = k_p \left(1 + \frac{k_i}{k_p} \frac{1}{p} \right) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_n p} \right) \quad (\text{IV.2})$$

Où :

k_p : Gain proportionnel.

k_i : Gain intégral.

$T_i = \frac{1}{k_i}$: Constante de temps d'intégration.

$T_n = \frac{k_p}{k_i} = k_p \cdot T_i$: Dosage de corrélation d'intégrale.

Son schéma fonctionnel est celui de la figure IV.1

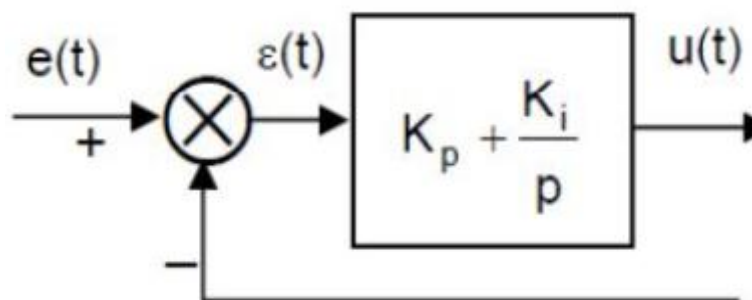


Figure IV. 1 Correction PI

La figure IV.2 donne la réponse indicielle du correcteur PI.

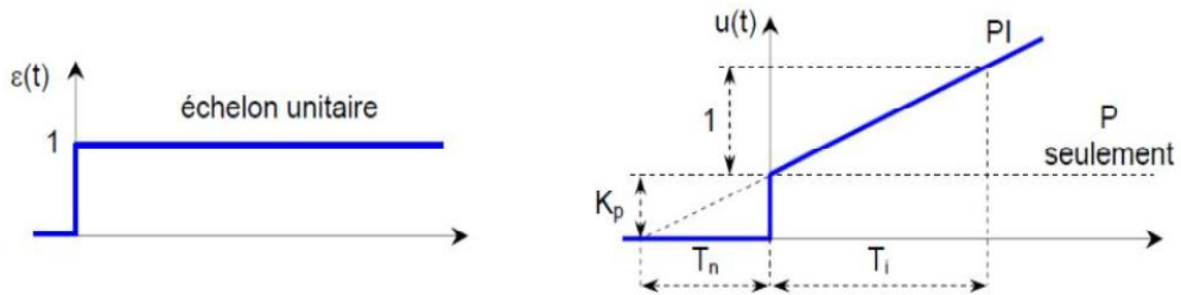


Figure IV. 2 Entrée et sortie du correcteur PI

IV.2.2 Effet :

La réponse indicielle montre qu'un correcteur PI assure une transmission instantanée du signal d'erreurs, suivi d'une intégration de ce signal.

1. Ce correcteur sera utilisé chaque fois qu'une erreur permanente doit être annulée ou minimisée, c'est à dire une amélioration de la précision du système. En effet, il introduit une augmentation du gain global du système aux basses fréquences.
2. Par ailleurs, le correcteur PI a un effet déstabilisant en raison du pôle à l'origine (déphasage supplémentaire entre 0 et -90°). Mais, Le zéro supplémentaire introduit tend à minimiser cette instabilité.
3. Il est recommandé de placer le zéro $-\frac{k_i}{p_i}$ du correcteur aux basses fréquences de sorte que le déphasage supplémentaire introduit par le correcteur n'affecte pas beaucoup le déphasage global du système corrigé. Cependant, s'il est très proche de l'origine, son effet sera compensé par le pôle à l'origine.
4. k_p sera choisi de manière à modifier, éventuellement, la fréquence de coupure du système corrigé et donc sa marge de phase.
5. Très souvent, le zéro $-\frac{k_i}{p_i}$ est choisi de manière à compenser la constante de temps dominante du système initial de sorte que la boucle fermée gagne en rapidité.

k_p Et k_i sont tous deux réglables. k_p ajuste l'action intégrale, tandis que k_i affecte à la fois les actions intégrale et proportionnelle.

IV.3 Description de système à simuler :

La structure du schéma général se compose de : un restaurateur de tension dynamique, une charge (R), un onduleur et une commande, comme illustré à la Figure (IV.1).

Les résultats suivants représentent la réponse du DVR commandé par régulateur PI, dans le repère triphasé basé sur la méthode de puissance active instantanée lors. En appliquant des différentes perturbations sur un réseau électrique relié à une charge linéaire au moment 0.2s pour tester la robustesse de régulateur PI.

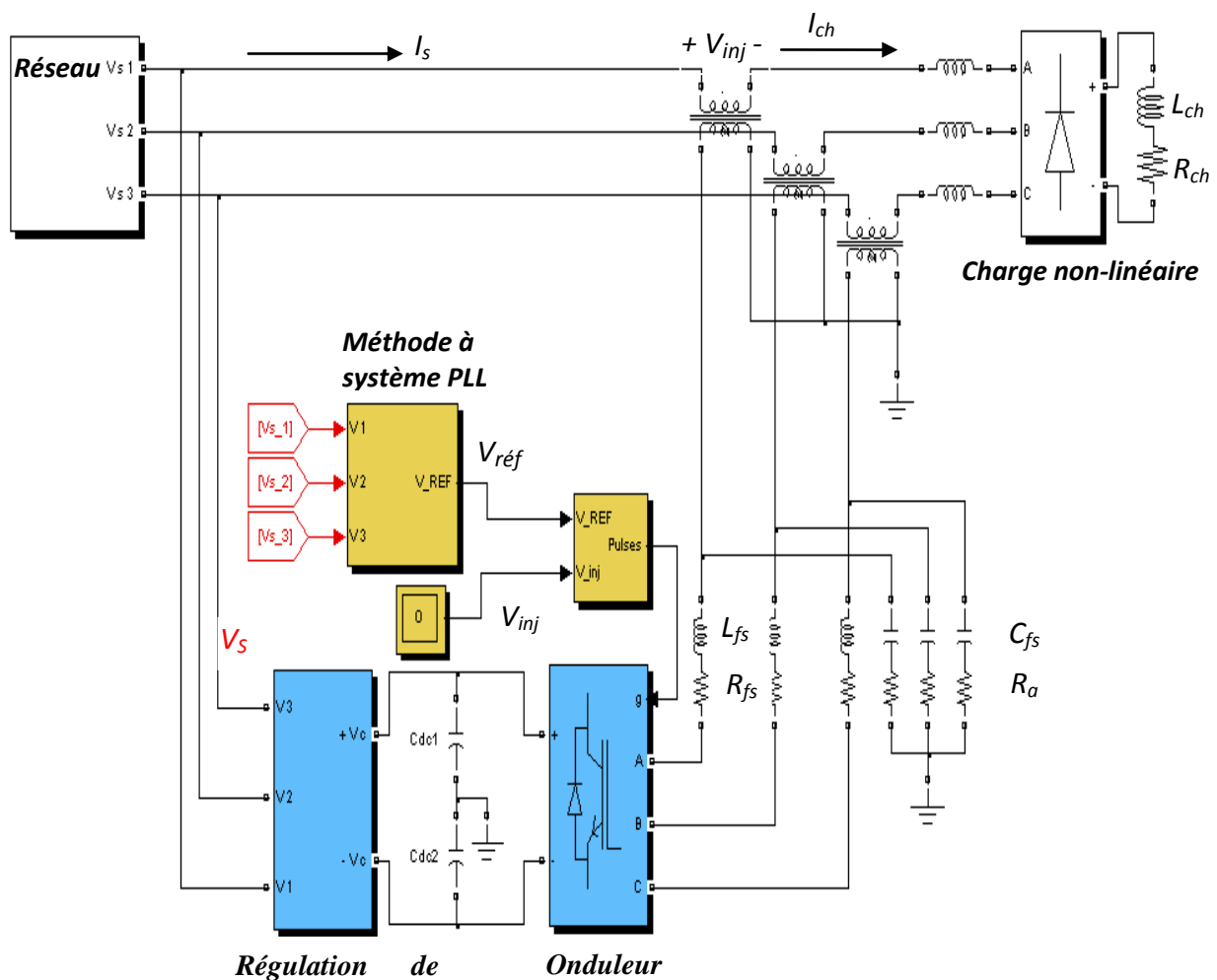


Figure IV. 3 Structure générale du DVR étudié.

IV.4 Paramètres de simulation :

Type de réseau	$S_{cc} / S_{ch} = 3000$
La tension de phase U	220 V
La fréquence de source f_s	50 Hz
Filtre de sortie du DVR : $R_a, R_{fs}, C_{fs}, L_{fs}$	0.1 Ω , 0.030 Ω , 82 μ F, 220 μ H
Dc condensateur C_{dc}	8.8 mF /2
Transformateurs d'injection de tension	45 kVA, 220 V, 1:1
Les paramètres du Transformateur R_t, L_t, R_m, L_m	0.0001pu, 0.0001pu, 5000pu, 5000pu
Puissance nominale de la charge S_N .	80kVA
L'inductance de lissage L_{smooth}	70 μ H

Tableau .IV.1 Paramètres du système

IV.5 Simulation :

Les résultats suivants représentent la réponse du DVR commandé par régulateur PI, dans le repère triphasé basé sur la méthode de puissance active instantanée lors. En appliquant des différentes perturbations sur un réseau électrique relié à une charge linéaire au moment 0.2s pour tester la robustesse de régulateur PI.

Les paramètres du système sont les suivants :

- La tension composée est de 380v
- La fréquence est de 50Hz
- La période de défaut est 0.2s

Dans ce travail, on applique des différentes perturbations en tension sur deux phases d'un système triphasé.

IV. 5.1 Compensation des creux de tension triphasés :

Les creux de tension ont pour principale origine les courts- circuits affectant le réseau électrique ou les installations raccordées, et le démarrage des moteurs de forte puissance. Toutefois, les courts- circuits restent la principale cause de creux de tension et de coupures brèves.

AVANT DVR :

Un creux de tension est une diminution brutale de la tension d'alimentation qui peut atteindre jusqu'à 70% de la tension nominale affectant seulement l'amplitude de cette tension. Ce phénomène sera simulé par une source de tension programmable paramétrée comme suit : tension efficace phase-phase $U_s=380\text{V}$, l'amplitude de creux 0.3 pu, appliquée dans un intervalle du temps de 0.2s à 0.4s.

La figure. IV 4 (a) montre une diminution de 30 % de la tension d'alimentation sur trois phases à partir de l'instant 0.2s jusqu'à 0.4s.

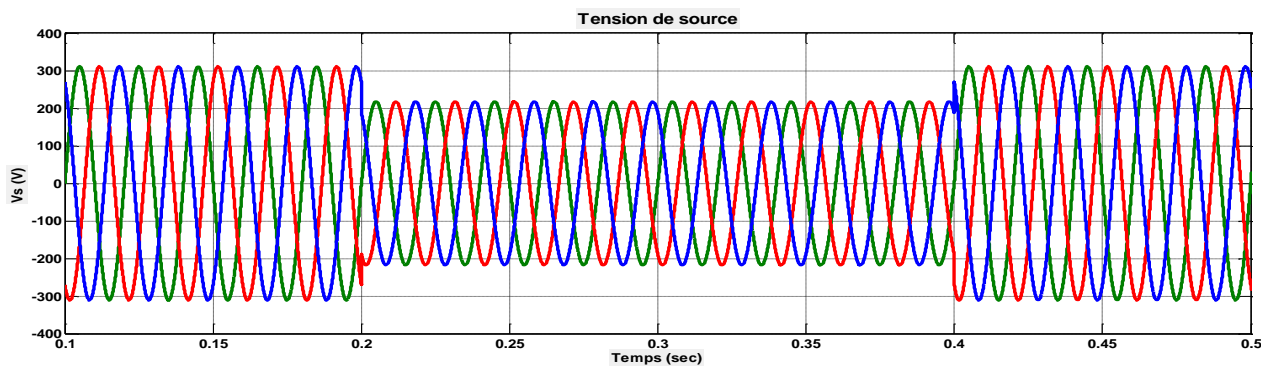
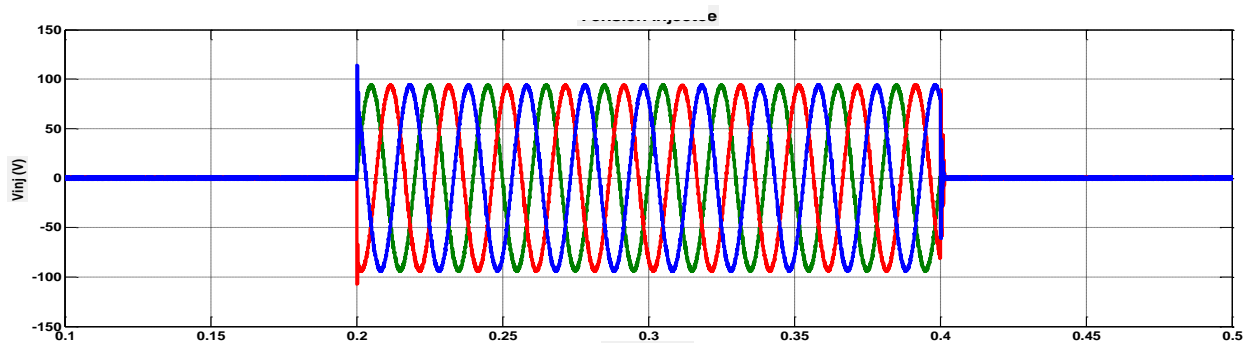
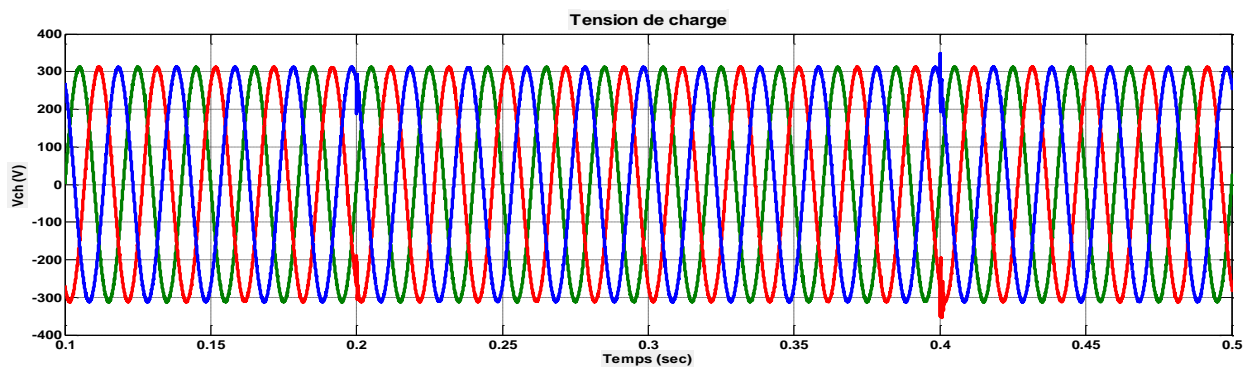
**(a)****(b)****(c)**

Figure IV. 4 Compensation des creux de tension des trois phases.

APRÈS DVR :

Quand le DVR détecte un défaut de la tension au point de couplage commun (PCC) sous forme d'une diminution de la tension nominale Fig. IV.4 (a), il intervient immédiatement par une injection d'une tension compensatrice synchronisée et en phase Fig. IV.2 (b),

Nous notons sur la Fig. IV.4 (c) que la tension s'est améliorée et stabilisée après que le DVR a augmenté la tension à partir de la période 0.2s jusqu'à 0.4s, pour que la charge à protéger garde toujours sa tension propre et efficace.

IV.5.2 Compensation des surtensions triphasées :

Les surtensions sont une des causes possibles de défaillances d'équipements électriques ou électroniques.

Les surtensions peuvent avoir deux origines : cause interne : elles peuvent être associées à une défaillance ou un défaut de construction entraînant des hausses de tensions. Le risque de surtension augmente en allumant ou en éteignant les appareils. Cause externe : elles sont dues à un phénomène extérieur, tel que la foudre ou des fluctuations de tension sur le réseau électrique.

AVANT DVR :

Les surtensions sont des élévations soudaines de la tension nominale, et peuvent atteindre plus de 50% de la valeur efficace.

La Fig.IV.5 (a) présente une élévation de tension d'alimentation produite par un défaut extérieur (soit un court-circuit entre deux phases ou la foudre) qui atteint à peu près 400V, entre les instants 0.2s et 0.4s, on remarque une augmentation de 30 % de la tension d'alimentation sur trois phases, Tel que Cette élévation affecte seulement l'amplitude de la tension nominale.

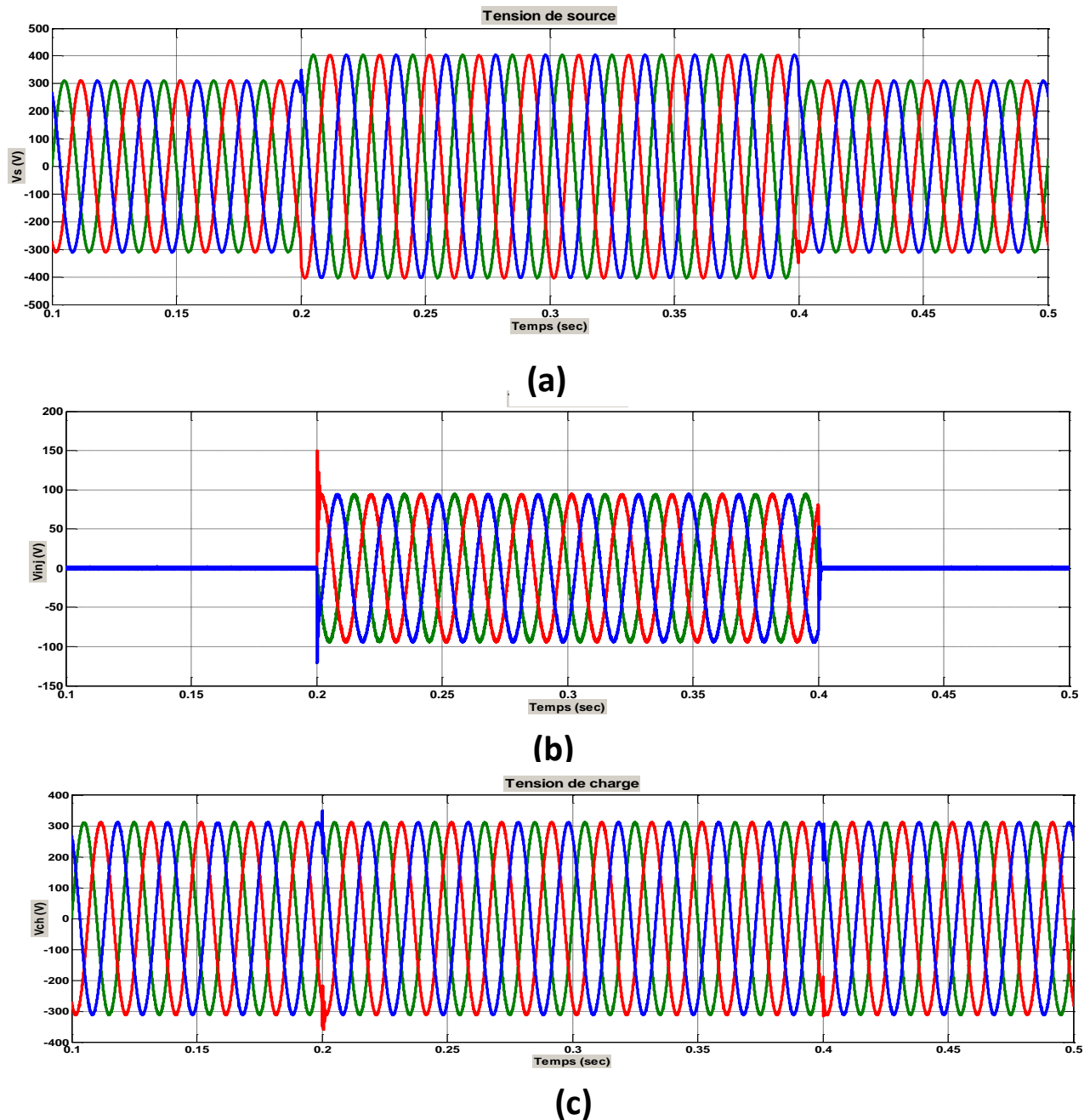


Figure IV. 5 Compensation des sursensions des trois phases.

APRÈS DVR :

Le DVR injecter une quantité d'énergie équivalente, synchronisée et en opposition de phase à celle présentée par ce défaut pour l'éliminer Fig.IV.5 (b). Cette intervention de DVR garde toujours la stabilité de la tension de charge à protéger, ce qui est montré sur la Fig.IV.5 (c).

D'après plusieurs essais de simulation, on confirme que le DVR peut atténuer toutes les élévations de tension allant jusqu'à une valeur double de la tension fondamentale, même pour

des cas spéciaux comme le pic de tension, alors, le DVR présente une bonne efficacité de protection contre les différentes surtensions.

IV.5.3 Compensation des déséquilibres de tension :

Les déséquilibres sont généralement dus à des charges monophasées car dans ce cas les courants absorbés sur les trois phases sont d'amplitude et/ou de phase différente, d'où un déséquilibre des trois tensions. Le déséquilibre des tensions peut également être dû à des charges triphasées, lorsque celles-ci ne sont pas symétriques.

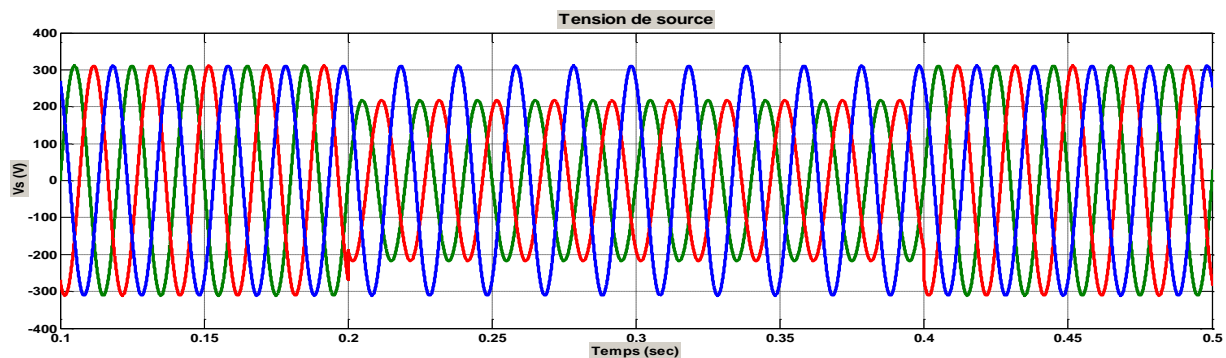
On parle d'un déséquilibre d'amplitude lorsque les trois tensions n'ont pas la même valeur efficace, et d'un déséquilibre de phase lorsque le déphasage entre les trois phases successives n'est pas de 120° .

AVANT DVR :

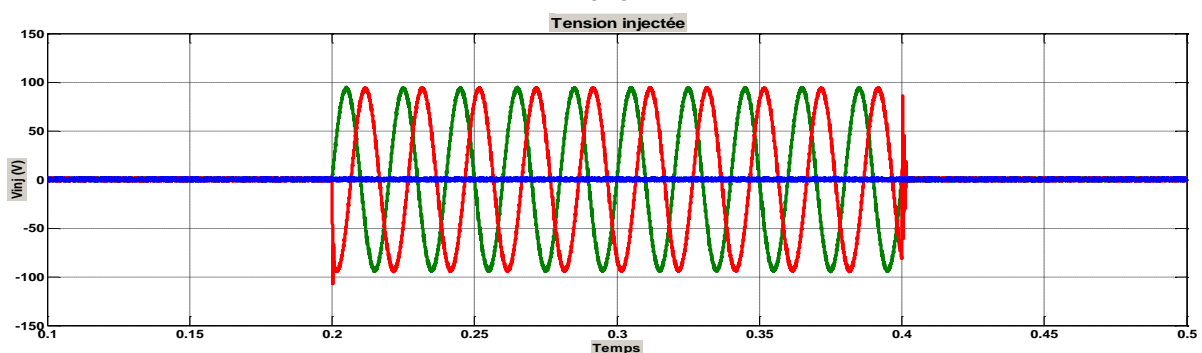
Lorsque les trois tensions ne sont pas identiques en amplitude et/ou ne sont pas décalées d'un angle de 120° les unes par rapport aux autres, on parlera de déséquilibre du système triphasé

Ce défaut est produit seulement dans les systèmes triphasés de tel sort que l'amplitude et le déphasage des trois phases ne sont pas égaux.

Fig. IV.6 (a) Montre un déséquilibre de la tension dans deux phases des trois phases de la période 0.2s jusqu'à 0.4s, ce qui provoque des perturbations dans le réseau électrique.



(a)



(b)

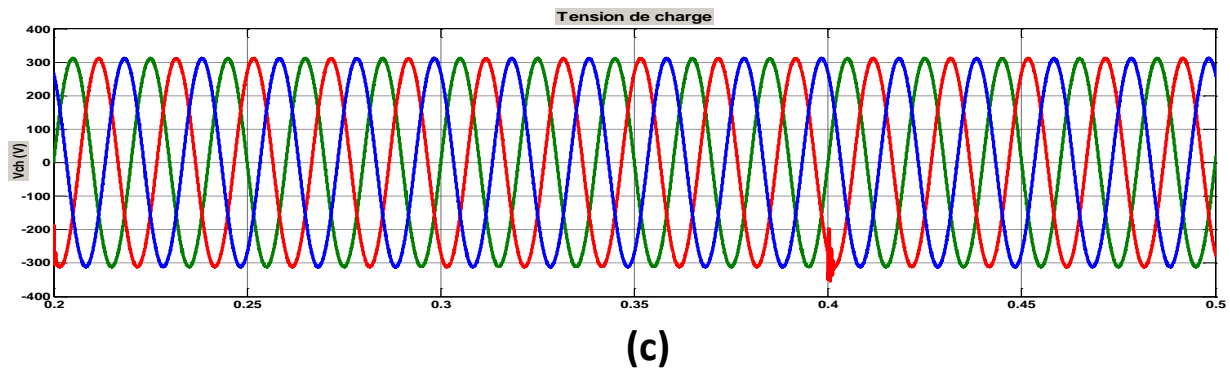


Figure IV. 6 Compensation du déséquilibre cause par un court-circuit phase-phase.

APRÈS DVR :

Dans ce cas, on constate que le DVR a le pouvoir de corriger cette anomalie de tension dans les systèmes triphasés comprenant un déséquilibre provoqué par des charges monophasés importantes Fig. IV.6 (b),Après avoir rééquilibré le "DVR" pour la tension Efficaces comme indiqué dans Fig. IV.6 (c).

IV.6 CONCLUSION :

Les résultats de simulation ont démontré les possibilités de DVR pour compenser des différentes anomalies de tension, On l'a constaté que son modèle est bien exécuté avec une charge linéaire.

Le DVR a une excellente exécution pour protéger les charges critiques. Il peut traiter tous les niveaux d'ombre de sévérité de défaut grave et le plus mauvais. Il manipule des situations équilibrées et déséquilibrées sans aucune difficulté, et il injecte le composant approprié de tension pour corriger n'importe quelle anomalie dans la tension d'alimentation pour maintenir la tension de charge équilibrée et constante à la valeur nominale.

Dans le cas de diminution de tension, qui est une réduction soudaine de la tension d'alimentation tel que : un creux de tension, une coupure brève, ou une absence totale de la tension causée par un court- circuit, le DVR injecte un composant positif égal à la tension de la source en chacune des trois phases.

L'étude de totalité a été principalement impliquée de la commande et de la protection de DVR, exécution de ce dernier est démontrée avec l'aide de MATLAB.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Le développement de l'électronique de puissance a permis d'améliorer la gestion des réseaux électriques en introduisant un nouveau concept comme les systèmes flexibles de transmission à courant alternatif appelée FACTS.

Dans ce contexte, cette mémoire de fin d'études intervient pour contribuer à l'amélioration de l'efficacité des réseaux électriques avec un contrôle flexible de l'énergie électrique grâce à l'intégration des systèmes FACT. En particulier nous nous intéressons à l'étude d'un des dispositifs des systèmes FACT qui permet de modifier le réseau électrique.

L'étude présentée dans ce mémoire s'inscrit dans ce concept et porte sur le contrôle de la tension en utilisant un dispositif DVR. Afin d'atteindre cet objectif, nous sommes passés par plusieurs étapes :

Le premier chapitre, nous avons présenté différents types de perturbations qui influencent sur l'onde de tension du réseau électrique ainsi que les différentes sources de ces perturbations et leur effets qui ont des conséquences néfastes sur les équipements électriques, ces effets peuvent aller des échauffements et de la dégradation du fonctionnement jusqu'à la destruction totale de ces équipements.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les généralités sur les dispositifs FACTS tel que la définition et les types, le rôle, ainsi que le principe de fonctionnement qui interviennent dans la recherche de solutions en général. Pour le problème des distorsions et des perturbations électriques.

Dans le troisième chapitre, nous avons donné un aperçu du dispositif de Dynamic Voltage Restorer (DVR) tel que la définition, les composants, le rôle et le principe de fonctionnement, et nous avons terminé ce chapitre avec la modélisation de ce dispositif.

Dans le quatrième chapitre, on étudie la modélisation et les simulations de DVR dans l'environnement Matlab-Simulink. Les résultats de la simulation montrent que le DVR compense les creux et surtensions et déséquilibres de tension et offre une excellente régulation de la tension.

Au bout de cette étude, à titre de conclusion, nous pouvons affirmer que le dispositif (DVR) est très bénéfique pour les réseaux électriques. Il est tout à la fois flexible sur le plan du transit de la puissance qu'en matière de stabilité de tension basée sur le régulateur de type PI qui représente l'élément constitutif de base de ce dispositif.

Bibliographies

Bibliographie

- [1] J. M.N. Khalid & M. Hasmaini, « Digital Simulation of (UPS) and (DVR) for Voltage Sag Mitigation », TNB Research Sdn.Bhd, Septembre 2006.
- [2] M. Ali.Taghikhani & A. Kazemi, « A New Phase Advanced Multiloop Control System for Dynamic Voltage Restorer », International Journal of Emerging Electric Power Systems, Vol.3, Issue2, Article 1072, 2005.
- [3] G.G. Champiot « Les perturbations électriques et électromagnétiques : Conception et amélioration des installations industrielles et tertiaires » Collection Electra, Dopee Diffusion, 1991.
- [4] Feraoua Mustapha, Oubahammou Mohammed Tahar « Amélioration de la qualité d'énergie électrique par un filtre actif série connecté à un système panneau photovoltaïque » mémoire de magister, Université Tahri Mohamed Bechar .29/06/2019.
- [5] Site Internet : <https://fr.scribd.com/document/160286876/4597291-Generalites-Sur-Les-Reseaux-Electriques>, Génie électrique, « Réseaux électriques », Généralités sur les réseaux électriques, chapitre 1, extrait.pdf.
- [6] Boudellioua Fouad « Caractérisation des perturbations affectant la qualité d'énergie électrique : cas des creux de tension » mémoire de magister, Université Mohamed Seddik Ben Yahia-Jijel. 2020/2021.
- [7] François Meslier, Henri Persoz, « Réseaux de transport et d'interconnexion de l'énergie électrique Développement et planification », © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique D4070 v1, 10 juin 1989.
- [8] Alain Coiffier, « Structure des réseaux de distribution », © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique D4210 v2, 10 avr. 2021.
- [9] Alain Doulet, « Réseaux de distribution – Exploitation », © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique D4230 v2, 10 févr. 1997.
- [10] Groupe SONELGAZ, XD, « Guide Technique de Distribution » Document technique de groupe SONELGAZ, 1984.
- [11] Haddad Salim. « Gestion de la qualité d'énergie électrique dans un réseau de transmission », Thèse de doctorat d'Université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [12] P. Bornard, M. Pavard, « Réseaux d'interconnexion et de transport : réglage et Fonctionnement », Techniques de l'ingénieur, mars 1993.
- [13] Hydro-Québec. « Caractéristiques et cibles de qualité de la tension fournie par les réseaux moyenne et basse tension d'Hydro », Hydro-Québec -Québec –, février 200.
- [14] F. HAMOUDI « Commande Robuste d'un Filtre Actif Shunt à Quatre Fils » Mémoire de Magistère, Université EL Hadj Lakhder, Batna 2008.
- [15] Himeur abdanneur. « Analyse des harmoniques des appareils électriques sur le réseau électrique », Mémoire de fin d'études de l'Université de Jijel, 2019.
- [16] V.IGONATOVA « Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique, application aux creux de tension et à la pollution harmonique ». Thèse de doctorat de l'université Technique de Sofia, (2006).

Bibliographie

- [17] Mr. ABDELKHALEK OTHMANE « Etude et simulation d'un UPQC pour l'élimination des harmonique en temps réel dans le réseau électrique » « thèse de doctorat Université de béchar 21/02/2010.
- [18] A. CHAOUI, « Filtrage actif triphasé pour charges non linéaires », Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas – Sétif, Décembre 2010.
- [19] B. Singh, V. Verma « A new control scheme of series active filter for varying rectifier loads », IEEE Power Electronics and Drive Systems, PEDS 2003, The Fifth International Conference, Vol. 1, 17-20 Nov. 2003, pp:554 - 559.
- [20] S. S. Choi, D.M. Vilathgamuwa « Analysis of Series Compensation and DC-Link Voltage Controls of a Transformer less Self-Charging Dynamic Voltage Restorer », IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 19, No. 3, July 2004, pp:1511 - 1518.
- [21] P. Rioual « Modélisation et commande d'un redresseur à MLI alimenté par un réseau déséquilibré » Thèse de Doctorat de l'école nationale supérieur de Cachan, 1993.
- [22] A. Funken. « Outils et analyse des perturbations affectant le réseau électrique », Organisation Européen pour la recherche nucléaire, Echenevex, France, janvier 2002.
- [23] Bouachida Faïda et Zebiri Manel. « Qualité de l'énergie électrique et norme IEEE- 519 », Mémoire de fin d'études de l'Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi, 2009.
- [24] Ay Abdelouahab « Modélisation et Analyse d'Un Compensateur Statique : SVC » mémoire magister, université de Batna 02 /05/2013.
- [25] Michel Crappe « Commande et régulation des réseaux électriques » Traité EGEM série génie électrique, LAVOISIER 2003.
- [26] Dr. HADJERI Samir, Dr. TIMATINE Amar, Dr. ZIDI Sid-Ahmed « Contrôle des puissances réactives et des tensions dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC) » mémoire magister, Université de Sidi Bel-Abbes 23 Janvier 2008.
- [27] IBAZIZEN Riad, FERSAOUI Mourad, « Interactions d'un dispositif FACTS dans un réseau électrique (STATCOM) » Mémoire master, Université Abderrahmane MIRA-Bejaia, 2015/2016.
- [28] Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal, "Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control", Springer 2005.
- [29] KERDOUN Djallel, MEHASNI Rabia « L'optimisation de la puissance réactive et le contrôle de tension à travers l'incorporation des dispositifs FACTS » mémoire magister, Université-Constantine 1, 2013.
- [30] Sekhane Hocine "L'optimisation de la puissance réactive et le contrôle de tension à travers l'incorporation des dispositifs FACTS" mémoire de magister, université de constantine1, 2013. [31] Legrand Catalogue, « Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques », P0910ALPESFR- EX210027 - MARS 2010.
- [32] MOSTEFAOUI Abdelkader, « Étude de la répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par la Programmation non linéaire », Mémoire de Magister Option : Réseaux électriques, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie, 14/10/2008.

Bibliographie

- [33] A. Edris, alProposed « Proposed Terms and Definition of FACTS » IEEE Tran. On power delivery, 12(4) :1884-1853, October 1997.
- [34] H. Boudjella, F.Z. Gherbi, S. Hadjeri, F. Ghezal, M. Flitti (Contrôle De Transite Des Puissances Réactives Dans Un Réseau Electrique Par L'intégration Du Dispositif FACTS) Laboratoire ICEPS (Intelligent Control And Electrical Power System) Université Djillali Liabes, Sidi-Bel-Abbès, 2010.
- [35] Hafsi.O, Ghanmi.D « Impact Du Compensateur Statique De La Puissance Réactive SVC Sur Le Réseau Electrique ». Mémoire Master-Université Tahri Mohamed-Bechar – année : 2014/2015.
- [36] LAMRAOUI Zineddine, « ETUDE ET AMELIORATION DE LA STABILITE TRANSITOIRE DANS UN RESEAU ELECTRIQUE » Mémoire master, Université OEB 2020/2021
- [37] Bekki Brahim, « contribution du SMES, dispositifs FACTS, à la stabilisation d'un réseau électrique haute tension », mémoire de magistère en électrotechnique, option réseaux électriques et haute tension, école nationale polytechnique Alger, Soutenue le 20 septembre 2006.
- [38] Boudjella Houari, « Contrôle des puissances réactives et des tensions dans un réseau de transport au moyen de dispositif FACTS (SVC) », mémoire de magistère, option : conversion d'énergie et commande, université de sidi bel-Abbes, soutenu le 23 janvier 2008.
- [39] N. G. Hingorani and L. Gyugyi, « Understanding FACTS, Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems », IEEE Press, New York, 2000.
- [40] Azzouz Leïla, Deyat Tahani, Dogga Mouna, « Etude et calcul les paramètres de système de compensation Shunt(SVC) pour contrôler la puissance réactive et la tension » Mémoire master, Université Echahid Hamma Lakhder d'El-Oued Faculté de Technologie, 2019/2020
- [41] *Khaled Chikhi, Djamel Labed, Saïd Benagoune*, « Contrôle des Réseaux Electriques par les Systèmes FACTS : (Flexible AC Transmission Systems)» mémoire magister, Univ. Batna, 13 /06/2009.
- [42] IDRI SAID, KHALDI FAOUZI, « Amélioration des performances de la tension et la stabilité d'un réseau électrique par la compensation de la puissance réactive ». Mémoire Master- UNIVERSITE ABDE RAHMANE MIRA BEJAIA - année: 2017/2018.
- [43] « Flexible AC Transmission Systems (FACTS) for Utilities », American Superconductor, Inc. 2007.
- [44] N. H. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram. « Experience with an Inverter-Based Dynamic Voltage Restorer ». IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, Juillet 1999.
- [45] ABB. «Reference list for AC/DC Converter/Inverter Systems». www.abb.com
- [46] S&C, <http://www.sandc.com/products/purewave/dvr.asp>.
- [47] P. Daehler & R. Affolter, « Requirements and Solutions for dynamic Voltage Restorer, a Case Study », IEEE, 2000.

Bibliographie

- [48] J. M.N. Khalid & M. Hasmaini, « Digital Simulation of (UPS) and (DVR) for Voltage Sag Mitigation », TNB Research Sdn.Bhd, Septembre 2006.
- [49] D. F. Warne, « Newnes Electrical Power Engineer's Handbook », ELSEVIER, Printed and bound in Great Britain, ISBN 0 7506 6268 9, 2005.
- [50] J. M.N. Khalid & M. Hasmaini, « Digital Simulation of (UPS) and (DVR) for Voltage Sag Mitigation », TNB Research Sdn.Bhd, Septembre 2006.
- [51] F. Mazda, « Power Electronics Handbook », NEWNES, Printed and bound in Great Britain, ISBN 0 7506 2926 6, 1997.
- [52] S.V Ravi Kumar & S. Siva Nagaraju, « Simulation of D-STATCOM and DVR in Power Systems », ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.2, NO.3, ISSN 1819-
- [53] C. Prévé, « Protection of Electrical Networks », ISTE Ltd, Printed and bound in Great Britain, ISBN 13: 978-1-905209-06-4, 2006
- [54] TAHRI Ali, CHERGUI Moulay « Amélioration de la tension en utilisant un DVR, Etude et implémentation » Diplôme doctorat, Université d'Oran Mohamed-Boudiaf ,2020.
- [55] L. van der Sluis, « Transients in Power Systems », KEMA, Printed and bound in Great Britain, ISBN 0-471-48639-6, 2001.
- [56] L. Philipson, H. Lee Willis « Understanding Electric Utilities and De-Regulation », CRC Press LLC, Taylor & Francis Group, ISBN 0-8247-2773-8, 2006.
- [57] D. F. Warne « Electrical Engineer's Handbook », NEWNES, Printed and bound in Great Britain, ISBN 0 7506 4879 1, 2000.
- [58] A. Baghini « Handbook of Power Quality », WILEY, ISBN 10: 0 470065613, April 2008.
- M. Gracet & J. Pinel, « Protection contre les perturbations – Origines des perturbations- », Techniques de l'ingénieur, traité Génie électrique, D 5 170.
- [59] R. Herwig, « Voltage Dips – Analysis and Remedial Measures », Institute for Electrical Power Systems and High Voltage Engineering, University of Technology Graz (Austria).
- [60] OUBELAID Hillal, « Intégration des D-FACTS aux réseaux électriques de distribution » Diplôme de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Promotion Juin 2014.
- [61] J. Cros, « Équipements de Protection pour la Basse Tension », Université LAVAL, GEL- 22230, Septembre 2004.
- [62] J. AUVRAY, « Le Filtrage Harmonique », Document sur les Systèmes Électroniques.
- [63] M.H. Haque, « Compensation of distribution system voltage sag by DVR and DSTATCOM », School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University Singapore, Paper accepted for presentation at PPT 2001.

Résumé :

La qualité de l'énergie est l'une des principales préoccupations de l'ère actuelle. Elle est devenue importante, notamment, avec l'introduction d'appareils sophistiqués, dont les performances sont très sensibles à la qualité de l'alimentation électrique. Un problème de qualité de l'alimentation est un événement qui se manifeste par une tension, un courant ou une fréquence non standard qui entraîne une défaillance des équipements d'utilisation finale. L'un des problèmes majeurs traités ici est l'affaissement de puissance.

Pour résoudre ce problème, des dispositifs d'alimentation personnalisés sont utilisés. L'un de ces dispositifs est le Dynamic Voltage Restorer (DVR), qui est le dispositif d'alimentation personnalisé moderne le plus efficace et le plus efficace utilisé dans les réseaux de distribution d'énergie. Son attrait comprend un coût inférieur, une taille plus petite et sa réponse dynamique rapide à la perturbation. Cet article présente la modélisation, l'analyse et la simulation d'un restaurateur de tension dynamique (DVR) à l'aide de MATLAB.

Dans Ce modèle, un contrôleur PI.

ABSTRACT:

Power quality is one of major concerns in the present era. It has become important, especially, with the introduction of sophisticated devices, whose performance is very sensitive to the quality of power supply. Power quality problem is an occurrence manifested as a nonstandard voltage, current or frequency that results in a failure of end use equipment. One of the major problems dealt here is the power sag.

To solve this problem, custom power devices are used. One of those devices is the Dynamic Voltage Restorer (DVR), which is the most efficient and effective modern custom power device used in power distribution networks. Its appeal includes lower cost, smaller size, and its fast dynamic response to the disturbance. This paper presents modeling, analysis and simulation of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) using MATLAB. In this, model a PI controller.

ملخص:

تعد جودة الطاقة أحد الاهتمامات الرئيسية في العصر الحالي. لقد أصبح مهمًا، على وجه الخصوص، مع إدخال أجهزة متطورة، يكون أداؤها حساسًا جدًا لجودة مصدر الطاقة. مشكلة جودة الطاقة هي حدوث يتجلى كجهد غير قياسي أو تيار أو تردد ينتج عنه فشل في معدات الاستخدام النهائي. واحدة من المشاكل الرئيسية التي يتم تناولها هنا هي ضعف القوة. لحل هذه المشكلة، يتم استخدام أجهزة طاقة مخصصة. أحد هذه الأجهزة هو مرمم الجهد الديناميكي (DVR)، وهو أكثر أجهزة الطاقة الحديثة كفاءة وفعالية المستخدمة في شبكات توزيع الطاقة. تشمل جاذبيتها تكلفة أقل، وحجم أصغر، واستجابتها الديناميكية السريعة للاضطراب. يقدم هذا البحث النمذجة والتحليل والمحاكاة لمرمم الجهد الديناميكي (DVR) باستخدام MATLAB. في هذا النموذج، تم استخدام وحدة تحكم PI.