الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Farés de Médéa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Mémoire de Projet de Fin D'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme
De Master en électrotechnique

Spécialité : Commande électrique.

Thème

Modélisation et commande d'un filtre actif série à trois nivaux

Préparé et présenté par:
HIDRA BILLEL

Dirige par:
Dr, HENINI NOUREDDINE

Année Universitaire 2020-2021



Premièrement, nous remercions allah , le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour faire cet modeste travail.

Nous tenons à remercier nos promoteurs Dr. HENINI NOUREDDINE d'avoir accepter de nous encadrer et de nous suivre durant toute cette période.

Nos remerciements vont membres du jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce travail.

Et enfin nous remercions l'ensemble, enseignants et collègues de notre promotion, qui nous ont aidés à réaliser ce modeste travail.

Dédicace

A mes très chers parents pour leur sacrifice, leurpatience et leur soutien durant mon cycle d'étude

A mes chères frères:

Abk,Sofiane

,Aziz ,et Houssam

A mes chères sœurs,

Dédicace

Je dédie ce travail à :
Ma grande-mère,
Mes parents,
Mes frère et mes sœur
Ma famille,
Mes camarades
Tous mes amis.

Nomenclature

Nomenclature

H	Rang d'harmonique.
Ih	Courant harmonique de rang h.
I	Courant total (fondamental + harmoniques).
V_h	Tension d'harmonique de rang h.
V_1	Tension fondamental.
THD	Taux de distorsion global de tension.
Y_0	Amplitude de composante continue (nulle si la distribution est alternative).
Y_b	Valeur efficace de l'harmonique de rang h.
ω	Pulsation du fondamental.
φ_h	Déphasage de la composante harmonique de rang h.
Y_{eff}	Valeur efficace du signale.
D_h	Taux individuel d'harmonique.
F_p	Facteurs de puissance.
S	Puissance apparente.
P	Puissance active.
Q	Puissance réactive.
D	Puissance déformante.
P_1	Puissance active de la composante fondamentale.
S_1	Puissance apparente de la composante fondamentale.
Vi	Tension inverse.
Vd	Tension direct.
τ_v	Taux de déséquilibre de tension.
Ωr	Pulsation de résonance.
Rcc	Résistance de court circuit (du réseau).
Lcc	Inductance de court circuit (du réseau).

F.A.P	Filtre actif parallèle.
F.A.S	Filtre actif série.
T	Période d’un signal.
f	Fréquence.
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion.
vo	Tension du point milieu o.
vn	Tension du point n.
Ud	Tension continu de redresseur.
Id	Courant continu de redresseur.
fc	Fréquence de coupure.
i	Numéro de la phase.
vi1	Tension sinusoïdale du rang 1 de la phase i (tension fondamentale).
vih	Tension sinusoïdale du rang h de la phase i (tension harmonique).
vond	Tension de sortie de l’onduleur.
iond	Courant de l'onduleur.
Vdc	Tension du bus continu.
τ	Constante de temps du filtre.
ωc	Pulsation de coupure du filtre.
n	ordre de filtre.
Z	Impédance du filtre.
DVR	Dynamic voltage restorer.
v	Facteur de déformation.
kWh	kilo Watt heure.
EDF	Electricité de France.
THT	Très haut tension.

Liste des Figures

Figure I.1 : Harmonique

Figure I.2 : Déséquilibre du système triphasé de la tension

Figure I.3 : Creux de tension et coupure

Figure I.4 : Surtension transitoire

Figure I.5 : Exemple de cas de surtension transitoire

Figure I.6 : Fluctuation de la tension

Figure I.7 : Variation de fréquence

Figure II.1 : Filtre passif résonnant

Figure II.2 : Filtre passe-haut ou passif amorti

Figure II.3 : Pont dodécaphasé

Figure II.4 : Redresseur tension.

Figure II.5 : Redresseur courant

Figure II.6 : Schéma d'un Filtre actif parallèle

Figure II.7 : Filtre actif parallèle assisté par filtre passif

Figure II.8 : Filtre actif série

Figure II.9 : Association des filtres actifs série et parallèle

Figure II.10 : Filtre actif série assisté par filtre passif parallèle

Figure II.11 : Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle

Figure III.1 : Association (réseau électrique - charge linéaire - FAS)

Figure III.2 : Charge linéaire (présentation par phase) et sa fonction de transfert

Figure III.3 : Structure générale du filtre série

Figure III.4 : Modèle équivalent de l'onduleur à deux niveaux

Figure III.5 : Filtre (LC)

Figure III.6 : Schéma de bloc de l'identification des harmoniques de tension par la méthode trigonométrique

Figure III.7 : Schéma synoptique de la commande par régulateurs à hystérésis

Figure III.8 : Tension de sortie (filtrée) de l'onduleur commandé par régulateur à hystérésis

Figure IV.1: tension harmonique avent le filtrage

Figure IV.2. : Spectre harmonique avent le filtrage

Figure IV.3. : Tension harmonique identifiée

Figure IV.4. : Spectre harmonique identifiée(FFT)

Figure IV.5. : Tension harmonique injectée

Figure IV.6 : spectre harmonique injectée(FFT)

Figure IV.7 : Tension harmonique de sortie d'onduleur

Figure IV.8 : Spectre harmonique de sortie d'onduleur(FFT)

Figure IV.9 : Tension de compensation injecte et le tension harmonique identifiée

Tableau des matière

Chapitre I Qualité d'énergie électrique et perturbations
Introduction
I.1 Tension du réseau électrique…. 4
I.1.1 Qualité de la tension 4
I.1.2 Dégradation de la qualité de la tension…. 4
I.1.3 Composante lente des variations de tension… 5
I.2 Problèmes de la qualité d'énergie électrique 5
I.2.1 Harmoniques 5
a) Inter harmoniques 6
b) Infra harmoniques 6
I.2.1.1 Origines 6
I.2.1.2 Effets des harmoniques 7
I.2.1.3 Réglementation 8
I.2.1.4 Caractérisation des perturbations harmoniques 8
a) Rang de l'harmonique 9
b) Expression de la grandeur déformée 9
c) Valeur efficace d'un signal 9
d) Taux de distorsion 9
e) Facteur de Crête 10
f) Facteur de puissance 10
g) Facteur de déphasage 10
h) Facteur de déformation 11
I.2.2 Déséquilibre du courant et de la tension 11
I.2.2.1 Origines du déséquilibre 11
I.2.2.2 Caractérisation du déséquilibre de la tension 12
I.2.2.3 Effets du déséquilibre 12
I.2.3 Creux de tension…. 12
I.2.4 Interruption courte ou coupure brève 13
I.2.5 Surtension 14
I.2.6 Chutes de tension…. 15
I.2.7 Tension et/ou courant transitoire 15
I.2.8 Fluctuation de tension (flircker)…. 16
I.2.9 Variation de fréquence 16
Conclusion 17

Chapitre II Solutions pour améliorer la qualité d'énergie
Introduction
II.1 Différentes solutions pour réduire les tensions perturbatrices 18
II.1.1 Réduire les courants perturbateurs 18
II.1.1.1 Solutions traditionnelles 18
a) Compensation de la puissance réactive 18
b) Compensation des courants harmoniques 18

b).1 Filtre passif résonant 19
b).2 Filtre passif série 20
b).3 Filtre passe-haut 20
II.1.1.2 Solutions modernes 21
a) Pont dodécaphaséa 21
b) Redresseurs à MLI 22
b).1 Redresseur de tension 22
b).2 Redresseur de courant 22
c) Filtre actif 23
c).1 Filtre actif parallèle 24
c).1.1 Filtre dédié 25
c).1.2 Filtre adaptatif 25
c).2 Association d'un filtre actif parallèle et un filtre passif 25
II.1.2 Filtre actif série 26
II.1.2.1. Principe de fonctionnement 26
II.1.3 Association d'un filtre actif série et parallèle 27
II.1.4 Filtres hybrides (mixte actif-passif)… 28
II.1.4.1 Association d'un filtre actif série avec un filtre passif parallèle 28
II.1.4.2 Filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles 29
II.1.5 Différentes solutions pour réduire les creux de tension et coupures, Fluctuations de tension, déséquilibres, surtensions 30
II.1.5.1 DVR (Dynamic voltage restorer) 30
II.1.5.2 Autre solutions pour réduire les creux de tension et coupures, Fluctuations de tension, déséquilibres, surtensions 30
a) Creux de tension 30
a).1 Réduction du nombre de creux de tensions et de coupures 30
a).2 Réduction de la durée et de la profondeur des creux de tension 30
a).3 Insensibilisation des installations industrielles et tertiaire 31
a).4 Arrêt propre 31
b) Fluctuations de tension 31
c) Déséquilibres 32
d) Surtensions 32
d)1 Surtensions temporaires 33
d).2 Surtensions de manœuvre 33
Conclusion 33

Chapitre III Etude du filtre actif série

Introduction
III.1 Mise en œuvre 35
III.2 Structure générale du système 36
III.2.1 Description de l'association (réseau électrique-charge linéaire-FAS) 36
III.2.2 Modélisation du réseau électrique pollué 37
III.2.3 Modélisation du la charge linéaire(RL) 37
III.3 Structure générale du filtre actif série 38
III.3.1 Partie puissance du filtre actif série 39
III.3.1.1 Onduleur de tension 39
III.3.1.1.1 Onduleur de tension à trois niveaux 40
III.3.1.1.2 Modèle de l'onduleur à trois niveaux 40
III.3.1.2 Source de tension continue 42
III.3.1.3 Filtre de sortie (filtre passe bas LC) 43
III.3.1.4 Transformateurs d'injection et protection du F.A.S 43
III.4 Partie commande du filtre actif série 44
III.4.1 Identification des perturbations de tension 44
III.4.1.1 Filtre Passe-bas 45
Conclusion 46

Chapitre IV Simulation et résultats

Introduction
IV.1 Présentation du logiciel 49
IV.2 Présentation du modèle 49
IV.3 Paramètres de système 50
IV.4 La tension et le spectre avent le filtrage 51
IV.5 la tension et le spectre identifiée 52
IV.6 la tension et le spectre d'une phase injectée 53
IV.7 la tension et le spectre de la sortie de l'onduleur **54**
IV.8 Tension de compensation injecté et le tension harmonique identifiée **55**
IV.9 conclusion 56

Introduction générale

Introduction générale

La demande quantitative d'électricité a connu ces dernières années un accroissement considérable. L'augmentation des usagers de l'électricité dans la vie quotidienne et l'exigence d'un plus grand confort sont les causes principales. Parallèlement, dans les domaines tertiaires et industriels, l'apparition des matériels de plus en plus sophistiquée utilisant l'électronique de puissance et l'informatique, a provoqué l'émergence d'une exigence plus qualitative : le kWh électrique ne doit plus seulement être immédiatement disponible et en quantité suffisante, mais doit aussi être de qualité, c'est à dire propre et fiable. C'est un besoin nouveau dont la satisfaction constitue pour les distributeurs d'énergie électrique un réel défi technique [3]. Les récents développements dans l'industrie de l'électronique de puissance ont conduit à une considérable croissance de la puissance pouvant être manipulée par les dispositifs semi-conducteurs. Cependant, la tension maximale supportée par ces dispositifs demeure le major obstacle dans les applications hautes et moyennes tensions [1].

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'il maintient à leurs bornes [2]. Il est évident que la qualité de cette énergie est devenue un sujet stratégique pour les raisons suivantes :

- Généralisation d'équipements sensibles aux perturbations de la tension et/ou eux même générateurs de perturbations.
- Nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises.
- Réduction des coûts liés à la perte de continuité et à la non-qualité.
- Coût des perturbations (coupure, harmonique,…) est élevé [1].

Donc, le but est de fournir aux clients une forme de tension idéale (onde sinusoïdale) qui a par définition les caractéristiques suivantes :

- Amplitude constante au niveau exigé.
- Fréquence constante et tensions équilibrées en cas du triphasé.

Naturellement, ce n'est pas toujours possible, à cause des variations du système en raison des incidents inévitables qui peuvent temporairement affecter l'opération, ex : court-circuit [4] et aussi des charges non linéaires provocant des harmoniques de courant qui de leur tourinduisent des tensions harmoniques par l'intermédiaire de l'impédance du réseau électrique.

Dans ce mémoire on étudie le filtre actif série comme technique adaptative de compensation des harmoniques de tension afin de protéger les charges sensibles à ces harmoniques.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous étudierons le problème de la qualité d'énergie électrique (qualité de la tension du réseau électrique). Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les différentes solutions d'amélioration de la qualité de tension du réseau. Le troisième chapitre est consacré à la présentation du filtre actif série comme solution adaptatif de compensation des harmoniques de tension provenant du réseau. Dans le quatrième chapitre, on présente l'analyse des résultats de simulation de l'association réseau électrique pollué - charge linéaire sensible aux harmoniques de tension –filtre actif série.

Chapitre I

Qualité d'énergie électrique et Perturbations

Introduction

L'utilisation des appareils électriques est de plus en plus intense que ce soit pour des applications industrielles ou domestiques. Cependant la plupart de ces appareils tels que les redresseurs, les gradateurs, le matériel informatique, les appareils de climatisation ou encore les éclairages à base de tubes fluorescents absorbent des courants non sinusoïdaux, ce qui provoque des distorsions harmoniques dans l'ensemble du réseau électrique. Ces harmoniques peuvent perturber le fonctionnement normal de certains équipements électriques voir même les endommager.

Toutefois, le rôle des réseaux électriques est de fournir aux consommateurs de l'énergie électrique avec une parfaite continuité, sous forme de tension parfaitement sinusoïdale ayant des valeurs d'amplitude et defréquence préétablies en fonction du point de raccordement. Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs méthodes de dépollution harmonique sont étudiées, parmi elles les filtres actifs qui sont une alternative très intéressante du point de vue rendement, fiabilité et coût.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les différentes sources d'harmoniques et leurs effets sur l'ensemble des équipements électriques, nous abordons ensuite les différentes stratégies de dépollution de ces harmoniques.

I.1 La Tension du réseau électrique

I.1.1 la Qualité de la tension [5]

La qualité d'énergie ou de la tension est le concept d'efficacité de classer les équipements sensibles d'une manière qui convient à l'opération de l'équipement.

Pour rappel, la tension possède quatre caractéristiques principales :

- Fréquence.
- amplitude.
- forme d'onde.
- symétrie.

Pour le réseau synchrone algérien, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale, mesurée, doit se trouver dans l'intervalle de 50 Hz 1 %.

Le maintien de ce niveau de qualité est la responsabilité commune de tous les gestionnaires de réseaux concernés (zones de réglage), qui doivent participer aux réglages primaire et secondaire de la fréquence.

Le gestionnaire de réseau doit maintenir l'amplitude de la tension dans un intervalle de l'ordre de 10 % autour de sa valeur nominale. Cependant, même avec une régulation parfaite, plusieurs types de perturbations peuvent dégrader la qualité de la tension :

- les creux de tension et coupures brèves.
- les variations rapides de tension (Flickr).
- les surtensions temporaires ou transitoires.

I.1.2 Dégradation de la qualité de la tension [4]

Les perturbations dégradant la qualité de la tension peuvent résulter de :

- Défauts dans le réseau électrique ou dans les installations des clients
  - court-circuit dans un poste, une ligne aérienne, un câble souterrain, etc.
  - causes atmosphériques (foudre, givre, tempête…)
  - matérielles (vieillissement d'isolants…).
  - humaines (fausses manœuvres, travaux de tiers…)
- Installations perturbatrices :
  - fours à arc.
  - Soudeuses.
  - variateurs de vitesse.

- toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc.

I.1.3 La composante lente des variations de tension

La valeur efficace de la tension varie continuellement, en raison de modifications des charges alimentées par le réseau. Les gestionnaires de réseau conçoivent et exploitent le système de manière telle que l'enveloppe des variations reste confinée dans les limites contractuelles. On parle de "variations lentes" bien qu'il s'agisse en réalité d'une succession de variations rapides Dont les amplitudes sont très petites. Les appareils usuels peuvent supporter sans inconvénient des variations lentes de tension dans une plage d'au moins □ 10 % de la tension nominale [4].

I.2 Problèmes de la qualité d'énergie électrique

I.2.1 Les Harmoniques

La prolifération des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique desréseaux électriques. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, ou parfois à des fréquences quelconques. Le passage de ces courants harmoniques dans les impédances du réseau électrique peut entraîner des tensions harmoniques aux points de raccordement et alors polluer les consommateurs alimentés par le même réseau électrique. Les différents secteurs industriels concernés sont aussi bien du type secondaire (utilisation des gradateurs, des redresseurs, des variateurs de vitesse….), que du type tertiaire (informatique ou éclairage dans les bureaux, Commerces……) ou domestique (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre) [2].

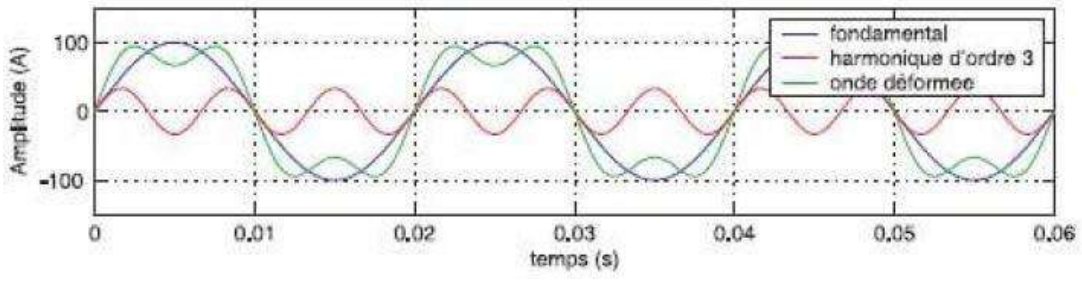


Figure I.1 : Harmoniques

a) Les inters harmoniques

Les inters harmoniques sont des signaux de fréquence non multiple de la fréquence fondamentale. Certains sont émis par les charges non linéaires. D'autres sont injectés Intentionnellement par les distributeurs sur les réseaux pour télécommander des relais, et ainsi Piloter les chargements de tarification des compteurs domestiques et professionnels [7].

- **Les charges non linéaires produisant des inters harmoniques**

La grande majorité des tensions et courants inter harmoniques sur le réseau est générés par Des convertisseurs de fréquence statiques, tels les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones qui renvoient vers le réseau des multiples de la fréquence de sortie de l'onduleur.

b) Infra harmoniques

Ce sont des composantes sinusoïdales qui sont à des fréquences inférieurs à celles du Fondamental : 10Hz, 20Hz .Dans ce cas, le signal n'est pas périodique à T (T : période du Fondamental) [8].

I.2.1.1 Origines

- **Émission en tension**

L'émission harmonique en tension due aux matériels de réseaux entre pour une faible part, et avec des taux généralement faibles, dans la distorsion des réseaux. Elle est due aux imperfections de construction (dissymétrie, distribution non sinusoïdale du champ dans les alternateurs, saturation...) des bobinages des machines tournantes, des moteurs, desalternateurs et des transformateurs.

Les harmoniques de courant constituent une origine principale de la déformation de forme d'onde de la tension du réseau considérée au point de mesure de cette tension. Elimination ces harmoniques de courant signifie l'élimination de la cause de la déformation de forme d'onde de la tension du réseau [6].

- **Émission en courant**

Les charges non linéaires consomment un courant qui n'est pas sinusoïdal. Elles Représentent les principales sources d'émission en courants harmoniques sur les réseaux. Pour chaque rang harmonique, on représente la charge réelle par une source de courant I calculée pour chaque rang [7].

On peut distinguer plusieurs types de « charges perturbatrices élémentaires » tels que :

- Le redresseur monophasé à filtre capacitif
- Le gradateur monophasé
- Le redresseur triphasé à thyristors
- Le redresseur triphasé à diodes et filtre capacitif
- Les appareils à arc électrique.

I.2.1.2 Effets des harmoniques

De nombreux effets des harmoniques sur les installations et les équipements électriques peuvent être cités. Les effets les plus importants sont l'échauffement, l'interférence avec les réseaux de télécommunication, les défauts de fonctionnement de certains équipements électriques et le risque d'excitation de résonance :

- **L'échauffement** :

  Les pertes totales par effet Joule sont la somme de celles du fondamental et des harmoniques :

$$I^2 . R = \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 . R$$

- Avec I le courant total, I_h le courant harmonique de rang h qui représente le fondamental pour h=1, et R la résistance traversée par le courant I.

Les harmoniques augmentent aussi les pertes fer (pertes par courants de Foucault). Ils prennent de l'importance dans les matériels utilisant les circuits magnétiques (moteurs, transformateur...).Le vieillissement des isolants est souvent dû à une contrainte en tension consécutive à la présence de la tension harmonique, et donc à une augmentation locale du courant de fuite, ou encore à l'échauffement exagéré dans les conducteurs.

- **L'interférence avec les réseaux de télécommunication**

  Le couplage électromagnétique entrées réseaux électriques et de télécommunication peut induire dans ces derniers des bruits importants. Dans le cas de résonances, une partie des réseaux de télécommunication peut être rendue inutilisable [2].

- **Les défauts de fonctionnements de certains équipements électriques**

En présence des harmoniques, la tension (ou le courant) peut changer plusieurs fois de signe dans une demi-période; par conséquent, tout appareil dont le fonctionnement est basé sur le

Passage par zéro des grandeurs électriques (appareils utilisant la tension comme référence) peut être perturbée Le risque d'excitation de résonance : Les fréquences de résonance des circuits formés par des inductances du transformateur et des câbles sont normalement élevées.Ce n'est pas le cas lorsque des batteries de capacité sont raccordées au réseau pour relever le facteur de puissance; les fréquences de résonance peuvent devenir assez faibles, et coïncider ainsi avec celles des harmoniques engendrés par les convertisseurs statiques. Dans ce cas, il y aura des phénomènes d'amplification d'harmonique [2].

I.2.1.3 Réglementation

Les générateurs de courants harmoniques sont responsables de l'apparition d'harmonique de tension aux bornes de réseau. Ces harmoniques provoquent des pertes supplémentaires dans les lignes, les machines et les transformateurs de plus ils perturbent fortement l'appareillage électronique (problèmes de synchronisation) et créent principalement des interférences avec les équipements de télécommunication. Une onde de tension trop déformée entraîne un certain nombre d'inconvénients, en particulier pour les convertisseurs eux-mêmes dont l'angle d'allumage serait alors décalé. Les distributeurs d'énergie fixent un taux admissible au point de raccordement de leurs réseaux. En particulier, en France, EDF impose les limites suivantes :

- Pour un harmonique impair : $\frac{V_h}{V_1} \leq 1\%$
- Pour un harmonique pair : $\frac{V_h}{V_1} \leq 0.6\%$
- Pour le taux de distorsion global de tension : $THD \leq 1{,}6\%$

Au-delà de ces valeurs, il est nécessaire d'installer des dispositifs de filtrage ou dans la mesure du possible d'augmentera la puissance de court-circuit du réseau. En se qui concernele facteur de puissance, EDF impose une valeur minimale de 0.928 ($tg\varphi < 0{,}4$), tout dépassement [2].

I.2.1.4 Caractérisation des perturbations harmoniques

Différentes grandeurs sont définies pour caractériser la distorsion en régime déformé. Le taux global de distorsion harmonique (THD) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive [6].

a) Rang de l'harmonique

C'est le rapport de sa fréquence f_h à celle du fondamental (généralement la fréquence industrielle, 50 ou 60 Hz) :

$$h=\frac{f_h}{f_1}$$

Par principe, le fondamental f_1 a le rang 1.

b) Expression de la grandeur déformée

Joseph FOURIER a démontré que toute fonction périodique non sinusoïdale peut être représentée par une somme de termes sinusoïdaux dont le premier à la fréquence de répétition de la fonction, est appelé fondamental, et les autres à des fréquences multiples du fondamental Appelés harmoniques [6].

Série de FOURIER :

$$Y(t)=Y_0+\sum_{h=1}^{\infty}\sqrt{2}.Y_n.\sin(h\omega t-\varphi_h)$$

Avec :

Y_0: Amplitude de composante continue (nul si la distribution n'est alternatif)

Y_h: Valeur efficace de l'harmonique de rang h.

ω: Pulsation du fondamental.

φ_h: Déphasage de la composante harmonique de rang h.

c) Valeur efficace d'un signal

$$Y_{eff}=\sqrt{\frac{\int_0^T Y^2(t).dt}{T}}=\sqrt{\sum_{h=1}^{h=\infty}Y_h^2}$$

d) Taux de distorsion

- **Taux global de distorsion d'harmonique (**conformément à la CEI**)**

Ce paramètre, appelé encore facteur de distorsion, représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques de rang (h □ 2) à celle du fondamental seul [6].

%

- **Taux individuel d'harmonique**

Ce paramètre représente le rapport de la valeur efficace d'un harmonique de rang h à celle du fondamental seul.

$$THD\ (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} Y_h^2}}{Y_1} . 100$$

Remarque : Y valeur efficace de courant (remplacé par I) ou celle de tension (remplacé par V)

e) Facteur de crête

Le facteur de crête est défini par le rapport entre la valeur de crête d'un signal et sa valeur efficace. Il caractérise la surtension ou la surintensité instantanée maximale subie par un appareil.

f) Facteurs de puissance Fp

Selon la CEI, le facteur de puissance Fp est le rapport de la puissance active P à la puissance apparente S En présence des harmoniques, la puissance apparente S est composée de trois parties :

La puissance active P, réactive Q et déformante D. Son expression est donnée par l'équation suivante :

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

g) Facteur de déphasage $\cos \varphi_1$

Ce facteur représente le cosinus de l'angle formé par les composantes fondamentales de la Tension et du courant :

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

$\mathbf{P_1}$ *:* La puissance active de la composante fondamentale

$\mathbf{S_1}$: La puissance apparente de la composante fondamentale

h) Facteur de déformation v [10]

Il permet de définir la relation entre le facteur de puissance **Fp** et le facteur **cos**□□**.**

$$v = \frac{F_p}{\cos \varphi_1}$$

Remarque : le facteur de déformation est égal à 1 dans le cas où les tensions et les courants sont parfaitement sinusoïdaux**.**

I.2.2 Déséquilibre du courant et de la tension

Le distributeur d'électricité fournit à l'utilisateur un ensemble de trois tensions sinusoïdales appelé système triphasé. Ces trois tensions ont théoriquement la même valeur efficace et sont également décalées d'un angle de 120° les unes par rapport aux autres. Lorsque les trois tensions ne sont pas identiques en amplitude et/ou ne sont pas décalées d'un angle de 120° les une par rapport aux autres, on parlera de déséquilibre du système triphasé [8].

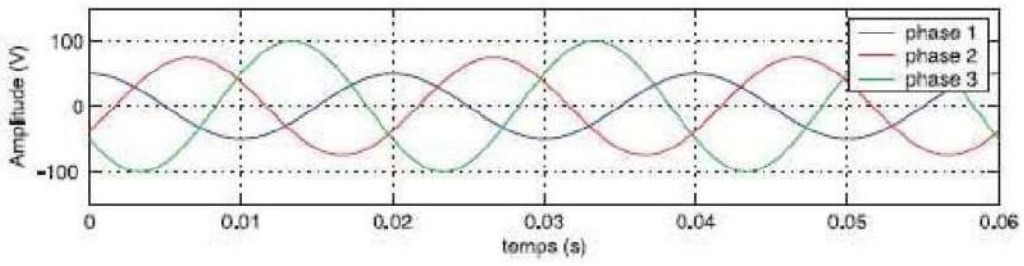


Figure I.2 : Déséquilibre du système triphasé de la tension

I.2.2.1 Origines du déséquilibre

Un récepteur triphasé électrique qui n'est pas équilibré et que l'on alimente par un réseau triphasé équilibré conduit à des déséquilibres de tension dus à la circulation de courant non équilibrés dans les impédances du réseau. Ceci est fréquent pour la réceptrice monophasée

Basse tension. Mais cela peut également être engendré, à des tensions plus élevées, par des machines à souder, des fours à arc ou par la traction ferroviaire [10].

I.2.2.2 Caractérisation du déséquilibre de la tension

Le déséquilibre en tension est caractérisé par le taux de déséquilibre de tension r_v donné par le rapport des amplitudes des tensions inverse et directe :

$$r_v = \frac{V_{ii}}{V_d}$$

I.2.2.3 Effets du déséquilibre

Il est plus intéressant d'aborder le problème du déséquilibre par type d'équipement. Le déséquilibre d'une installation triphasée peut entraîner un dysfonctionnement des appareils basses tensions connectés:

- Mauvais fonctionnent d'un appareil monophasé alimenté par une tension très faible (lampe à incandescence qui fournit un mauvais éclairage).
- Destruction d'un appareil monophasé alimenté par une tension trop élevée, il peut être détruit (claquage d'un filament de lampe par surtension).
- Concernant les dispositifs triphasés d'électronique de puissance, principalement les ponts redresseurs, le fonctionnement en présence de déséquilibre entraîne l'apparition des harmoniques de rang multiple de 3.
- La conséquence des composantes inverses sur les machines tournantes est la création d'un champ tournant en sens inverse du sens de rotation normal, d'où un couple de freinage parasite et des pertes supplémentaires qui provoquentl'échauffement de la machine.
- Concernant l'effet du déséquilibre homopolaire, il faut signaler le risque d'échauffement du conducteur neutre [6].

I.2.3 Creux de tension

C'est une diminution brusque de la tension de fourniture 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 [2]. Donc, ces creux peuvent perturber le fonctionnement de certaines installations sensibles et causer une perte de production [3].

Ils sont caractérisés par leurs : amplitude et durée et peuvent être monophasés, biphasés ou triphasés selon le nombre de phases concerné et sont compris entre deux à-coups de tension ; le premier étant sont effondrement, le second sa remontée. L'effondrement de la tension est proportionnel à l'élévation du courant. Inversement, la remontée de la tension est proportionnelle à l'effondrement du courant. Cependant, l'importance de ces deux à-coups est d'autant plus faible que l'on s'éloigne de l'endroit où s'est produite la perturbation. Ses causes principales sont :

• Phénomène provenant du fonctionnement d'appareils à charge fluctuante ou de la mise en

Service d'appareils appelant un courant élevé au démarrage.

Pour surveiller le statut des dispositifs reliés comme entrées d'un certain processus, les creux de tension peuvent arrêter le processus entier. Aussi bien que l'équipement de haute puissance qui est basée sur les dispositifs de l'électronique de puissance, ex : les commandes à courant continu et courant alternatif. Les relais électromagnétiques et les moteurs contacteurs sont reportés à ouvrir leurs contacts quand la tension diminue au-dessous de 0.5 à 0.7 pu.

I.2.4 Interruption courte ou coupure brève

L'interruption courte est la perte complète ou la disparition de la tension d'alimentation pendant une période de temps de 0.5 cycle jusqu'à 3 secondes. Elle se produit quand la tension d'alimentation ou le courant de charge diminue à moins de 0.1pu pour une période de temps n'excédant pas 1mn. Par convention de langue, une coupure brève est un creux de tension de 100% de l'amplitude de tension. Le dégagement de défaut par protection etl'intervention incorrecte de protection sont les causes principales de cette interruption [1], [3].Donc, les creux de tension et les coupures brèves sont principalement produits par les courts- circuits imputables aux incidents naturels du réseau et aux manœuvres d'organes de protection éliminant ces défauts [11]. Ils sont également la conséquence d'appel de puissancesimportantes lors de la mise en service de certaines charges du réseau [1].

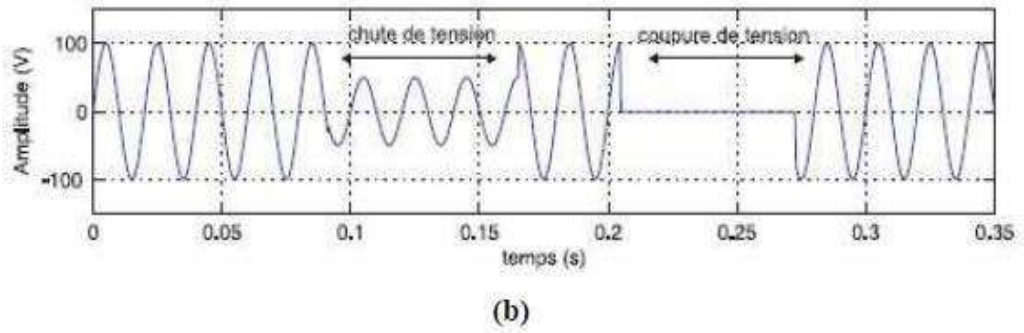


Figure I.3 : Creux de tension et coupure

I.2.5 Surtensions

Toute tension appliquée à un équipement dont la valeur de crête dépasse les limites d'une plage (Un +10 %) défini par une norme est une surtension.

- Les surtensions sont des trois natures : surtension à la fréquence industrielle (50Hz) ; surtension de manouvre ; surtensions atmosphériques. Elles apparaissent selon deux modes : mode commun (entre conducteur actif et la masse ou la terre) ; mode différentiel (entre conducteur actif, phase –phase ou phase-neutre).
  - Surtension à la fréquence industrielle prennent naissance suite à un défaut d'isolement entre phase et terre, lors d'une surcompensation de l'énergie réactive ou encore lors d'une résonance provoquée par un circuit inductif et condensateur.
  - Surtension de manouvre d'éculent d'une modification de la structure du réseau, mise en service de gradins de condensateur, d'une ligne à vide.

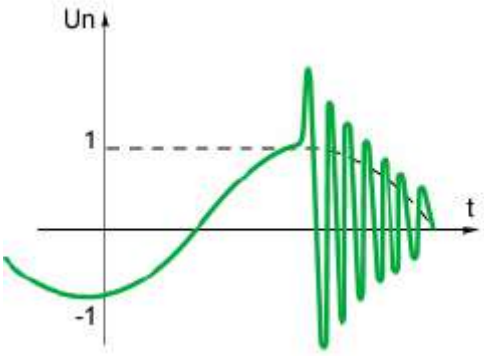


Figure I.4 : Surtension transitoire

- Surtension atmosphérique est provoquée par la foudre soit directement, soit indirectement par augmentation du potentiel de la terre [12] .

I.2.6 Chutes de tension

Lorsque le transit dans une ligne électrique est assez important, la circulation du courant dans la ligne provoque une chute de la tension La tension est alors plus basse en bout de ligne qu'en son origine, et plus la ligne est chargée en transit de puissance, plus la chute de tension sera importante.

Un réseau dans lequel la consommation est éloignée de la production, présentera un profil de tension différent de celui d'un réseau dans lequel production et consommation sont uniformément réparties. Chaque centrale impose la tension à sa sortie, et la tension évolue dans le réseau en fonction de la consommation alimentée. C'est pourquoi dans les réseaux maillés THT, la tension est différente suivant l'endroit où l'on se trouve. A la pointe de consommation, la tension est forte aux nœuds du réseau où les centrales débitent, et relativement basse aux points de consommation éloignés des centrales [1].

I.2.7 Tension et/ou courant transitoire

Les surtensions transitoires illustrées sur la figure (I.5) sont des phénomènes brefs, dans leur durée et aléatoires dans leur apparition. Elles sont considérées comme étant des dépassements d'amplitude du niveau normal de la tension fondamentale à la fréquence 50Hz ou 60Hz pendant une durée inférieure à une seconde [5]. Quelques équipements tels que les dispositifs électroniques sont sensibles aux courants/tensions transitoires.

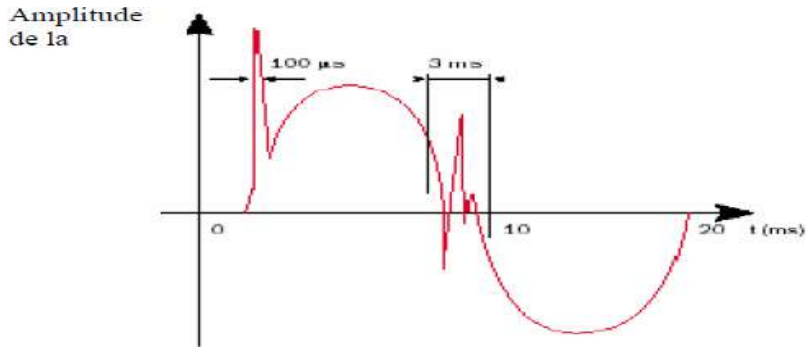


Figure I.5 : Exemple de cas de surtension transitoire

I.2.8 Fluctuation de tension (Flickr)

Des variations rapides de tension, répétitives ou aléatoires figure(I.6), sont provoquées par des variations rapides de puissance absorbée ou produite par des installations telles que les soudeuses, fours à arc, éoliennes, etc.

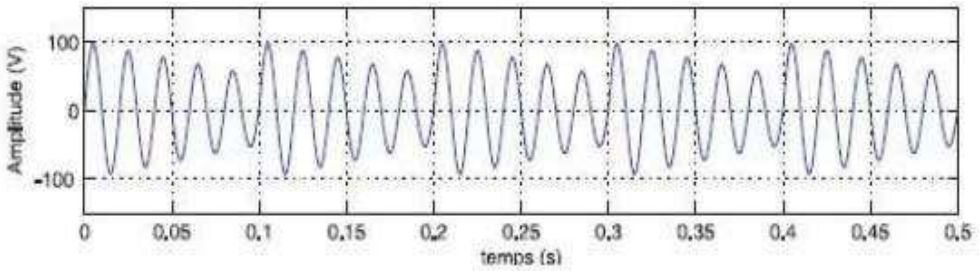


Figure I.6 : Fluctuation de la tension

Ces fluctuations de tension peuvent provoquer un papillotement de l'éclairage (flicker), gênant pour la clientèle, même si les variations individuelles ne dépassent pas quelques dixièmes de pour-cent. Les autres applications de l'électricité ne sont normalement pas affectées par ces phénomènes, tant que l'amplitude des variations reste inférieure à quelque10 % [10].

I.2.9 Variation de fréquence

Une variation sensible de la fréquence du réseau peut apparaître sur les réseaux des utilisateurs alimentés par une source thermique autonome. Figure(I.7). Au niveau des réseaux de distribution ou de transport, cette variation de la fréquence est très rare et n'est présente quelors 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 fréquencefondamental doit être comprise dans l'intervalle 50 Hz +/- 0.2 % [13].

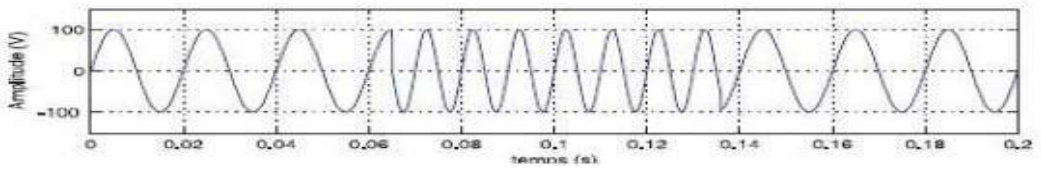


Figure I.7 : Variation de fréquence

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté différentes origines des perturbations affectant les réseaux électriques. Comme nous avons pu le constater, les harmoniques et les déséquilibres de courant et de tension, la puissance réactive et les creux de tension ont des effets néfastes les (paramètres électriques) sur les équipements électriques. Ces effets peuvent aller des échauffements et de la dégradation du fonctionnement normal jusqu'à la destruction totale de ces équipements.

Chapitre II

Solutions pour améliorer La qualité d'énergie

Introduction

Les tensions perturbatrices dans un réseau électrique basse tension sont principalement les creux de tension, les tensions harmoniques et les tensions déséquilibrés. Ces deux dernières sont généralement causées par la circulation des courants harmoniques et/ou déséquilibrés. On peut compenser ces tensions perturbatrices en limitant la circulation des courants perturbateurs ou en compensent ces tensions perturbatrices sans limitation ces courants perturbateurs.

II.1 Différentes solutions pour réduire les tensions perturbatrices

II.1.1 Réduire les courants perturbateurs

L'élimination des harmoniques aux déséquilibres de courant signifie l'élimination dela cause de déformation de la forme d'onde de la tension du réseau.

.

II.1.1.1 Solutions traditionnelles

L'existence de perturbations dans un réseau électrique conduit à prendre impérativement des dispositifs afin d'atténuer ou d'éliminer leurs conséquences sur les équipements électriques et sur les réseaux électriques [2]. Sur cette base on va décrire de manière sommaire les principaux dispositifs existants utilisés pour le traitement des perturbations :

a) Compensation de la puissance réactive

La puissance réactive est majoritairement consommée par les moteurs asynchrones et plus récemment par des dispositifs à base d'électronique de puissance. Différentes méthodes de compensation sont utilisées pour relever le facteur de puissance. La plus simple consiste à placer des batteries de condensateurs en parallèle avec le réseau. L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait que la puissance réactive fournie par les condensateurs est constante et qu'elle ne s'adapte pas à l'évolution dubesoin [2].

b) Compensation des courants harmoniques

Plusieurs solutions existent pour limiter la propagation et l'effet des harmoniquesdans les réseaux électriques :

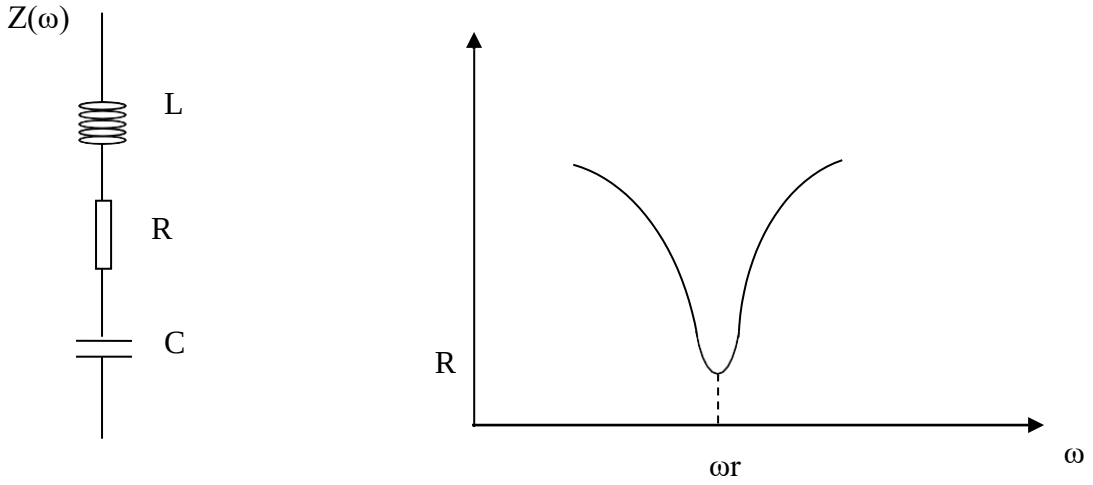
- l'augmentation de la puissance de court-circuit du réseau et l'utilisation de convertisseurs peu polluants qui ont pour effet de diminuer la distorsion harmonique.
- l'utilisation de dispositifs de filtrage pour réduire la propagation des harmoniques produits par des charges non linéaires.

Le filtrage consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau [2].

Parmi les dispositifs de filtrage les plus répandu, on distingue Les filtres passifs contribuent à la compensation d'énergie réactive [15]. Parmi les filtres passifs, on peut citer :

b).1 Filtre passif résonant

Il est constitué par la mise en série d'une inductance, d'une résistance, et d'un condensateur. La figure (HI.1) montre clairement le montage de ce dernier ainsi que son avec la ligne de l'impédance en fonction de la fréquence [16].



FigureII.1 : Filtre passif résonnant

Ce type de filtre est caractérisé par l'emplacement de trois filtres, deux pour les harmoniques d'ordre inférieurs et un filtre pour les harmoniques d'ordres supérieurs, c'est-à-dire pour un pont triphasé nous avons besoin d'un filtre passe bas pour le cinquième et l'autre pour le septième harmonique et d'un filtre passe haut pour tous les harmoniques au-delà de la 11ème [17].

b).2 Filtre passif série

Le principe est le même que le précédent, mais au lieu de piéger les harmoniques, on les empêche de remonter à la source. Un exemple de filtre passif série est le circuit bouchon [18].

b).3 Filtre passe-haut

Le Filtre passe haut est moins sélectif et atténue les harmoniques inférieures ou voisins de sa fréquence de coupure. La figure (II.2) représente l'évolution de son impédance en fonction de la fréquence [16].

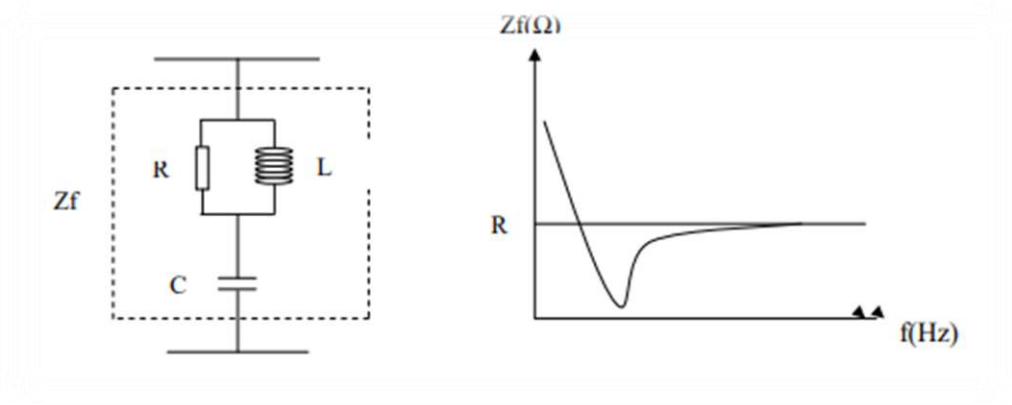


Figure II.2 : Filtre passe-haut ou passif amorti

Le filtre passe haut assure l'atténuation des harmoniques dans une plage plus large de fréquence que le filtre résonnant, mais contribue à améliorer sensiblement le taux de distorsion harmonique globale d'une installation polluée. Le filtre passe haut peut être associé à un filtre résonant dans certaines applications industrielles.

Pour des installations utilisant le filtrage harmonique, on peut concevoir la mise en œuvre d'un filtre résonant pour les rangs 5 et 7, associe à un filtre passe haut accorder pour un harmonique de rang 13 par exemple.

Ces dispositifs sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive. Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter plusieurs inconvénients [19] :

- manque de la souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- équipements volumineux.
- problèmes de résonance avec l'impédance du réseau.

II.1.1.2 Solutions modernes

Les solutions de dépollution traditionnelle ne répondant plus à l'évolution des réseaux Electriques et des charges à protéger, comme nous venons de le décrire précédemment, d'autres solutions modernes ont été proposées.

a) Pont décéda phase

Deux redresseurs hexa phases montés en série font composer ce pont, qui est le pont le plus utilisé (cas des puissances importantes). Donc, toujours dans le souci de repousser le premier harmonique présent sur un spectre pollué, l'association de deux ponts triphasés en série a été envisagée comme il est illustré sur le schéma de la figure(HI.3)

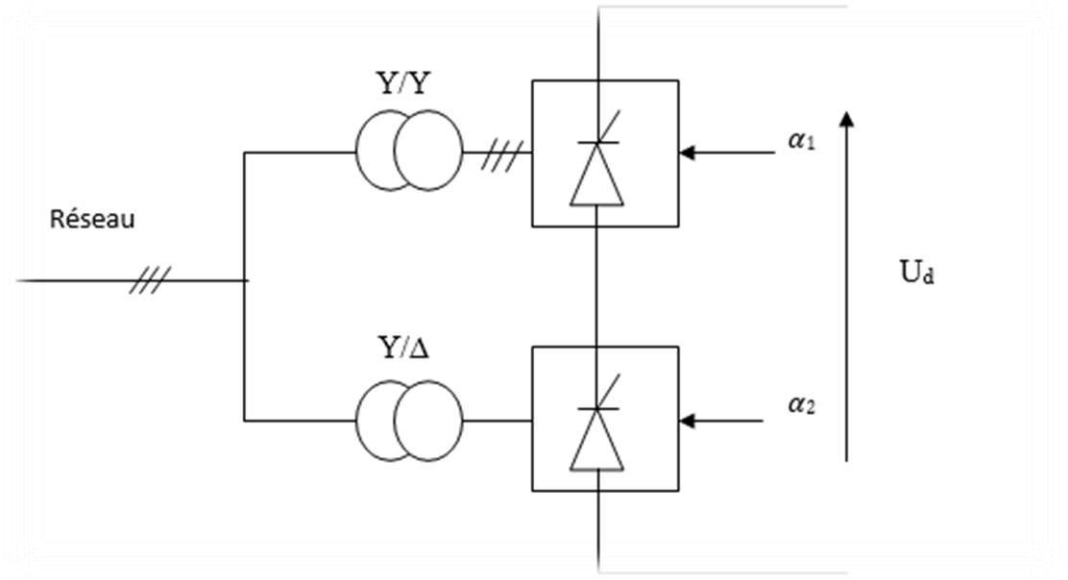


Figure HI.3 : Pont décéda phase

L'utilisation d'un grand nombre de semi-conducteurs et de Transformateurs à deux enroulements secondaires rend cette solution onéreuse. Elle entraîne un coût supplémentaire et demande plus que le savoir-faire habituel pour les mettre en œuvre.

Ces solutions ne résolvent pas les problèmes causés par les charges polluantes quiexistent sur le marché [20].

b) Redresseurs à MLI

Ce sont des convertisseurs à modulation de largeurs d'impulsions, utilisant des Composants à commutation forcée tels que les IGBT ou les thyristors GTO. L'emploi de cette technique permet non seulement une réduction de la perturbation harmonique en prélevant des courants d'allure sinusoïdale mais aussi un contrôle des puissances actives et réactives [21]. On distingue deux structures, la structure courant et lastructure tension. Elles sont développées dans les paragraphes ci-après.

b).1 Redresseur de tension

Son schéma de principe est présenté sur la figure (II.4). Les composants de puissance disponibles (IGBT, GTO) étant unidirectionnels en courant, le courant **Id** le sera également. La réversibilité en puissance s'effectue par l'inversion de la tension redressée **Ud**. Le contrôle de la puissance réactive est obtenu par action sur la phase du courant réseau par rapport à la tension [21]

.

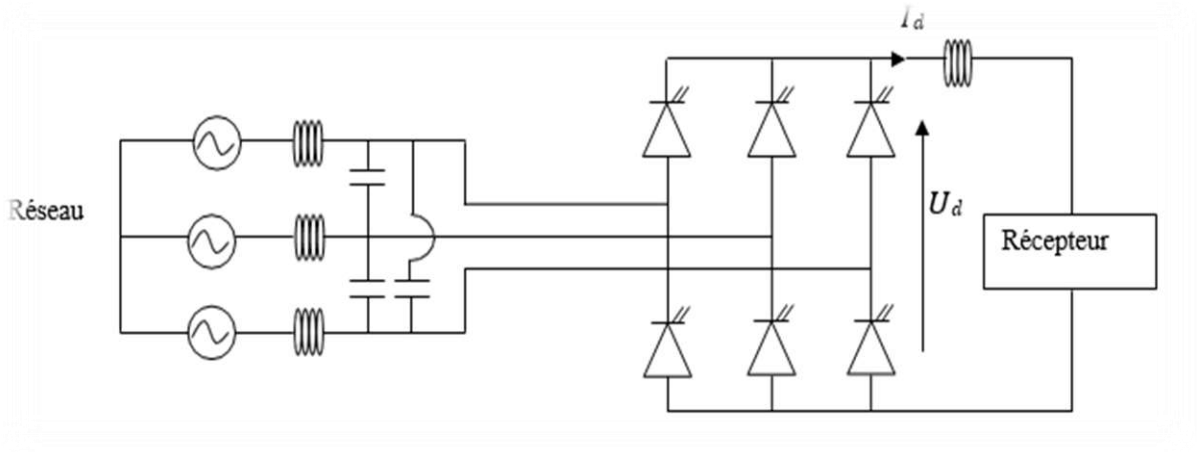


Figure II.4 : Redresseur de tension

b).2 Redresseur de courant

Elle est présentée sur la figure (II.5). La tension **Ud** étant Unidirectionnelle, la réversibilité de la puissance active est assurée par le courant **Id**, qui est bidirectionnel.

Le contrôle de la puissance réactive est réalisé par action indirecte sur la phase du fondamental de courant du réseau [21].

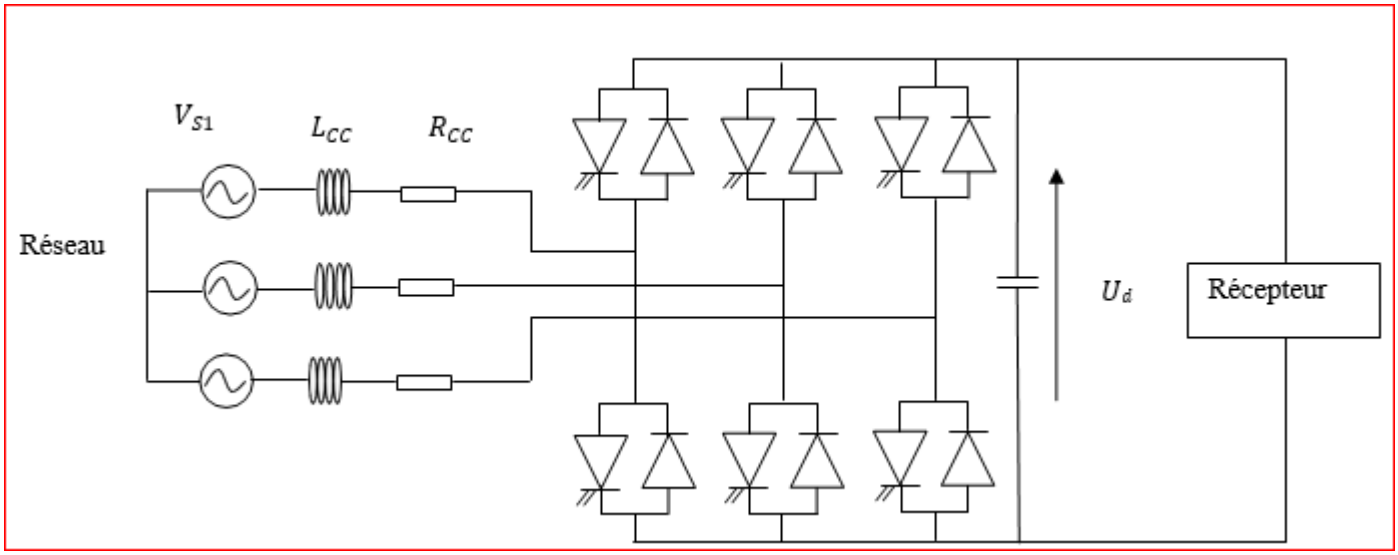


Figure HI.5 : Redresseur de courant

Les inductances **Lcc** servent dans la figure (II.5) à découpler le convertisseur de réseau car les deux réseaux alternatifs et continus sont tous deux sources de tension [21].

c) Filtres actifs

Les méthodes présentées jusqu'ici pour diminuer les perturbations présentent des inconvénients importants, il a fallu donc penser à un autre système de compensation qui puisse s'adapter rapidement aux spectres harmoniques. Avec les semi-conducteurs d'aujourd'hui pouvant être à la fois rapides et puissants, la solution ne s'est pas attendre et un nouveau moyen performant de compensation est apparu : Filtre actif. L'utilisation des filtres actifs contribue à la minimisation des harmoniques survenant dans les réseaux de distribution de l'énergie électrique, causés par la connexion des charges non linéaires (les plus courantes sont les démarreurs électroniques des moteurs, les variateurs électroniques de vitesse, et autres dispositifs électroniques, les postes à souder et les alimentations sans interruption (ASI)) [1]. Un filtre actif est un dispositif qui exploite au moins un convertisseur statique pour satisfaire la fonction de 'dépollution harmonique' [15]. Les besoins en terme de dépollution harmonique sont divers, parce qu'on espère toujours garantir :

- Le non pollution d'un réseau propre alimentant une charge sensible.
- Le bon fonctionnement d'une charge sensible dans un environnement pollué.
- Réaliser, simultanément, les deux opérations [22], [23].

Ce vocable générique regroupe, donc, en effet un multiple de systèmes, qui se différencient par : le nombre de convertisseurs utilisés et leur mode d'association, leur type (source de tension source de courant), les lois de régulation globale (compensation en courant ou en tension), l'association éventuelle avec des composants passifs [15].
Le principe est d'injecter dans le réseau un signal harmonique, courant ou tension selon ce qu'on veut compenser, identique à celui existant sur ce dernier mais ayant une phase opposée, ainsi ils s'annuleront par superposition [24]. Selon la façon dont il est connecté au réseau, on parle alors d'un filtre actif parallèle ou série.

c).1 Filtre actif parallèle

Ce filtre est le plus souvent commandé comme un générateur de courant, il génère des courants harmoniques, en opposition de phase avec le réseau, afin que la somme avec ceux-ci soit nulle. On obtient alors des courants sinusoïdaux au niveau du réseau. Il permet donc de supprimer au point de raccordement tous les harmoniques de courants de charge non linéaire. Il peut aussi fonctionner comme un compensateur de tensions harmoniques dont il permet de maintenir sinusoïdale la tension au point de raccordement quelque soit le courant absorbé par la charge ou la qualité de la source de tension.
En générale, le filtre actif parallèle est utilisé pour la dépollution des réseaux BT et MT. Son impédance totale vis à vis de la source et de la charge lui confère une bonne auto-adaptabilité avec les performances appréciables [15]. Ce type de configurationest indiqué par la figure (II.6) :

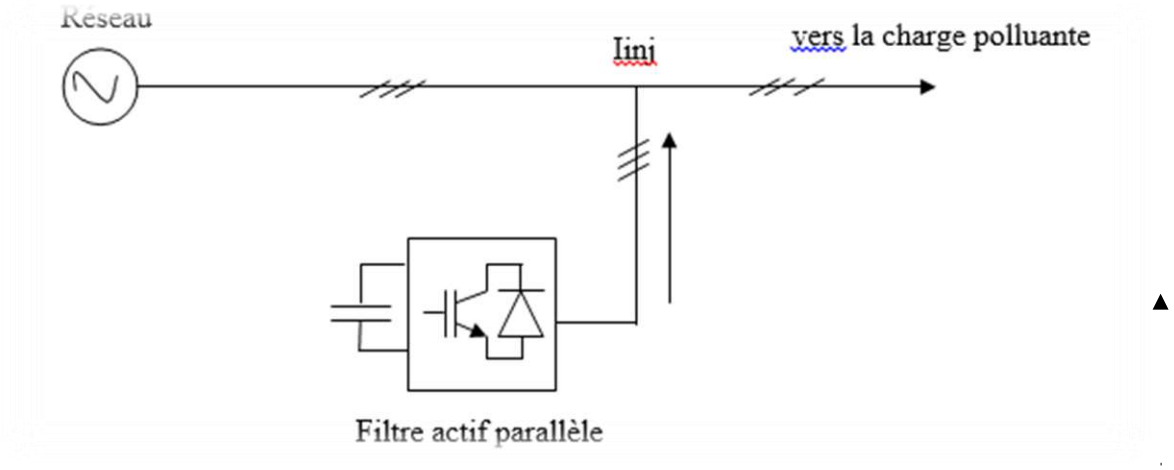


Figure II.6 : Schéma d'un Filtre actif parallèle

Ce filtre peut être utilisé selon deux modes de fonctionnement:

c).1.1 Filtre dédié

C'est le cas où les harmoniques à filtres sont déjà connus. L'exemple type est la suppression des premiers harmoniques du courant absorbés par un redresseur alimentant une charge fortement inductive. Dans ce cas les harmoniques peuvent être approximativement estimés à partir de l'amplitude et de la phase du courant fondamentale [1].

c).1.2 Filtre adaptatif

Ce filtre permet d'identifier par lui-même les harmoniques et il s'adapte automatiquement à leurs éventuelles évolutions. Sa commande lui permet de générer en temps réel des courants harmoniques en opposition de phase [22].

c).2 Association d'un filtre actif parallèle et un filtre passif

Cette combinaison permet d'introduire un bon amortissement pour éviter le problème d'antirésonance [1].

Ce type de configuration est indiqué par la figure (II.7) :

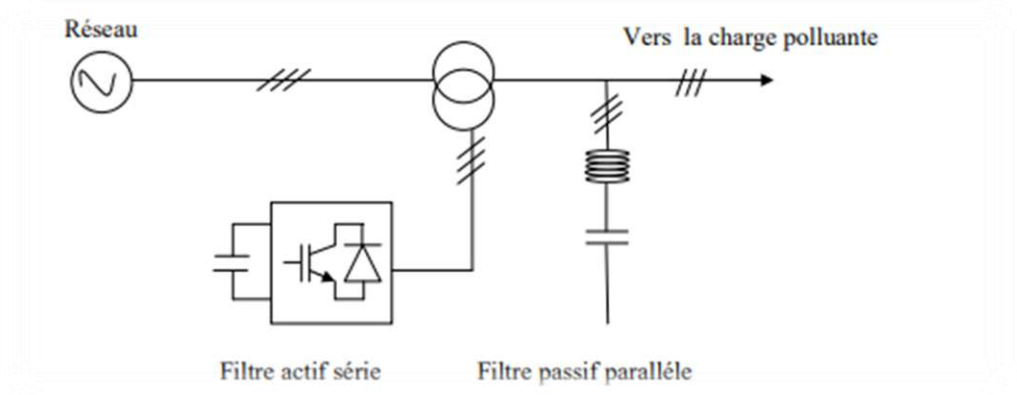


Figure II.7 : Filtre actif parallèle assisté par filtre passif

II.1.2 Filtre actif série

C'est une solution pour protéger les charges sensibles contre les perturbations de tension du réseau électrique.

Donc l'objectif pour le premier cas (compensateur de tension harmonique) est de jouer le rôle d'une source de tension qui fournit la tension harmonique tel que, additionnée à la tension réseau, le résultat sera sinusoïdal, et pour le deuxième cas (compensateur de courant harmonique) il se comporte comme une impédance infinie aux fréquences harmoniques et comme une impédance nulle à la fréquence fondamentale dont le rôle d'isolateur qui empêche les courants harmoniques de remonter vers le réseau.

L'opération principale de ce dispositif qui est destiné à protéger les installations sensibles aux perturbations réseau : surtension, déséquilibre le filtre actif série est basée sur l'isolation des harmoniques entre la charge et la source, Ce type de configuration est indiqué par la figure (I.8) :

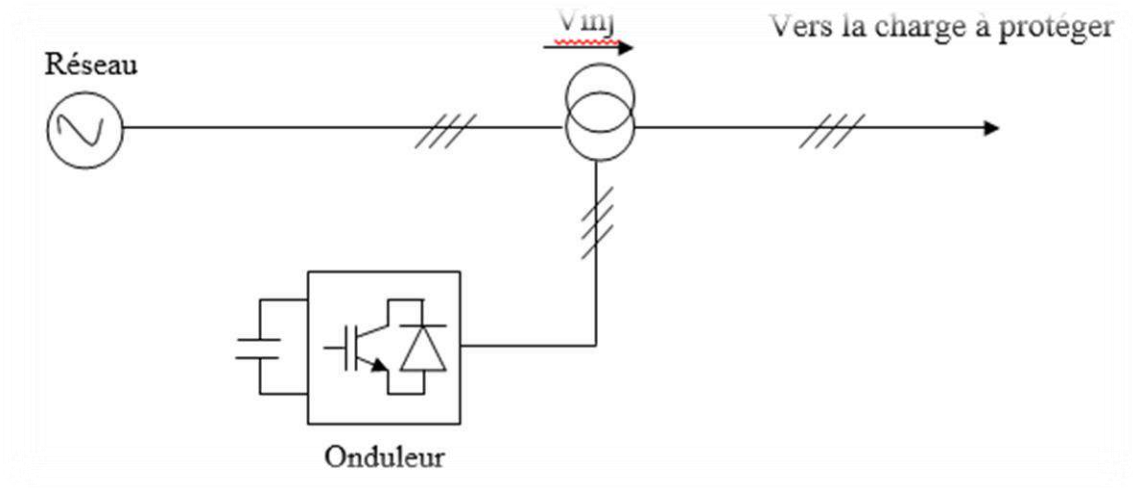


Figure HI.8 : Filtre actif série

II.1.2.1. Principe de fonctionnement

Ce filtre n'a aucune influence sur les courants harmoniques qui pourraient circuler dans le réseau. La tension aux bornes de la charge est sinusoïdale, ce qui n'est pas le cas du courant de la source car cette dernière est traversée par la totalité du courant de la charge. Une solution qui permet de pallier cet inconvénient est l'association d'un filtre actif série avec un filtre passif [16].

Le filtre actif série (FAS) est placé en série entre la source et la charge non linéaire pourforcer le courant de la source à être sinusoïdal. Cette approche est basée sur le principed'isoler les harmoniques par le contrôle de la tension de sortie du FAS. En d'autres mots, le FAS présente une impédance élevée au courant harmonique, ce qui isole ces courants les empêchant ainsi d'aller vers la source ou vers la charge.

Le filtre actif série se comporte dans ce cas, comme une source de tension qui s'oppose aux tensions perturbatrices (creux, déséquilibre, harmonique) venant de la source et également à celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance duréseau.

Ainsi la tension aux bornes de la charge à protéger est purement sinusoïdale.

Dans le principe du compensateur série, il est tout à fait possible de conjuguer ces deux types de compensation (harmonique et énergie réactive).

Par filtre actif série, on retiendra le compensateur série dont le rôle est d'insérer sur la ligne une tension anti harmonique V_{ffa} de façon à ce que la tension résultante Vs soit sinusoïdale.

Ainsi le filtre actif série à deux fonctions :

- D'une part il sert d'isolateur harmonique entre la source et la charge.
- D'autre part il régule la tension de la source qui est susceptible d'être déformée par undéséquilibre du réseau.

II.1.3 Association d'un filtre actif série et parallèle

L'idée de base de cette combinaison est d'isoler d'un côté l'harmonique entre la charge et la source, et d'autre côté de régulariser la tension réseau. Ceci s'effectuepar l'intermédiaire du filtre actif série. Par ailleurs, le filtre actif parallèle permet de compenser les courants harmoniques et la puissance réactive de la charge et permet aussi de contrôler la tension continue du condensateur commun des filtres actifs. Cette association dite « Déphaseur Régulateur Universel DRU » peut être applicable aux réseaux électriques dans le but d'augmenter leur capacité de transfert d'énergie ; C'est les systèmes FACTS (Flexible Alternante Curent Transmission System) [B25]. Il convient de noter que cette topologie induit des contraintes de dimensionnement et de protection du coupleur magnétique, car : par ce dernier transite le courant total de la charge, il est soumis en cas de court-circuit à une onde de courant de valeur très importante. Une issue à ces deux problèmes est d'utiliser un transformateur avec un enroulement secondaire supplémentaire La compensation s'effectue alors par voie « magnétique» par action directe sur le flux [15]. Ce type de configuration est indiqué par la figure (II.9) :

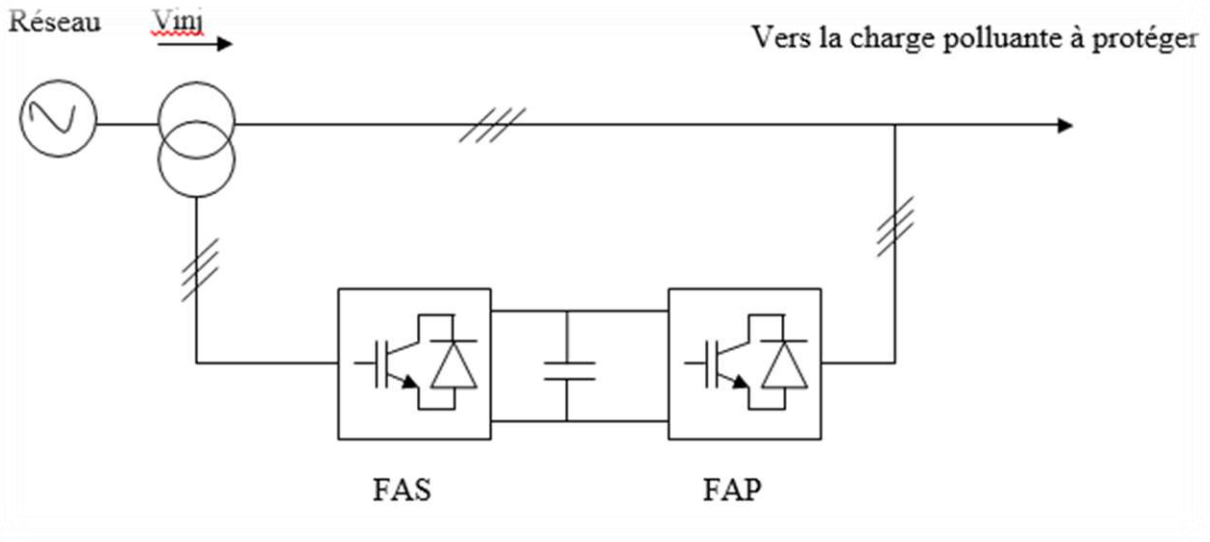


Figure II.9 : Association des filtres actifs série et parallèle

II.1.4 Filtres hybrides (mixte actif -passif)

Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent le prix des filtres actifs, l'association de filtres actifs de faible puissance à des filtres passifs peut être une solution. Dans ce cas, les filtres passifs ont pour rôle d'éliminer les harmoniques prépondérants permettant de réduire le dimensionnement des filtres actifs qui ne compensent que le reste des perturbations. Plusieurs configurations ont été présentées dans la littérature [2], les plus étudiées étant :

- Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.
- Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles.

II.1.4.1 Association d'un filtre actif série avec un filtre passif parallèle

Le schéma de principe de ce système de filtrage est donné par la figure (HI.10), il est constitué de filtre passif accordé aux fréquences des harmoniques prédominantes et d'un filtre série. Plusieurs études ont confirmé que les performances des filtres actifs peuvent être améliorées par ce couplage [1].

Cette configuration permet d'une part de minimiser la puissance du filtre actif car une grande partie des courants harmoniques est absorbée par les filtres passifs et d'autre part d'améliorer les performances des filtres passifs. Il réduit ainsi les risques d'antirésonance entre les éléments du filtre passif et l'impédance du réseau [1].

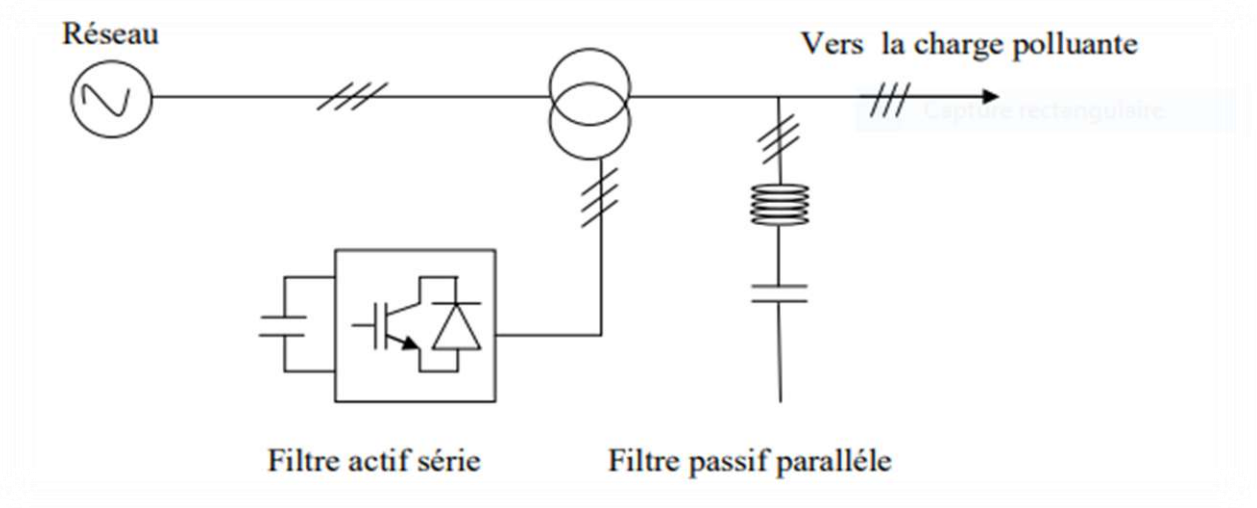


Figure II.10 : Filtre actif série avec un filtre passif parallèle

II.1.4.2 Filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles

Le principe de fonctionnement de cette configuration, présentée en figure (HI.11) est la même que celui-ci de la figure (II.7) avec l'avantage de réduire encore le dimensionnement du filtre actif série car le courant qui le traverse est plus faible [2]. De plus, le filtre actif série est à l'abri d'un éventuel court-circuit de la charge.

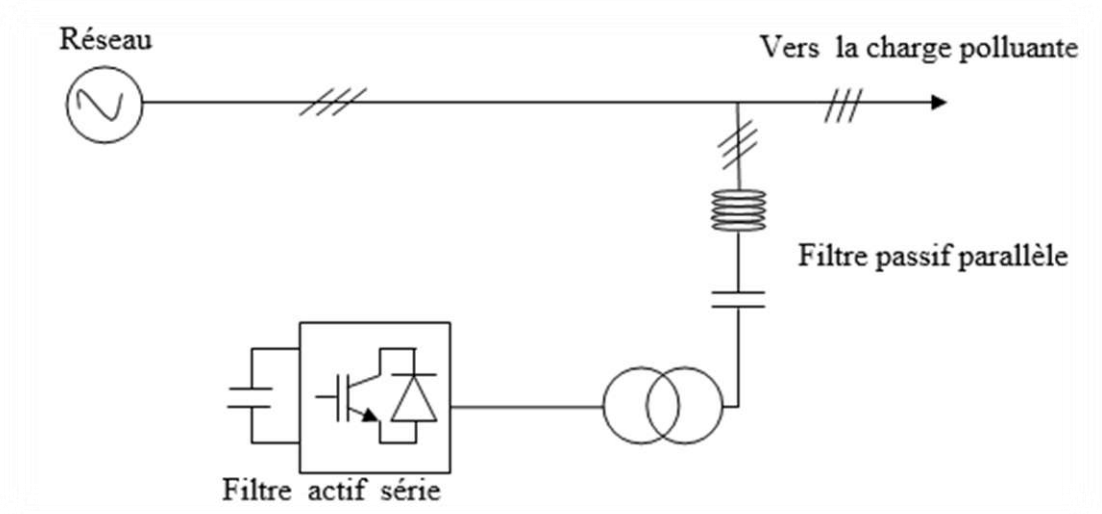


Figure II.11 : Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle

II.1.5 Différents solutions pour réduire les creux de tension et coupures, fluctuations de tension, déséquilibres, surtensions

II.1.5.1 DVR (Dynamic voltage restorer)

Le DVR *(Dynamic voltage restorer)* est une solution adaptée à la compensation des déséquilibrées de tension, des surtensions et des creux de tension [2].

II.1.5.2 Autre solutions pour réduire les creux de tension et coupures, fluctuations de tension, déséquilibres, surtensions

a) Creux de tension

a).1 Réduction du nombre de creux de tension et de coupure

Les distributeurs peuvent prendre certaines dispositions telles que la fiabilisation des ouvrages (maintenance préventive ciblée, renouvellement, mise en souterrain), la restructuration des réseaux (raccourcissement de la longueur des départs). Ils peuvent aussi, au sein des réseaux à neutre impudent, remplacer des disjoncteurs déclencheur-réenclencher automatiques par des disjoncteurs shunt qui ont le gros avantage de ne pas provoquer de coupures sur le départ avarié en cas de défaut fugitif à la terre (réduction du nombre de coupures brèves). Ces disjoncteurs provoquent l'extinction des défauts fugitifs à la terre en annulant pendant au moins 300 ms la tension aux bornes du défaut par la mise à la terre de la seule phase en défaut au niveau du jeu de barres du poste source [6].

a).2 Réduction de la durée et de la profondeur des creux de tension

- **Au niveau du réseau**
  - Augmentation des possibilités de bouclage (interrupteur de bouclage).
  - Amélioration du niveau de performance des protections électriques(organes télécommandés en réseau, tél éconduite, installation des parafoudres…).
  - Augmentation de la puissance de court-circuit du réseau.

- **Au niveau des équipements**

Diminution de la puissance absorbée par les charges de fortes puissances lors de leur mise sous tension avec des compensateurs automatiques en temps réel et des

Démarreurs progressifs qui limitent les pointes de courant (ainsi que les sollicitations mécaniques) [6].

a).3 Insensibilisation des installations industrielles et tertiaires

Le principe général de désensibilisation contre les creux de tension et les coupures est de compenser le manque d'énergie par un dispositif à réserve d'énergie intercalé entre le réseau et l'installation. Cette réserve doit avoir une autonomie supérieure à la durée du défaut de tension dont on veut se protéger [6].

Les informations nécessaires au choix du dispositif d'insensibilisation sont :

- Qualité de la source (niveau maximal de perturbations présent).
- Exigences des récepteurs (sensibilité dans le plan durée-profondeur).

a).4 L'arrêt propre

Si un arrêt est acceptable, l'impossibilité d'une remise en marche non contrôlée est particulièrement indiquée lorsqu'un redémarrage intempestif présente un risque pour l'opérateur sur machine (scie circulaire, machine tournante) ou pour le matériel (cuve de compression encore sous pression ou étalement des redémarrages dans le temps de compresseurs de climatiseurs, pompes à chaleur ou de groupes frigorifiques) ou pour l'application (nécessité de contrôler le redémarrage de la fabrication). Un redémarrage automatique du procédé peut être ensuite assuré par un automate selon une séquence de redémarrage préétablie quand les conditions sont redevenues normales [6].

b) Fluctuations de tension

Les fluctuations produites par les charges industrielles peuvent affecter un grand nombre de consommateurs alimentés par la même source. L'amplitude de la fluctuation dépend du rapport entre l'impédance de l'appareil perturbateur et celle du réseau d'alimentation. Les solutions consistent à :

- **Changer de mode d'éclairage** : Les lampes fluorescentes ont une sensibilité plus faible que les lampes à incandescence.
- **Installer une alimentation sans interruption** : Elle peut être économique lorsque les utilisateurs perturbés sont identifiés et regroupés.

- **Modifier le perturbateur** : Le changement du mode de démarrage de moteurs à démarrages fréquents permet par exemple de réduire les surintensités.

- **Modifier le réseau :**

✓ Augmenter la puissance de court-circuit en raccordant les circuits d'éclairage au plus près du point de l'alimentation.

✓ Eloigner « électriquement » la charge perturbatrice des circuits d'éclairage en alimentant la charge perturbatrice par un transformateur indépendant.

- **Utiliser un compensateur automatique** : Cet équipement réalise une compensation en temps réel phase par phase de la puissance réactive. Le Flickr peut être réduit de 25 % à 50 %.
- **Placer une réactance série** : En réduisant le courant appelé, une réactance en aval du point de raccordement d'un four à arc peut réduire de 30 % le taux de Flickr [6].

c) Déséquilibres

Les solutions consistent à :

- Équilibrer les charges monophasées sur les trois phases.
- Diminuer l'impédance du réseau en amont des générateurs de déséquilibre en augmentant les puissances des transformateurs et la section des câbles.
- Prévoir une protection adaptée des machines.
- Utiliser des charges (LC) judicieusement raccordées (montage de Steinmetz) [6].

d) Surtensions

Obtenir une bonne coordination d'isolement c'est réaliser la protection des personnes et des matériels contre les surtensions avec le meilleur compromis technico-économique [26]. Elle nécessite:

- de connaître le niveau et l'énergie des surtensions pouvant exister surle réseau.

- de choisir le niveau de tenue aux surtensions des composants du réseau permettant de satisfaire aux contraintes.
- d'utiliser des protections quand cela est nécessaire.

En fait, les solutions à retenir dépendent du type de surtensions rencontrées.

d).1 Surtensions temporaires

- Mettre hors service tout ou partie des condensateurs en période de faible charge.
- Eviter de se trouver dans une configuration à risque de Ferro résonance ou introduire des pertes (résistances d'amortissement) qui amortissent le phénomène.

d).2 Surtensions de manœuvre

- Limiter les transitoires provoqués par la manœuvre de condensateurs, par l'installation de self de choc, résistances de pré insertion.
- Placer des inductances de ligne en amont des convertisseurs de fréquence pour limiter les effets des surtensions transitoires.
- Utiliser des disjoncteurs de branchement différentiels et sélectif (type « S ») en BT et des disjoncteurs de type « si » ($I\Delta n$ = 30 mA et 300 mA). Leur emploi évite les déclenchements intempestifs dus à des courants de fuite transitoires : surtensions atmosphériques, de manœuvre, mise sous tension de circuits fortement capacitifs à la terre (filtres capacitifs reliés à laterre, réseaux de câbles étendus…) qui s'écoulent dans le réseau en aval du DDR (Dispositif à courant Différentiel Résiduel) par les capacités à la terre du réseau [6].

Conclusion

Plusieurs solutions traditionnelles et modernes de dépollution ont été présentées. La solution classique à base de filtres passifs est souvent pénalisée en termes d'encombrement et de résonance. De plus, les filtres passifs ne peuvent pas s'adapter à l'évolution du réseau et aux charges polluantes. Récemment, en plus du filtrage des harmoniques, les filtres actifs parallèles et séries, et leur combinaison, sont étudiés pour la compensation de tous les types de perturbation susceptible d'apparaître dans

Un réseau électrique basse tension. En effet, profitant des progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance, ces solutions peu encombrantes n'occasionnent aucune résonance avec les éléments passifs du réseau et font preuve d'une grande flexibilité face à l'évolution du réseau électrique et de la charge polluante. Le filtre actif parallèle peut être installé pour compenser toutes les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et la puissance réactive. Le filtre actif série peut être installé pour compenser toutes les perturbations de tension comme les harmoniques, les déséquilibres et les creux de tension.

La combinaison parallèle-série actifs est la solution universelle pour compenser toutes les perturbations en courant et en tension.

D'autres solutions de dépollution consistent à associer des filtres actifs et passifs pour trouver un compromis entre l'efficacité de compensation et le coût. Ces solutions peuvent être des solutions futures très prometteuses.

Les filtres hybrides étant conçus essentiellement pour dépolluer les réseaux électriques des courants harmoniques, notre objectif de recherche portant sur la dépollution de toutes sortes de perturbations, seules les solutions actives de filtrage seront analysées dans ce mémoire.

C'est ainsi que dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'énergie électrique qui doit être conforme aux nouvelles contraintes normatives, nous étudierons, dans les chapitres suivants, des méthodes de régulation avancées que nous appliquerons dansle cas des structures de filtres actifs parallèle, série et combiné.

Chapitre III

Etude du filtre actif série

Introduction

Dans ce chapitre, on présente le système adopté pour la compensation des harmoniques de tension dans le but de protéger les charges sensibles aux harmoniques défèrent niveau a de tension. Ce système est le filtre actif série avec un onduleur trois niveau.

III.1 Mise en œuvre

Le filtre actif Série *(F.A.S)* est une solution adaptée à la compensation des tensions perturbatrices, harmoniques, déséquilibrées et des creux de tension. Ces perturbations trouvent généralement leurs origines dans le réseau lui-même mais peuvent parfois êtreprovoquées par les charges elles-mêmes.

En 1976, une famille de filtres actifs séries avec des onduleurs à transistors contrôlés en MLI a été présentée. Un compensateur statique pour le rééquilibrage de la tension du réseau électrique a été proposé en 1985. La génération, par l'onduleur à thyristors, des composantes non désirées, ayant une faible fréquence de commutation, a découragé l'avancement pratique de cette solution. En 1990, un compensateur de tension à base d'onduleur de tension triphasé a été proposé pour compenser le déséquilibre de tension de réseau électrique. Depuis, beaucoup de travaux ont été consacrés à l'amélioration de la qualité de compensation du déséquilibre de la tension du réseau. D'autres articles ont introduit le problème des creux de tension et la solution de compensation par le compensateur actif série [2].

III.2 Structure générale du système

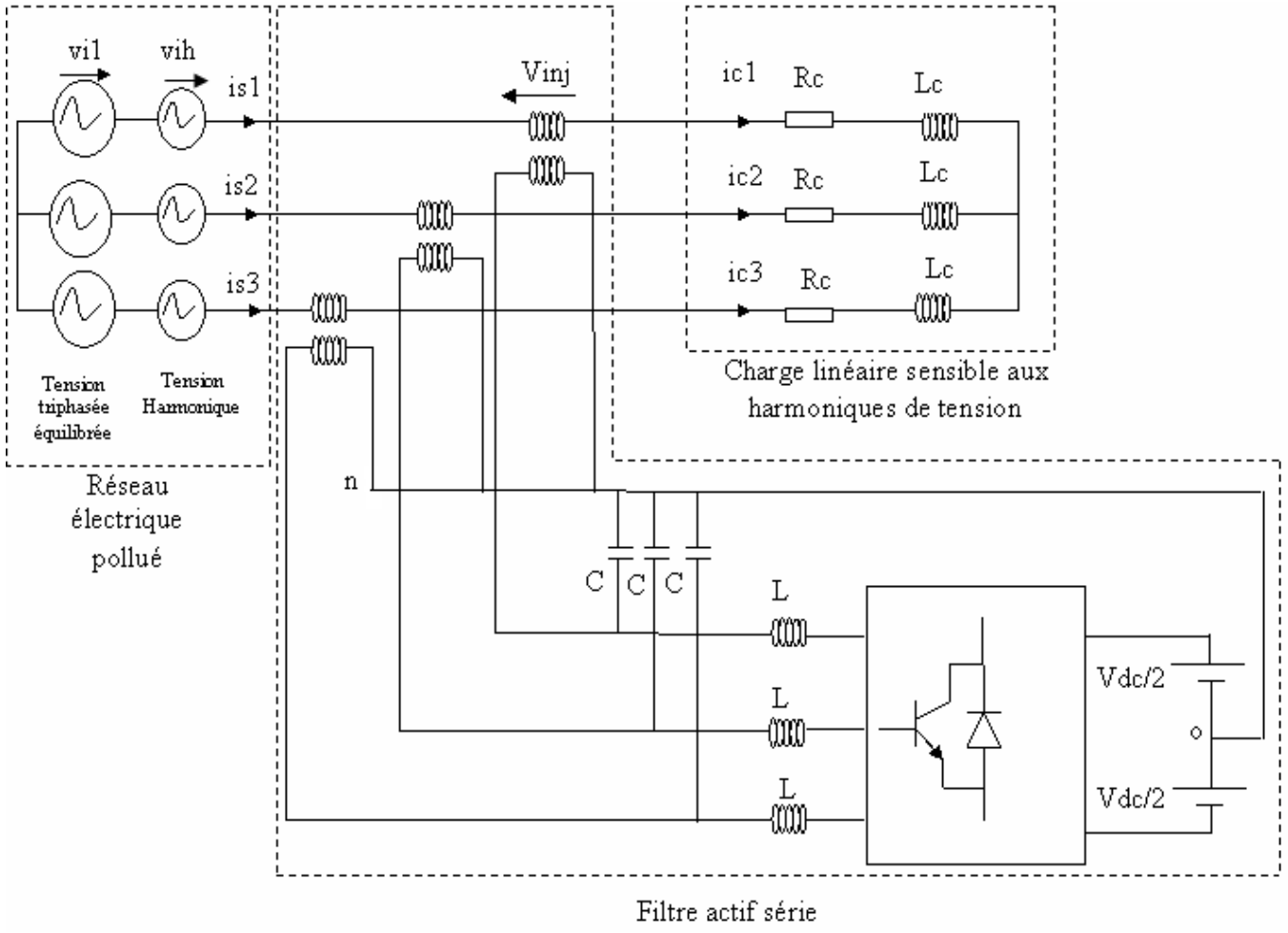


Figure III.1 : Association (réseau électrique - charge linéaire - FAS)

III.2.1 Description de l'association (réseau électrique-charge linéaire-FAS)

Le schéma de la figure (III.1) présente le système étudié dans ce mémoire. Il est constitué d'un réseau électrique pollué alimentant une charge linéaire équilibré (R-L). Cette charge sera protégée contre les harmoniques de tension provenant du réseau par un filtre actif série basésur un onduleur de tension à deux niveaux alimenté par une source de tension continue et équipé d'un filtre passif passe- bas (LC).

III.2.2 Modélisation du réseau électrique pollué

Le réseau électrique pollué est assimilable à une source de tension sinusoïdale (vi1) sur laquelle est superposée une tension harmonique (vih), d'où la représentation du réseau par un système des tensions triphasées équilibrées ajoutées à elles des harmoniques de tension supposées provenant du réseau figure (III.1).

La tension (vsi) de la phase (i) est exprimée par la relation suivante :

$$vsi(t)=vi1(t)+\sum_{h=2}^{n} vih$$

Avec

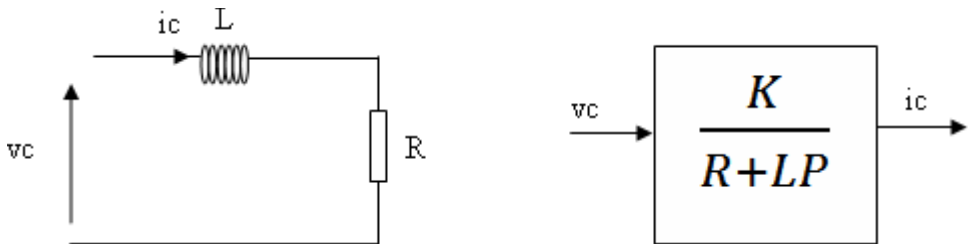
i = 1, 2, 3 numéros de la phase,

vi1 tension sinusoïdale du rang 1 de la phase i (tension fondamentale),

vih tension sinusoïdale du rang h de la phase i (tension harmonique),

III.2.3 Modélisation du la charge linéaire (RL)

Une charge est dite linéaire si, alimentée par une tension sinusoïdale, elle consomme un courant sinusoïdal. Cependant, le courant et la tension peuvent être déphasés. Les charges linéaires peuvent être des résistances, de capacités et d'inductance, des machines asynchrones en régime de fonctionnement linéaire (non saturé), des machines synchrones en régime de fonctionnement linéaire. On considéré une charge linéaire triphasée équilibrée constituée de Résistance R et d'inductance L [16].



Le gain K=1

Figure III.2 : Charge linéaire (présentation par phase) et sa fonction de transfert

III.3 Structure générale du filtre actif série

Le filtre actif série est une solution pour protéger des charges sensibles contre les perturbations de tension du réseau électrique. Il s'insère entre le réseau perturbé et la charge à protéger par l'intermédiaire d'un transformateur d'injection de tension. Plusieurs structures defiltre actif série ont été proposées [2]. La plus utilisée, présentée sur la figure (HII.3) est composée d'une partie puissance et d'une partie contrôle (commande). La partie puissance estconstituée d'un onduleur de tension triphasé à commande MLI (ou Hystérésis), un système d'alimentation en tension continue, d'un filtre de sortie, et d'un transformateur triphasé pour l'injection de tension dans le réseau. Le filtre actif série est protégé contre un court-circuit en aval côté charge par un système by-pass.

La partie contrôle (commande) comporte l'identification des tensions perturbatrices, la régulation des tensions injectées et la commande des interrupteurs de l'onduleur, souvent en MLI (Hystérésis), comme le montre la figure (III.3).

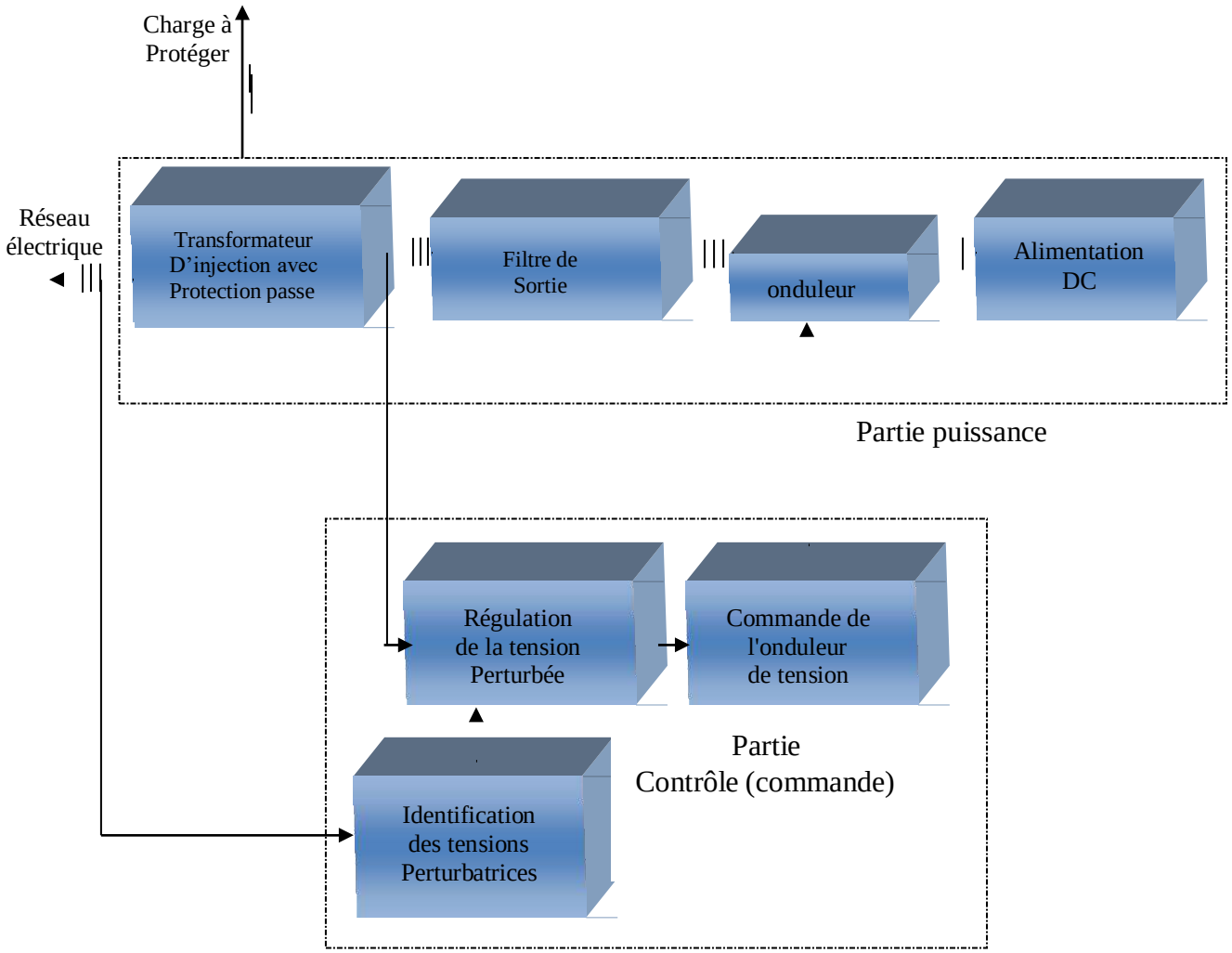


Figure III.3 : Structure générale du filtre série

Afin de mieux comprendre cette structure, les parties puissance et contrôle (commande) vont être détaillées.

III.3.1 Partie puissance du filtre actif série

III.3.1.1 Onduleur de tension

L'onduleur de tension fait l'interface entre deux types de source : une source de courant côté alternatif et une source de tension côté continu. La présence de ces deux sources implique de respecter, certaines règles de fonctionnement :

- la source de tension aux bornes de l'onduleur ne doit jamais être court- circuitée, les deux interrupteurs d'un même bras doivent donc avoir deuxcommandes complémentaires,

- la source de courant côté alternatif ne doit jamais être en circuit ouvert, le courant circulant doit toujours trouver un chemin libre d'où la mise en antiparallèle de diodes avec les interrupteurs.

III.3.1.1.1 Onduleur de tension à trois niveaux

Les onduleurs de tension constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance. Ils sont présents Dans des domaines d'application les plus variés, dont le plus connu est sans doute celui de la variation de vitesse Des machines à courant alternatif. La forte évolution de cette fonction s'est appuyée, d'une part, sur le développement De composants à semi-conducteurs entièrement commanda blés, puissants, robustes et rapides, et d'autre part Sur l'utilisation quasi-généralisée des techniques dites de modulation de largeurs d'impulsions.

Dans les applications de fortes puissances, la structure des onduleurs à trois niveaux est plus adaptée, par rapport À la structure classique, du fait que les tensions et courants de sortie présentent un taux d'harmoniques nettement Inférieur. La tension aux bornesde chaque interrupteur est divisée par deux et la fréquence de hachage est Plus basse [1- 4].
Dans cet article, nous présentons, dans la première partie, la structure ainsi que lemodèle de l'onduleur de tension À trois niveaux à structure NPC.
Ensuite, dans la deuxième partie, nous présenterons les différentes étapes de l'algorithme de commande par MLI vectorielle en utilisant les 19 vecteur tensions de l'onduleur, ainsi que les résultats de simulation obtenus.
Enfin, nous présenterons quelques résultats expérimentaux de l'application de notre onduleur sur une charge RL.

III.3.1.1.2 Modèle de l'onduleur à trois niveaux

La figure 1 montre la structure d'un onduleur de tension triphasé à trois niveaux à structure NPC. On commence Par définir la fonction de connexion F_{ki} de l'interrupteur. Elle vaut 1 si l'interrupteur est fermé et 0 dans Le cas contraire.
En mode command able, les fonctions de connexion de l'onduleur sont liées par la relation (1).

$$\begin{cases} F_{K1} = 1 - F_{K4} \\ F_{K2} = 1 - F_{K3} \end{cases}$$

Avec, $k = 1, 2$ ou 3, représente le numéro du bras.

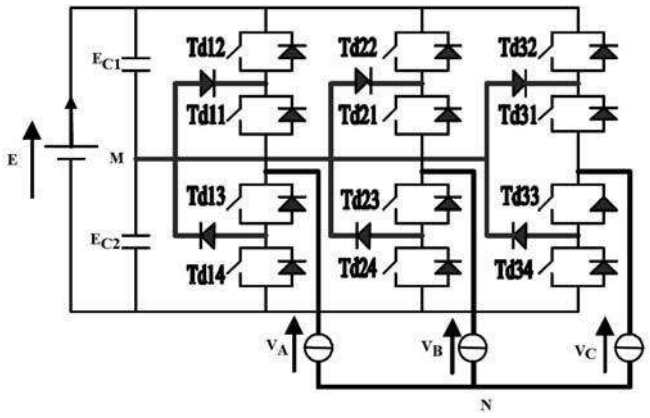


Figure III.4 Onduleur à trois niveaux à structure NPC

On définit la fonction de connexion F_{km}^{b} du demi-bas comme suit:

$$\begin{cases} F_{K1}^{b} = F_{K1} \times F_{K2} \\ F_{K0}^{b} = F_{K3} \times F_{K4} \end{cases}$$

On désigne par: m = 1 : le demi-bas du haut et m = 0 : le demi-bas du bas.
Les potentiels des nœuds A , B et C de l'onduleur triphasé à trois niveaux, parrapport au point M s'expriment comme suit:

$$\begin{cases} V_{AM} = F_{11}^{b} \times U_{c1} - F_{10}^{b} \times U_{c2} \\ V_{BM} = F_{21}^{b} \times U_{c1} - F_{20}^{b} \times U_{c2} \\ V_{CM} = F_{31}^{b} \times U_{c1} - F_{30}^{b} \times U_{c2} \end{cases}$$

Les tensions simples de sortie s'écrivent:

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \times \left(\begin{bmatrix} F_{11}^{b} \\ F_{21}^{b} \\ F_{31}^{b} \end{bmatrix} U_{c1} - \begin{bmatrix} F_{10}^{b} \\ F_{20}^{b} \\ F_{30}^{b} \end{bmatrix} U_{c2} \right)$$

III.3.1.2 Source de tension continue

Elle peut être constituée d'un système indépendant à base des batteries ou d'un redresseur de tension du réseau en tenant compte que cette dernière est polluée [2] afin de stabiliser la tension de sortie du redresseur. Le premier type est considéré dans ce mémoire.

III.3.1.3 Filtre de sortie (filtre passe bas LC)

Le filtre de sortie d'un filtre actif série est généralement un filtre passif du deuxième ordre (LC), comme le montre la figure (III.1) L'ensemble onduleur et filtre de sortie se comportant comme une source de tension, le filtre de sortie sert d'une part à atténuer les composantesdues aux commutations de l'onduleur, d'autre part à connecter le filtre. Le schéma de la figure(III.5) présente le modèle électrique par phase de ce filtre [29].

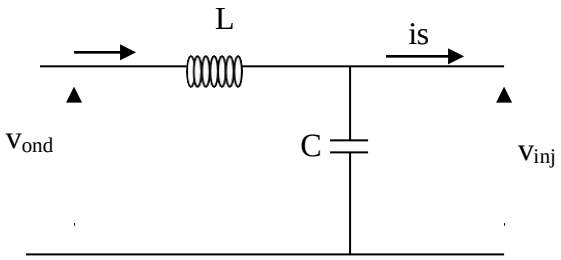


Figure III.5 : Filter (LC)

Ce filtre est modélisé par les équations suivantes :

$$\begin{cases} v_{ond} = L\dfrac{di_{ond}}{dt} + v_{inj} \\ \dfrac{dv_{inj}}{dt} = \dfrac{i}{C}(i_{ond} - i_s) \end{cases}$$

La fonction de transfert du filtre est donnée par la relation suivante :

$$F = \frac{v_{inj}}{v_{ond}} = \frac{1}{1 + (\sqrt{LC}\,p)^2}$$

C'est un filtre du deuxième ordre avec une fréquence de coupure f_c telle que :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

III.3.1.4 Transformateurs d'injection et protection du F.A.S

Les transformateurs d'injection de tension (*Lt,Rt*) permettent d'injecter en série avec le réseau électrique et avec le taux de transformation souhaité la tension produite par l'onduleur, par

Conséquent, ces transformateurs, considérés comme des transformateurs de courant, permettent de réduire, par leurs taux de transformation, le courant de la charge traversant l'onduleur de tension. A cela s'ajoute que ces transformateurs, grâce à leurs caractéristiques

Magnétiques de saturation, contribuent à la protection du filtre actif série contre les défauts côté charge.

Les désavantages de l'emploi de ces transformateurs sont leurs coûts élevés et la chute de tension occasionnée par leurs inductances de fuite (*Lt,Rt*).

Le choix d'un filtre actif série sans transformateur d'injection nécessite l'emploi de trois onduleurs de tension monophasés avec trois sources continues indépendantes. Cette solution augmentant l'énergie nécessaire pour compenser les mêmes creux de tension, un filtre actif série avec un onduleur multicellulaire et un seul bus continu a été proposé.

Dans ce travail, trois transformateurs d'injection de tension seront employés et dimensionnés pour supporter le courant de la charge à protéger et la tension maximale injectée au réseau électrique. Le taux de transformation sera unitaire.

Le filtre série est protégé contre un court-circuit en aval côté charge par un système by-pass, constitué par une impédance variante, par deux thyristors en antiparallèle en série avec une petite résistance, et par des transformateurs à circuit magnétique saturable [2].

III.4 Partie commande du filtre actif série

III.4.1 Identification des perturbations de tension

Dans l'objectif de séparer les tensions perturbatrices de la composante fondamentale de la tension du réseau électrique, plusieurs méthodes d'identification sont envisageables. On a adopté la méthode trigonométrique vu sa simplicité figure (III.6) (calcul se fait dans le repère triphasé (pas de nécessité de faire un changement de repère et par suite pas transformation (Concordia, Park, …))).

Le diagramme fonctionnel de la figure (III.6) explique le principe de la détermination de la composante fondamentale de la tension polluée du réseau. Cette composante fondamentale constitue la tension qu'on désire avoir aux bornes de la charge avec un changement de valeur efficace de (veuf fondamentale) à (220 V tension nominale de la charge). Cette composante fondamentale dont l'amplitude est modifiée est soustraite de la tension polluée du réseau afin de déterminer la composante harmonique de la tension du réseau.

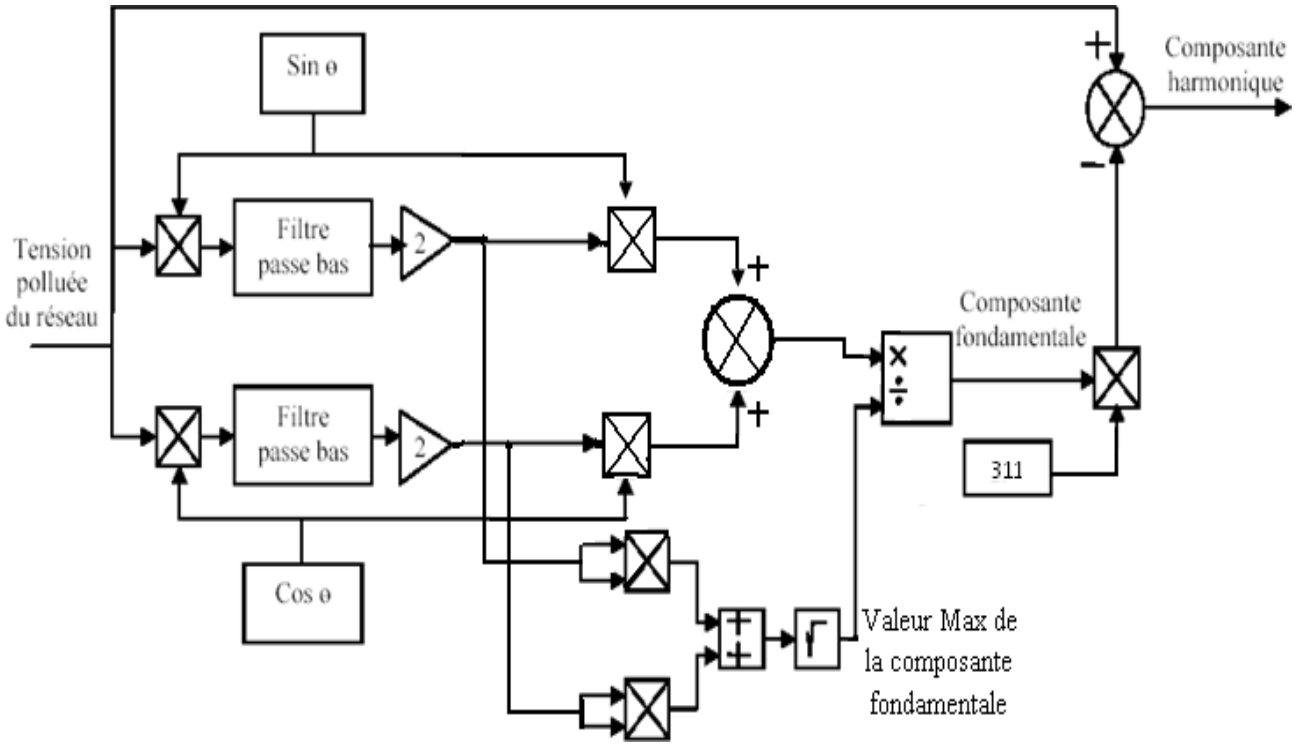


Figure III.6 : Schéma de bloc de l'identification des harmoniques de tension par la méthode trigonométrique

III.4.1.1 Filtre Passe-bas

Ce filtre passe-bas permet d'extraire la composante continue du signal d'entrée. Sa fréquence de coupure est très faible (fc ≤ 5 Hz).

Pour le choix de l'ordre du filtre, il est à noter que, plus l'ordre augmente plus le transitoire du filtre est petit et le signal de sortie se rapproche plus de la composante continue. Pour cela on travaille avec un filtre passif passe-bas d'ordre huit dont la fonction de transfert est lasuivante :

$$F(p) = \frac{1}{(1+\tau.p)^n}$$

$$\omega c = 2.\pi.fc = 1/\tau \quad (\tau = 1/(2.\pi.fc))$$

τ : la constante de temps du filtre,

ωc : pulsation de coupure du filtre (fc fréquence de coupure du filtre)

n : ordre de filtre [31].

Conclusion

Dans ce troisième chapitre on a présenté la structure générale du système étudié dans ce mémoire (association réseau électrique - charge linéaire sensible aux harmoniques - filtre actif série). Le modèle mathématique de chaque partie est développé.

La structure générale du filtre actif série, était détaillée en la divisant en deux :

- la partie puissance constituée de l'onduleur de tension, la source de tension continue, le filtre de sortie (Filtre LC) et le transformateur.
- la partie contrôle (commande) incluant l'identification des tensions harmoniques par laméthode trigonométrique Dans le chapitre suivant on présente les différents résultats de simulation du système décrit dans ce troisième chapitre.

Chapitre IV

Simulation et résultats

Introduction

Le but de la commande de l'onduleur est de permettre la meilleure reproduction des tensions de référence (tensions harmoniques), à travers les ordres de commande appliqués aux divers interrupteurs de puissance, cela ne peut se faire que grâce à une technique d'identification et à une stratégie de commande adéquates qui permet de fournir une tension plus proche de la référence pour être injectée de même en opposition de phase par rapport à la tension harmoniques provenant du réseau. A cet effet, l'association réseau électrique - charge linéaire – filtre actif série est simulé en utilisant l'environnement Simulink/Matlab. Laprésentation des résultats de cette simulation ainsi que leurs interprétations font l'objet de ce chapitre.

IV.1 Présentation du logiciel

MATLAB et ses boites à outils, célèbre pour être un outil incontournable pour L'ingénierie et la recherche, permet la modélisation et simulation des systèmes dynamiques, analogique, discrets ou hybride, en utilisant une présentation graphique sous forme de schémas blocs, permettant alors d'aboutir à la création de bibliothèques personnalisées.

L'une des principales options dans la boite à outils de l'interface graphique « SIMULINK » est « POWER SYSTEM LIBRARY browser » où existent tous les outils les plus connus sous forme de blocs et dont on a besoin pour construire un modèle. Puis en deuxième position, l'option « SIMULATION PARAMETERS » Permet de choisir la méthode de résolution « Solveur », le temps de simulation, ainsi que les précisions relative et absolue voulues [31].

IV.2 Présentation du modèle

Le modèle de simulation est constitué de quatre étages. Le premier étage représente le réseau électrique. Il est constitué d'une source de tension triphasée polluée. Le deuxième étage représente la charge linéaire (charge R-L, Machine asynchrone,…etc). Le troisième étage représente le transformateur d'injection de la tension de compensation avec un rapport (m=1). Le filtre actif série constitue le quatrième étage.

IV.3 Paramètres de système

Réseau électrique :

Tension efficace nominale du fondamental (Veff nominale=220v, Vmax=311 V).

Fréquence : (f=50Hz).

Amplitude et fréquence de la tension harmonique 5 : (V_{h5}=311/3 V, f_{h5}=5*50 Hz).

Amplitude et fréquence de la tension harmonique 6 : (V_{h6}=311/6 V, f_{h5}=6*50 Hz).

Amplitude et fréquence de la tension harmonique 7 : (V_{h7}=311/6 V, f_{h7}=7*50 Hz).

Charge :

Résistance (R=10 Ω).

Inductance (L=2mH).

Source de tension continue :

Vdc/2=300 V.

Filtre passif passe-bas (LC) :

Inductance : (L=20mH).

Capacité : (C=1µF).

Fréquence de coupure : (*fc*=1100 Hz=1.1 kHz).

Transformateur :

Rapport de transformation (m=1).

Résistances internes du secondaire et du primaire (Rs=Rp=90mΩ).

Inductances internes du secondaire et du primaire (Ls=Lp=1.1mH).

Régulateur à hystérésis :

La bonde d'hystérésis =±5 V.

IV.4: la tension et le spectre avent le filtrage

Les courants harmoniques sont les composantes sinusoïdal d'un tension électrique périodique décomposé en série de Fourier. Les harmoniques ont une fréquence multiple de la fréquence fondamental, généralement de 50 ou 60 hertz, dans les réseau électrique. Autrement dit, les harmoniques sont une description mathématique de la distorsion d'un signal a priori sinusoïdal. De même, les tensions harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'une tension électrique périodique décomposée en série Fourier. Comme la **figure(Iv.1)** et le spectre harmonique **figure (Iv.2)**

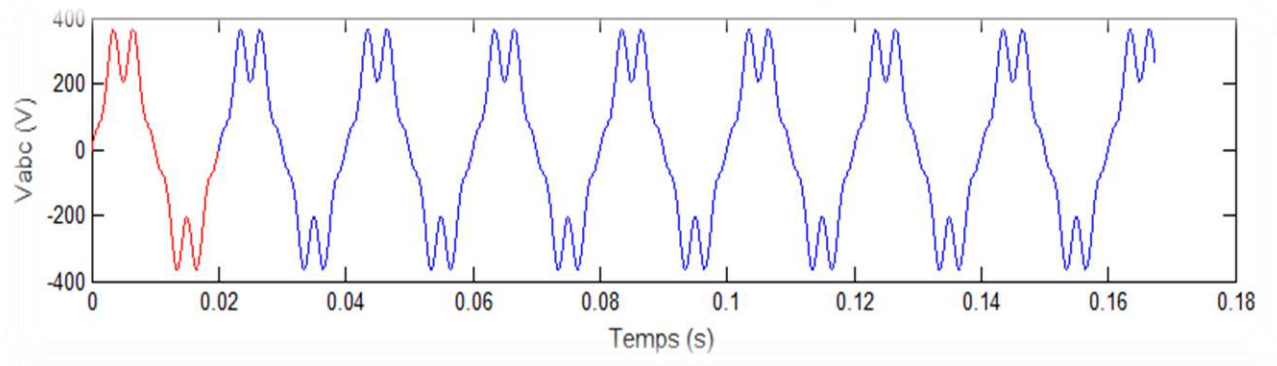


Figure IV.1: tension harmonique avent le filtrage

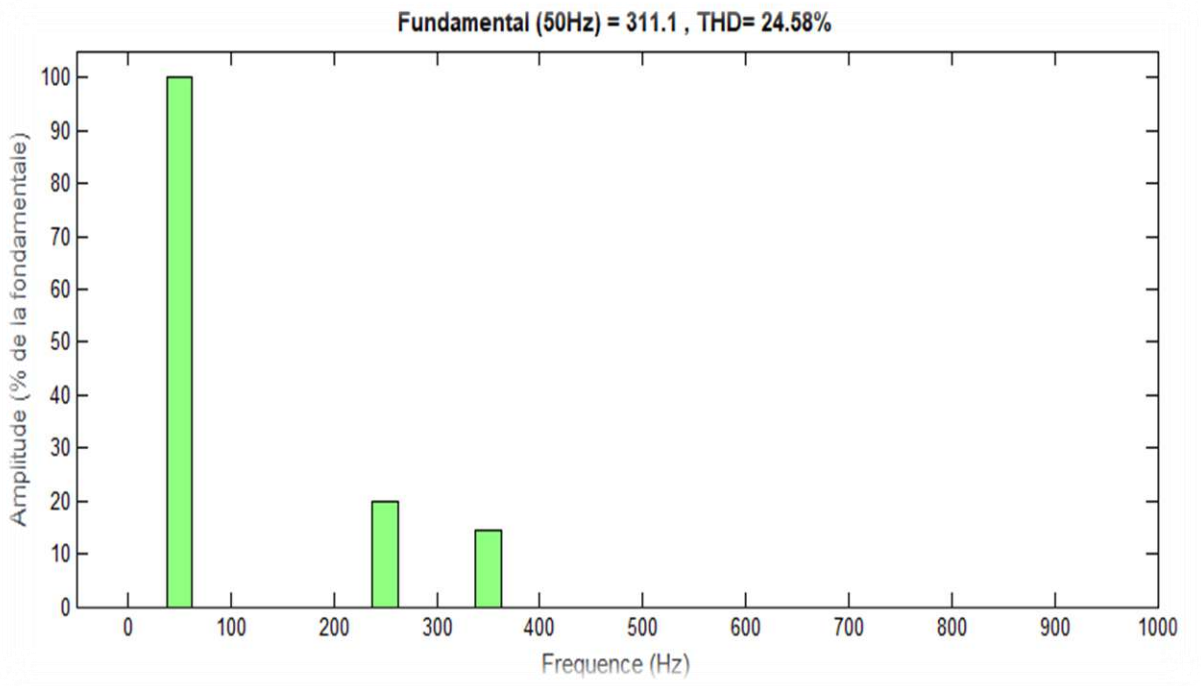


Figure IV.2 : Spectre harmonique avent le filtrage (FFT)

IV.5: la tension et le spectre identifiée

Les figures (IV.3) et (IV4) représentent la forme de la tension identifiée et le spectre de la tension, harmonique identifiée. Cette tension a une valeur efficace de 20.53V et un THD de 427.73 %.

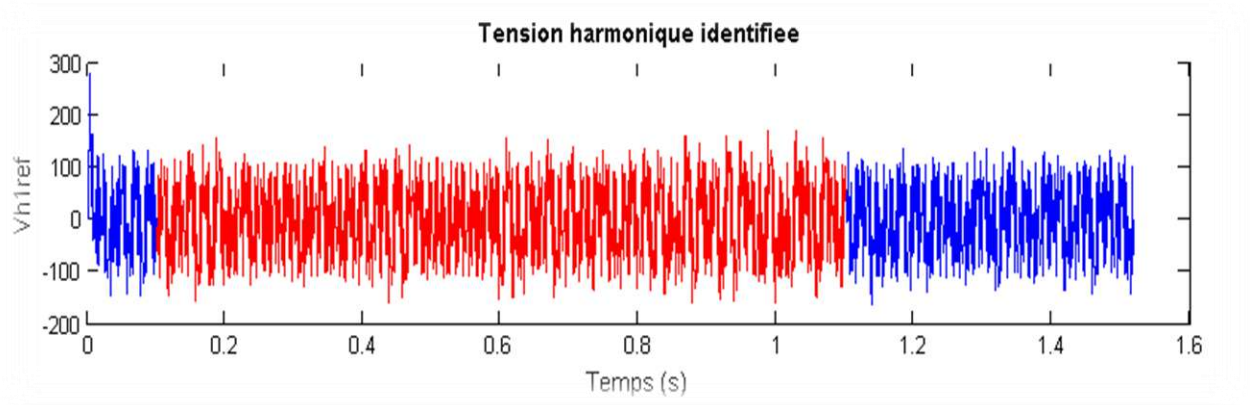


Figure IV.3: tension harmonique identifiée

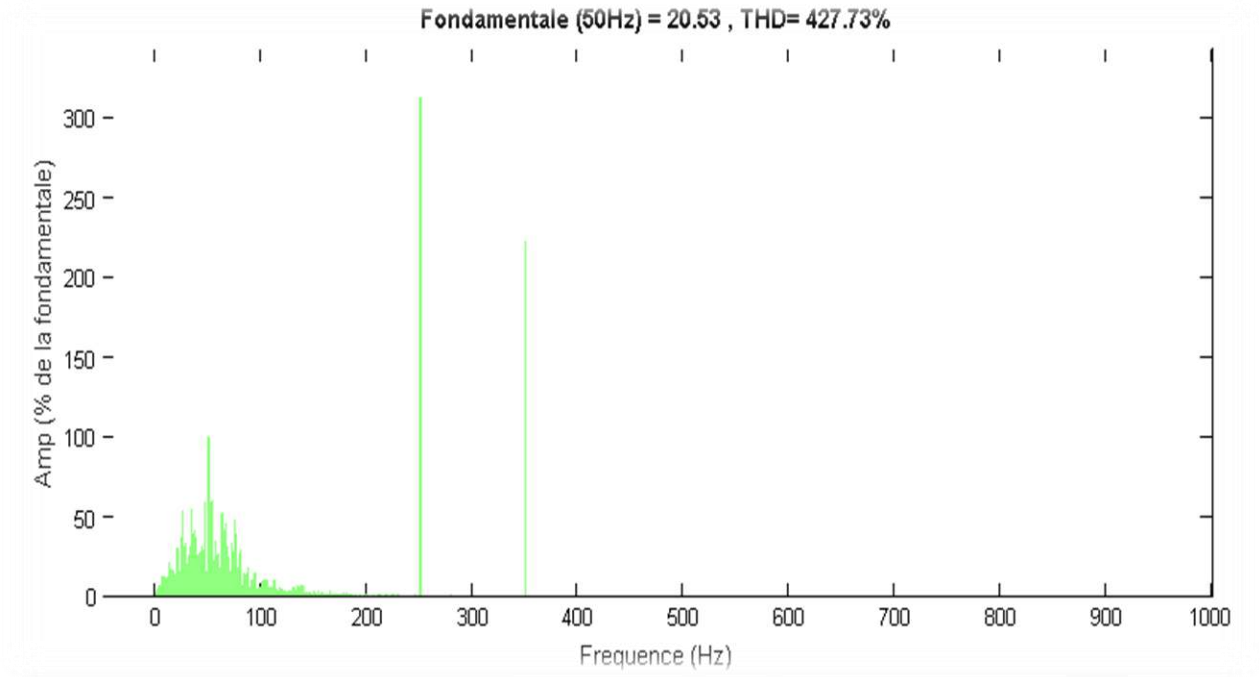


Figure IV.4: spectre harmonique identifiée (FFT)

IV.6: la tension et le spectre d'une phase injectée

Ainsi, Les figures (IV.5) et (IV.6) représentent la forme d'onde et le spectre de la tension que fournit le filtre actif série. Cette tension a une valeur efficace de 18.25V et un THD de 445.28%, cette valeur respecte largement la norme CEI qui imposent un THD globale inférieur à 5%. On constate également que le

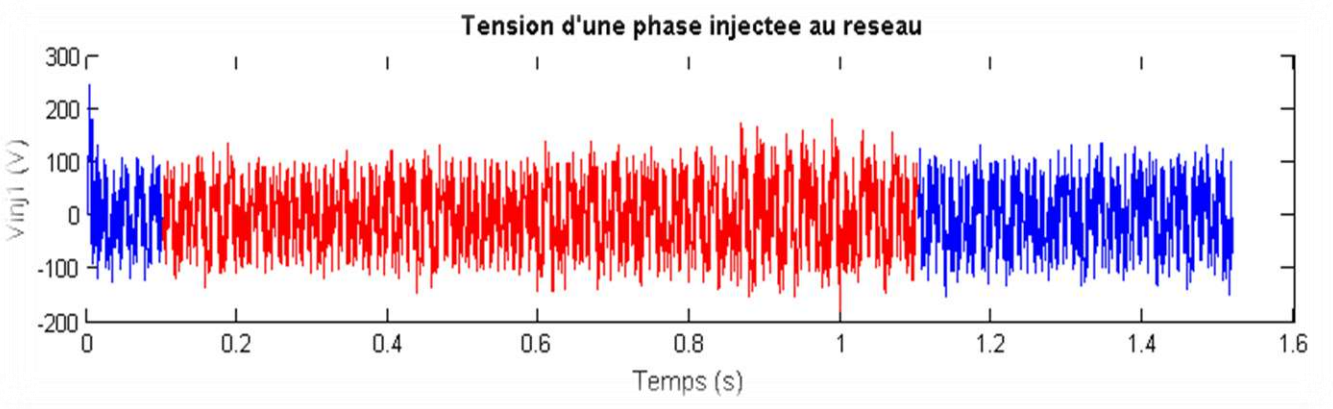


Figure IV.5: tension harmonique injectée

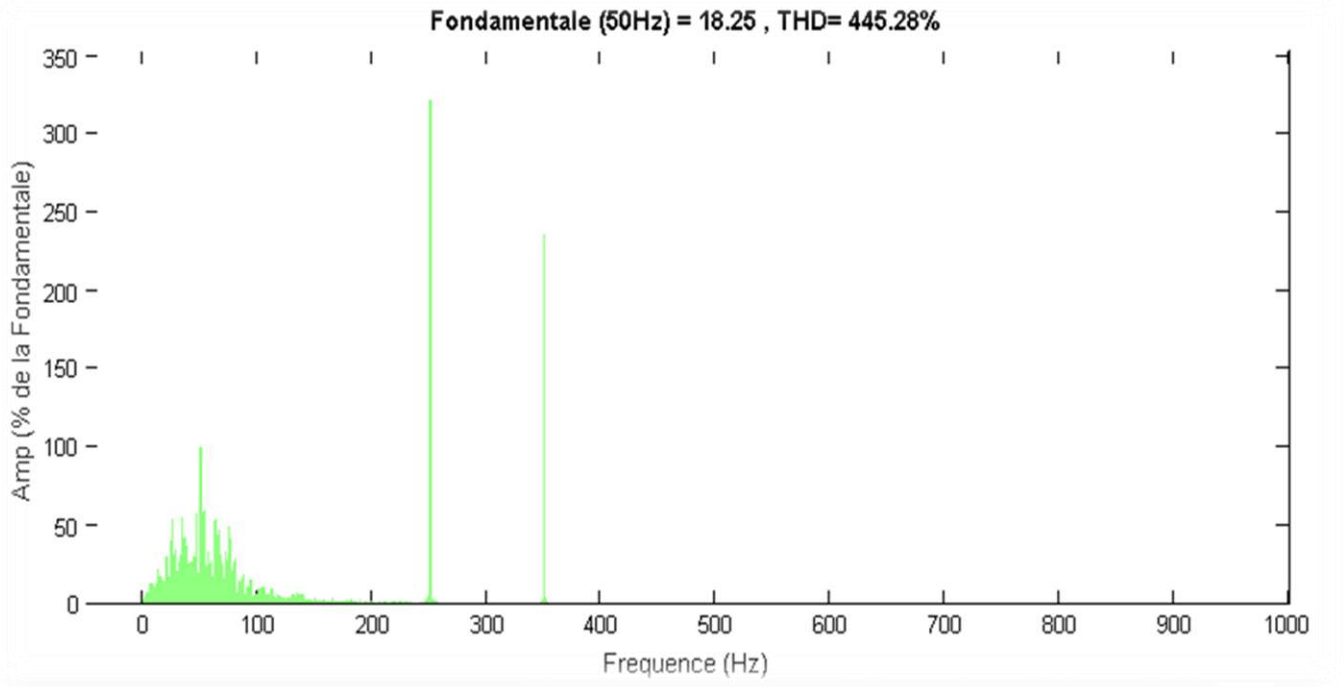


Figure IV.6: spectre d'un phase injectée (FFT)

IV.7: la tension et le spectre de la sortie de l'onduleur

Les figures (IV.7) et (IV.8) représentent la forme d'onde et le spectre de la tension fourni par l'onduleur après filtrage. Cette tension a un fondamental avec une amplitude de 18.08 V et un THD de 854.60%.

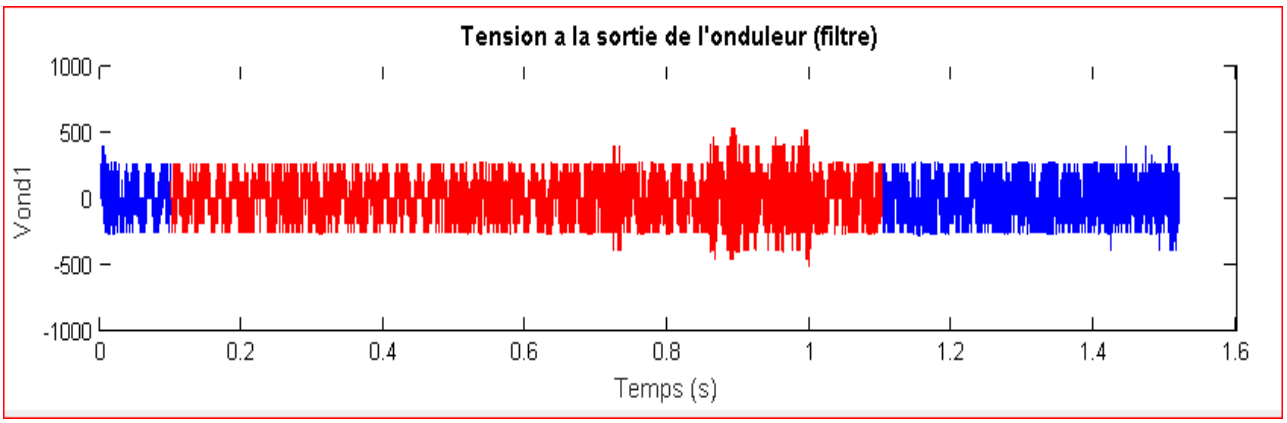


Figure IV.7. : Tension harmonique de sortie d'onduleur

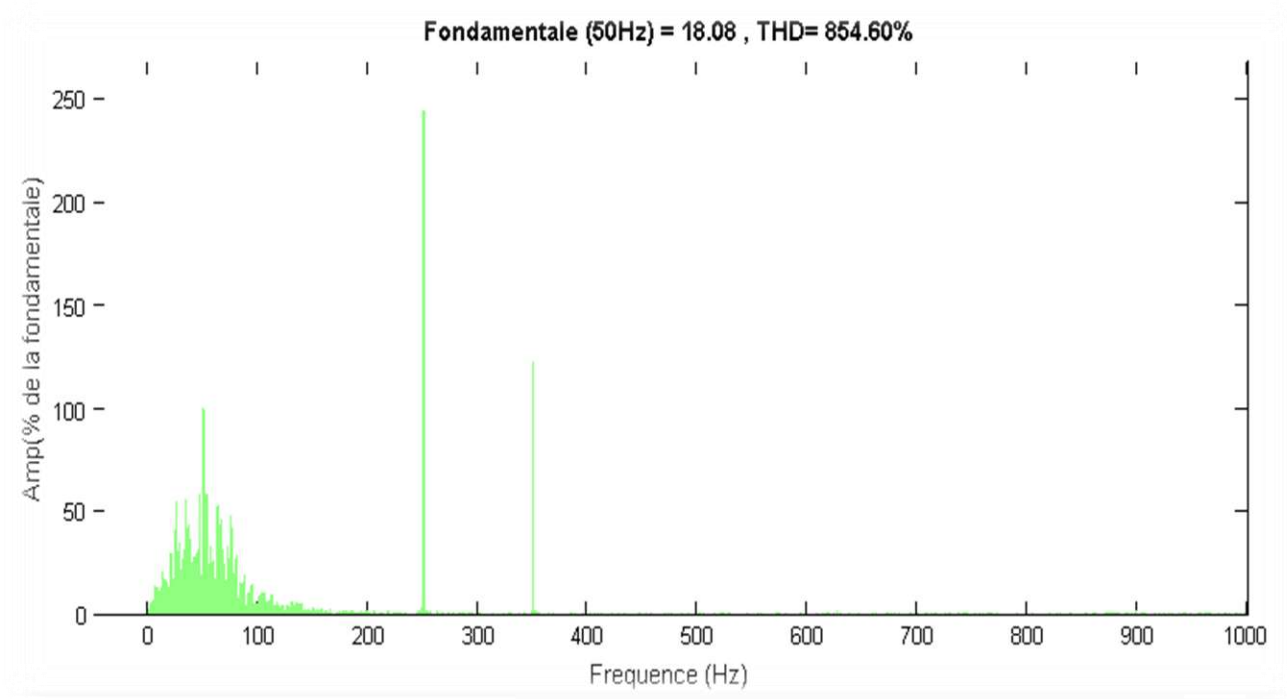


Figure IV.8 : Spectre harmonique de la tension d'onduleur (FFT)

IV. 8: Tension de compensation injectée et le tension harmonique identifiée

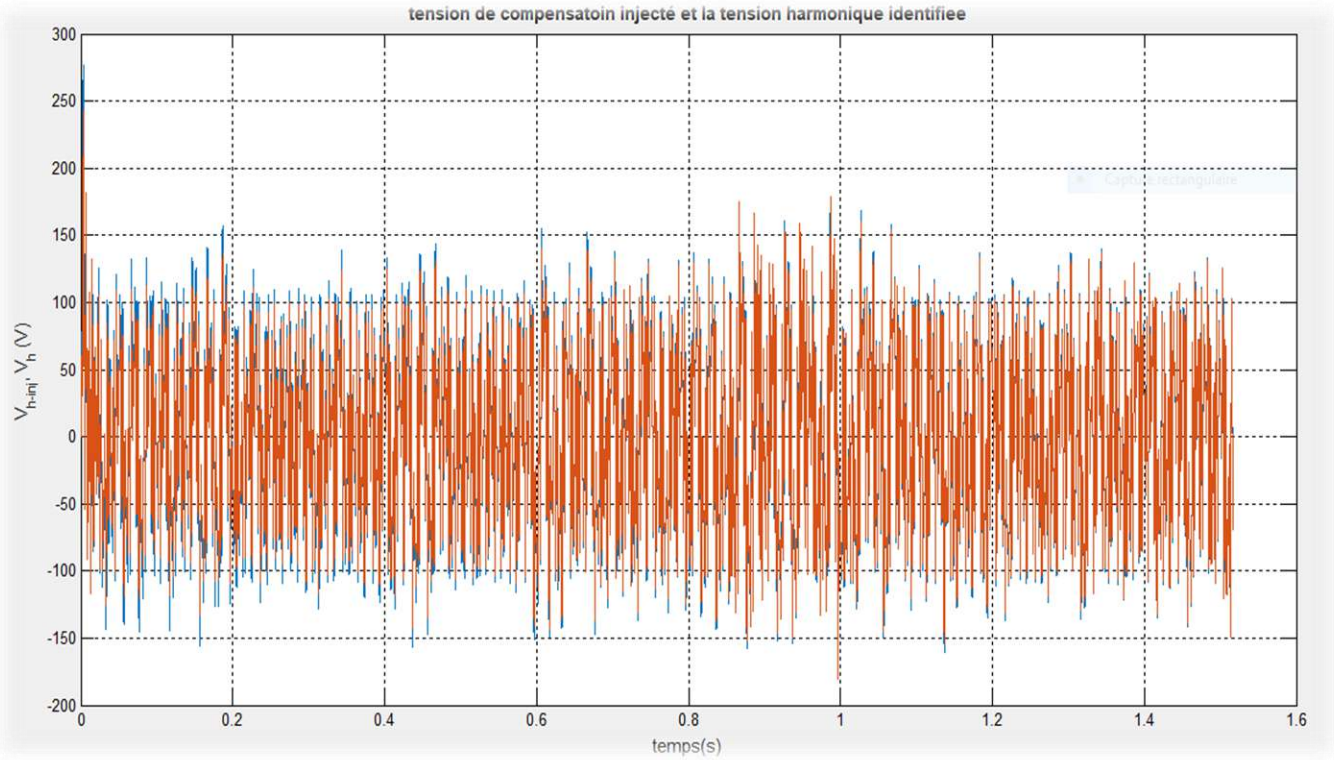
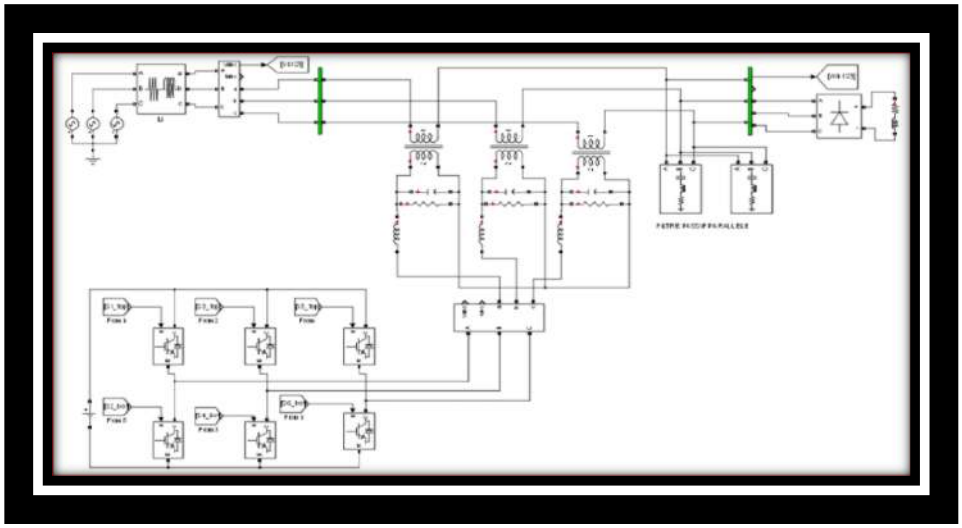


Figure IV.9. : Tension de compensation injectée
Et la tension harmonique identifiée

En conclusion nous constatons que la tension du réseau et celle du filtre sont en opposition de phase, avec des amplitudes différentes, leur résultante fournit une tension de 230V voir figure (V.9) avec une fréquence de 50Hz pour la charge, donc une bonne compensation.



IV.9 Conclusion

Dans le présent chapitre, on s'est intéressé à l'analyse des résultats de simulation du système afin d'étudier la réponse du filtre actif série vis-à-vis des différents types d'harmoniques de tension défèrent à savoir : harmoniques équilibrées et déséquilibrés, paire et impaire, faible fréquence et haute fréquence.

Le filtre actif a montré une qualité de compensation satisfaisant vu le nombre de niveau de l'onduleur utilisé (onduleur de tension à trois niveau) et la structure d'onduleur utilisé (onduleur avec neutre de la charge (filtre de sorte +transformateur) lié au point milieu du bus continu) qui est indispensable pour la compensation des harmoniques de tension déséquilibrées. Dans ce cas, la fréquence de commutation des composants de puissance (transistor) doit être très élevée afin de permettre à l'onduleur de générer des tensions assurant la poursuite des références surtout pour les harmoniques à haute fréquence.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Aujourd'hui la consommation d'énergie avec une efficacité de plus en plus contraignante, oblige les concepteurs des systèmes électriques à introduire des alimentations à base d'électronique de puissance. Ces alimentations règle le problème de rendement et la souplesse d'utilisation des organes utilisant l'énergie électrique, mais elles sont devenus une source de soucis pour les fournisseurs d'énergie. De plus la libéralisation du marché de l'électricité nécessite une garantie de la qualité d'énergie. Ce qui oblige tous les acteurs du système électrique (production, transport et distribution) de garantir la qualité du produit fournie.

Les phénomènes observés sont nombreux : creux de tension et coupures, fluctuations rapides et lentes de l'amplitude du fondamentale de la tension, variation de la fréquence fondamentale, déséquilibre, harmoniques…etc.

Dans ce projet, nous avons étudié une stratégie de dépollution des tensions des réseaux électriques, appelée compensation actif série, celui-ci doit son développement à l'évolution des organes de l'électronique de puissance. Ces derniers nous permettent de concevoir des dispositifs appelés convertisseurs de puissance (onduleurs), permettant la création des tensions de forme souhaiter à insérer en série avec le réseau. Par conséquent, la source fournira des tensions purement sinusoïdales d'amplitude et de fréquence fixes.

- Avant d'aller au cœur de notre projet, nous avons présenté les différentes sources de pollution des réseaux électriques, leurs conséquences sur l'ensemble dumatériel électrique ainsi que les différentes méthodes de dépollution proposées dans la littérature.

- Nous avons consacré à l'étude d'une charge sensible, pour ce faire nous avons commencé par modélisé le réseau électrique perturbé, par la suite nous avonsmodélisé comme charge sensible un redresseur triphasé à base de thyristors, avec unestructure en pont de Graëtz. Nous avons présenté les différentes résultats de simulation de cette charge sensible effectués avec MATLAB / SIMULINK.

- Nous avons déterminé les tensions de références du compensateur actif série. La détection des tensions de référence, celle-ci offre un meilleur compromis pratique et théorique. Cela nous

Bibliographies

Bibliographies

[1] HANENE KOUARA « Application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'un réseau basse tension » Mémoire de magister, université de Batna 28/02/2006.

[2] MOHAMAD ALAA EDDIN ALALI «Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension (Automatisation des systèmes de puissance électriques» Thèse de Doctorat, Strasbourg 12 Septembre 2002.

[3] HILMY AWAD «Vector control of static series compensator for mitigation of voltage dips» Chalmers University of Technology Goteborg, Sweden 2002.

[4] HAIMOUR RACHIDA «Contrôle des puissances réactive et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique» Mémoire de magister en électrotechnique, Oran 2008-2009.

[5] MICHEL CRAPPE « Commande et régulation des réseaux électriques » Traité EGEM série génie électrique, LAVOISIER 2003.

[6] KEBBAL M^{ed} RACIM et BAKIR KARIM «Paramètres de la qualité de la tension d'un réseau électrique Etude et Analyse» Mémoire d'ingénieur d'état en Électrotechnique ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, Juin 2008.

□**7**□ P. Deflandre & P. Mouras, «Les harmoniques sur les réseaux électriques »Edition. Eyrolles, 1998.
[8] C. Prévé. «Les réseaux électriques industriels 2», Collection Lavoisier, 2005.

□9□ C. Collonobet & J.M.Lupin & J. Shcnoek, « Perturbation harmoniques dans les réseaux pollués et leur traitement l», Cahier technique de Schneider Electric CT 152, édition février 2001.

[10] BELMESSOUD BACHIR et MAHNI TIDJAINI «Evaluation de la stabilité statique en tension utilisation la méthode de load flow continu» Mémoire d'ingénieur d'état en Électrotechnique ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, 2008-2009.

[11] OLIVIER POISSON «Nouvelles techniques du traitement de signal et d'identification pour l'analyse des perturbations de la tension »Thèse de Doctorat de l'université Paris6, 1998.

[12] AHMED BELDDJEZZAR« Contribution à l'étude d'un filtre actif série» Mémoire de magister en électrotechnique. Constantine ,2004.

□13□ D. OULD ABEDSLAM «Technique neurométrique pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux basse tension » Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Haut Alsace, décembre 2005, France.

[14] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, « Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits », Proceeding 1983 International power electronics conference. Tokyo, Japan, PP. 1375-1386, 1983.

[15] OULD-OUALI SAMI HASSANI «Etude et réalisation d'un filtre actif parallèle commandé par logique floue» Mémoire de magister de l'EMP, 2002.

[16] BADACHE ZOHIR et SACI ABDESLAM «Etude et simulation d'un filtre actif paralléle en utilisant un onduleur à trois niveaux à structure NPC pour la compensation des courant harmoniques » Mémoire d'ingéniorat, université de M'sila, 2005-2006.

[17] Benkechida Noureddine «Identification de courant harmonique généré par une charge non linéaire» Mémoire d'ingéniorat, université de M'sila, 2005.

[18] E. MASADA.E, HEYAFUNE.K «A harmonic Control Scheme for the Active Power Filter», EPE Brussels, 1985, pp.229-234.

[19] Ghennam Tarek «Etude et réalisation d'un compensateur actif de puissance commandé par DSP» Mémoire de magister. Ecole militaire polytechnique, 2004.

[20] BOUFASSA Rabah et MEKARNIA Omar «Modelisation et commande d'un UPFC utilisé en filtrage des harmoniques d'un réseau électrique » Mémoire d'ingénieur d'état en Électrotechnique. Juin 2007

[21] BOURENNANE Ibrahim et BOUGUERRA Samir «Filtrage actif parallèle des réseaux électrique avec compensation de l'énergie réactive » Mémoire d'ingénieur d'état en Électrotechnique. Juin 2007.M'SILA

[22] KAMEL ALIOUANE «Contribution à l'étude du filtrage d'harmoniques des réseaux de distribution à l'aide de l'association des filtres actif et passif parallèle»Thèse de doctorat de l'INP de Loraine, Nancy, 1995.

[23] E. BETTEGA, JEAN NOËL FIORINA« Harmoniques : Convertisseurs propres et compensateurs actifs » Cahier Technique Merlin Gérin N° 183, édition Novembre, 1996.

[24] M. MAGALHAES DE OLIVEIRA « Theoretical analysis and real-time simulator studies of an advanced static var compensator» Licentiate thesis, Royal institute of technology, Stockholm, ISSN-1100-1615, TRITA-EHE 9602. 1996.

[25] SALEM NIA AHMED «Contribution à l'étude théorique et expérimentale d'un filtre actif parallèle à commande analogique et numérique temps réel » Thèse de Doctorat de l'I.N.P de Lorraine, Nancy, 1995.

[26] D. Fulchiron, «Surtension et coordination de l'isolement » Cahier technique de Schneider Electric CT 151, édition Décembre 1992.

[27] Rafika DRARENI , Zahra OUAHRANI «Commande d'un aérogénérateur à base d'une machine asynchrone à cage connectée au réseau à travers un convertisseur AC-DC-AC» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique. Juin 2009. Polytechnique Département du Génie Electrique.

[28] Rabah BELHADEF , M.S. BOUCHERIT, Bilal BOUTAYA «Commande Vectorielle et par Logique Floue de la Machine Asynchrone Sans Capteur» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique .Ecole national Polytechnique , 2008.

[29] ACHOURI Radouane , HIDOUCHE Mohamed «Commande Vectorielle de la Machine Asynchrone: -Simulation sur le Logiciel SIMPLORER® - Validation expérimentale sur banc d'essai» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique Ecole national Polytechnique, Juin 2007.

[30] BENAMSILI Mustapha et TAOURIRI Mohamed «Filtrage actif par l'éolienne» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique. Ecole national Polytechnique, juin 2009.

[31] Eskandar GHOLIPOUR SHAHRAKI « Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques» Thése de doctorat , Université Henri Poincaré, Nancy-I ,Octobre 2003.

Résumé :

Français:

Les réseaux électriques fournissent des tensions purement sinusoïdales, avec une tension efficace et une fréquence fixe. La problématique présentée est comment diminuer ou supprimer les perturbations dues aux tentions harmoniques. Pour cela, nous avons opté pour le filtre actif série qui agit comme une source de tension et de courant harmoniques, qui annule les tensions perturbatrices imminentes de la source ainsi que celles générées par la circulation du courant perturbateur à travers l'impudence du réseau. Nous avons modélisé un réseau électrique perturbé ainsi qu'un redresseur à tout thyristor qui est une charge sensible. Un montage appelé « pont de Gräetz » est alors réalisé.

Englais:

Electrical networks provide purely sinusoidal voltages, with a voltage effective and a fixed frequency. The problem presented is how to decrease or eliminate disturbances due to harmonic tensions. For this, we have opted for the active series filter that acts as a source of harmonic voltage and current, which cancels out the imminent disturbing voltages of the source as well as those generated by the circulation interference current through the impudence of the network
We have modeled a disturbed electrical network as well as an all thyristor rectifier whishes a sensitive load. An assembly called "Gräetz bridge" is then carried out.

Key words: Active filtre series ,voltage harmonic , identification, three level inverter

عربية:

توفر الشبكات الكهربائية جهدًا جيبيًا بحتًا ، مع جهد
تردد فعال وثابت. المشكلة المعروضة هي كيفية تقليل أو
القضاء على الاضطرابات الناجمة عن التوترات التوافقية. لهذا ، اخترنا
مرشح السلسلة النشط الذي يعمل كمصدر للجهد التوافقي والتيار ، والذي يتم إلغاؤه
الفولتية المقلقة الوشيكة للمصدر وكذلك تلك الناتجة عن الدوران
التداخل الحالي من خلال وقاحة الشبكة.
لقد قمنا بنمذجة شبكة كهربائية مضطربة بالإضافة إلى مقوم الثايرستور بالكامل
حمولة حساسة. ثم يتم تنفيذ عملية تجميع تسمى "جسر جريتز".

Mots clés :

Filtre actif série, harmonique de tension, identification. Onduleur trois niveau.