



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



UNIVERSITE D'EL-OUED

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commande Electrique

Etude et simulation d'un filtre actif série

Réalisé par :

- ❖ **MADANI Brahim**
- ❖ **DOU Khalifa**
- ❖ **ZOBEIDI Smail**

Dirigé par :

Dr. MAHNI Tidjani

Promotion 2021

Remerciements

Nous remercions en premier lieu DIEU, le tout puissant qui a fait que ce travail soit terminé.

Nous remercions après nos très chers parents et familles ainsi que tous les amis d'avoir été très proches de nous tout au long de la préparation de ce diplôme.

Nous remercions particulièrement notre encadreur Dr MAHNI Tidjani, qui n'a cessé de nous apporter soutien et aide technique et morale, dont les conseils furent un guide vers la voie de la réussite.

Nous remercions le membre de jury, et les enseignants du département d'électrotechnique surtout ceux de l'option commande promotion 2021.

Nomenclature

I_h : le Courant harmonique.

f_1 : fréquence fondamentale.

y : signale déformé de harmonique.

Y_0 : Amplitude de composante est continue.

Y_n : Valeur efficace de l'harmonique de rang n .

ω : Pulsation de fondamentale.

ϕ_n : Le déphasage de la composante harmonique de rang n .

V_1 : Valeur efficace de la tension fondamentale.

τ_m : le taux de déséquilibre moyen

τ_v : le taux de déséquilibre de tension

THD : taux de distorsion harmonique.

V_h : Valeur efficace de la tension harmonique du rang h .

I_1 : Valeur efficace du courant fondamental.

I_h : Valeur efficace du courant harmonique du rang h .

S : La puissance apparente.

P : La puissance active.

Q : La puissance réactive.

D : La puissance déformante ou de distorsion.

Fp : Facteur de puissance.

V_{inj} : Tension injecter par le filtre actif série

h : Range harmonique

R_s : Résistance de source

L_s : Inductance de source

R_{ch} : Résistance de charge

L_{ch} : Inductance de charge

R_f : Résistance du filtre

C_f : Capacité de filtre

L_f : Inductance de filtre

I_f : Le courant de filtre

V_{dc} : Tension aux bornes du condensateur de l'onduleur

$IGBT$: Isolated Gate Bipolar Transformer

F_c : Fréquence de coupeur

ω_c : Pulsation de coupure du filtre.

V_{ond} : Tension de sortie de l'onduleur

I_{ond} : Courant de l'onduleur

τ : Constant de temps du filtre

MLI : Modulation de largeur d'impulsion

n : Ordre du filtre

Liste de figure

- Figure 1** Représente la décomposition d'un signal périodique
- Figure 2** Image d'une onde déformée
- Figure 3** Représentation spectrale d'un sigpériodique
- Figure 4** Limites tolérable d'un creux de tension
- Figure 5** Filtre passif résonnant et amorti
- Figure 6** Filtre actif série
- Figure 7** Filtre actif parallèle
- Figure 8** Combinaison parallèle-série de filtres actifs
- Figure 9** Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif
- Figure 10** Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif
- Figure 11** Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif
- Figure 12** Association (réseau électrique-charge linéaire-FAS)
- Figure 13** Charge linéaire (présentation par phase) et sa fonction de transfert
- Figure 14** Structure générale du filtre série
- Figure 15** Modèle équivalent de l'onduleur à deux niveaux
- Figure 16** Filtre(LC)
- Figure 17** Structure d'un filtre passe-bas
- Figure 18** Schéma synoptique de la commande par régulateurs à hystérésis
- Figure 19** Tension de sortie de l'onduleur commandé par régulateur à hystérésis
- Figure 20** Système complet de la source et la charge et le filtre actif série
- Figure 21** Résultat de simulation d'une perturbation harmonique
- Figure 22** Résultat de simulation
- Figure 23** Le taux de distorsion d'harmonique avant et après filtrage
- Figure 24** Résultat de simulation à une chute de tension (80v)
- Figure 25** Résultat de simulation de chute de tension après filtrage
- Figure 26** Le taux de distorsion d'harmonique avant et après filtrage
- Figure 27** Résultat de simulation d'une surtension avant filtrage
- Figure 28** Résultat de simulation d'une surtension après filtrage
- Figure 29** Le taux de distorsion d'harmonique avant et après filtrage
- Figure 30** Résultat de simulation d'un déséquilibre avant filtrage
- Figure 31** Résultat de simulation d'un déséquilibre après filtrage
- Figure 32** Le taux de distorsion d'harmonique avant et après filtrage

Sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Introduction sur les harmoniques	
I.1 Introduction	04
I.2 Perturbations électriques.....	04
I.2.1 Les harmoniques.....	05
I.2.1.1 Définition des harmoniques.....	05
I.2.1.2 Origine des harmoniques.....	05
I.2.1.3 Type des harmoniques.....	07
I.2.1.4 Harmonique de courant et de tension.....	08
I.2.1.5 Caractérisation des perturbations harmoniques	08
I.2.1.5.1 Le taux de distorsion harmoniques.	09
I.2.1.5.2 Puissances en présence des harmoniques	09
I.2.1.6 Les effets des harmoniques	10
I.2.1.6.1 Effets instantanés	10
I.2.1.6.2 Effets à long terme	10
I.2.2 Creux de tension.....	11
I.2.2.1 Sources des creux de tension.....	12
I.2.2.2 Normes standard-creux de tension.....	12
I.2.3 Surtension.....	13
I.2.3.1. Sources des surtensions.....	13
I.2.3.2. Normes standard des surtensions.....	13
I.2.4 Déséquilibre du système de tension triphasé.....	13
I.2.4.1 Conséquences du déséquilibre du système triphasé.....	13
I.2.4.2. Normes standard déséquilibre du système triphasé.....	14
I.3 Solutions De dépollution des réseaux électriques	14
I.3.1 Solutions traditionnelles.....	14
I.3.2 Solutions moderne.....	15
I.3.2.1 filtre actif série (FAS)	16
I.3.2.2 Filtre actif parallèle(FAP)	16
I.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs	17
I.3.2.4 Filtre hybride	17
I.3.2.4.1 Filtre hybride combinant filtres actif et passif	17

I.4 Conclusion	19
Chapitre II : Structure d'un filtre actif série	
II.1 Introduction	22
II.2 Mise en œuvre	22
II.3 Principe de fonctionnement.....	22
II.4 Structure générale du système.....	23
II.4.1 Description de l'association (réseau électrique-charge linéaire-FAS).....	23
II.4.2 Modélisation du réseau électrique pollué.....	23
II.4.3 Modélisation du la charge linéaire(RL).....	24
II.5 Structure générale du filtre actif série.....	25
II.5.1 Partie puissance du filtre actif série.....	26
II.5.1.1 Onduleur de tension.....	26
II.5.1.1.1 Onduleur de tension à deux niveaux.....	26
II.5.1.1.2 Modèle de l'onduleur à deux niveaux.....	26
II.5.1.2 Source de tension continue.....	29
II.5.1.3 Filtre de sortie (filtre passe bas LC).....	29
II.5.1.4 Transformateurs d'injection et protection du F.A.S.....	30
II.5.2 Partie commande du filtre actif série.....	31
II.5.2.1 La méthode des puissances instantanées.....	31
II.5.2.1.1 Filtre Passe-bas.....	33
II.5.2.2 Commande de l'onduleur par hystérésis.....	34
II.5.2.3 Principe de fonctionnement de la PLL.....	35
II.6 Conclusion.....	37
Chapitre III : Simulation d'un filtre actif série	
III.1 Introduction.....	40
III.2 Description de système simulé.....	40
III.3 Interprétation des résultats de simulation.....	42
III.3.1 Perturbation harmonique.....	42
III.3.2 Chute de tension.....	44
III.3.3 Surtension.....	46
III.3.4 Déséquilibre	48
III.4 Conclusion.....	51
Conclusion générale.....	53
Bibliographie.....	55
Résumé.....	58

Introduction Générale

Les réseaux électriques possèdent dans le cas idéal des tensions et des courants de forme sinusoïdale à la fréquence fondamentale du réseau. Cependant, selon des études publiées dans la littérature, nous constatons que la qualité de l'onde électrique est loin d'être parfaite.

Le problème principal par miles défauts, est la présence de courants harmoniques produits par les charges non linéaires.

La propagation de ces courants à travers les différentes impédances du réseau crée des tensions harmoniques qui se superposent à la tension fondamentale. Les tensions déformées résultantes ont des effets né fastes sur les équipements de puissance, les dispositifs de commande et de surveillance, les circuits de protection et sur les charges sensibles aux harmoniques.

Pour diminuer ou supprimer ces perturbations et ainsi améliorer la qualité de l'énergie distribuée, plusieurs solutions existent parmi ces solutions les dispositifs de filtrage actif de puissance.

L'utilisation de dispositifs de filtrage tels que les filtres passifs dits résonnants et/ou amortis peut ainsi empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent également être utilisés pour compenser la puissance réactive.

On se propose de faire une étude sur les filtres série qui devrait se comporter comme un générateur de tension qui impose une tension harmonique telle que, additionnée à celle du réseau, la tension au point de connexion soit rendue sinusoïdale [5]

Le travail présenté dans ce mémoire consiste en l'étude et simulation d'un filtre actif série, pour compenser les tensions perturbatrices (chute de tension, déséquilibre, harmoniques de tension) venant de la source est également à celle provoqués par la circulation des courant perturbateurs à travers l'impédance de source, et généralement le filtre actif série est une solution pour protéger les charges sensibles contre les perturbations de tension du réseau électrique.

Le premier chapitre comporte trois parties ; dans la première partie on cite les différentes origines des harmoniques dans le réseau électrique, ainsi, l'étude des caractéristiques des harmoniques et la présentation des normes internationale.

Dans le deuxième chapitre est consacré à la présentation du filtre actif série comme solution adaptatif de compensation des harmoniques de tension provenant du réseau.

Le troisième chapitre contiendra la simulation d'un filtre actif série soumis à quatre types de perturbation des tensions.

CHAPITRE I

Introduction sur les harmoniques

Chapitre I : Introduction sur les harmoniques

I.1 Introduction	04
I.2 Perturbations électriques.....	04
I.2.1 Les harmoniques.....	05
I.2.1.1 Définition des harmoniques.....	05
I.2.1.2 Origine des harmoniques.....	05
I.2.1.3 Type des harmoniques.....	07
I.2.1.4 Harmonique de courant et de tension.....	08
I.2.1.5 Caractérisation des perturbations harmoniques	08
I.2.1.5.1 Le taux de distorsion harmoniques.	09
I.2.1.5.2 Puissances en présence des harmoniques	09
I.2.1.6 Les effets des harmoniques	10
I.2.1.6.1 Effets instantanés	10
I.2.1.6.2 Effets à long terme	10
I.2.2 Creux de tension.....	11
I.2.2.1 Sources des creux de tension.....	12
I.2.2.2 Normes standard-creux de tension.....	12
I.2.3 Surtension.....	13
I.2.3.1. Sources des surtensions.....	13
I.2.3.2. Normes standard des surtensions.....	13
I.2.4 Déséquilibre du système de tension triphasé.....	13
I.2.4.1 Conséquences du déséquilibre du système triphasé.....	13
I.2.4.2. Normes standard déséquilibre du système triphasé.....	14
I.3 Solutions De dépollution des réseaux électriques	14
I.3.1 Solutions traditionnelles.....	14
I.3.2 Solutions moderne.....	15
I.3.2.1 filtre actif série (FAS)	16
I.3.2.2 Filtre actif parallèle(FAP)	16
I.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs	17
I.3.2.4 Filtre hybride	17
I.3.2.4.1 Filtre hybride combinant filtres actif et passif	17
I.4 Conclusion	19

I.1 Introduction

Les réseaux de distribution modernes doivent faire face aux nouveaux défis et aux nouvelles opportunités d'un système électrique en pleine évolution technologique, du point de vue technique, le principal changement pour le réseau concerne la nature des charges connectées ; d'une part les charges passives classiques ont subi une évolution très importante et d'autre part de nouvelles charges actives ont été connectées au réseau.

Plusieurs types de ces nouvelles charges engendrent des perturbations importantes dans le réseau électrique ; ces perturbations peuvent être classées sur deux catégories, qui sont :

- Des perturbations causées par les courants perturbateurs, tel que les courants harmoniques, les courants déséquilibrés et les courants réactifs.
- Des perturbations causées par les tensions perturbatrices, telle que les tensions harmoniques et les tensions déséquilibrées.

Ce premier chapitre comporte trois parties : dans la première partie on cite les différentes origines des perturbations dans le réseau électrique et la présentation des normes internationale. La seconde partie est réservée à l'étude de l'influence des harmoniques sur les composantes passives et actives du réseau. On termine ce chapitre en présentant les différentes solutions de dépollution possibles. [5]

I.2 Perturbations électriques

La qualité de l'énergie électrique est étroitement liée à la qualité de l'onde de tension laquelle est caractérisée par les paramètres suivants :

- ✓ Forme d'onde parfaitement sinusoïdale ; absence de distorsions, de pics, de creux.
- ✓ Equilibre et symétrie parfaite des phases en amplitude et en phases.
- ✓ Valeurs efficaces dans les limites tolérées.
- ✓ Stabilité de la fréquence.
- ✓ Facteur de puissance dans des limites tolérables.

Les perturbations sont l'ensemble des phénomènes internes ou externes au réseau ayant un pouvoir de modifier d'une manière transitoire ou permanente en amplitude et/ou en forme les grandeurs électriques du réseau (courant, tension, fréquence). Ces perturbations peuvent être classées selon deux critères : la durée de persistance, ou le mode d'affectation c'est-à-dire leurs conséquences sur les grandeurs électriques. [18]

Selon la première classification, on a deux catégories essentielles :

- Perturbations périodiques: (qui durent dans le temps), comme le cas des distorsions harmoniques, chutes de tension dues aux flux de puissance réactive dans le réseau, et les déséquilibres,
- Perturbations apériodiques: ou l'en a principalement l'ensemble des phénomènes fugitifs souvent très difficiles à prévoir comme les creux de tension ou surtension transitoires.

Selon leurs modes d'affectation, on distingue trois familles principales :

- Perturbations sur l'amplitude ou les valeurs efficaces,
- Déséquilibre des systèmes triphasés,
- Distorsions harmoniques.

I.2.1 Les harmoniques

I.2.1.1 Définition des harmoniques

Un signal périodique se compose d'un signal de fréquence (f) et de forme quelconque peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux comprenant.

- Un signal sinusoïdal à la fréquence fondamentale, courbe fondamentale.
- Des signaux sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers du fondamental, Les harmoniques.
- Une éventuelle composante continue.

Chacun des harmoniques est caractérisé par une amplitude généralement exprimée en pourcentage de l'amplitude du fondamental et par une phase.

Le « rang » de l'harmonique est la valeur de l'entier qui détermine sa fréquence sur un réseau (50Hz, $I_h \cdot 7 = 350 \text{ Hz}$). [4]

I.2.1.2 Origine des harmoniques

La multiplication des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques, a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique des réseaux électriques. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires qui absorbent des courants riches en harmoniques. [10]

I.2.1.2.1 Charge non-linéaire

Une charge est dite : non linéaire lorsque le courant qu'elle absorbe n'a pas la même forme que la tension qui l'alimente. Typiquement, les charges utilisant l'électronique de puissances ont non-linéaires.

Or, elles sont de plus en plus nombreuses et leur part dans la consommation d'électricité ne cesse de croître.

Par exemple de charges non-linéaire, on peut citer [3] :

- Les équipements industriels (machines à souder, fours à arc, fours à induction, redresseurs).
- Les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones ou moteurs à courant continu.
- Les appareils de bureautique (ordinateurs, photocopieurs, fax, ...).
- Les appareils domestiques (TV, fours micro-onde, éclairage néon, ...).
- Les onduleurs.

I.2.1.2.2 Déformation d'un signal sinusoïdal

Le théorème de Fourier indique que toute fonction périodique non sinusoïdale peut être représentée sous la forme d'une somme de termes (série) qui est composée :

- D'un terme sinusoïdal à la fréquence fondamentale.
- De termes sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers de la fondamentale.
- Et d'une éventuelle composante continue.

Exemple : décomposition d'un signal périodique.

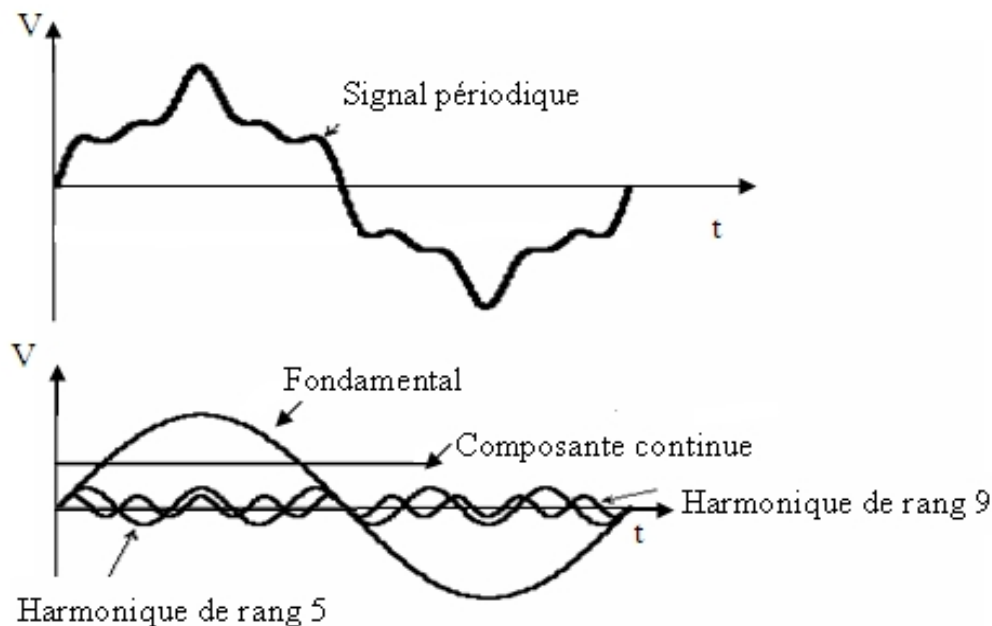


Figure 1 Décomposition d'un signal périodique

Un harmonique de rang h est la composante sinusoïdale d'un signal dont la fréquence vaut h fois la fréquence fondamentale.

La formule correspondant à la décomposition harmonique d'une fonction périodique est la suivante :

$$\text{Avec : } y = y_0 + \sum y_n \cos(n\omega t - \varphi_n) \quad (\text{I.1})$$

- **y_0** : valeur de la composante continue généralement nulle et considérée comme telle par la suite :
- **y_n** : valeur efficace de l'harmonique de rang n .
- **ω** : pulsation de la fréquence fondamentale.
- **φ_n** : déphasage de la composante harmonique.

I.2.1.2.3 Décomposition d'un signal déformé

- Un signal déformé est la résultante de la superposition des différents rangs d'harmoniques.

La figure(2) donne l'exemple d'un courant soumis à des distorsions harmoniques. [3]

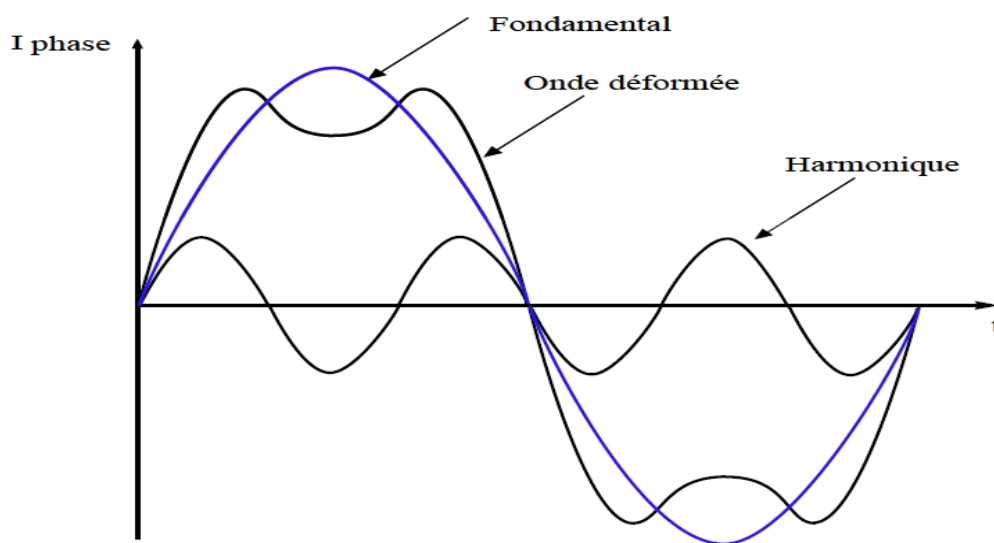


Figure 2 Image d'une onde déformée

I.2.1.3 Type des harmoniques

- Inter harmoniques : sont des signaux de fréquence non multiple de la fréquence fondamentale.
- Infra harmoniques : ce sont des composantes qui sont à des fréquences inférieures à celle Fondamental. [4]

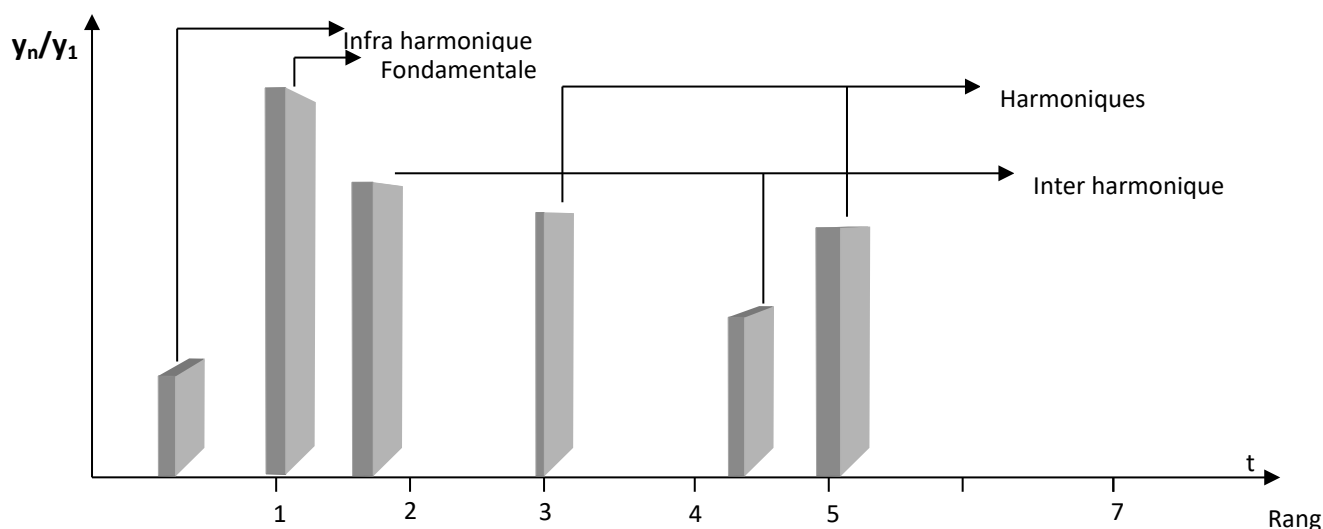


Figure 3 Représentation spectrale d'un signal périodique

I.2.1.4 Harmonique de courant et de tension

I.2.1.4.1 Courant Harmonique

Dans la plupart des cas, les harmoniques présentés sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation de charge non linéaire.

On appelle « charge » un équipement ou une installation connectés au réseau électrique et consommant de l'énergie à 50 Hz. Ces charges se comportent approximativement comme des sources de courant harmonique c'est-à-dire que le courant harmonique est fixé par la charge et non par l'impédance ou la tension de réseau auquel elles sont raccordées.

Une charge passive est une charge ne comportant pas de systèmes de commutation rapide autorisant un découpage de l'onde 50 Hz, au contraire des charges actives. Les charges actives utilisent toujours des commutateurs électroniques de puissance.

I.2.1.4.2 Tension harmonique

On peut également parler de source de tension pour décrire l'état d'un réseau perturbé par une forte charge non linéaire. En effet dans ce cas, on s'intéresse à l'étude du raccordement d'un récepteur de faible puissance, sa connexion au réseau ne modifie pas sensiblement le niveau précédent. [5]

I.2.1.5 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.

I.2.1.5.1 Le taux de distorsion harmoniques

Le facteur de distorsion harmonique noté THD est établi pour donner une idée sur l'amplitude de la perturbation harmonique ; il est donné par l'expression suivante :

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{V_h}{V_1} \right)^2} \quad (I.2)$$

V_1 : Valeur efficace de la tension fondamentale.

V_h : Valeur efficace de la tension harmonique du rang h.

Ou encore par :

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (I.3)$$

I_1 : Valeur efficace du courant fondamental.

I_h : valeur efficace du courant harmonique du rang h. [5]

I.2.1.5.2 Puissances en présence des harmoniques

En présence des harmoniques, la puissance apparente S est composée de trois parties : Active P , réactive Q et déformante D . Son expression est donnée par l'équation suivante :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (I.4)$$

S : la puissance apparente.

P : la puissance active.

Q : la puissance réactive.

D : la puissance déformante ou de distorsion.

Puissance active et réactive :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (I.5)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (I.6)$$

φ : Le déphasage entre le fondamental du courant et la tension.

Le facteur de puissance noté (F_p) est le rapport de la puissance active (P) à la puissance apparente (S).
Il tient compte des harmoniques. [1]

$$F_p = P / S \quad (I.7)$$

Le facteur de puissance sera toujours inférieur à 1.

I.2.1.6 Les effets des harmoniques

Les courants harmoniques se propagent dans le réseau électrique, déforme l'allure du courant de la source, et polluent les consommateurs alimentés par ce même réseau. Ils occasionnent des incidents au niveau des appareillages des clients et donner lieu à des surcoûts de production d'énergie importants.

On peut classer les effets engendrés par les harmoniques en deux types : les effets instantanés et les effets différés. [17]

I.2.1.6.1 Effets instantanés

- Déclenchements intempestifs des protections.
- Perturbations induites des systèmes à courants faibles (télécommande, télécommunication, écran d'ordinateur, téléviseur...).
- Vibrations et bruits acoustiques anormaux (tableaux BT, moteurs, transformateurs).
- Destruction par surcharge thermique de condensateurs.
- Perte de précision des appareils de mesure.

I.2.1.6.2 Effets à long terme

- Une surcharge en courant provoque des échauffements supplémentaires donc un vieillissement prématuré des équipements.
- Echauffement des sources : transformateurs, alternateurs (par augmentation des pertes Joule, des pertes fer...).
- Fatigue mécanique (couples pulsatoires dans les machines asynchrones...).
- Echauffement des récepteurs : des conducteurs de phases et du neutre par augmentation des pertes Joule et diélectriques.
- Destruction de matériels (condensateurs, disjoncteurs...).
- Rayonnement électromagnétique perturbant les écrans (micro-ordinateurs, appareils de laboratoire...).

Le tableau (I.1) résume les effets des harmoniques sur les différents dispositifs utilisés dans le réseau électrique. [10]

Nature du matériel électrique	Effet de la «pollution harmonique »
Machines tournantes Moteurs triphasés, alternateurs	Echauffements supplémentaires (effet joule) dans les enroulements statoriques. Couples oscillatoires. augmentation du bruit.
transformateurs	Pertes supplémentaires dans le fer (par courants de Foucault) et dans les enroulements (par effet joule). risque de saturation en présence d'harmoniques pairs.
câbles	Augmentation des pertes surtout dans le câble de neutre ou s'ajoutent les harmoniques de rang 3 et multiples de 3. pertes diélectriques supplémentaires.
Électronique de puissance (convertisseur statique)	Troubles fonctionnels liés la forme d'onde (commutation, synchronisation).
Compteur d'énergie	erreurs de mesure
condensateurs de puissance	pertes diélectriques supplémentaires aboutissant à un vieillissement prématuré des condensateurs
Ordinateur	dysfonctionnement lié aux couples pulsatoires des moteurs d'entraînement des supports magnétiques
Dispositifs de protection (Fusibles. Disjoncteurs)	fonctionnement intempestif
Téléviseurs	déformation d'image
Lampes à décharge	risque de vacillement sous l'effet de l'harmonique de rang 2

Tableau. I.1 L'ensemble des matériels électriques perturbés par la pollution harmonique

I.2.2 Creux de tension

Un creux de tension est une diminution brusque de la tension à une valeur située entre 90% et 10% de la tension nominale U_n , suivie du rétablissement de la tension après un court laps de temps.

Un creux de tension peut durer de 10 ms à 1 mn pour les coupures brèves et une durée supérieure à une minute pour les coupures longues. La plupart des appareils électriques admettent une coupure totale d'alimentation d'une durée inférieure à 10 ms. [2]

I.2.2.1 Sources des creux de tension

La principale source de creux de tension et de coupures brèves sont les court-circuit et le démarrage de machines de forte puissance (asynchrones essentiellement). En général, le courant des moteurs atteint au moment de leur démarrage 5 à 6 fois le courant nominal et diminue progressivement lorsque la machine se rapproche de sa vitesse nominale. Cette surintensité produit une chute de tension qui décroît avec la diminution du courant. Les creux de tensions engendrés par le démarrage des moteurs de forte puissance durent entre quelques secondes et quelques dizaines de seconde et se caractérisent par des chutes de tension sur les trois phases [2]. Les creux de tension peuvent également être engendrés par la saturation des transformateurs ou des modifications dans la structure du réseau. Cependant, ces perturbations provoquent rarement des chutes de tension importantes. Les creux de tension sont les perturbations électriques les plus pénalisantes du fait de leur fréquence et de la sensibilité de nombre d'appareillages présents dans les réseaux industriels. Il faut néanmoins souligner que les coupures brèves peuvent avoir des conséquences plus graves (à la reprise), mais sont bien moins fréquentes. [6]

I.2.2.2 Normes standard-creux de tension

Les creux de tension sont caractérisés par leur profondeur et leur durée, avec des limites de 30% et de 600 ms, comme le montre la Figure 3.

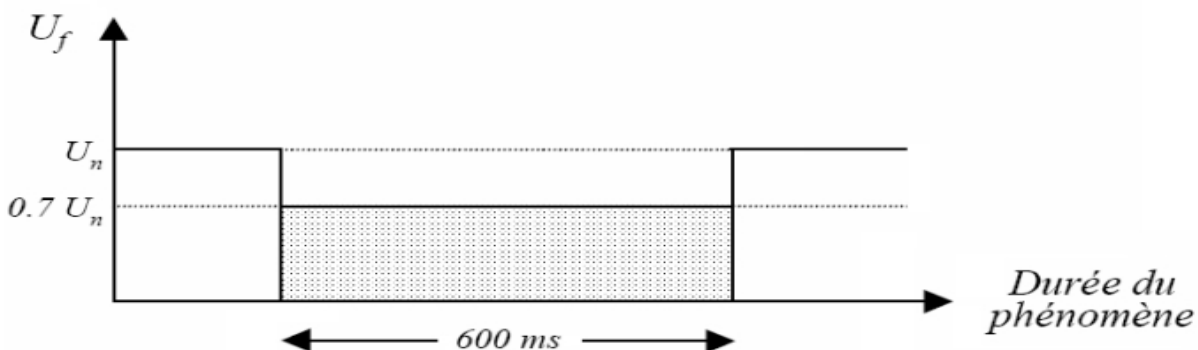


Figure 4 Limites tolérables d'un creux de tension

I.2.3 Surtension

I.2.3.1. Sources des surtensions

Les réseaux peuvent être le siège de surtensions impulsionnelles par rapport à la terre, dues entre autres, à des coups de foudre. Des surtensions impulsionnelles dues à des manœuvres d'appareils peuvent également se produire sur les réseaux de distribution ou sur les installations des utilisateurs. La protection contre les surtensions d'origine atmosphérique nécessite soit l'emploi de dispositifs de protection (parafoudres), soit l'adoption de dispositions constructives appropriées (distances d'isolement par exemple).[19]

I.2.3.2. Normes standard des surtensions

La norme NF EN 50-160 ne fixe pas de valeurs maximales pour ces surtensions. A titre indicatif, les surtensions en BT ne dépassent pas généralement 6000 V crête. Le temps de montée peut varier de quelques microsecondes à plusieurs millisecondes. En HT les parafoudres actuellement utilisés sur le réseau de distribution permettent de limiter la valeur crête de la tension à leurs bornes à 80 kV, pour un courant de décharge de 5 kA. Pour un courant de décharge supérieur, des valeurs supérieures de surtension peuvent être rencontrées. Pour une surtension temporaire à la fréquence du réseau qui peut apparaître lors d'un défaut sur le réseau de distribution ou dans l'installation de l'utilisateur, la norme NF EN 50-160 ne fixe pas de valeurs maximales pour ces surtensions. A titre indicatif, les surtensions en BT ne dépassent pas généralement la valeur efficace de 1500 V. [19]

I.2.4 Déséquilibre du système de tension triphasé

On dit qu'il y a déséquilibre dans un réseau, lorsqu'on enregistre en régime permanent, des asymétries d'amplitudes et de déphasages des tensions de phases. Ce type de perturbation est causé essentiellement par les asymétries d'impédances des lignes du réseau ou des charges, et aussi par des court-circuit monophasés ou biphasés. Ce déséquilibre se manifeste par des perturbations dans les machines tournantes, des échauffements, etc... [18]

I.2.4.1 Conséquences du déséquilibre du système triphasé

Le déséquilibre d'une installation triphasée peut entraîner un dysfonctionnement des appareils basses tensions connectés :

- Mauvais fonctionnement 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 de composantes harmoniques non caractéristiques, notamment des harmoniques de rang multiple de 3. L'apparition de ces courants harmoniques peut poser des problèmes, comme la génération d'une antirésonance lors du filtrage de l'harmonique de rang 5.

Autre les effets classiques des harmoniques, ces fréquences non caractéristiques peuvent conduire, dans certains cas, au blocage de la commande. 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 provoquent l'échauffement de la machine. Concernant l'effet du déséquilibre homopolaire, il faut signaler le risque d'échauffement du conducteur neutre dans un réseau BT qui, lorsque le conducteur est d'un diamètre trop faible, peut provoquer une rupture du conducteur ou un incendie. [18]

1.2.4.2. Normes standard déséquilibre du système triphasé

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

$$\tau_v = \frac{V_i}{V_d} \quad (I.8)$$

Une tension dont le taux de déséquilibre moyen τ_m ne dépasse pas 2% est acceptable. [2]

1.3 Solutions de dépollution des réseaux électriques

Deux types de solutions sont envisageables. La première consiste à utiliser des convertisseurs statiques moins ou peu polluants, tandis que la seconde consiste en la mise en œuvre d'un filtrage des composantes harmoniques. La première classe de solutions s'intéresse à la conception tandis que la seconde consiste à compenser les courants ou les tensions harmoniques. Deux groupes de solutions de dépollution pour compenser toutes les perturbations peuvent être distingués : les solutions traditionnelles et les solutions modernes. [6]

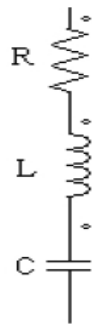
1.3.1 Solutions traditionnelles

Ce sont des techniques qui doivent être connues par tous les électriciens. Elles apportent une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations bien localisées et utilisent des composants passifs (inductances, condensateurs, transformateurs) et/ou des branchements qui modifient le schéma de l'installation.

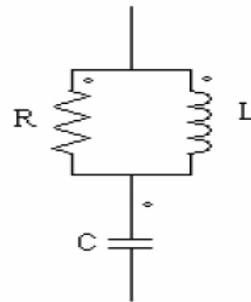
Plusieurs solutions existent pour limiter la propagation et l'effet des harmoniques dans les réseaux électriques :

- 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. Parmi les dispositifs de filtrage les plus répandus, on distingue le filtre Passif résonnant et le filtre passif amorti ou passe-haut. [15]



Filtre passif résonnant



Filtre passif amorti

Figure 5 Filtre passif résonnant et amorti

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 beaucoup d'inconvénients.

- Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- Equipements volumineux.
- Problèmes de résonance avec l'impédance du réseau.

I.3.2 Solutions modernes

Ces solutions sont proposées comme des solutions efficaces de dépollution des réseaux électriques afin de traiter les inconvénients inhérents aux solutions traditionnelles comme les filtres passifs (non adaptatifs aux variations de la charge et du réseau, phénomènes de résonance). Parmi toutes les solutions modernes, on trouve deux types de structures classiquement utilisées :

- Le filtre actif (série, parallèle ou bien encore associant les deux).
- Le filtre actif hybride (série, parallèle).

Le but de ces filtres actifs est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant ou la tension redevienne sinusoïdal.

Le filtre actif est connecté au réseau soit en série (FAS), soit en parallèle (FAP) suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques, soit associé à des filtres passifs.

Pour fournir aux consommateurs une énergie électrique de qualité, même dans les conditions de fonctionnement les plus perturbées, les filtres actifs sont proposés comme des solutions de dépollution des réseaux électriques. Dans la suite, différentes topologies de filtres actifs usuels sont présentées [6].

I.3.2.1 filtre actif série (FAS)

Une source de tension harmonique qui annule les tensions perturbatrices (creux, Le rôle d'un FAS est de modifier localement l'impédance du réseau. Il se comporte comme déséquilibre, harmonique) venant de la source et celles générées par la circulation de courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Ainsi, la tension aux bornes de la charge peut être rendue sinusoïdale. Cependant, le FAS ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge. [6]



Figure 6 Filtre actif série

I.3.2.2 Filtre actif parallèle(FAP)

Le FAP se connecte en parallèle avec le réseau et injecte en temps réel les composantes harmoniques des courants absorbés par les charges non linéaires connectées au réseau. Ainsi, le courant fourni par la source d'énergie devient sinusoïdal. [6]

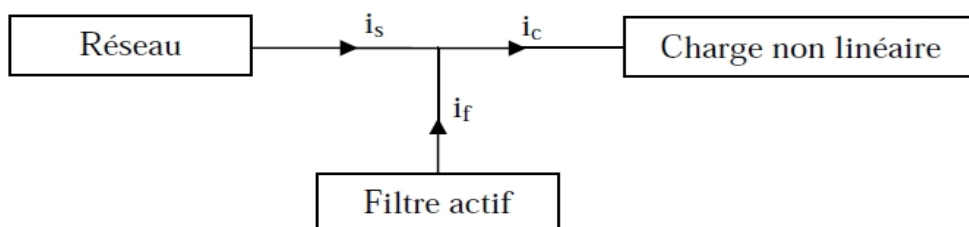


Figure 7 Filtre actif parallèle

I.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs

La figure 3 illustre l'association de deux filtres actifs parallèle et série, Cette structure bénéficie des avantages des deux types de filtres actifs série et parallèle. Ainsi, elle permet d'assurer simultanément un courant sinusoïdal et une tension du réseau électrique également sinusoïdale. [6]

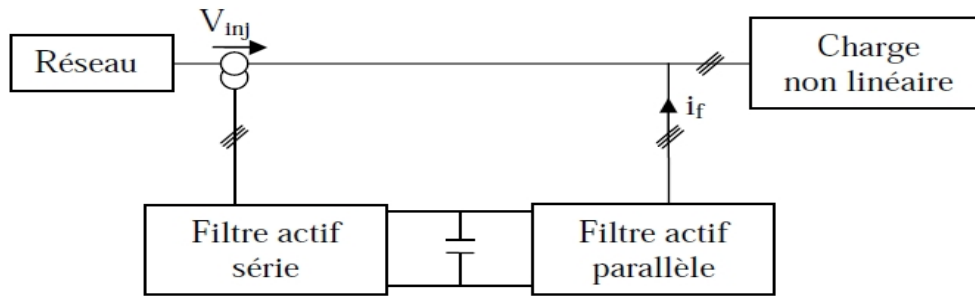


Figure 8 Combinaison parallèle-série de filtres actifs

Les inconvénients des filtres passifs (résonances série ou parallèle avec la source et/ou la charge, détérioration des performances du filtre lors de variations de l'impédance du réseau,) et des filtres actifs (coût élevé en raison du dimensionnement des composants de puissance) ont conduit à l'élaboration d'une nouvelle topologie de filtre actif. Il s'agit du filtre hybride qui est en réalité l'association de filtres actifs de faibles puissances à des filtres passifs.

I.3.2.4 Filtre hybride

Le filtre hybride est une topologie de filtre qui combine les avantages des filtres passifs et des filtres actifs. Pour cette raison, il est considéré comme l'une des meilleures solutions pour filtrer les harmoniques de courant des réseaux de distribution. Une des principales raisons de l'utilisation du filtre actif hybride est liée au développement des semi-conducteurs de puissance tels que les transistors de puissance de types MOSFET ou IGBT. De plus, du point de vue économique, Le filtre hybride présente un atout majeur : il permet de réduire le coût du filtre actif, actuellement l'obstacle majeur à l'utilisation de filtres actifs. [6]

I.3.2.4.1 Filtre hybride combinant filtres actif et 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 les plus étudiées étant. [1]

I.3.2.4.1.a Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif

Dans cette configuration, les deux filtres actif et passif sont directement connectés en série, sans l'intermédiaire d'un transformateur. L'ensemble est connecté en parallèle sur le réseau comme le décrit la figure (8).

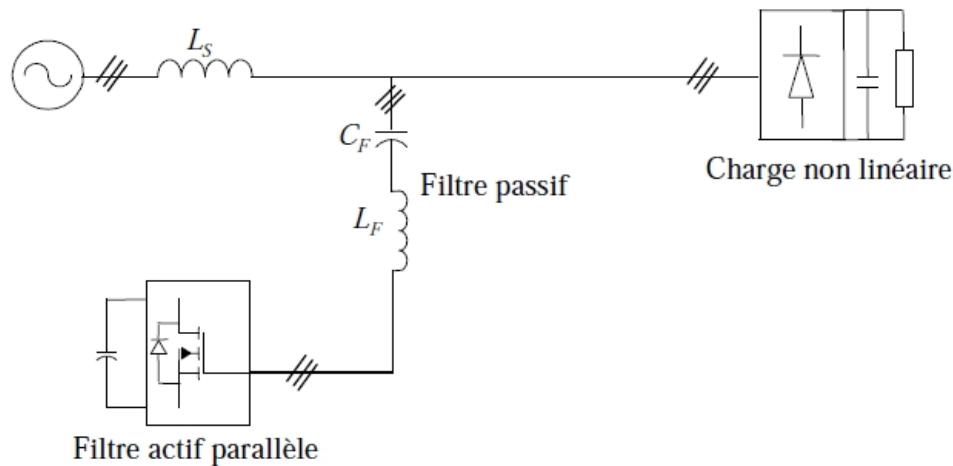


Figure 9 Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif [6]

Dans ce cas, le filtre passif se comporte comme une impédance faible à la fréquence d'accord et comme une grande impédance à la fréquence fondamentale. Ce système présente deux avantages : le dimensionnement en puissance du filtre actif est encore plus réduit du fait que le courant qui le traverse est plus faible et le filtre actif est à l'abri d'un éventuel court-circuit de la charge

I.3.2.4.1.b Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif

Dans cette topologie, le filtre actif est connecté en parallèle avec le filtre passif. Tous deux sont également en parallèle avec la charge. Le filtre actif parallèle sert à compenser les courantes harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante alors que le filtre passif, accordé sur une fréquence harmonique élevée, permet de compenser les harmoniques hautes fréquences. [13]

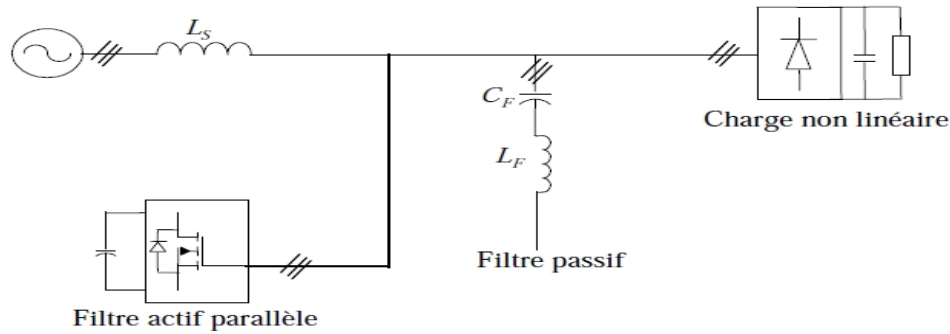


Figure 10 Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif

I.3.2.4.1.c Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif

Cette structure permet de réduire les risques d'antirésonance entre les éléments des filtres passifs et l'impédance du réseau. Dans ce cas, le filtre actif série agit comme une résistance vis-à-vis des courants harmoniques et les oblige à circuler dans le filtre passif, tout en restant transparent à la fréquence fondamentale. La figure (11) illustre cette topologie. [1]

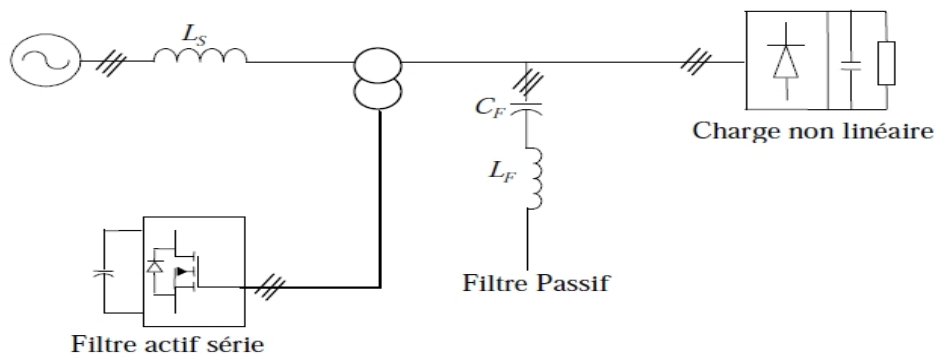


Figure 11 Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif

I.4 Conclusion

Les charges dites non-linéaire, engendrent dans le réseau de distribution, des courants non-sinusoïdaux provoquant des perturbations envahissant ce dernier. Ces perturbations se répercutent sur la qualité de l'énergie électrique et sur le bon fonctionnement des installations.

Nous avons présenté les moyens actuels et à venir pour les réduire. Les solutions existantes, notamment les techniques de filtrage et compensation à base d'éléments passifs présentent de nombreuses contraintes. La solution la plus intéressante est l'utilisation du filtrage actif.

CHAPITRE II

Structure d'un filtre actif série

Chapitre II : Structure d'un filtre actif série

II.1 Introduction	22
II.2 Mise en œuvre	22
II.3 Principe de fonctionnement.....	22
II.4 Structure générale du système.....	23
II.4.1 Description de l'association (réseau électrique-charge linéaire-FAS).....	23
II.4.2 Modélisation du réseau électrique pollué.....	23
II.4.3 Modélisation du la charge linéaire(RL).....	24
II.5 Structure générale du filtre actif série.....	25
II.5.1 Partie puissance du filtre actif série.....	26
II.5.1.1 Onduleur de tension.....	26
II.5.1.1.1 Onduleur de tension à deux niveaux.....	26
II.5.1.1.2 Modèle de l'onduleur à deux niveaux.....	26
II.5.1.2 Source de tension continue.....	29
II.5.1.3 Filtre de sortie (filtre passe bas LC).....	29
II.5.1.4 Transformateurs d'injection et protection du F.A.S.....	30
II.5.2 Partie commande du filtre actif série.....	31
II.5.2.1 La méthode des puissances instantanées.....	31
II.5.2.1.1 Filtre Passe-bas.....	33
II.5.2.2 Commande de l'onduleur par hystérésis.....	34
II.5.2.3 Principe de fonctionnement de la PLL.....	35
II.6 Conclusion.....	37

II.1 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 de tension. Ce système est le filtre actif série.

II.2 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 leur s'origines dans le réseau lui-même mais peuvent parfois être provoquées par les charges elles-mêmes. En 1976, une famille de filtres actifs série 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]

II.3 Principe de fonctionnement

Le filtre actif série se comporte 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 du réseau. Ainsi la tension aux bornes de la charge à protéger est purement sinusoïdale.

Pour ce faire, il faut premièrement identifier la tension de source (v_{s1}, v_{s2}, v_{s3}) pour pouvoir connaître les tensions harmoniques (v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}) qu'il faut ajouter pour avoir la tension de la charge sinusoïdale ($v_{ch1}, v_{ch2}, v_{ch3}$). [19]

II.4 Structure générale du système

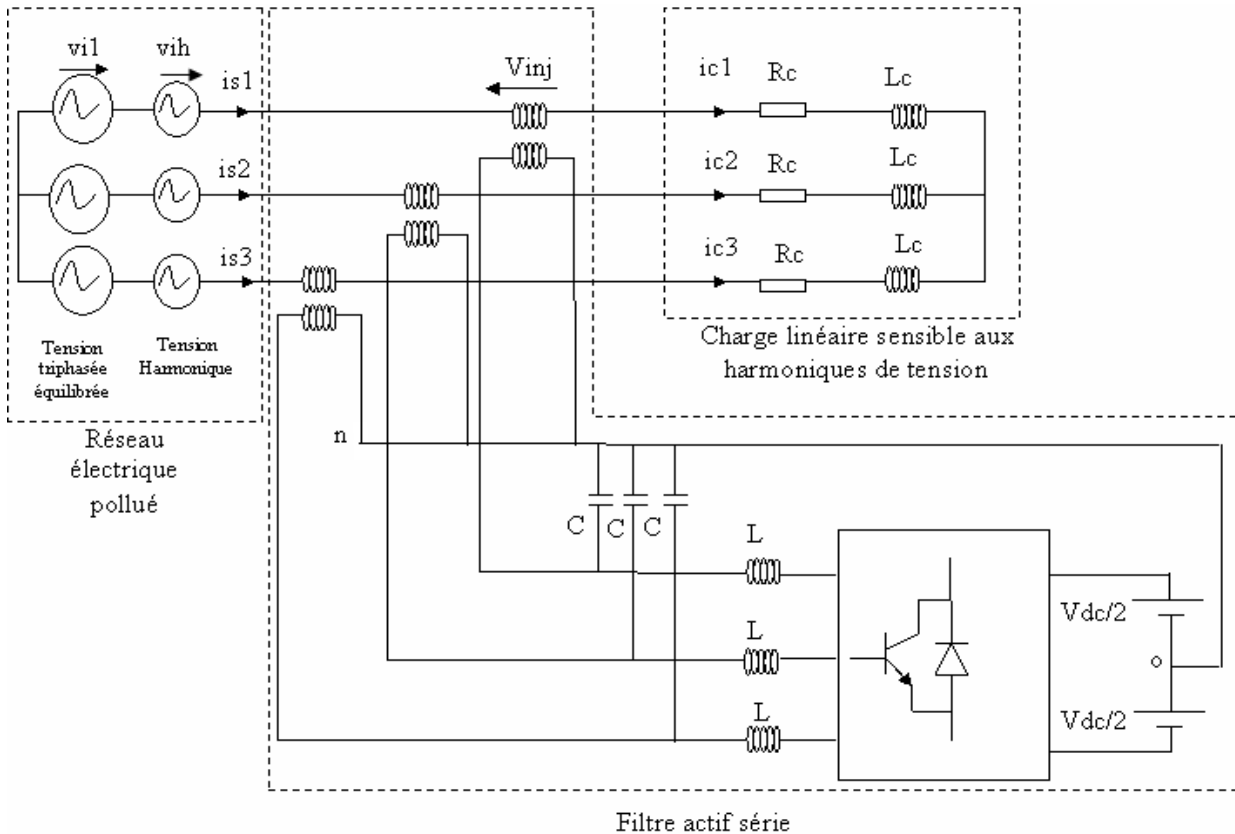


Figure 12 Association (réseau électrique-charge linéaire-FAS)

II.4.1 Description de l'association (réseau électrique-charge linéaire-FAS)

Le schéma de la figure (12) 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 basé sur un onduleur de tension à deux niveaux alimenté par une source de tension continue et équipé d'un filtre passif passe-bas(LC).[14]

II.4.2 Modélisation du réseau électrique pollué

Le réseau électrique pollué est assimilable à une source de tension sinusoïdale (V_{i1}) sur laquelle est superposée une tension harmonique (V_{ih}), 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(12).

La tension(V_{si}) de la phase (i) est exprimée par la relation suivante :

$$V_{st}(t) = V_{i1}(t) + \sum_{h=2}^n V_{ih} \quad (II.1)$$

Avec

$i= 1, 2, 3$ numéros de la phase,

V_{i1} tension sinusoïdale du rang 1 de la phase i (tension fondamentale), V_{ih} tension sinusoïdale du rang h de la phase i (tension harmonique),

Les harmoniques de tension considérées à titre d'étude dans ce mémoire sont :

Harmonique 5 : $V_{i5} = -V_m/3 \cdot \sin 5(\omega t - \pi/5)$ « Harmonique impaire+h (impair) »

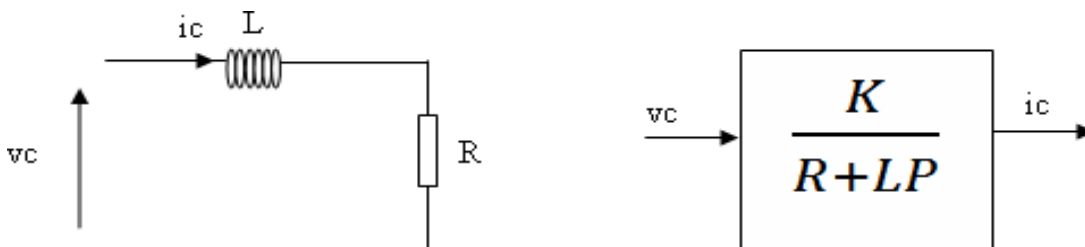
Harmonique 6 : $V_{i6} = -V_m/6 \cdot \sin 6(\omega t - \pi/5)$ « Harmonique impaire+h (pair) »

Harmonique 7 : $V_{i7} = -V_m/6 \cdot \sin 7(\omega t - \pi/5)$ « Harmonique impaire+h (impair) »

Harmonique 20 : $V_{i20} = -V_m/4 \cdot \sin 20(\omega t - \pi/5)$ « Harmonique de haute fréquence appliquée pendant des courtes durée et non continuellement dans le but de simuler les pics de tension ».

II.4.3 Modélisation de 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. En considérant une charge linéaire triphasée équilibrée constituée de Résistance R et d'inductance L. [16]



Le gain $K=1$

Figure 13 Charge linéaire (présentation par phase) et sa fonction de transfert

II.5 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 de filtre actif série ont été proposées [2]. La plus utilisée, présentée sur la figure (14) est composée d'une partie puissance et d'une partie contrôle (commande). La partie puissance est constituée 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(14).

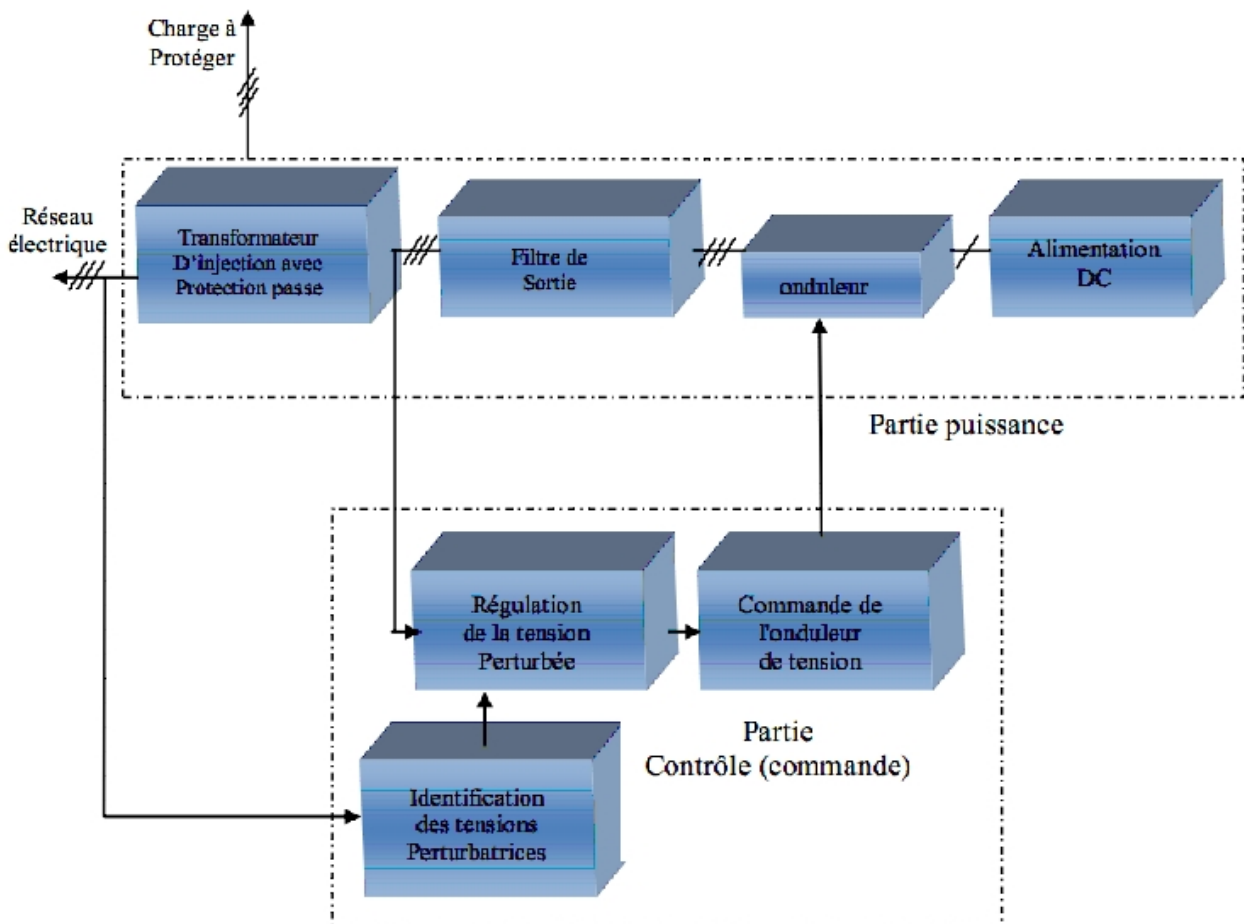


Figure 14 Structure générale du filtre série

Afin de mieux comprendre cette structure, les parties puissance et contrôle (commande) vont être détaillées. [14]

II.5.1 Partie puissance du filtre actif série

II.5.1.1 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 deux commandes complémentaires.
- La source du 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.

II.5.1.1.1 Onduleur de tension à deux niveaux

L'onduleur est un convertisseur d'énergie permettant d'onduler la tension du bus continu et la fournir sous forme alternative. Il existe plusieurs structures d'onduleurs ; dont chacun correspond à un type d'application déterminé ou permettant des performances recherchées. Toujours par soucis de simplification, l'onduleur utilisé est à deux niveaux figure (14). L'atteinte de meilleures performances peut être l'objet d'une future étude par l'utilisation des convertisseurs multi niveaux. Ceux-ci amélioreront la qualité des tensions ondulées par la diminution des harmoniques.

II.5.1.1.2 Modèle de l'onduleur à deux niveaux

La symétrie des onduleurs à deux niveaux permet leur modélisation par bras. Après avoir modélisé chaque couple transistor – diode par un seul interrupteur bidirectionnel « Si ». Il devient possible de déduire un modèle complet de l'onduleur figure (15).

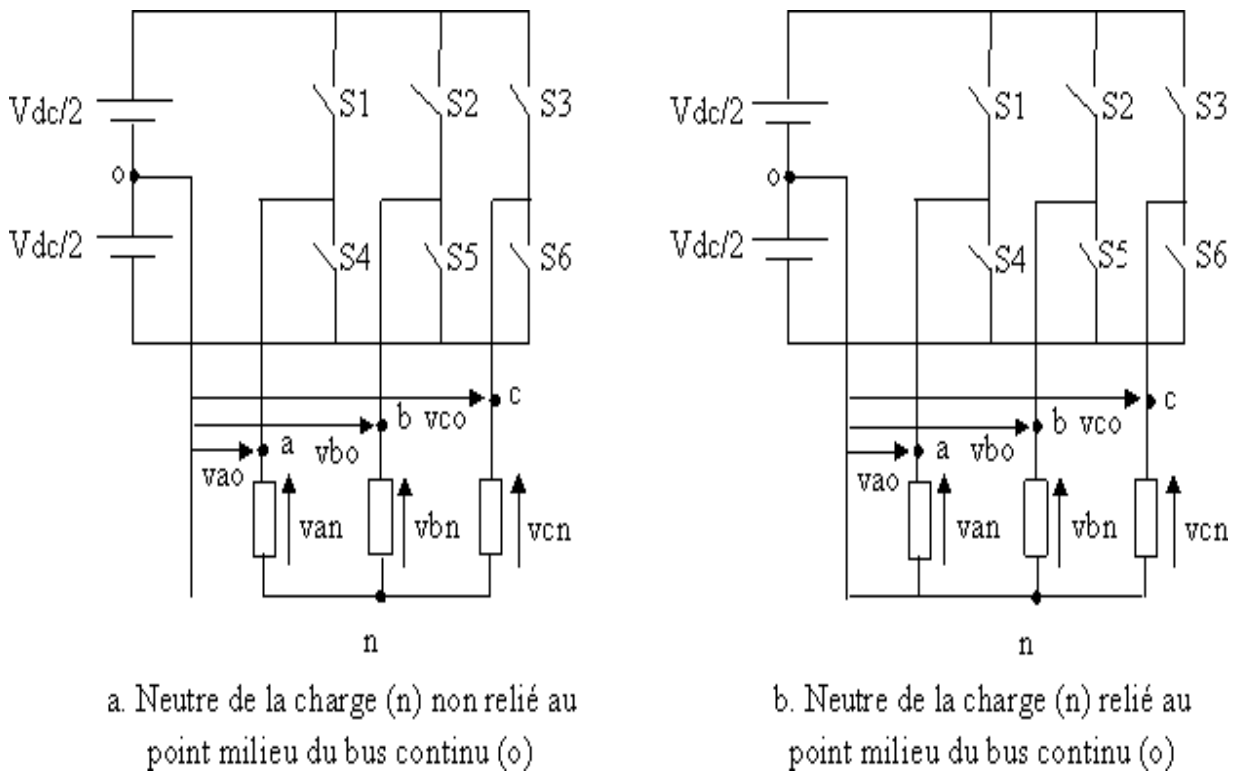


Figure 15 Modèle équivalent de l'onduleur à deux niveaux

a). Cas de neutre de charge(n) non relié au point milieu du bus continu(o)

Pour exprimer les tensions de sortie de l'onduleur en fonction de la tension dans l'étage continu et de l'état des commutateurs, ces états doivent d'être définis pour les trois bras :

➤ Bras 1 :

$S_1=0, S_4=1$ Si S_1 est ouvert et S_4 est fermé

$S_1=1, S_4=0$ Si S_1 est fermé et S_4 est ouvert

➤ Bras 2 :

$S_2=0, S_5=1$ Si S_2 est ouvert et S_5 est fermé

$S_2=1, S_5=0$ Si S_2 est fermé et S_5 est ouvert

➤ Bras 3 :

$S_3=0, S_6=1$ Si S_3 est ouvert et S_6 est fermé

$S_3=1, S_6=0$ Si S_3 est fermé et S_6 est ouvert

Lorsque le neutre de la charge n'est pas lié au point milieu du bus continu, les tensions de sortie (V_{an} , V_{bn} et V_{cn}) mesurées par rapport au neutre de la charge sont différentes par rapport celles mesurées par rapport au point milieu du bus continu (V_{ao} , V_{bo} et V_{co}).

Les tensions de charge composées à la sortie du convertisseur s'expriment par :

$$\begin{cases} V_{ab} = V_{dc} (S_1 - S_2) \\ V_{bc} = V_{dc} (S_2 - S_3) \\ V_{ca} = V_{dc} (S_3 - S_1) \end{cases}$$

Or si on considère que les tensions sont équilibrées :

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0$$

On peut déduire les expressions des tensions en lignes par rapport aux tensions composées :

$$\begin{cases} V_{an} = (V_{ab} - V_{ca}) / 3 \\ V_{bn} = (V_{bc} - V_{ab}) / 3 \\ V_{cn} = (V_{ca} - V_{bc}) / 3 \end{cases}$$

Ainsi l'onduleur a comme modèle mathématique l'équation suivante :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II.2})$$

Les tensions V_{an} , V_{bn} et V_{cn} sont appliquées aux bornes de la charge (filtre LC + transformateur).

Les tensions par rapport au point milieu s'expriment par :

$$\begin{cases} V_{ao} = (S_1 - S_4) V_{dc}/2 \neq V_{an} \\ V_{bo} = (S_2 - S_5) V_{dc}/2 \neq V_{bn} \\ V_{co} = (S_3 - S_6) V_{dc}/2 \neq V_{cn} \end{cases}$$

V_{an} , V_{bn} et V_{cn} sont des tensions de 5 niveaux $(0, V_{dc}/3, 2V_{dc}/3, -V_{dc}/3, -2V_{dc}/3)$.

V_{ao} , V_{bo} et V_{co} sont des tensions de 2 niveaux $(V_{dc}/2, -V_{dc}/2)$ [11]

b). Cas de neutre de charge(n) relié au point milieu du bus continu(o)

Dans ce cas les tensions appliquées aux bornes de la charge sont

$$\begin{cases} V_{an} = V_{ao} = (S_1 - S_4) V_{dc}/2 \\ V_{bn} = V_{bo} = (S_2 - S_5) V_{dc}/2 \\ V_{cn} = V_{co} = (S_3 - S_6) V_{dc}/2 \end{cases}$$

Ainsi l'onduleur a comme modèle mathématique l'équation suivante :

$$\begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{ao} \\ v_{bo} \\ v_{co} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{2} \begin{bmatrix} S_1 - S_4 \\ S_2 - S_5 \\ S_3 - S_6 \end{bmatrix} \quad (II.3)$$

V_{an} , V_{bn} , V_{cn} , V_{ao} , V_{bo} et V_{co} sont des tensions de 2 niveaux ($V_{dc}/2$, $-V_{dc}/2$).

On a adopté l'onduleur de tension avec point neutre de la charge (filtre LC + transformateur) relié au point milieu du bus continu car il permet au filtre actif série de compenser les harmoniques non équilibrés contrairement à l'onduleur avec neutre de charge non lié au point milieu du bus continu [11].

II.5.1.2 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.

II.5.1.3 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 (12) 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 composantes dues aux commutations de l'onduleur, d'autre part à connecter le filtre.

Le schéma de la figure(16) présente le modèle électrique par phase de ce filtre. [9]

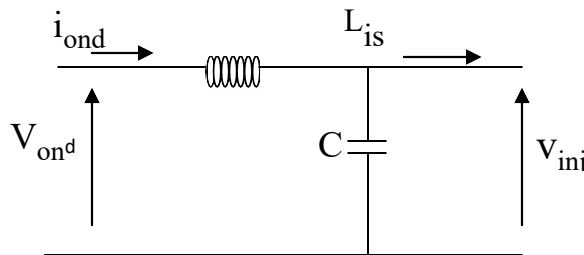


Figure 16 Filtre(LC)

Ce filtre est modélisé par les équations suivantes :

$$\begin{cases} v_{ond} = L \frac{di_{ond}}{dt} + v_{inj} \\ \frac{dv_{inj}}{dt} = \frac{i}{C} (i_{ond} - i_s) \end{cases} \quad (II.4)$$

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

$$F = \frac{v_{inj}}{v_{ond}} = \frac{1}{1 + (\sqrt{LC}p)^2} \quad (II.5)$$

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

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (II.6)$$

II.5.1.4 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]

II.5.2 Partie commande du filtre actif série

II.5.2.1 La méthode des puissances instantanées

L'algorithme de la théorie de puissances instantanées active et réactive pour le filtre actif série est d'utiliser les valeurs instantanées des tensions et courants mesurés. La méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées basée essentiellement sur le principe de la puissance active $p(t)$ et réactive $q(t)$ instantanées a pour but de détermination de la tension fondamentale et de la tension harmonique d'une tension du réseau perturbé.

On note respectivement :

- (v_{s1}, v_{s2}, v_{s3}) : Les tensions de la source perturbée.
- $(i_{ch1}, i_{ch2}, i_{ch3})$: Les courants de charge de notre système triphasé.

$$V_{s\alpha\beta} = \begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{3/2} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s1} \\ V_{s2} \\ V_{s3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

$$i_{L\alpha\beta} = \begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{3/2} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ i_{L3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

A partir des vecteurs $[V_{s\alpha}, V_{s\beta}]$ et $[i_{L\alpha}, i_{L\beta}]$ décrivant le système des tensions et le système des courants dans le repère $(\alpha-\beta)$. On introduit une décomposition de puissances instantanées dans le plan $(\alpha-\beta)$.

Les puissances réelle et imaginaire instantanées, notées respectivement p et q , sont définies par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

Ou bien :

$$p = i_{L\alpha} \cdot V_{s\alpha} + i_{L\beta} \cdot V_{s\beta} \quad (\text{II.10})$$

$$q = i_{L\beta} \cdot V_{s\alpha} - i_{L\alpha} \cdot V_{s\beta} \quad (\text{II.11})$$

D'autre part, les puissances réelles et imaginaires peuvent être représentées comme suit :

$$\left. \begin{aligned} p &= \tilde{p} + \bar{p} \\ q &= \tilde{q} + \bar{q} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.12})$$

$\bar{p}$: est une puissance continue liée à la composante fondamentale active de la tension de source.

$\bar{q}$: est une puissance continue liée à la composante fondamentale réactive de la tension de source.

$\tilde{p}$ et $\tilde{q}$: sont des puissances alternatives liées à la somme des composantes harmoniques de la tension.

La compensation d'harmoniques par le compensateur actif série se fait par la génération de ces dernières :

$$\left\{ \begin{aligned} p^* &= \tilde{p} \\ q^* &= \tilde{q} \end{aligned} \right. \quad (\text{II.13})$$

De la relation (II-12) donnant les puissances réelle et imaginaire instantanées découle l'expression suivante pour les courants :

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha}^* \\ V_{\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

$$\text{Avec: } \Delta = i^2_{L\alpha} + i^2_{L\beta}$$

On sépare les tensions de charge dans le repère $(\alpha-\beta)$ en trois composantes active et réactive à la fréquence fondamentale et la somme des harmoniques. Ceci conduit à :

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha}^* \\ V_{\beta}^* \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p} \\ 0 \end{bmatrix}}_{\text{Tension active}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{q} \end{bmatrix}}_{\text{Tension réactive}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} i_{L\alpha} & i_{L\beta} \\ i_{L\beta} & -i_{L\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{\text{Tension harmonique}}$$

Cette expression montre donc que l'identification des différentes composantes de la tension dans le repère $(\alpha-\beta)$ revient à séparer les termes continus et les termes alternatifs des puissances réelle et imaginaire instantanées pour obtenir la relation (II-12), donc on utilise des filtres passe-bas figure 17 dont la fréquence de coupure nous permettra de négliger les ondulations à sa sortie.



Figure 17 Structure d'un filtre passe-bas

Donc nous avons choisi pour l'extraction des composants continue un filtre passe bas du second ordre car moins complexe que les filtre d'ordres élevés avec une fréquence de coupure qui nous permettra de négliger les ondulations à sa sortie.

La relation (II-15) permet l'extraction des tensions de référence $V_{1,2,3}^*$:

$$\begin{bmatrix} V_1^* \\ V_2^* \\ V_3^* \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_\alpha^* \\ V_\beta^* \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

II.5.2.1.1 Filtre Passe-bas

Ce filtre passe-bas permet d'extraire la composante continue du signal d'entrée. Sa fréquence de coupure est très faible ($f_c \leq 5$ 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 suivante :

$$F(p) = \frac{1}{(1 + \tau.p)^n} \quad (\text{II.16})$$

$$\omega_c = 2.\pi.f_c = 1/\tau \quad , \quad (\tau = 1/(2.\pi.f_c))$$

τ : la constante de temps du filtre.

ω_c : pulsation de coupure du filtre (f_c fréquence de coupure du filtre).

n : ordre de filtre. [7]

II.5.2.2 Commande de l'onduleur par hystérésis

Cette commande est adaptée pour les organes ayant une action à deux position comme c'est le cas "IGBT" qui peut être soit ouvert (bloqué) ou fermé (passant). Cette commande consiste à changer la polarisation de la tension de sortie de l'onduleur de telle sorte à maintenir la tension dans une bande dite d'hystérésis centrée au tour de la tension de la référence. Le dimensionnement de ce régulateur se résume à fixer la largeur de cette bande, une règle pratique consiste à la prendre égale à 5% de tension nominale. Cependant il ne garantit pas d'une manière systématique le respect de la fréquence de commutation maximale de semi-conducteurs.

L'avantage de la commande par hystérésis est la rapidité illimitée, sa simplicité de mise en œuvre, sa robustesse et sa bonne dynamique.

Le schéma synoptique de la commande des tensions du filtre actif par des régulateurs à hystérésis est donné par la figure (18) suivante :

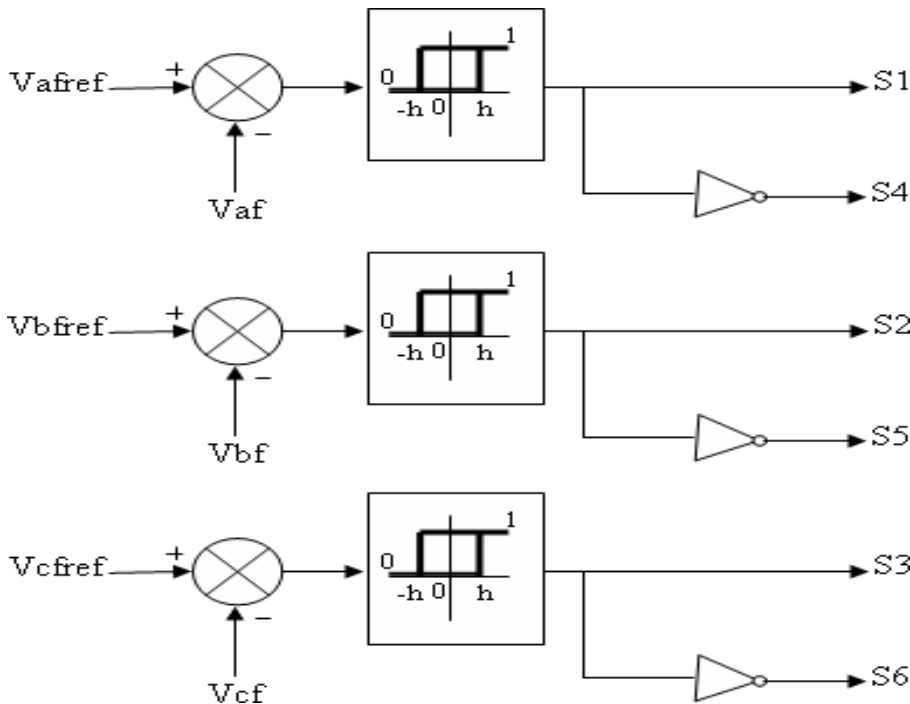


Figure 18 Schéma synoptique de la commande par régulateurs à hystérésis [8]

a et b et c numéro de la phase

Si : $(\Delta V_a = V_{afref} - V_{af} \geq h) \rightarrow (V_{afref} - h > V_{af})$ la tension V_{af} est à son niveau minimal, il faut faire accroître la tension V_{af} . Donc $S_1 = 1$ $S_4 = 0$ ($v_{ao} = +V_{dc}/2$).

Si : $(\Delta V_a = V_{afref} - V_{af} < -h) \rightarrow (V_{afref} + h < V_{af})$ la tension V_{af} est à son niveau maximal, il faut faire décroître la tension V_{af} . Donc $S_1 = 0$ $S_4 = 1$ ($v_{ao} = -V_{dc}/2$).

Si : $(\Delta V_a = V_{afref} - V_{af} \in [-h, h]) \rightarrow$ la tension V_{af} est à l'intérieure de dans la bande d'hystérésis. Donc S_1 et S_4 sont maintenus à leurs états.

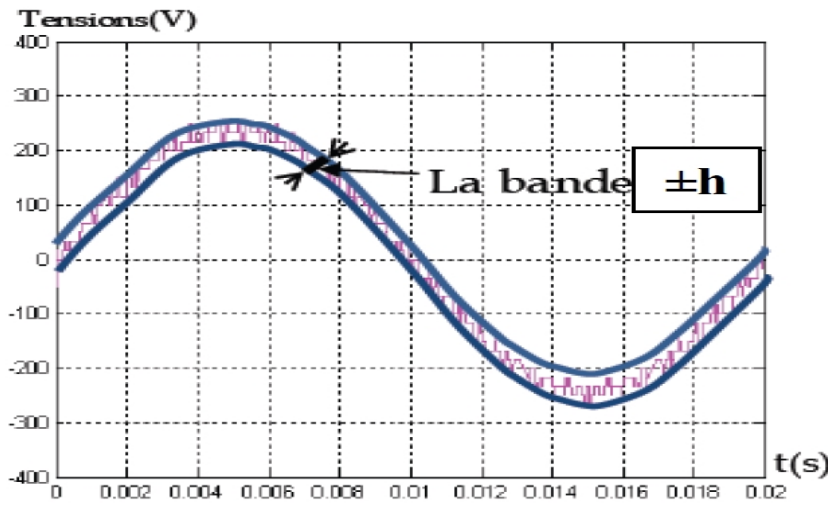


Figure 19 Tension de sortie (filtrée) de l'onduleur commandé par régulateur à hystérésis

II.5.2.3 Principe de fonctionnement de la PLL : (Phase Locked Loop)

Est une technique largement utilisée pour l'extraction de la composante directe de la tension du réseau. C'est un système asservi comprenant un régulateur (PID, RST,...), son fonctionnement se base sur la transformation de Park dans le repère d, q. Nous souhaitons que l'angle de rotation estimé soit égal à l'angle réel de la tension directe.

Cela peut être réalisé en choisissant la valeur de V_d^* qui satisfait cette condition. La PLL sera verrouillée lorsque l'angle estimé sera égal à la tension directe. [13]

Les tensions mesurées de la source au point de raccordement sont données par l'équation suivante :

$$V_{s1} = \sqrt{2}V \sin(\theta_s)$$

$$V_{s2} = \sqrt{2}V \sin\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (II-17)$$

$$V_{s3} = \sqrt{2}V \sin\left(\theta_s + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Pour le cas où la tension du réseau est sinusoïdale et équilibrée, on a :

$$V = V_d \ \& \ \theta_s = \theta_d \quad (\text{II-18})$$

$$\text{Avec : } \theta_d = \omega_d t + \delta_d$$

$$\omega_d = \omega_s \text{ (Pulsation de la tension du réseau)}$$

δ_d : L'angle de la composante directe de la tension du réseau

On calcule des composantes tensions V_{sd} et V_{sq} , en appliquant d'abord la transformation (α, β) puis celle de (d, q) avec un angle de rotation θ_d [12]

Cette approche de calcul est regroupée dans la relation suivante :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} &= \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} p(-\hat{\theta}_d) V_{s123}(\theta_d) \\ &= \sqrt{3} V_d \begin{bmatrix} \sin(\theta_d - \hat{\theta}_d) \\ -\cos(\theta_d - \hat{\theta}_d) \end{bmatrix} \\ &\approx \sqrt{3} V_d \begin{bmatrix} \sin(\Delta\theta_d) \\ -\cos(\Delta\theta_d) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (\text{II-19})$$

L'asservissement de phase sera réalisé lorsque $\Delta\theta_d = 0$, dans ce cas, l'angle de la tension du réseau et l'angle estimé de $\theta^{\wedge}$ sont égaux, ainsi nous pouvons écrire :

$$V_{sd} = 0 \text{ et } V_q = -3v_d \quad (\text{II-20})$$

Dans la relation (II-19), on remarque que pour obtenir, en même temps, l'angle et l'amplitude de la composante directe de tension (θ_d, V_d) , la tension directe V_{sd} doit être nulle.

Cela implique que la tension directe de référence V_d^* doit être nulle. Après avoir verrouillé, nous utilisons ces paramètres (θ_d, V_d) pour reconstituer la composante directe triphasée de tension $V_{d1, 2, 3}$ qui serait égale à la tension du réseau $V_{s1, 2, 3}$ si celle-ci était non polluée (fondamentale). [13]

II.6 Conclusion

Dans ce 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 la méthode des puissances instantanées, et la régulation par un régulateur à hystérésis de la tension injectée par le filtre actif.

CHAPITRE III

Simulation d'un filtre actif série

Chapitre III : Simulation d'un filtre actif série

III.1 Introduction.....	40
III.2 Description de système simulé.....	40
III.3 Interprétation des résultats de simulation.....	42
III.3.1 Perturbation harmonique.....	42
III.3.2 Chute de tension.....	44
III.3.3 Surtension.....	46
III.3.4 Déséquilibre.....	48
III.4 Conclusion.....	51

III.1 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.

SIMULINK : outil additionnel à matlab permet modélisation la simulation et l'analyse de système dynamiques linéaires. Se systèmes peuvent être analogique discrets ou hybride discrets avoir plusieurs parties échantillonnées à des cadences différentes.

Les paramètres régissant le fonctionnement de ces systèmes peuvent être modifiés en ligne, soit en cours de simulation, et l'on peut observer leur effet immédiatement.

SIMULINK possède une interface graphique pour visualiser les résultats se forme de graphique ou de valeur numérique en cours de simulation. SIMULINK est bâti autour d'une bibliothèque de boucle classique par catégories (système directe ou continue bloc linier ou non linier de connexion etc.)

III.2 Description de système à simuler

La structure du schéma globale est constitué d'une source de tension triphasée avec une impédance R_s , L_s , une charge non linéaire représentée par un pont redresseur à diodes sur une charge représentée par un circuit R_{Ch} , L_{Ch} et un compensateur actif de puissance série connecté au réseau électrique comme le montre la Figure (20)

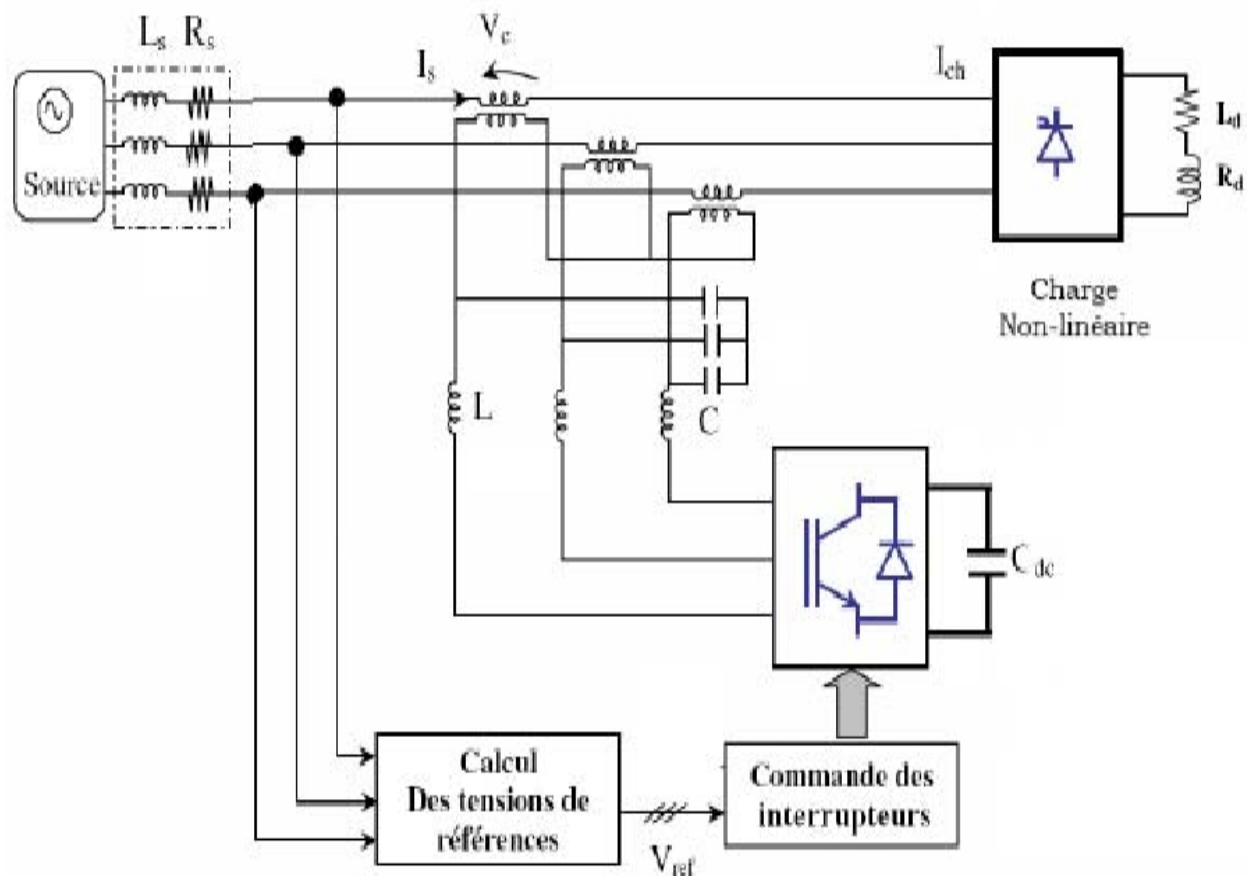


Figure 20 Système complet la source la charge et le filtre actif série.

Paramètres de simulation :

Tableau.III.1 Paramètres du réseau électrique.

Vs (v)	Rs (Ω)	Ls (mH)	Rch (Ω)	Lch (mH)	Rc (Ω)	Lc (mH)
220	0.1	1	0.4	15	60	0.15

Tableau.III.2 Paramètre du filtre actif série.

Rf (Ω)	Cf (μ F)	Vdc (v)	Cdc (mF)
1	100	700	8

III.3 Interprétation des résultats de simulation

Afin de mettre en évidence les performances du filtre actif série, nous proposons d'effectuer une simulation du système représenté dans la Figure (20)

On se propose de soumettre notre système à quatre perturbations de type tension coté source pour pouvoir évaluer à la fois les performances de notre FAS et son impact sur les tensions coté charge.

III.3.1 Perturbation de type tension harmonique (réseau électrique)

En intégrant des perturbations de tension de type harmonique coté source, nous avons obtenus une série de résultats qui mettent en évidence la qualité des paramètres électrique du réseau.

Ci-dessous les résultats de simulations des différents paramètres électriques de notre système avant et après apparition de la perturbation :

1. Avant filtrage

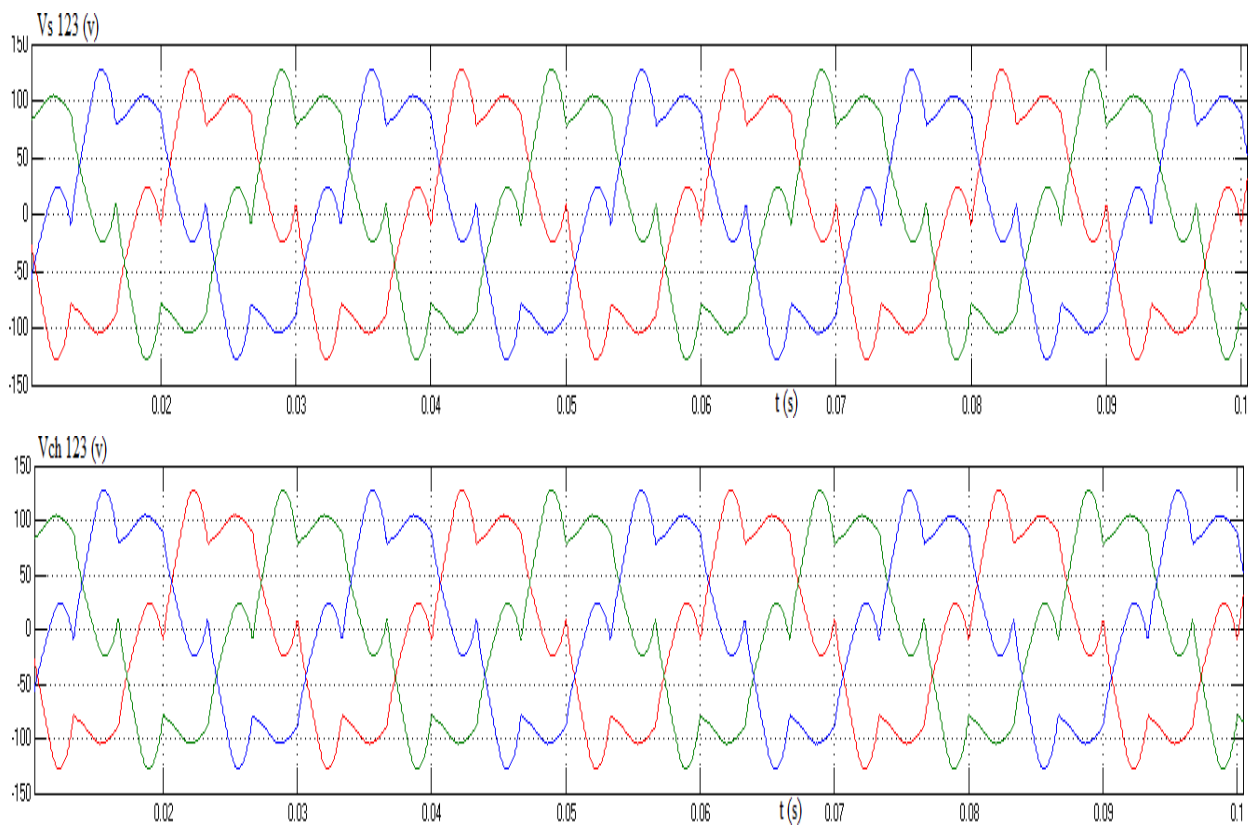


Figure 21 Résultat de simulation d'une perturbation harmonique
 $V_{s1,2,3}$: tension de source ; $V_{ch1,2,3}$: tension de charge

2. Après filtrage

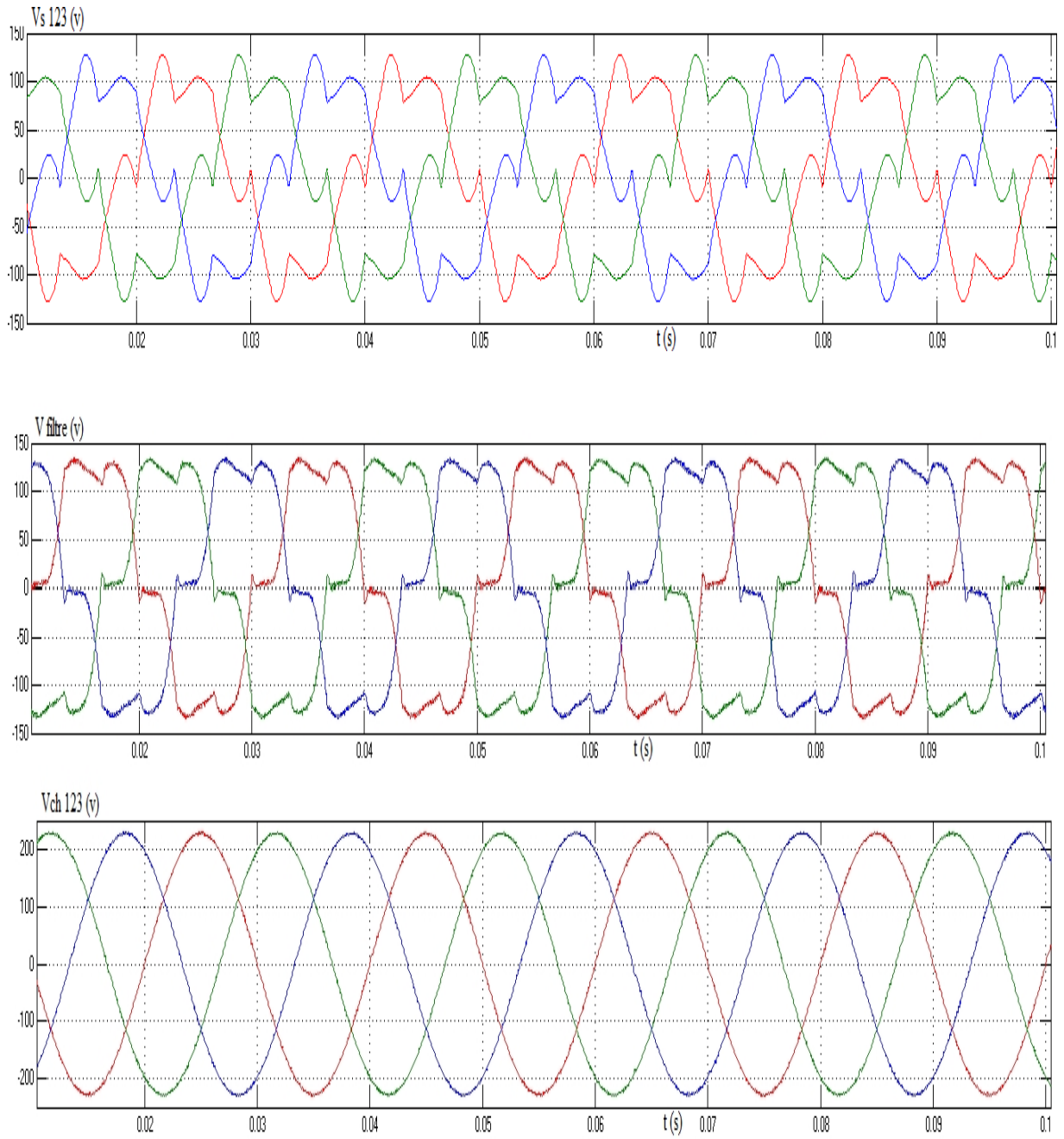


Figure 22 Résultat de simulation

$V_{s1,2,3}$: tension de source ; V_{ch123} : tension de charge; V_{filtre} : tension injecter par le FAS

3. Interprétation :

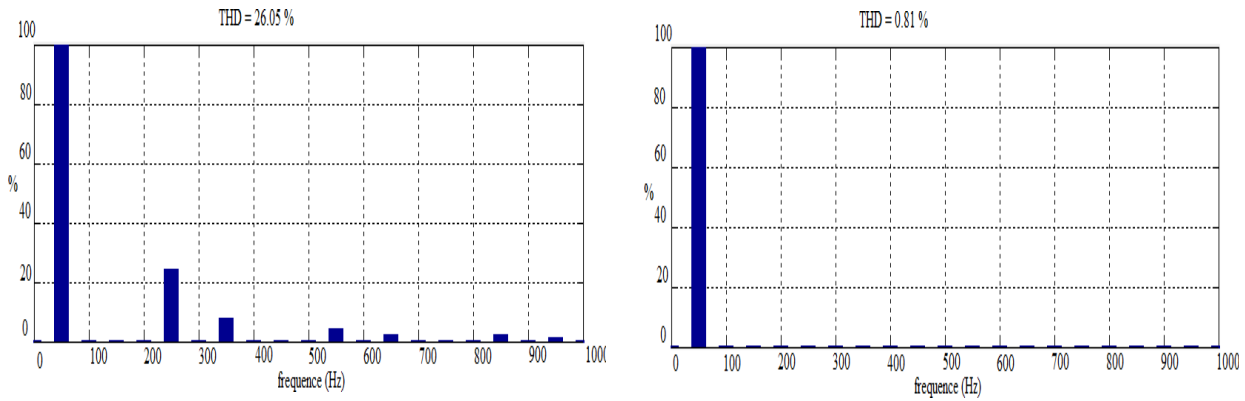


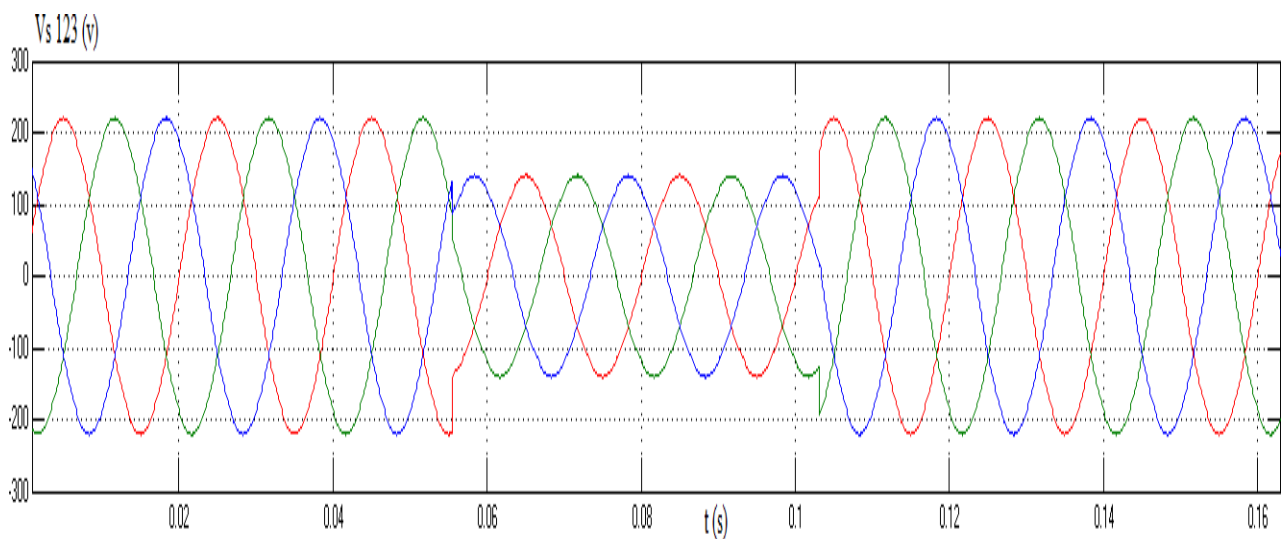
Figure 23 Le taux de distorsion d'harmonique avant et après filtrage

La Figure (22) représente la tension de charge V_{ch} (v) après le filtrage. Nous remarquons une réduction importante des harmoniques après la compensation. Donc le compensateur actif de puissance série compensent correctement les harmoniques de tension. La Figure (23) montre que le THD avant le filtrage est égale 26.05 %, par contre après filtre, le THD devient 0.81%

III.3.2 Perturbation de type chute de tension (réseau électrique)

En travaillant sur la même structure présentée dans la Figure 20, on effectue une chute de tension importante qui égale à 80 volts pour illustrer une nouvelle les performances de notre FAS. Ci-dessous les résultats de simulations des différents paramètres électriques de notre système ou nous le soumettant à une perturbation de type chutent de tension dans l'intervalle de temps [0.060.1]

1. Avant filtrage



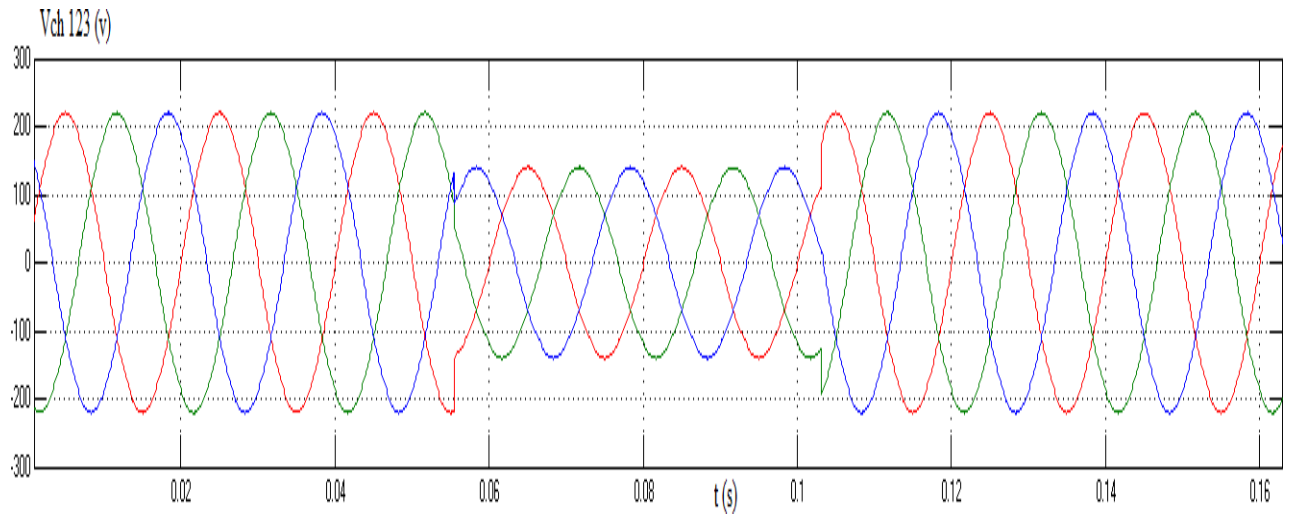


Figure 24 Résultat de simulation à une chute de tension (80 volt)

$V_{s1,2,3}$: tension de source ; V_{ch123} : tension de charge

2. Après filtrage

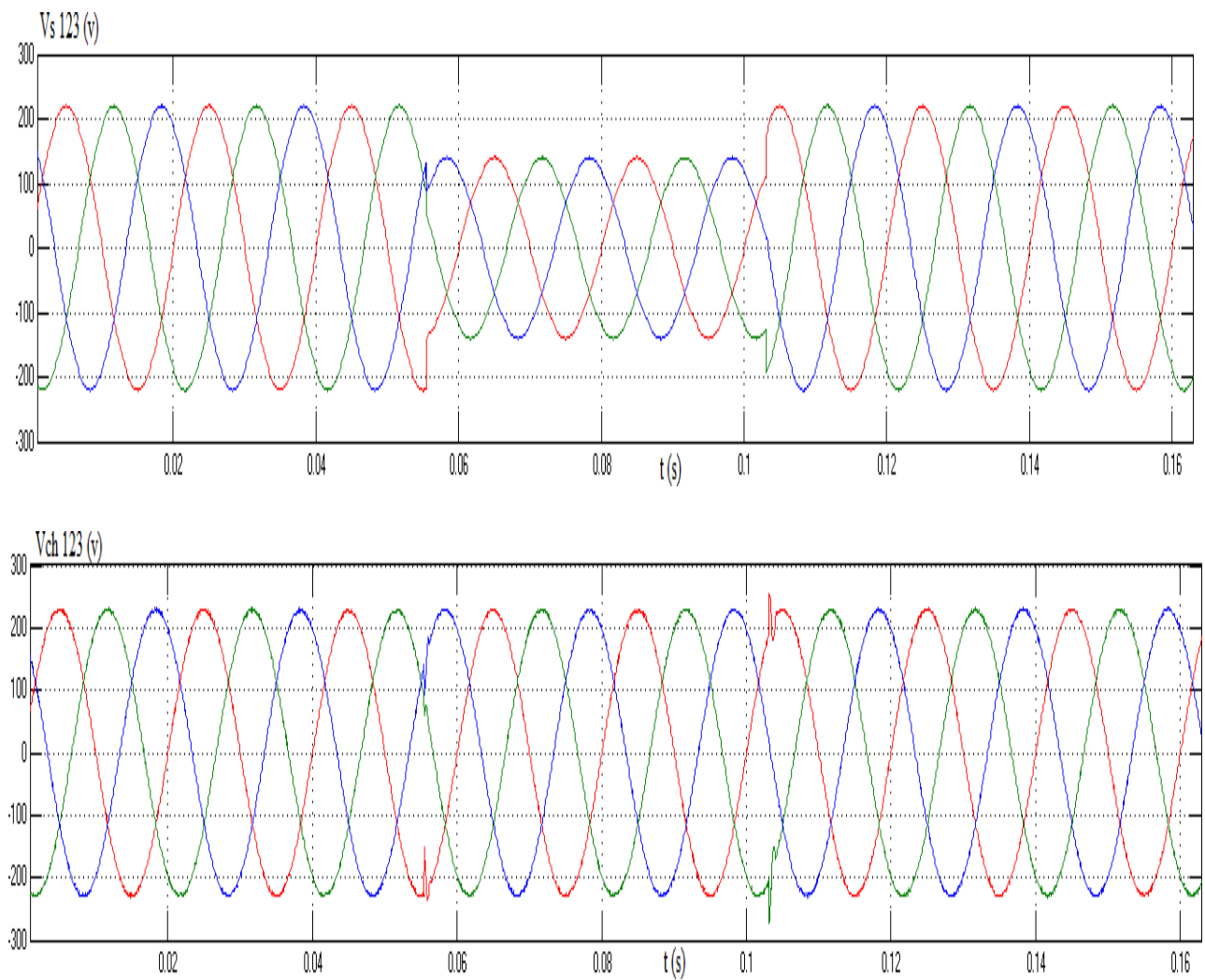


Figure 25 Résultat de simulation de chute de tension

V_{ch123} : tension de charge ; $V_{s1,2,3}$: tension de source ; V_{filtre} : tension injecter par le FAS

3. Interprétation

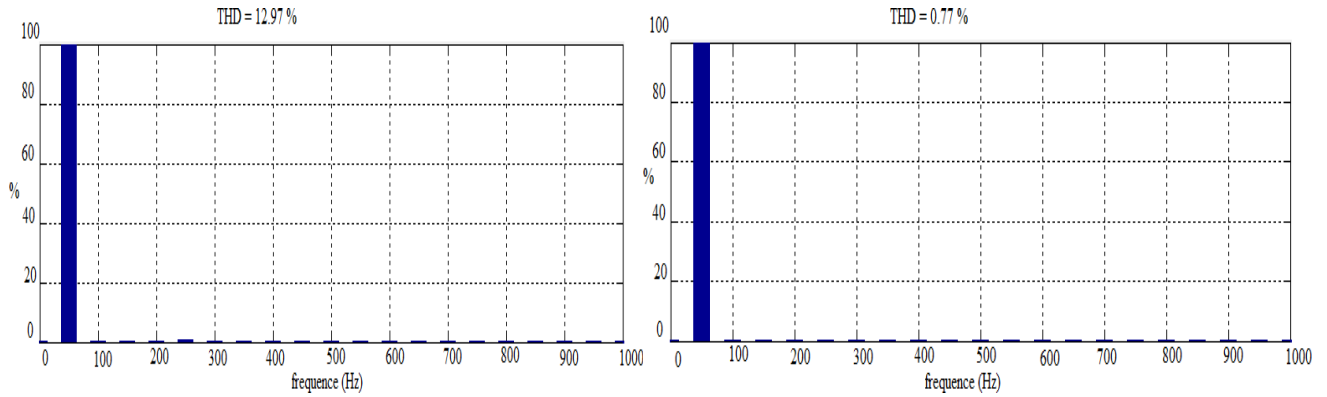


Figure 26 Le taux de distorsion d'harmonique avant et après filtrage

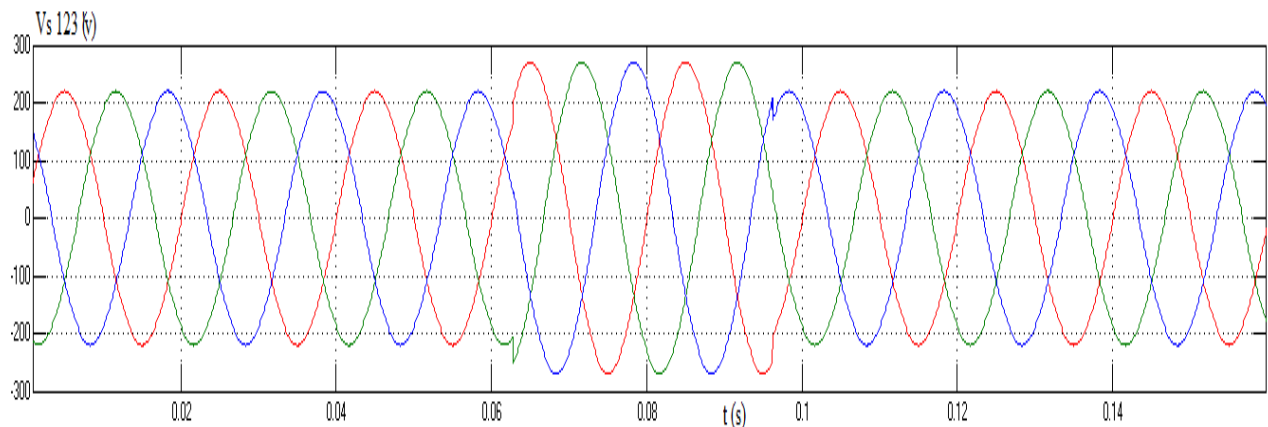
La Figure (24) représente la tension du réseau électrique V_s (v) et la tension de charge V_{ch} (v) pendant une importante chute de tension avant le filtrage. La Figure (25) représente la tension de charge V_{ch} (v) après le filtrage. Nous remarquons l'élimination de la chute de tension après la compensation. De plus, nous remarquons que la chute de tension commence à 0.06 (s) et elle n'est éliminée qu'au temps 0.1(s). Donc notre compensateur actif de puissance série compense correctement cette chute de tension. Nous remarquons aussi que le THD avant le filtrage est égale 12,97 % par contre après la compensation le THD devient 0.77%.

III.3.3 Perturbation de type surtension (augmentation de la tension triphasée)

Pour la même structure présentée dans la Figure 20, on effectue une surtension qui est égale à 50 volts coté source pour présenter une nouvelle fois les performances de notre FAS.

Ci-dessous les résultats de simulations des différents paramètres électriques de notre système avant et après apparition de la surtension que nous appliquons entre l'intervalle [0.65 0.95]

1. Avant filtrage



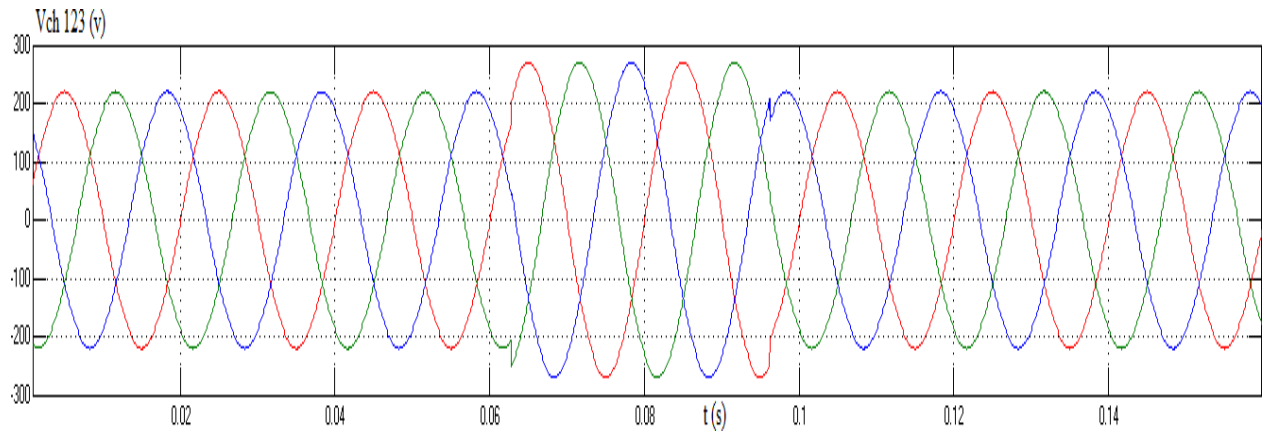


Figure 27 Résultat de simulation d'une surtension

V_{s123} : tension de source ; V_{ch123} : tension de charge

2. Après filtrage

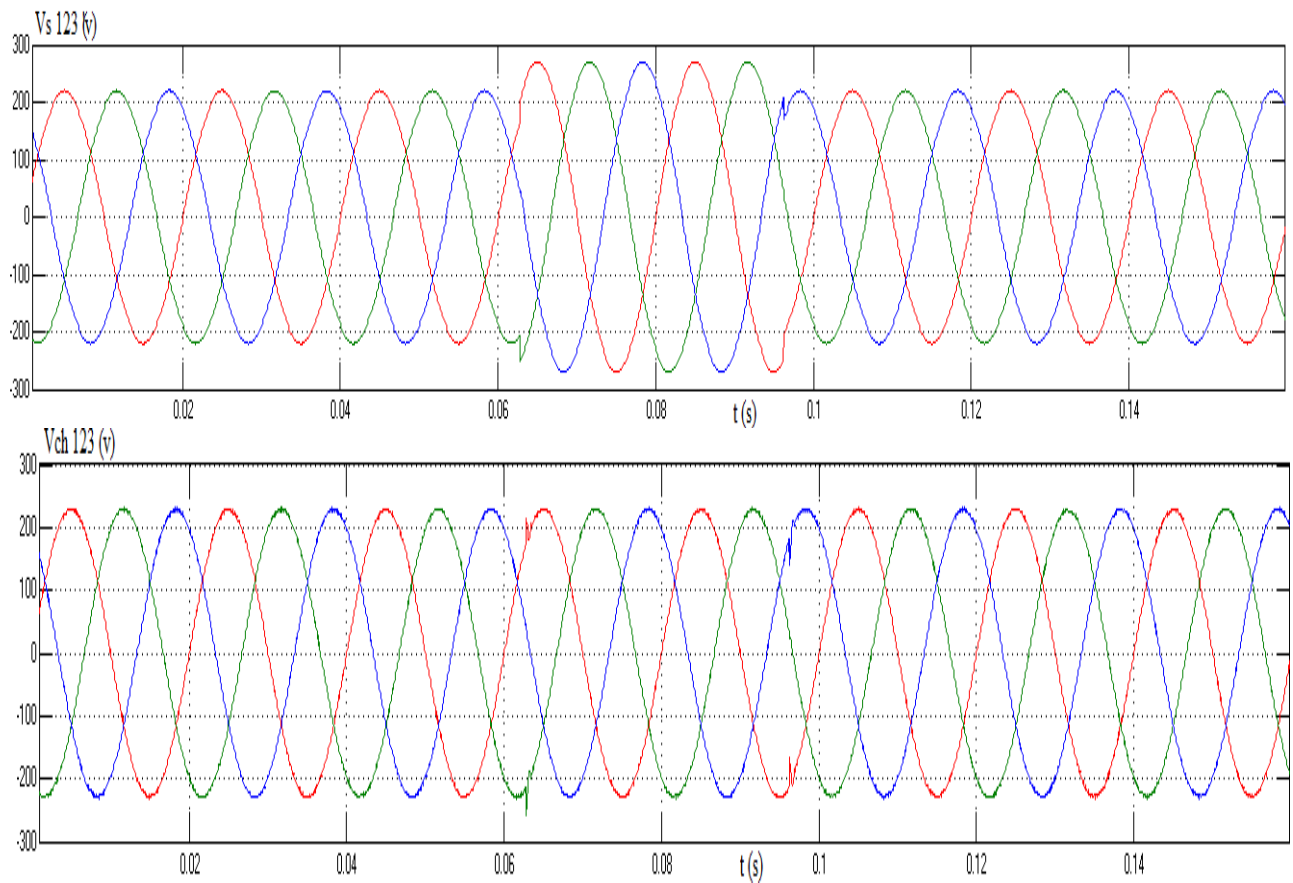


Figure 28 Résultat de simulation d'une surtension

V_{s123} : tension de source ; V_{ch123} : tension de charge ; V_{filtre} : tension injecter par le FAS

3. Interprétation

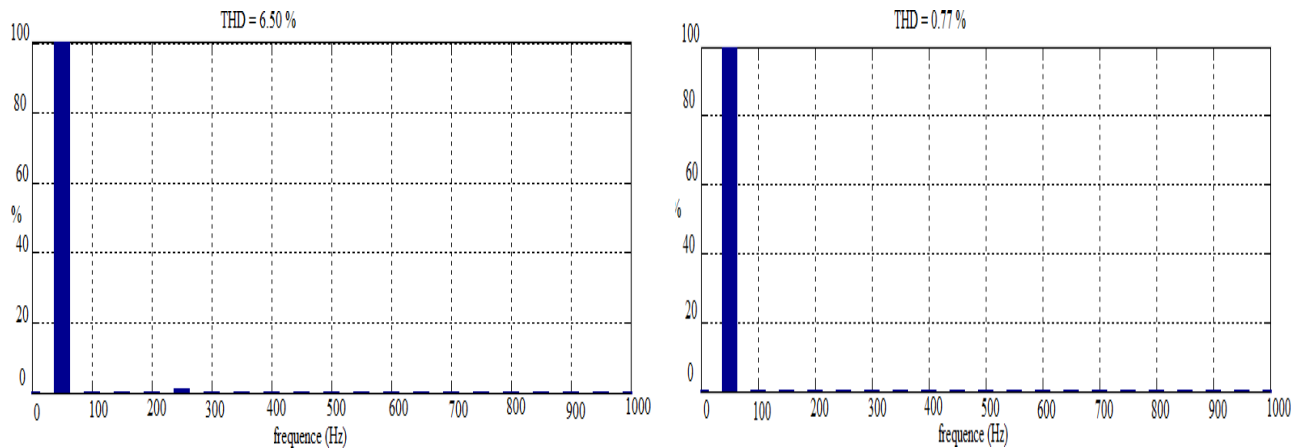


Figure 29 Le taux de distorsion d'harmonique avant et après le filtrage

La Figure (27) représente la tension du réseau électrique V_s (v) et la tension de charge V_{ch} (v) pendant une surtension avant le filtrage. De même pour la figure (28), elle représente la tension de charge V_{ch} (v) après le filtrage. Nous remarquons l'élimination de la surtension après la compensation. De plus, la surtension commence à 0.65 (s) et elle n'est éliminée qu'au temps 0.95 (s). Donc notre FAS nous donne de bons résultats.

Nous remarquons aussi que le THD avant le filtrage est égale 6,50 %, par contre après la compensation le THD est égale 0,77%.

III.3.4 Perturbation d'un déséquilibre de tension

On a déséquilibré la source triphasée de sorte à avoir :

$V_{s1}=150(v)$, $V_{s2}=220(v)$ et $V_{s3}=110(v)$.

Ci-dessous les résultats de simulations des différents paramètres électriques de notre système avant et après le filtrage série

1. Avant filtrage

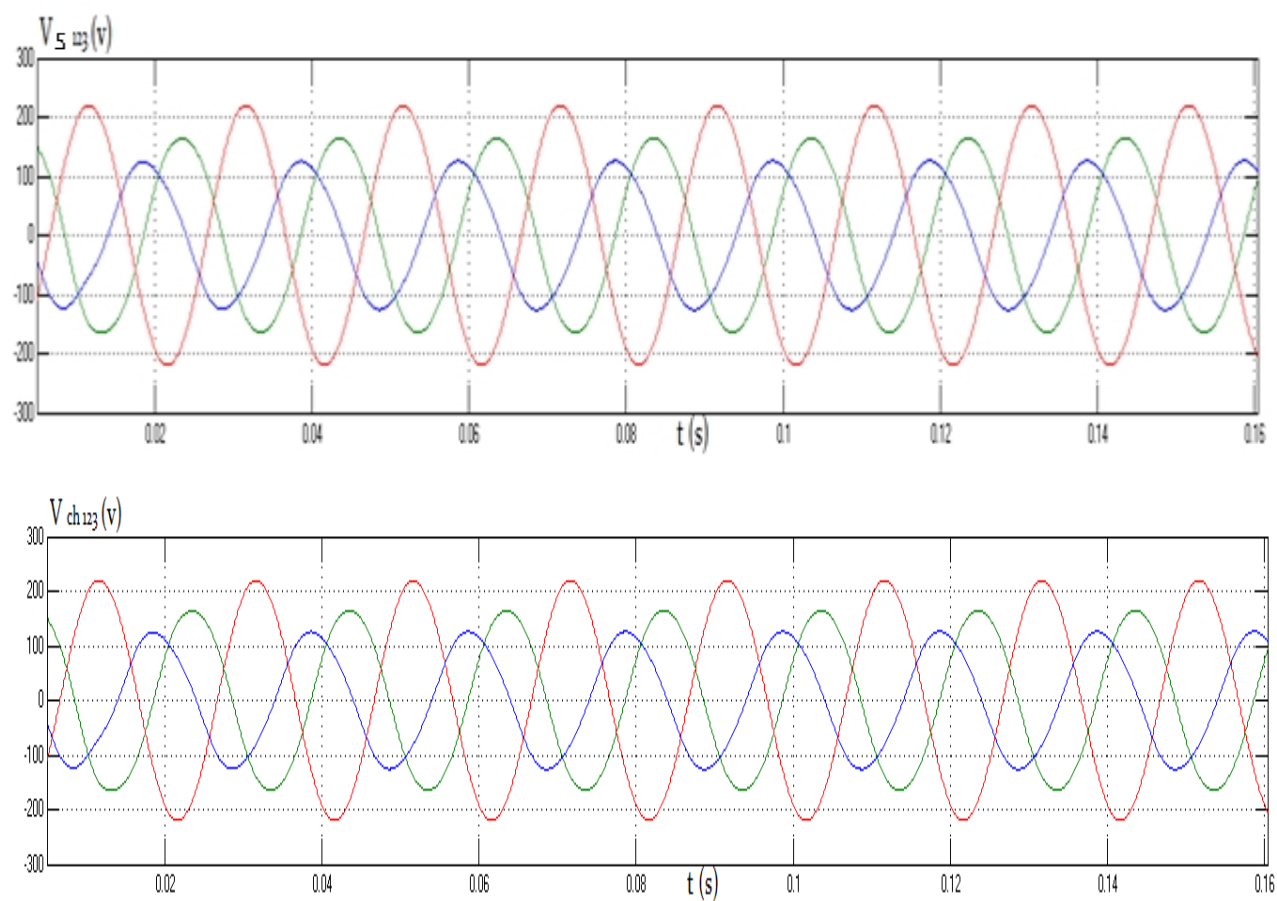
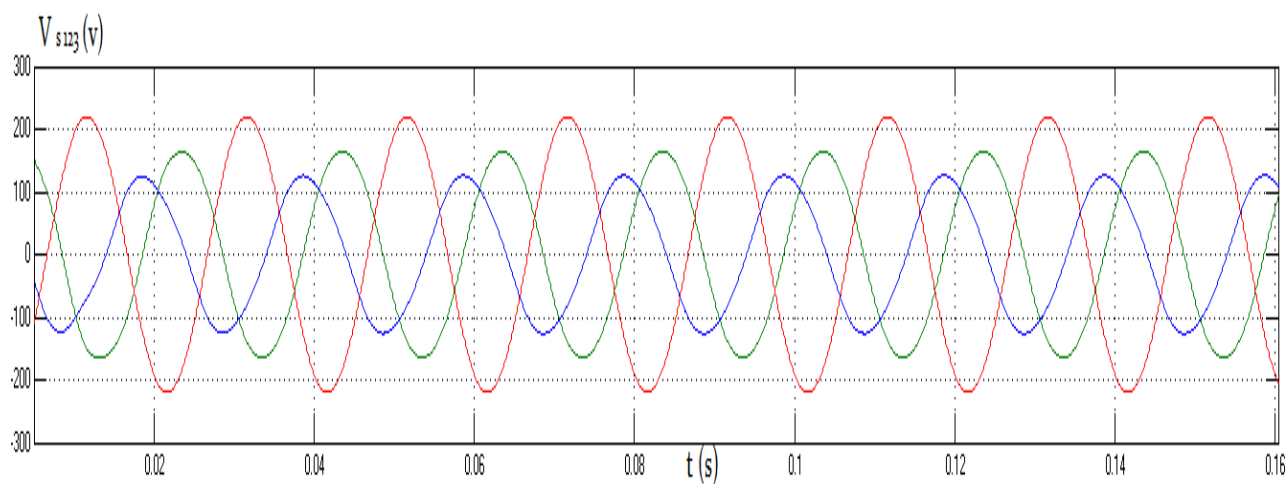


Figure 30 Résultat de simulation d'un déséquilibre

V_{ch123} : tension de charge

2. Après filtrage



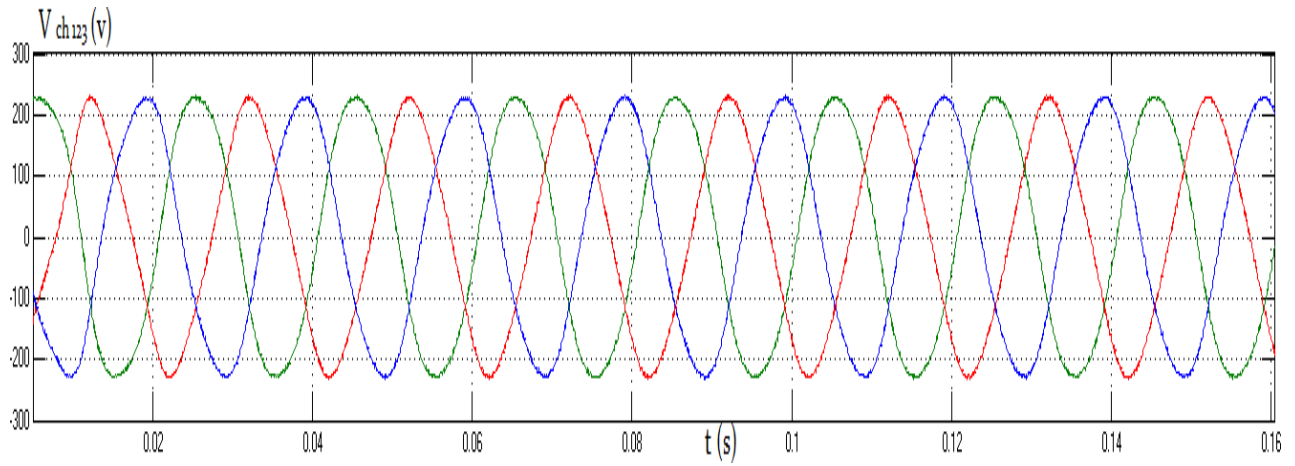


Figure 31 Résultat de simulation d'un déséquilibre

V_{s123} : tension de source ; V_{ch123} : tension de charge ; V_{filtre} : tension injecter par le FAS

3. Interprétation

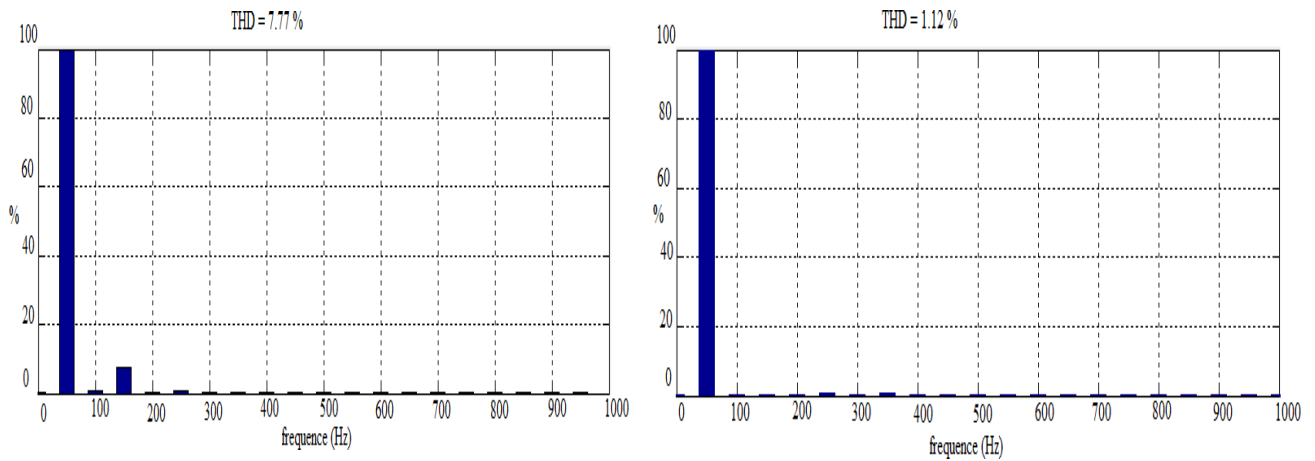


Figure 32 Le taux de distorsion d'harmonique avant et après le filtrage

La Figure (30) représente la tension du réseau électrique $V_s(v)$ et la tension de charge $V_{ch}(v)$ pendant un déséquilibre de tension avant le filtrage. La Figure (31) représente la tension de charge $V_{ch}(v)$ après le filtrage. Nous remarquons l'élimination de ce déséquilibre de tension après la compensation.

Nous remarquons aussi que le THD avant le filtrage est égale 7,77 %, par contre après la compensation le THD est égale 1.12 %. Donc notre compensateur actif de puissance compense correctement le déséquilibre de tension.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons illustré les performances d'un filtre actif de puissance série lors de perturbations de types tensions.

A traves nos simulations correspondant les types de perturbation distincte, à savoir : harmonique, chute de tension, surtension et déséquilibre. Les résultats de simulations nous ont montré que notre filtre actif de puissance série compense correctement les différent cas d'étude. De plus, la qualité du filtrage a été évaluer en fonction des THD en nous donnons des résultats inférieurs à 5%.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans notre mémoire, nous sommes intéressés à l'étude d'un dispositif de dépollution de type tension des réseaux électriques appelés « Filtre actif Série », celui-ci ayant pour objectif l'élimination des perturbations de type tension tel que : harmoniques, chute de tension, surtension, déséquilibre de tension.

Dans le premier chapitre, nous avons montré l'influence des harmoniques sur le réseau électrique, cette influence est clairement vue en plusieurs points, par exemple la dégradation du facteur de puissance et l'échauffement des appareils électriques. On a également cité sans détailler les solutions pouvant remédier à ce problème de pollution harmonique.

Le filtre étudié est à base d'un onduleur de tension à deux niveaux commandé par un régulateur non linéaire de type Hystérésis dont les tensions harmoniques de référence sont identifiées en utilisant la méthode des puissances instantanées.

Le filtre actif a montré une qualité de compensation satisfaisant vu le nombre de niveaux de l'onduleur utilisé (onduleur de tension à deux niveaux) et la structure d'onduleur utilisé: onduleur avec neutre de la charge (filtre de sorte et transformateur) lié au point milieu du bus continu qui est indispensable pour la compensation des harmoniques de tension déséquilibrées.

Au niveau du chapitre trois nous avons illustré les performances d'un filtre actif de puissance série lors de perturbations de types tensions.

A travers nos simulations correspondant les types de perturbation distincte, à savoir : harmonique, chute de tension, surtension et déséquilibre. Les résultats de simulations nous ont montré que notre filtre actif de puissance série compense correctement les différents cas d'étude.

De plus, la qualité du filtrage a été évaluée en fonction des THD en nous donnant des résultats inférieurs à 5%.

Bibliographie

- [1] Mr. Tadjer Sid-Ahmed, «Etude d'un système de compensation d'harmonique en utilisant un générateur photovoltaïque "GPV" », mémoire de Magister, Université M'Hamed Bouguera de Boumerdes, 2008.
- [2] Mohamed Alaa Eddine 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] C.Collombet, J.M. Lupin, J. Schonek, « Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement », Cahier technique n° 152, édition septembre 1999.
- [4] Boudache Abdelkrim, Galoul Fayçal, « Etude Par Simulation D'un Filtre Actif Parallele », mémoire d'ingénieur, Université de Msila, 2006.
- [5] Boufassa Rabah, Mekarnia Omar « Modélisation Et Commande D'un Upfc Utilise En Filtrage Des Courants Harmoniques D'un Réseau Electrique» Mémoire d'ingénieur, Avenue Hassen-BADI, El-Harrach, ALGER, Juin 2007.
- [6] Mohamed Meftah Abdeslam, «Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales» Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, Mai 2008.
- [7] Eskandar Gholipour Sharhraki « Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques» Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, Octobre 2003.
- [8] Benamsili Mustapha et Taouriri Mohamed «Filtrage actif par l'éolienne» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique. Ecole national Polytechnique, juin 2009.
- [9] Achouri Radouane et 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.
- [10] Zebiri Malek et Rahali Antar «Compensation des harmoniques par filtre hybride» M'silla 2006

- [11] Belhadef Rabah, Boucheraït M.S, Boutaya Bilal «Commande Vectorielle et par Logique Floue de la Machine Asynchrone Sans Capteur» Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique .Ecole national Polytechnique 2008.
- [12] Boukadoum Aziz «contribution à l'analyse et la réduction de la pollution harmonique dans le réseau électrique » mémoire de magister en électrotechnique université Badji Mokhtar Annaba 2007.
- [13] Hanane Kouara « l'application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'un réseau basse tension » mémoire de magister en électrotechnique, université de Batna 2006.
- [14] Beldjazzar Ahmed « Contribution à l'étude d'un filtre actif série» Mémoire de magister en électrotechnique. Constantine 2004.
- [15] Boulahia Abdelmalek « Etude de convertisseur statique destinés à la qualité de l'Energie Electrique », Mémoire de Magister, Université de Constantine 2009.
- [16] Badache Zouhir et Saci Abdeslam «Etude et simulation d'un filtre actif parallèle en utilisant un onduleur à trois niveaux à structure NPC pour la compensation des courant harmoniques » Mémoire d'ingénieur, université de M'silla 2006.
- [17] Hamouda Noureddine, «Etude Comparative des Techniques de Filtrage des Harmoniques de Courant», Mémoire de Magister, Université FERHAT ABBAS-SETIF 2010.
- [18] Hamoudi Farid, “Commande robuste d'un filtre actif shunt à quatre fils”, Thèse de Magister en génie électrique, Université El-Hadj Lakhdar Batna 2008.
- [19] Chenni Salim « Etude, modélisation et commande des filtres actifs : apport de techniques de l'intelligence artificielle »Thèse de doctorat en génie électrique, université Mohamed Khider Biskra 2013.

Résumé

ملخص

يمكن أن تحدث اضطرابات في شبكات الكهرباء التي هي من أنواع تيار أو التوتر والتي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على الأجهزة الموصولة. وقد اقترحت عدة حلول لمكافحة تلوث الشبكة الكهربائية ولمواجهة هذه الاضطرابات من نوع التوتر يوجد "مرشح سلسلة نشطة". والهدف من خلال مذكرتنا هو دراسة مرشح سلسلة نشطة وطريقة التحديد المستخدمة هي بواسطة طريقة الطاقة اللحظية وكذلك التحكم في عاكس الجهد بواسطة أمر التباطؤ.

الكلمات المفتاحية: برامج المحاكاة - المرشح النشط التسلسلي - المعالجة التوافقية

Résumé

Les phénomènes perturbateurs pouvant apparaître au niveau des réseaux électriques qu'ils soient de types courants ou tensions peuvent affecter fortement des appareillages connectés. Plusieurs solutions de dépollution des réseaux électriques ont été proposées dans la littérature, celles qui répondent à ces perturbations de type tension est le FAS. L'objectif visé à travers notre mémoire est l'étude d'un filtre actif série, la méthode d'identification utilisée est par la méthode de puissance instantanée ainsi que le contrôle de l'onduleur de tension à la commande hystérésis.

Mots clés logiciel de simulation -filtre actif série- Traitement d'harmonique

Abstract

The disturbing phenomena can occur in electrical networks what are type's currents or voltages can greatly affect the connected equipment. Several electrical network pollution control solutions have been proposed in the literature, they are meeting these tension-type problems is the «Active Filter Series». The objective is through our memory the study of series active filter, the identification method used is by the instantaneous power method as well as the controls of the voltage inverter by the hysteresis control.

Key words : Simulation software - Serial active filter - Harmonic processing