

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

N° : NR.242°



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : ELECTROTECHNIQUE

OPTION : ENERGIE RENOVELABLE EN
ELECTROTECHNIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: REGUIG Nadjah

HERIZI Brahim

Intitulé

Etude et Simulation d'un Filtre Actif de Puissance

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. DJ SAIGAA	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr. DJAZIA Kamel	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr. DRIF	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

N° : NR.242°



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : ELECTROTECHNIQUE

OPTION : ENERGIE RENOVELABLE EN
ELECTROTECHNIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: REGUIG Nadjah

HERIZI Brahim

Intitulé

Etude et Simulation d'un Filtre Actif de Puissance

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. DJ SAIGAA	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr. DJAZIA Kamel	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr. DRIF	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

Remerciement

Nous tenons à remercier tout d'abord **Allah** le tout puissant pour la volonté, la santé, le courage et la patience qu'il nous a donnés durant toutes ces longues années pour arriver à ce jour.

Nous exprimons vifs remerciements à M. **DJAZIA Kamel** Docteur à l'Université de M'sila qui nous a guidés et dirigés tout au long de ce travail, et pour la confiance qu'il nous a accordée tout au long de ce mémoire.

On tient à exprimer notre gratitude aux membres du jury qui ont bien voulu examiner ce travail.

Nous exprimons vifs remerciements à Dr **MOUSSA Oussama** Pour notre aide ce travail. Que Allah tu gardes et tu bénisses et bonne chance dans ta vie.

A travers ce mémoire nous adressons notre reconnaissance aux enseignants qui ont contribué à la formation de notre connaissance depuis la première classe du primaire jusqu'à aujourd'hui.

Que **mes amis** soient aussi sincèrement

remerciés pour leurs encouragements

afin de mener à terme les travaux

de cette mémoire.





Dédicaces

Avant tous, je remercie **Allah** le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour **réaliser** ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très **chers parents**, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés. **Merci mes parents**

A **mes frères**

A **Ma sœur** et ses filles "**Assinat** et **Afnane**"

A tous **mes amis** sans exception en particulier ceux de la promotion

3^{ème} Année Licence

électrotechnique 2016

Reguig Nadjah



Dédicaces

Avant tous, je remercie **Allah** le tout
puissant de m'avoir donné le courage et
la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail a :

Les plus chers du monde **ma mère** et **mon**
père, à qui je n'arriverai jamais à exprimer ma
gratitude et ma reconnaissance, pour ses
amours soutiens tout au long de mes études
afin de faire de moi ce que je suis aujourd'hui,

qui dieu

À **mes frères**

À **mes sœurs**

Tous les membres de **ma grande**

famille

Herizi Brahim

A decorative red border that resembles a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The word 'Sommaire' is centered within this border.

Sommaire

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	I
LISTE DES FIGURES.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	III
NOTATIONS ET SYMBOLES.....	VI
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE I : Perturbations des Réseaux électriques

I1
Introduction.....	4
I.2 Définition de la perturbation.....	4
I.2.1 Perturbations électriques et leurs origines.....	4
I.2.1.1 Creux et coupures de tension.....	4
I.2.1.2 Fluctuations de tension.....	5
I.2.1.3 Déséquilibre du système triphasé de tension.....	5
I.2.1.4 Variation de fréquence.....	6
I.2.2 Harmoniques et inter harmoniques.....	6
I.2.3 Perturbation harmonique.....	7
I.2.4 Sources des harmoniques.....	7
I.2.5 Conséquences néfastes des harmoniques.....	7
I.2.6 Caractérisation des perturbations harmoniques.....	8
I.2.6.1 Taux de distorsion harmonique.....	8
I.2.6.2 Taux d'harmonique global de distorsion.....	8
I.2.6.3 Facteur de puissance.....	8
I.3 Solutions de dépollution des réseaux électriques.....	9
I.3.1 Solutions traditionnelles.....	9
I.3.1.1 Filtrage Passif.....	9
I.3.1.2 les différents types de filtre passif.....	10
a- Filtre passif résonant.....	10
b- Filtre passif amorti.....	10

I.3.2 Solutions modernes.....	10
I.3.2.1 Filtre actif Série (FAS).....	11
I.3.2.2 Filtre actif parallèle (FAP).....	11
I.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs.....	12
I.3.2.4 Filtre hybride.....	12
I.4 Applications des filtres actifs parallèles.....	13
I.5 Conclusion.....	14

CHAPITRE II : Filtre Actif de Puissance Parallèle

II -1 Introduction.....	16
II.2 Structure du filtre actif.....	16
II.3 Etude de la partie puissance.....	17
II.3.1 Onduleur de tension triphasé.....	17
II.3.1.1. Modélisation de l'onduleur.....	18
II.3.1.2 Représentation vectorielle des tensions générées.....	20
II.3.2 Système de stockage d'énergie.....	21
II.4 Etude de la partie contrôle-commande.....	22
II.4.1 Commande de l'onduleur.....	22
II.4.1.1 Commande par hystérésis.....	23
II.4.2 Régulation de la tension V_{dc}	23
II.5. Principe de filtrage actif parallèle.....	24
II.6 Commande du filtre actif parallèle.....	25
II.6.1 Méthode directe.....	25
II.6.2 Méthode indirect.....	27
II.7. Conclusion.....	28

CHAPITRE III : Méthodes d'identification des courants harmoniques

III.1 Introduction.....	30
III.2 Techniques d'identification des courants harmoniques de référence.....	30
III.2.1 Domaine fréquentiel.....	31
III.2.1 Domaine temporel.....	31
III.3 Classification des méthodes d'identification des courants Perturbateurs.....	31

III.3.1 Méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées P_q (PIRI_Théorie).....	31
III.3.1 .2 Principe de la méthode.....	31
III.3.1.3 Séparation des puissances perturbatrices.....	34
III.3.1 .4 Calcul des courants harmoniques.....	35
III.3.1 .5 Schéma de l'identification par la méthode de puissances instantanées.....	36
III.3.2 Méthode de référentiel synchrone (SRF : synchronous reference frame).....	36
III.3.2.1 Principe de la méthode.....	36
III.3.2.2 Séparation de séparation des composantes continues et alternative	37
III.3.2.3 Calcul des courants harmoniques.....	37
III.3.2.4 Schéma de l'identification par la méthode SRF.....	38
III.4 Conclusion	38
CHAPITRE IV : RESULTATS DE SIMULATION	
IV -1 : Paramètres de simulation.....	40
IV -2 : Charge linéaire.....	41
IV -3 : Charge non linéaire.....	42
IV -4 : Méthode de la Puissance Instantanée Réelle et Imaginaire (P_q).....	43
IV -4-1 Resultat de Simulation et l'analyse	44
IV -4-2 Comportement du FAP en régime dynamique (Changer la charge)	46
IV -5 Méthode de référentiel synchrone (SRF)	49
IV -5-1 Resultat de Simulation et l'analyse	49
IV -5-2 Comportement du FAP en régime dynamique	52
IV -6 : Comparaison des résultats de simulation des deux méthodes	54
IV -7 : Conclusion	54
CONCLUSION GENERALE.....	55
PERSPECTIVES.....	56
BIBLIOGRAPHIE.....	57

A decorative red border that resembles a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The text is centered within this border.

Liste des Figures

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Perturbations des réseaux électriques

Figure I.1 : Creux et coupures de tension

Figure I.2 : Fluctuations de tension

Figure I.3 : Déséquilibre du système triphasé de tension

Figure I.4 : Variation de fréquence

Figure I.5 : Les Harmoniques

Figure I.6 : Diagramme de Fresnel des puissances

Figure I.7 : Filtrage Passif

Figure I.8 : Filtre passif résonant

Figure I.9 : Filtre passif amorti

Figure I.10 : Filtre actif Série (FAS)

Figure I.11 : Filtre actif Parallèle (FAP)

Figure I.12 : Combinaison parallèle-série de filtres actifs

Chapitre II : filtre actif parallèle de puissance, Principe, Stratégie de commande

Figure II.1 : La structure générale du filtre actif

Figure II.2 : Structure du filtre actif parallèle

Figure II.3 : Structure d'un onduleur de tension triphasé

Figure II.4 : Schéma de l'onduleur triphasé

Figure II.5 : Représentation vectorielle des tensions générées par l'onduleur

Figure II.6 : principe du contrôle par hystérésis

Figure II.7 : principe de la commande par hystérésis

Figure II.8 : Boucle de régulation de la tension continue

Figure II.9 : la forme d'onde des courants

Figure II.10 : Commande directe d'un filtre actif parallèle

Figure II.11 : Commande indirecte d'un filtre actif parallèle

Chapitre III : Méthodes d'identification des Courant Harmoniques

Figure III.1 : Diagramme de transformation du référentiel a-b-c au référentiel α - β .

Figure III.2 : Schéma de principe de la méthode séparation des puissances

Figure III.3 : Schéma de principe de la méthode des puissances instantanées

Figure III.4 : Schéma de principe de séparation des composantes continues et alternative

Figure III.5 : Principe d'identification des harmoniques par la méthode SRF

Chapitre IV : Résultat d'implémentation en Simulation

Figure IV.1 : Schéma de la charge linéaire.

Figure IV.2 : La tension et le courant de la charge linéaire.

Figure IV.3 : spectre harmonique du courant de la charge linéaire.

Figure IV.4 : Schéma de la charge polluante.

Figure IV.5 : La tension et le courant de la charge non linéaire.

Figure IV.6 : spectre harmonique du courant de la charge non linéaire.

Figure IV.7 : Schéma de simulation d'un filter Actif de Puissance.

Figure IV.8 : Schéma de Identification des courants harmoniques (Pq).

Figure IV.9 : Les tensions de Source.

Figure IV.10 : Les Courant de charge et source avant et après filtrage et courant de filtre.

Figure IV.11 : Spectre harmonique du courant après FAP.

Figure IV.12 : puissances instantanées active p et réactive q avant et après FAP.

Figure IV.13 : Courant et tension de source de la première phase avant et après filtrage.

Figure IV.14 : Tension aux bornes du condensateur.

Figure IV.15 : Facteur de puissance.

Figure IV.16 : Comportement du FAP en régime dynamique.

Figure IV.17 : Spectre harmonique du courant de la 2^{ème} charge après FAP.

Figure IV.18 : Tension aux bornes du condensateur en régime dynamique.

Figure IV.19 : Courant et tension de source de la première phase en régime dynamique.

Figure IV.20 : Puissances instantanées active p et réactive q en régime dynamique.

Figure IV.21 : Schéma de Identification des courants harmoniques (SRF).

Figure IV.22 : Les tensions de Source.

Figure IV.23 : Les Courant de charge et source avant et après filtrage et courant de filtre.

Figure IV.24 : Spectre harmonique du courant de source

Figure IV.25 : puissances instantanées active p et réactive q avant et après FAP.

Figure IV.26 : Courant et tension de source de la première phase.

Figure IV.27 : Tension aux bornes du condensateur.

Figure IV.28 : Facteur de Puissance.

Figure IV.29 : Comportement du FAP en régime dynamique.

Figure IV.30 : Spectre harmonique du courant après FAP en 2^{ème} charge.

Figure IV.31 : courant et tension de source de la première phase en régime dynamique.

Figure IV.32 : Tension aux bornes du condensateur en régime dynamique.

Figure IV.33 : Puissances instantanées active p et réactive q en régime dynamique.

A decorative red border that looks like a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The text is centered within this border.

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Perturbations des réseaux électriques

Tableau I.1 : les différents types du filtre passif

Tableau I.2 : Autre configuration du filtre hybride

Chapitre II : filtre actif parallèle de puissance, Principe, Stratégie de commande

Tableau II.1 : Tensions possibles à la sortie de l'onduleur

Chapitre IV : Résultat d'implémentation en Simulation

Tableau IV.1 : les paramètres du système a simulé



***Notations et
symboles***


SYMBOLES

C_{dc} :	Capacité du condensateur.
D :	Puissance déformante.
f_s :	Fréquence fondamentale du réseau.
f_c :	Fréquence de coupure du filtre d'extraction des harmoniques
I_c :	Courant de la charge
k_{pdc}, k_{idc} :	Les constants du régulateur PI de la tension continue.
L_s :	Inductance du réseau
L_f :	Inductance du filtre actif
L_c :	Inductance de la charge
L_d :	Inductance de la charge côté continue
P :	Puissance active.
\bar{P} :	Puissance continue liée à la composante fondamentale active
q :	Puissance réactive.
\bar{q} :	Puissance continue liée à la composante fondamentale réactive
\tilde{p} et \tilde{q} :	Puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices
R_s :	Résistance du réseau.
R_f :	Résistance du filtre actif
R_c :	Résistance de la charge
R_d :	Résistance de la charge côté continue
S :	Puissance apparente.

t :	Le temps
$V_{s_{a,b,c}}$:	Tensions de la source
$V_{s_{\alpha\beta}}$:	Les tensions du réseau électrique au point de raccordement du filtre actif dans le repère stationnaire
$V_{s_{dq}}$:	Les tensions du réseau électrique au point de raccordement du filtre actif dans le repère synchrone
V_c :	Tension de la charge
V_{dc} :	Tension aux bornes du condensateur
V_{dc-ref} :	Tension de référence du condensateur
X_h :	La composante harmonique de rang h.

NOTATIONS

F.P.B :	Filtre passe-bas.
F.P.H :	Filtre passe-haut.
F A P :	Filtre actif parallèle.
F A S :	Filtre actif série.
F P P :	Filtre Passif parallèle
F P S :	Filtre Passif série
F.P :	Facteur de puissance.
FFT	Fast Fourier transformé
GTO:	(En anglais: Gate turn off thyristor).
IGBT:	(En anglais: Insolated gate bipolar transistor).
PI :	Régulateur proportionnel intégral
THD :	(En anglais : Total Harmonic distorsion).



***Introduction
générale***

INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation croissante des dispositifs d'électronique de puissance telles que les redresseurs à diodes et à thyristors, les gradateurs, les ordinateurs, les alimentations à découpage, ...etc, dans les systèmes électriques a entraîné de plus en plus des problèmes liés aux distorsions harmoniques dans les réseaux électriques. La circulation des harmoniques dans le réseau cause une dégradation de l'onde de tension et augmente les pertes de puissance, sans oublier les perturbations au fonctionnement normal de certains équipements.

Plusieurs solutions ont été proposées pour résoudre le problème de la pollution harmonique dans les réseaux électriques de distribution. Des solutions efficaces et peu onéreuses qui permettent de diminuer l'émission des harmoniques. Parmi ces solutions, l'utilisation des filtres passifs : souvent appelés filtres piègeurs d'harmoniques, ils ont été utilisés pour éliminer les harmoniques de courants et améliorer le facteur de puissance. Cette solution est la plus répandue et pratiquement la plus simple et la moins chère, et de grandes efficacités, mais leurs performances dépendent énormément de l'impédance de la source et peuvent mener à une résonance non voulue avec le réseau. De plus, ce type de filtre perd de son efficacité lorsque les caractéristiques de la charge évoluent.

Afin d'y remédier aux inconvénients des filtres passifs, une autre solution consiste à mettre en œuvre un système de filtres actifs de puissance. Les filtres actifs sont un moyen efficace pour la compensation des harmoniques de courants ou de tensions générés par des charges non linéaires. Ils compensent, en temps réel, les perturbations dues à une charge non linéaire en injectant sur le réseau les harmoniques et le réactif du courant consommé par la charge afin que le réseau n'est plus qu'à fournir un courant sinusoïdal et en phase avec la tension.

L'objectif principal du filtre actif consiste à compenser les harmoniques produits dans le réseau (diminution du taux de distorsion totale du courant de source) et parfois l'énergie réactive consommée par les charges non-linéaires et l'amélioration du facteur de puissance.

Le travail présenté dans ce mémoire, vise à présenter une étude détaillée du concept de filtrage actif de puissance, et à démontrer ses contributions dans l'amélioration de la qualité

de l'énergie électrique influencée par le raccord avec des charges non-linéaires. Ainsi, ce mémoire comprend principalement quatre chapitres

Le 1^{er} Chapitre présente les principales perturbations qui peuvent apparaître dans un réseau électrique basse tension et expose leurs origines, leurs analyses et leurs conséquences ainsi que les normes visant à diminuer leurs proliférations et nous présenterons les solutions de dépollution des réseaux électriques existantes, tant traditionnelles (filtrage passif) et modernes (filtrage actif)

Le 2^{ème} Chapitre a été consacré à la définition et structure de filtre actif parallèle, cette structure partagée en deux parties qui sont la partie de puissance et la partie de commande-contrôle, la partie de puissance est représentée par l'onduleur de tension, système de stockage de l'énergie, et la deuxième partie qui est la partie de commande –contrôle représentée par la commande d'onduleur par hystérésis et le régulateur de la tension continue.

Dans le 3^{ème} Chapitre nous traiterons le problème des perturbations en courant et leur identification. La méthode des puissances instantanées, universellement adoptée pour le filtrage des harmoniques en raison de ses excellentes performances. Nous présenterons également la Méthode de référentiel synchrone.

Dans le 4^{ème} chapitre, on proposera la simulation de l'ensemble réseau, charge non linéaire, filtre actif parallèle sous l'environnement Matlab Simulink. On donne ensuite les résultats de simulations obtenus qui permettent la validation de la loi de commande proposée

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale relative aux résultats de simulation auxquels nous avons abouti.

Chapitre I

Perturbations des Réseaux électriques

Plan du Chapitre I

I.1 Introduction

I.2 Définition de la perturbation

I.2.1 Perturbations électriques et leurs origines

I.2.1.1 Creux et coupures de tension

I.2.1.2 Fluctuations de tension

I.2.1.3 Déséquilibre du système triphasé de tension

I.2.1.4 Variation de fréquence

I.2.2 Harmoniques et inter harmoniques

I.2.3 Perturbation harmonique

I.2.4 Sources des harmoniques

I.2.5 Conséquences néfastes des harmoniques

I.2.6 Caractérisation des perturbations harmoniques

I.2.6.1 Taux de distorsion harmonique

I.2.6.2 Taux d'harmonique global de distorsion

I.2.6.3 Facteur de puissance

I.3 Solutions de dépollution des réseaux électriques

I.3.1 Solutions traditionnelles

I.3.1.1 Filtrage Passif

a- Filtre passif résonant

b- Filtre passif amorti

I.3.2 Solutions modernes

I.3.2.1 Filtre actif Série (FAS)

I.3.2.2 Filtre actif parallèle (FAP)

I.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs

I.3.2.4 Filtre hybride

I.4 Applications des filtres actifs parallèles

I.5 Conclusion

I. Introduction

Généralement, le distributeur d'énergie délivre l'énergie électrique sous forme d'un système triphasé de tensions sinusoïdales. Les paramètres caractéristiques de ce système sont la fréquence, l'amplitude, la forme d'onde, qui doit être sinusoïdale et la symétrie du système triphasé. Mais depuis quelques années, avec l'évolution technologique des composants d'électronique de puissance. Les distributeurs d'énergie rencontrent plusieurs problèmes liés à l'accroissement du nombre de convertisseurs statiques raccordés aux réseaux de distribution d'énergie. En effet, ces convertisseurs sont des sources polluantes qui absorbent des courants non sinusoïdaux et consomment pour la plupart de la puissance réactive [Moh08]

Les harmoniques générés sont des perturbations permanentes affectant la forme d'onde de la tension du réseau. Ces perturbations se superposent à l'onde fondamentale. Elles ont donc pour conséquence de modifier l'onde de tension ou de courant ce qui se traduit par une dégradation du facteur de puissance et/ou un levage du Taux de Distorsion Harmonique (THD) [Moh08]

Nous commencerons ce chapitre par un exposé des principaux défauts affectants la tension et le courant du réseau électrique. Nous parlerons également de leurs origines, des Conséquences néfastes des harmoniques. Nous discuterons ensuite des solutions traditionnelles et modernes utilisées.

I.2 Définition de la perturbation

I.2.1 Perturbations électriques

L'énergie électrique est délivrée sous forme de tension, caractérisée par sa fréquence, son amplitude et sa forme d'onde qui doit être sinusoïdale. La qualité de la tension peut être affectée, soit par des perturbations aléatoires à caractère accidentel, soit par des perturbations existantes en permanence ou pendant des instants de durées bien déterminées. Ces perturbations sont classées comme suit : [Sou15] [Gal17].

I.2.1.1 Creux et coupures de tension

Le creux de tension est une diminution brutale de la tension à une valeur située entre 10% et 90% de la tension nominale pendant une durée allant de 10 min jusqu'à quelques secondes. Les creux de tension sont dus à des phénomènes naturels comme la foudre, ou à des défauts sur l'installation ou dans les réseaux tant publics que ceux des utilisateurs. Ils apparaissent également lors de manœuvres d'enclenchement mettant en jeu des courants de fortes intensités (moteurs, transformateurs, etc.). [Dja05] [Omr07]

Une coupure brève est une disparition totale de la tension pendant une courte durée qui n'excède pas une minute. Ces coupures sont dues au fonctionnement du système de protection des réseaux

aériens évitant ainsi des coupures longues. La figure (I.1) montre un exemple de creux et de coupure de tension

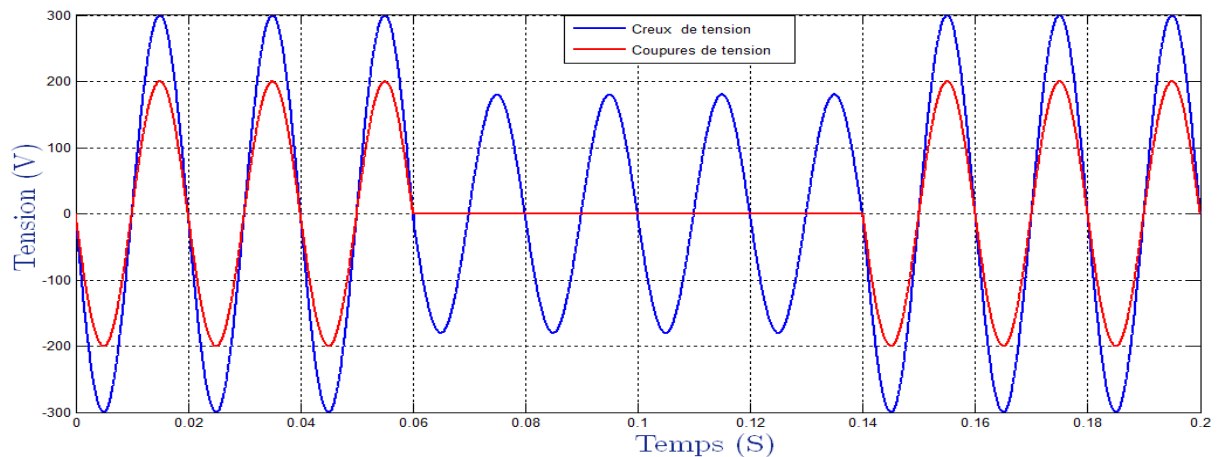


Figure I.1 : Creux et coupures de tension

I.2.1.2 Fluctuations de tension

Les fluctuations de tension sont des variations périodiques ou erratiques de l'enveloppe de la tension qui se produisent à des intervalles de temps de quelques centièmes de secondes. L'amplitude de la tension doit se situer dans une bande de $\pm 10\%$ de sa valeur nominale. [Sou15] [Gal17]

Ces fluctuations entraînent des variations de flux lumineux pour les lampes à incandescence créant un papillotement de la lumière [Gal17]

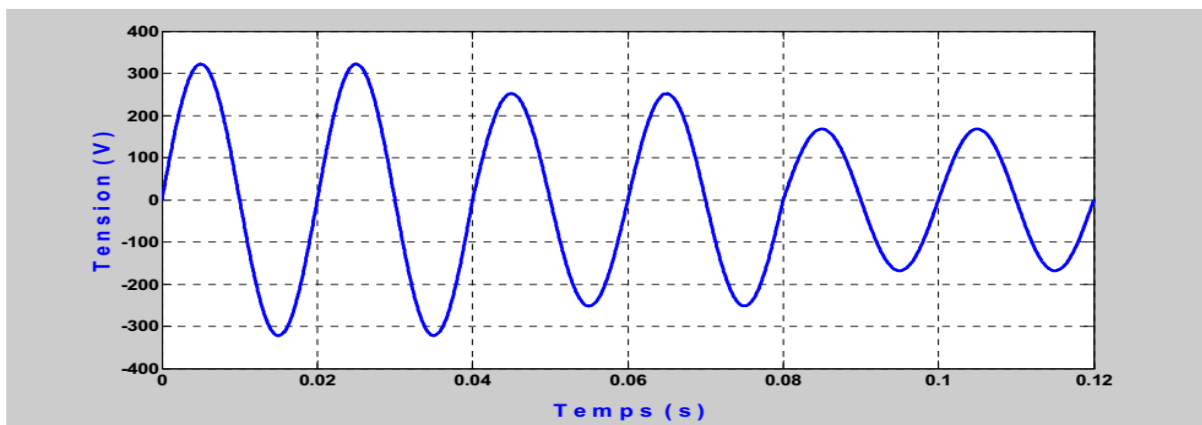


Figure I.2 : Fluctuations de tension

I.2.1.3 Déséquilibre du système triphasé de tension

Lorsque les trois tensions ne sont pas identiques en amplitude et/ou ne sont pas décalés d'un angle 120° les unes par rapport aux autres, on dit qu'on a un déséquilibre du système triphasé comme le montre la figure I.3.

Un réseau électrique triphasé équilibré alimentant un récepteur électrique triphasé non équilibré conduit à des déséquilibres de tension dus à la circulation de courants non équilibrés dans les impédances du réseau. [Dja05] [Heb16]

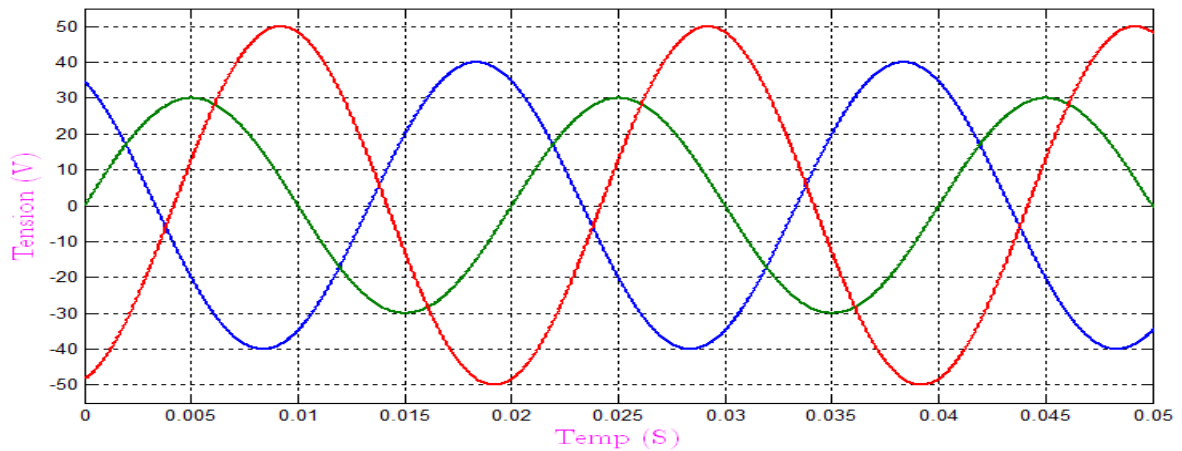


Figure I.3 : Déséquilibre du système triphasé de tension

I.2.1.4 Variation de fréquence

Les réseaux de distributions ou de transports ont une fréquence constante, sa variation est très rare sauf dans des circonstances exceptionnelles, comme dans le cas de certains défauts graves sur le réseau.

Dans les conditions normales d'exploitations, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale doit être comprise dans l'intervalle de 50 Hz \pm 1%. [Heb16] [Omr07]

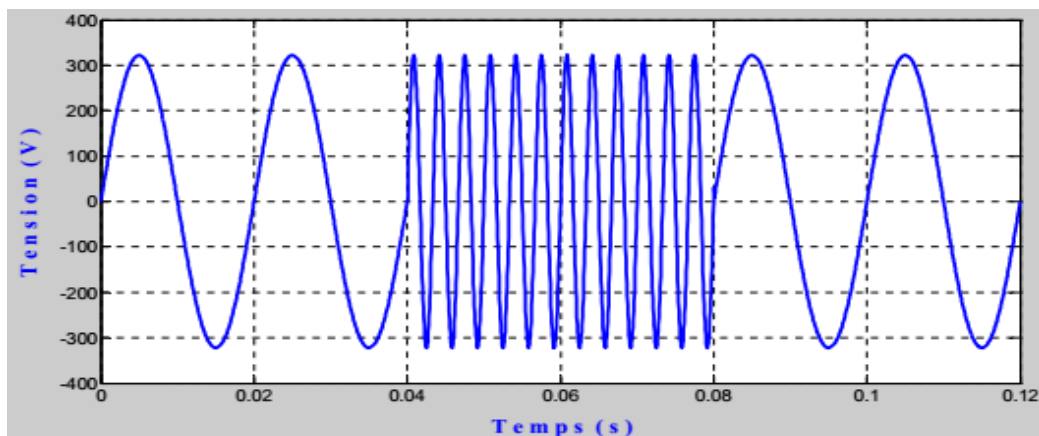


Figure I.4 : Variation de fréquence

I.2.2 Harmonique et inter harmonique

Les harmoniques sont des ondes sinusoïdales de fréquences multiples entier du fondamental superposées à l'onde fondamentale (50Hz). La principale source de la présence des harmoniques dans les réseaux électriques est l'utilisation intensive des convertisseurs statiques [Sou15]

Les inters harmoniques sont superposés à l'onde fondamentale mais n'ont pas des multiples entiers de la fréquence du réseau [Sou15] [Dja05]

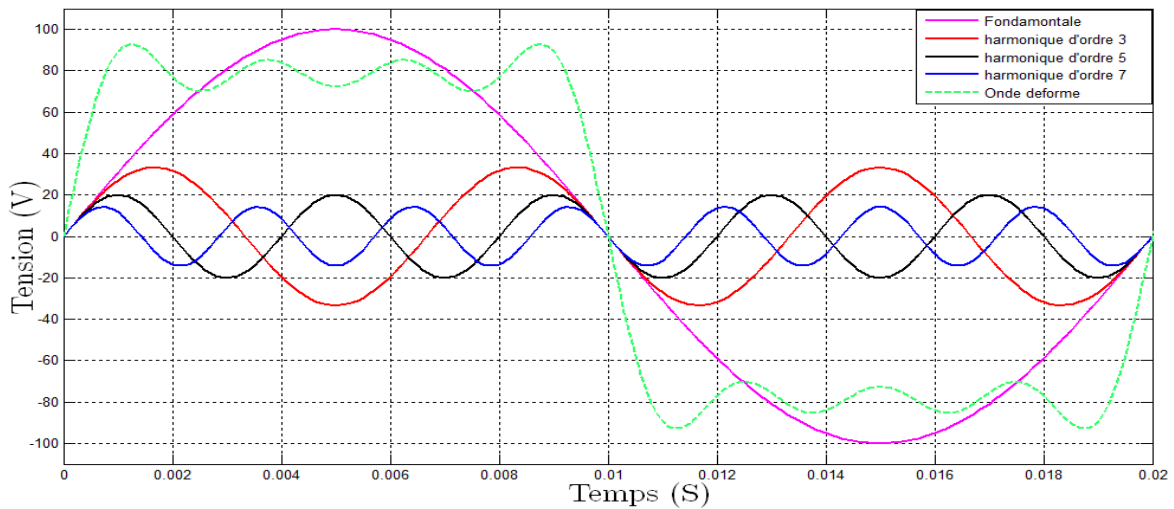


Figure I.5 : Les Harmoniques

I.2.3 Perturbations harmoniques

Un harmonique est une composante sinusoïdale d'un signal périodique, de fréquence (f) multiple de celle du signal fondamental

Le signal de rang (ordre) 1 est la composante fondamentale du signal périodique (50 Hz en Algérie). L'harmonique de rang zéro correspond à la composante directe du signal. Par ailleurs l'amplitude de chaque harmonique est inversement proportionnelle à son ordre. Donc, les premiers rangs harmoniques sont celles proches de la fondamentale tel que (3, 5 et 7), ils ont des amplitudes élevées, d'où la raison de les limiter selon les normes [Mou16]

I.2.4 Sources des harmoniques

La cause principale des harmoniques est l'injection des courants non-sinusoïdaux par des charges non-linéaires, ainsi que les charges déséquilibrées branchées au réseau. Les onduleurs, les ponts redresseurs, et à induction, les variateurs de vitesse des machines électriques, les appareils domestiques tel que les téléviseurs et les lampes fluorescentes, et les alimentations à découpage [Amr16] [STE07]

I.2.5 Conséquences néfastes des harmoniques

Les courants et les tensions harmoniques ont des effets néfastes sur le fonctionnement, la rentabilité et la durée de vie de certains équipements électriques liés à la circulation des courants harmonique [Sou15] [Gal17]

- **Lignes** : pertes ohmiques supplémentaires.

- **Transformateurs** : pertes supplémentaires dans les enroulements par effet joule et dans le noyau par courant de Foucault ;
- **Moteur à courant alternatif** : pertes supplémentaires dans le fer et les enroulements principalement liées aux harmoniques de tension.
- **Condensateur de puissance** : pertes diélectrique supplémentaires conduisant aux vieillissements rapide du condensateur.
- **Equipement de l'électronique de puissance** : dysfonctionnement lié à la déformation de la tension.
- **Ordinateurs** : trouble fonctionnels liés à la distorsion de la tension.
- **Lignes téléphoniques** : génération des bruits importants liés au couplage électromagnétique entre les lignes de puissance et les circuits de communication

I.2.6 Caractérisation des perturbations harmoniques

Un récepteur d'énergie électrique se comporte comme une charge polluante s'il absorbe des courants non sinusoïdaux ou et déséquilibrés ou consomme de l'énergie réactive. Les perturbations harmoniques sont caractérisées par le taux de distorsion harmonique (*THD*) de la tension ou du courant, Et la consommation de l'énergie réactive est évoluée par le facteur de puissance $\cos \varphi$ [Mou16]

I.2.6.1 Taux de distorsion harmonique

Le taux de distorsion harmonique est un paramètre qui définit globalement la déformation de la grandeur alternative [Mou16] :

$$S_h = \frac{X_h}{X_1} \quad (I,1)$$

X_h : Composante harmonique de rang h

X_1 : Composante fondamentale.

I.2.6.2 Taux d'harmonique global de distorsion

Le taux de distorsion global (Total Harmonic Distorsion : THD) est un paramètre qui définit globalement la déformation de la grandeur alternative [Mou16] [Heb16]

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_h^2}}{X_1} \times 100 \quad (I, 2)$$

I.2.6.3 Facteur de puissance

Le facteur de puissance ($\cos \varphi$) est exprimé par le rapport de la puissance active (P) sur la puissance apparente (S). Les équipements électriques sont dimensionnés, généralement, pour les valeurs nominales de la tension et du courant. Un faible facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation de ces équipements. [Mou16]

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (\text{I, 3})$$

Q : représente la puissance réactive

En présence des harmoniques, la puissance déformante (D) donnée par la relation (1.4) apparaît. La Fig_ I.6 illustre le diagramme de *Fresnel* en présence d'harmoniques (1 et 4) Où,

$$D = 3 * V \sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2} \quad (\text{I, 4})$$

V : Valeur efficace de la tension du réseau électrique.

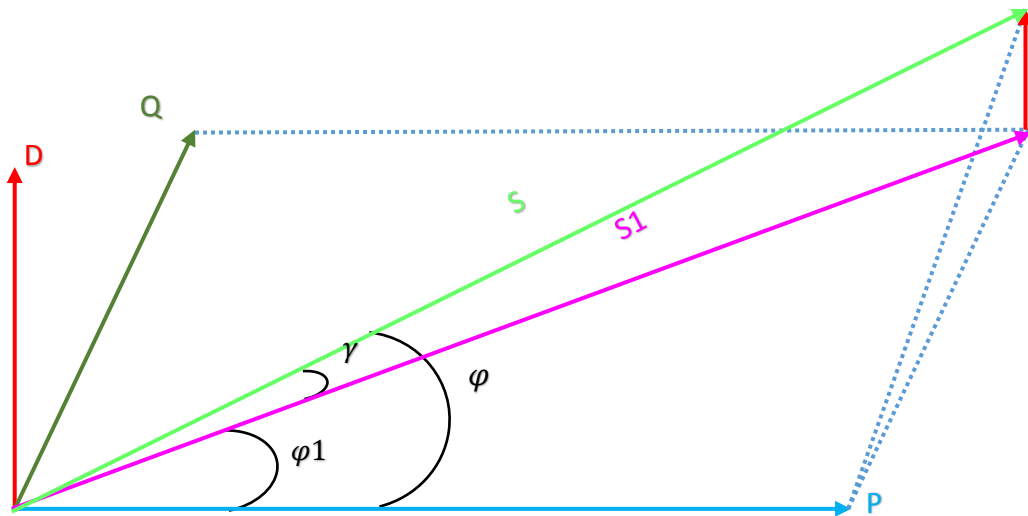


Figure I.6 : Diagramme de Fresnel des puissances

Ainsi le facteur de puissance devient :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \cos \varphi_1 \cos \gamma \quad (\text{I, 5})$$

φ : Déphasage entre la puissance active(P) et la puissance apparente (S) ;

φ_1 : Déphasage entre la puissance active(P) et la puissance apparente (S_1) ;

γ : Déphasage entre la puissance apparente dans le cas d'un système linéaire et celle-là dans le cas d'un système non-linéaire

I.3 Solutions de dépollution des réseaux électriques

I.3.1 Solutions traditionnelles

I.3.1.1 Filtrage Passif

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. Un filtre passif est constitué d'éléments passifs tels que des inductances, des condensateurs et des résistances, qui forment une impédance dont la valeur varie en fonction de la fréquence. On connecte alors le filtre passif en parallèle avec le réseau de manière à absorber un harmonique de courant donné [Sah12]

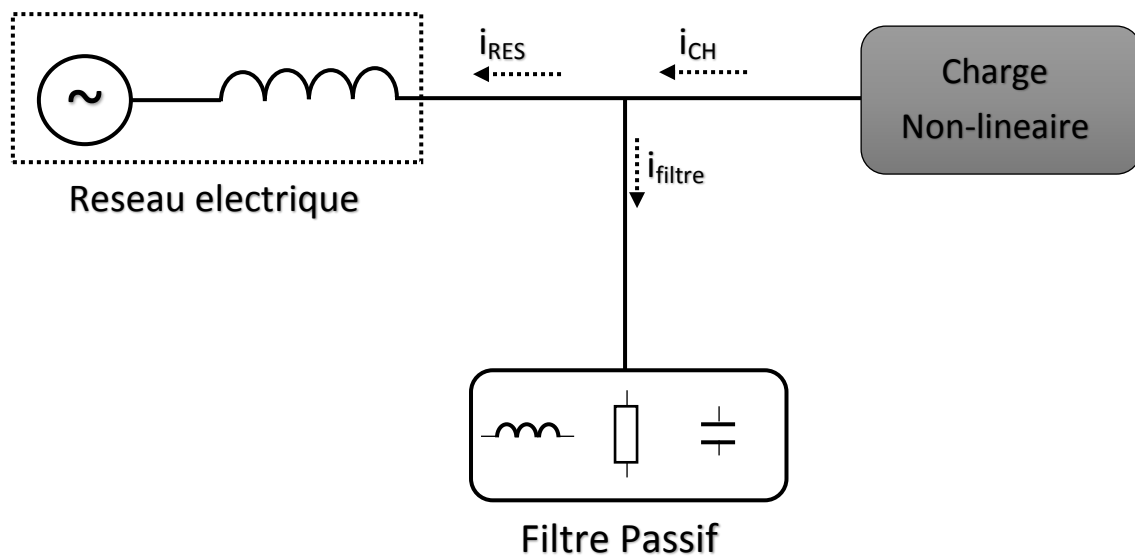
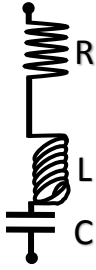
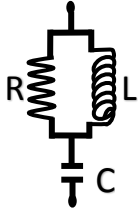


Figure I.7 : Filtrage Passif

<i>a- Filtre passif résonant</i>	<i>b- Filtre passif amorti</i>
<p>C'est un filtre sélectif constitué d'une résistance, d'un condensateur et d'une bobine en série, comme décrit sur la fig_ I .8 son impédance équivalente est : [STE07]</p>  <p>Figure I .8 : Filtre passif résonant</p>	<p>C'est un filtre passe haut constituer d'une inductance en parallèle avec une résistance, le tout en série avec un condensateur comme décrit sur la Fig_ I .9 Son impédance équivalente est : [STE07]</p>  <p>Figure I .9 : Filtre passif amorti</p>
$Z_{eq}(\omega) = \frac{1 - LC\omega^2 + jRC\omega}{jC\omega}$	$Z_{eq}(\omega) = \frac{1 - LC\omega^2 + j\frac{L}{R}\omega}{-\frac{L}{R}C\omega^2 + jC\omega}$

I.3.1.2 les différents types du filtre passif

Tableau_ I.1 : les différents types du filtre passif

I.3.2 Solutions modernes

Les solutions de dépollution traditionnelles ne répondent plus à l'évolution des réseaux électriques et des charges à protéger, d'autres solutions modernes ont été proposées appelées filtres actifs. Ils peuvent être également utilisés comme complément aux solutions traditionnelles de réjection des harmoniques.

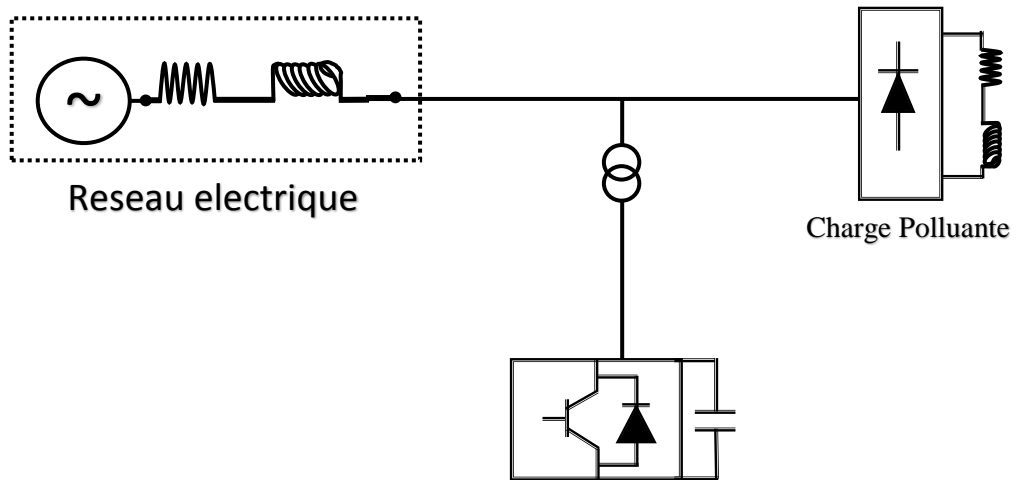
Le principe du filtrage actif est l'injection des courants (ou des tensions) harmoniques en opposition de phase avec les harmoniques que l'on désire compenser : courants harmoniques absorbés par la charge et/ou tensions harmoniques présentes sur le réseau [BEN12]

On trouve distingue trois types de structures de filtre actif :

I.3.2.1 Filtre actif Série (FAS)

Le but du filtre actif série est de créer une impédance en série avec le réseau qui sera nulle pour le fondamental et de valeur élevée pour les harmoniques. Il est destiné à protéger les installations

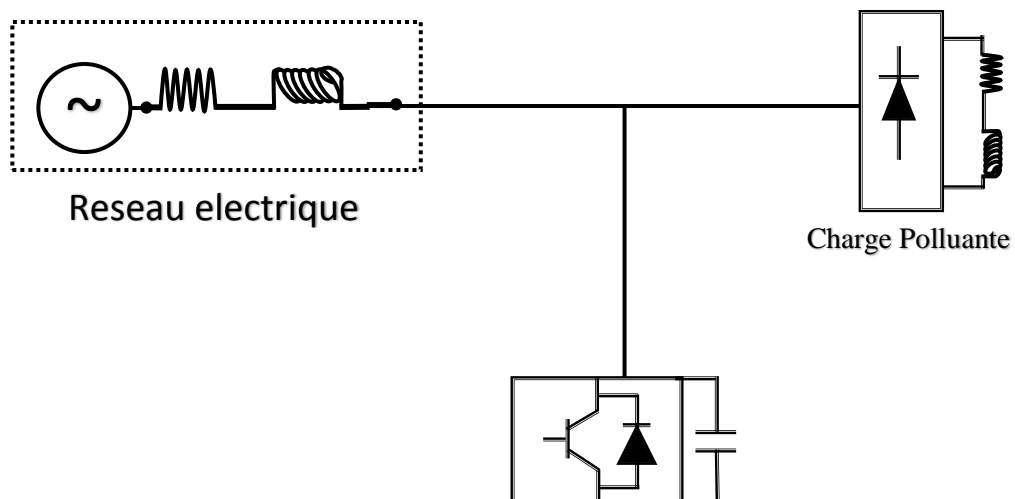
sensibles aux perturbations provenant du réseau telles que les harmoniques en tension, les surtensions, déséquilibres et creux de tension. En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge non linéaire [Sah12]



Fig_ I.10 : Filtre actif Série (FAS)

1.3.2.2 Filtre actif Parallèle (FAP)

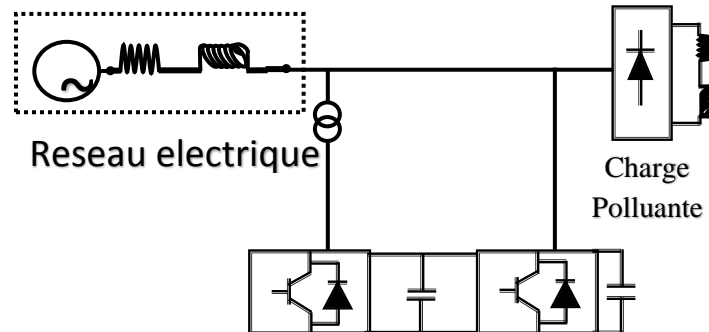
Le FAP se connecte en parallèle avec le réseau. Le filtre actif est constitué d'un onduleur de tension et d'un filtre inductif en sortie. Ainsi, l'inductance en sortie de l'onduleur donne la nature de source de courant au filtre actif. Dans le cas où le réseau alimente plusieurs charges polluantes, il est préférable d'utiliser un seul filtre actif pour toutes les charges. [Sah12]



Fig_ I.11 : Filtre actif Parallèle (FAP)

1.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs

Association de deux filtres actifs parallèle et série, également appelée « Unified Power Quality Conditioner » (UPQC). 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 [Moh08] [Kam15]



Fig_ I.12 : Combinaison parallèle-série de filtres actifs

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.

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 [Moh08] [Kam15]

Filtre actif série avec des Filtres passifs parallèle	Filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèle	Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle
<p>Il empêche les courants harmoniques de circuler vers le réseau et les oblige à passer par les filtres passifs raccordés à leurs fréquences</p>	<p>Il a le même principe que la combinaison d’avant avec l’avantage de réduire encore le dimensionnement du FAS car le courant qui le travers est plus faible. De plus, le FAS est à l’abri d’un éventuel court-circuit de la charge</p>	<p>Il a le rôle de compenser des courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante Le filtre passif accordé sur une fréquence élevée, élimine les courants harmoniques hautes y compris ceux créés par le filtre actif</p>

		parallèle. Ce type déjà été appliqué à la compensation des courants harmonique émis par
--	--	---

Tableau_ I.2 : Autre configuration du filtre hybride

I.4 Applications des filtres actifs parallèles

La principale charge polluante, le redresseur à diodes ou à thyristors, est très utilisée que cela soit pour alimenter des charges continues à partir du réseau ou comme un élément d'interfaçage au réseau dans une conversion à étage intermédiaire continu. De plus en plus de dispositifs de ce type se connectent au réseau électrique. De ce fait, les filtres actifs parallèles sont un champ d'utilisation naturel dans les applications de réseau, notamment dans les réseaux avec plusieurs charges polluantes et dans les réseaux à courant continu en haute tension.

Les filtres actifs sont également utilisés dans des applications industrielles, afin de dépolluer une zone avec plusieurs charges non linéaires (redresseurs, certains éclairages, etc.).

En fin, le filtrage actif est également employé dans les applications tertiaires car les filtres actifs peuvent être intéressants dans les bâtiments commerciaux, hôpitaux, etc. dans lesquels il y a de nombreuses charges polluantes comme les ordinateurs, éclairage économique. Ces filtres actifs compensent les courants harmoniques, les courants réactifs et les déséquilibres des charges.

Les applications réseau, industrielles, tertiaires, domestiques et en télécommunications apparaissent comme des environnements particulièrement pollués par les harmoniques. Les filtres permettent une compensation globale des harmoniques, souvent jusqu'à l'harmonique 50.

Ces filtres actifs, en plus de réduire les courants harmoniques, améliorent le facteur de puissance et équilibrent les charges triphasées. L'utilisation de ces filtres produit une réduction des coûts d'exploitation et une prolongation de la durée de vie de l'installation [Amr16]

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les perturbations qui existent au niveau des réseaux électriques. Comme nous l'avons mentionné, les harmoniques sont des perturbations qui engendrent des effets néfastes sur les équipements électriques. Nous avons présenté des solutions de dépollution des réseaux électriques par le filtre passif et Actif et hybride. Le prochain chapitre aborde les systèmes de dépollution des réseaux électriques par filtrage actif de puissance.

Chapitre II

Filtre Actif de Puissance Parallèle

Plan du Chapitre II

II -1 Introduction

II.2 Structure du filtre actif

II.3 Etude de la partie puissance

II.3.1 Onduleur de tension triphasé

II.3.1.1. Modélisation de l'onduleur

II.3.1.2 Représentation vectorielle des tensions générées

II.3.2 Système de stockage d'énergie

II.4 Etude de la partie contrôle-commande

II.4.1 Commande de l'onduleur

II.4.1.1 Commande par hystérésis

II.4.2 Régulation de la tension V_{dc}

II.5. Principe de filtrage actif parallèle

II.6 Commande du filtre actif parallèle

II.6.1 Méthode directe

II.6.2 Méthode indirect

II.7. Conclusion

II -1 Introduction

Le filtrage actif parallèle de puissance (FAP) est une solution moderne et adéquate permettant de remédier aux perturbations en courant. Ce compensateur peut être utilisé pour compenser les courants harmoniques.

Le filtre actif parallèle(FAP), est composé de deux (2) parties principales : la partie puissance et la partie contrôle-commande

Dans ce chapitre nous allons étudier la structure du filtre actif parallèle ainsi que son principe de fonctionnement. Et les différents éléments constitutifs du filtre actif (le système de stockage d'énergie, le filtre de sortie... etc) ensuite, la partie commande du filtre actif avec les techniques de commande par hystérésis

II.2 Structure du filtre actif

La structure générale du filtre actif parallèle est présentée dans la Fig_2.2 sous la forme de deux blocs : la partie puissance et la partie contrôle-commande

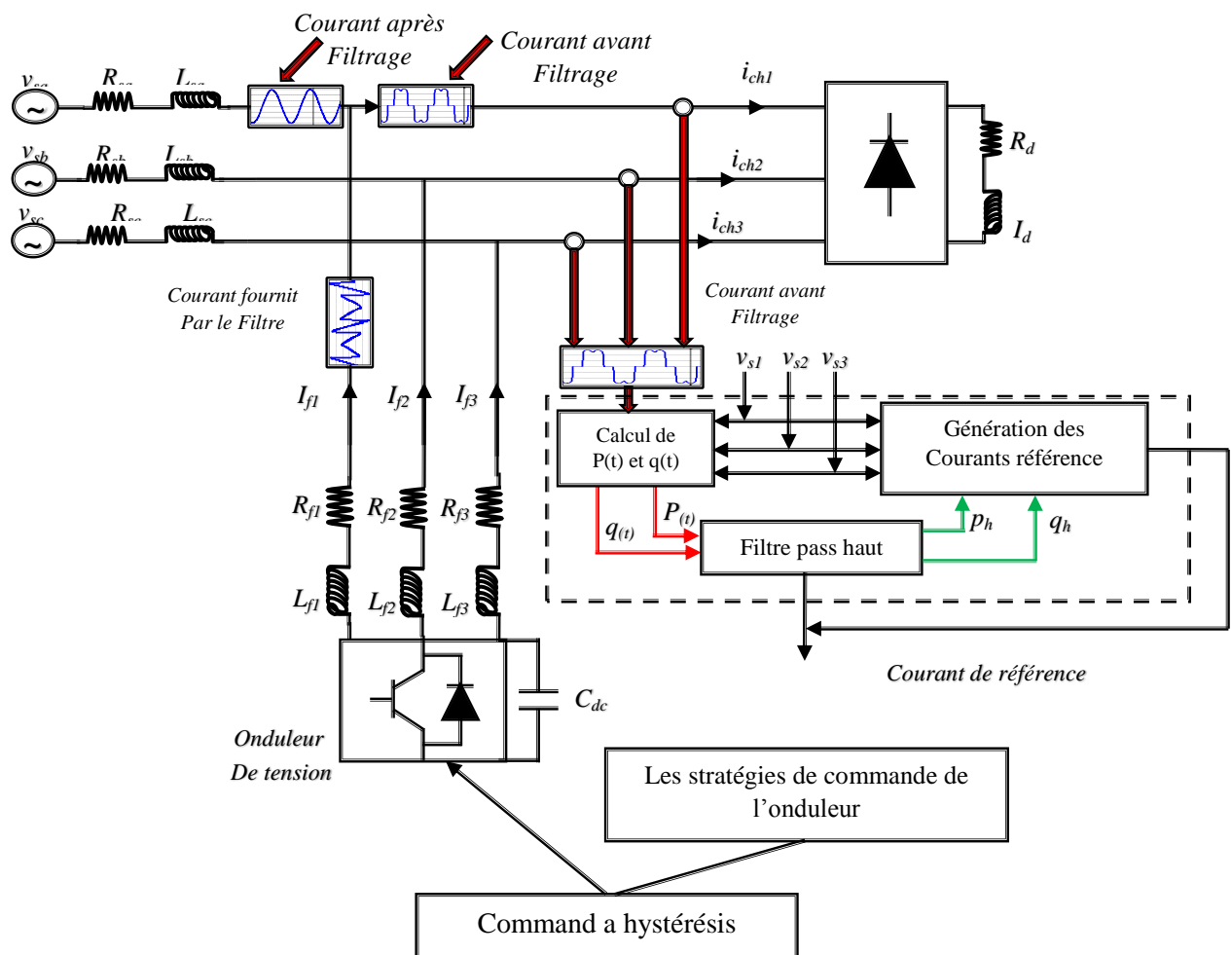


Figure II.1 : La structure générale du filtre actif

La partie puissance est constituée de [Zid15] :

- ✓ un onduleur à base d'interrupteurs de puissance, commandable à l'amorçage étai blocage (GTO, IGBT, etc....) avec des diodes en antiparallèle.
- ✓ Un circuit de stockage d'énergie.
- ✓ Un filtre de sortie.

La partie contrôle-commande est constituée de [Zid15] :

- ✓ La méthode d'identification des courants perturbés,
- ✓ La régulation de la tension,
- ✓ La commande de l'onduleur de tension

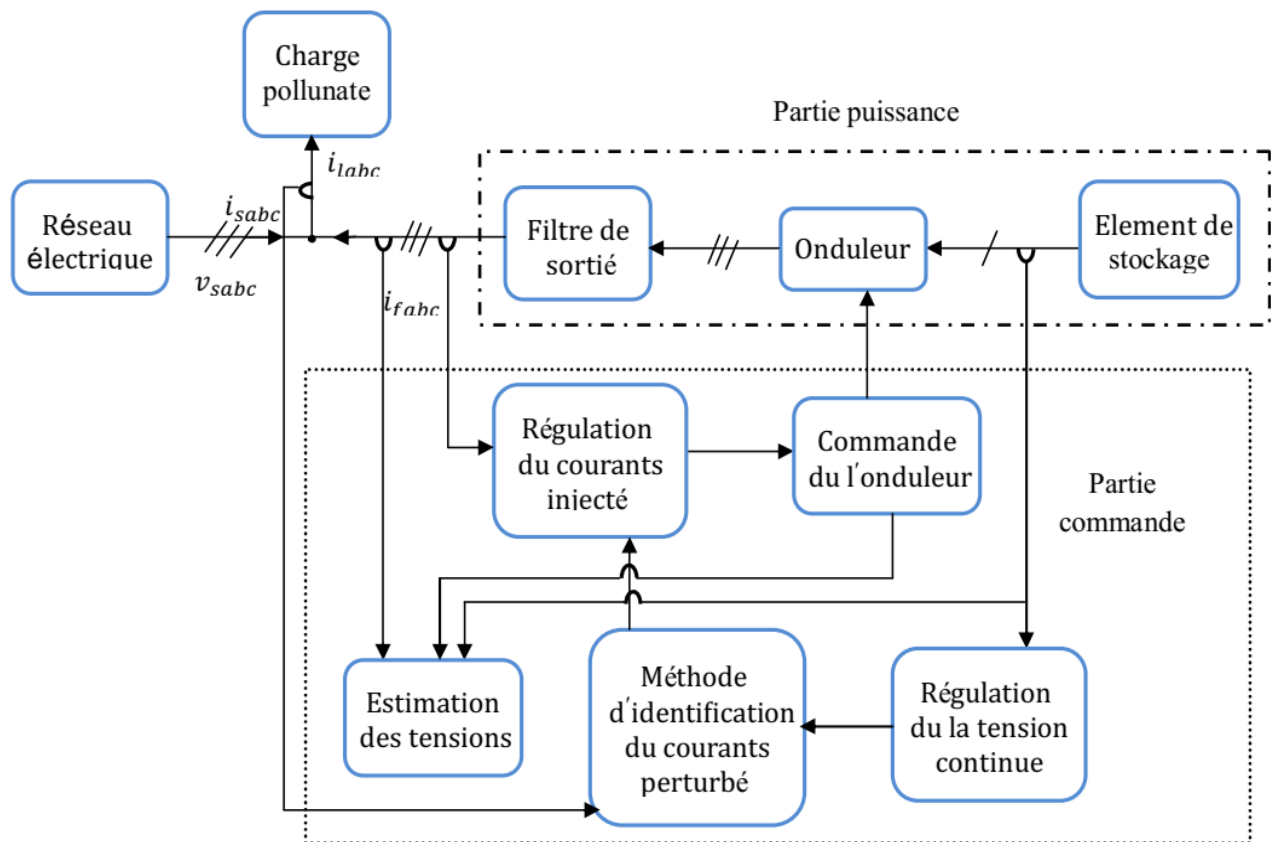


Figure II.2 : Structure du filtre actif parallèle

II.3 Etude de la partie puissance

II.3.1 Onduleur de tension triphasé

On appelle onduleur de tension, un onduleur alimenté par une source de tension continue c'est à dire par une source d'impédance interne négligeable ; sa tension U n'est pas affectée par la variation du courant i qui la traverse. La source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie. [Zid15] [Wir06]

On peut obtenir la tension triphasée en groupant trois demis ponts monophasés, Les trois bras de l'onduleur sont formés par six interrupteurs bidirectionnels en courant, qui sont des composants semi-conducteurs commandés à la fermeture et à l'ouverture (transistors bipolaires, IGBT ou IGCT) comportant une diode en antiparallèle. Cet onduleur est connecté au réseau électrique par un filtre dit de découplage [Lai04]

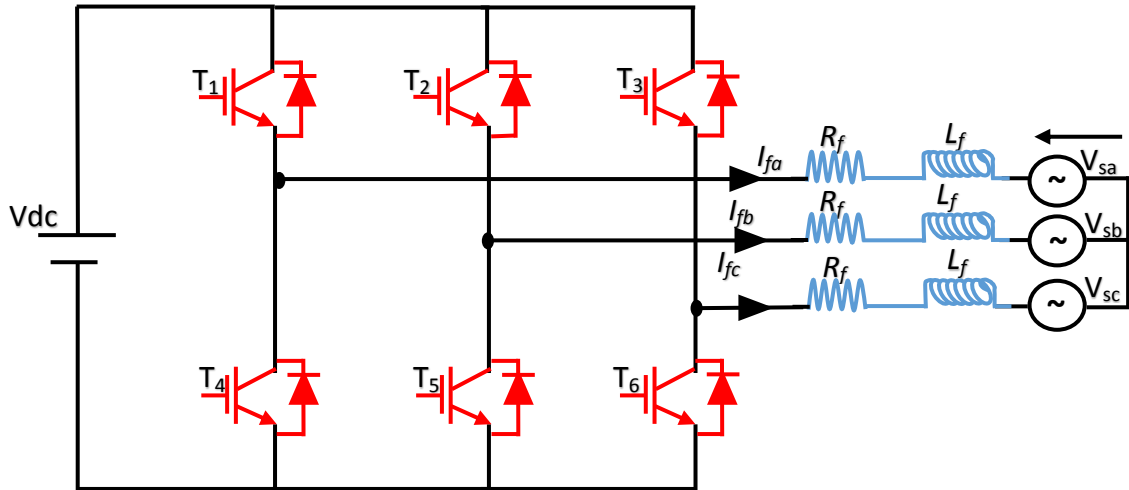


Figure II.3 : Structure d'un onduleur de tension triphasé

II.3.1.1. Modélisation de l'onduleur

La sortie d'onduleur (voir la Fig_ II.4) peut prendre deux valeurs de tension ($+\frac{V_{dc}}{2}$; $-\frac{V_{dc}}{2}$) selon l'état des impulsions de commande des interrupteurs. En pratique, la conduction d'un des deux semi-conducteurs d'un même bras entraîne le blocage de l'autre (complémentaire) [Ama06]

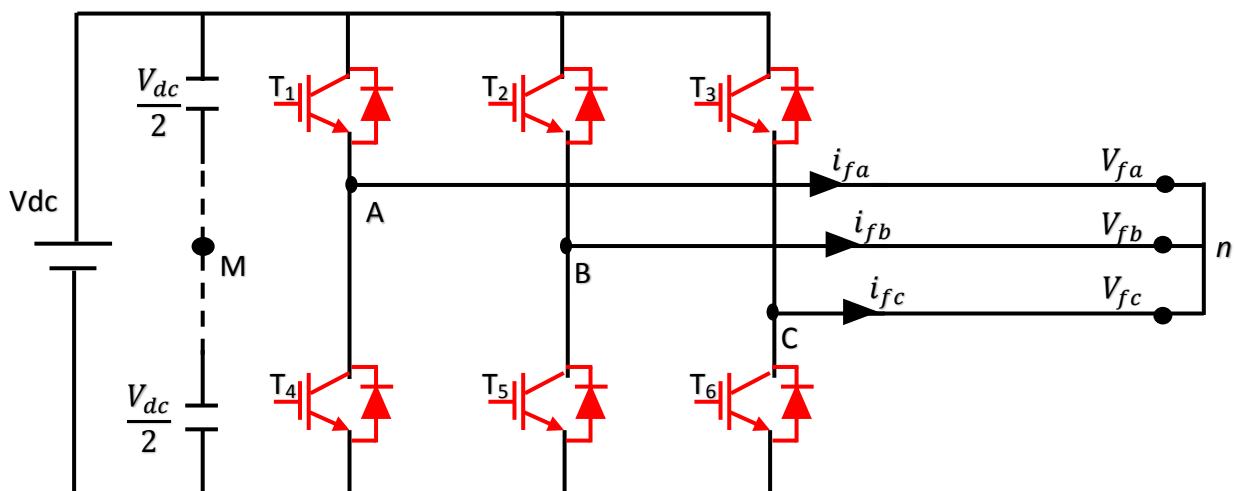


Figure II.4 : Schéma de l'onduleur triphasé

L'ouverture et la fermeture des semi-conducteurs (T1__T6) dépendent de l'état des signaux de commande des trois (Sa, Sb, Sc), comme défini ci-dessous [Ama06]

$$\begin{aligned}
S_a &= \begin{cases} 1 & \text{Si } (T_1: \textit{fermé} \textit{ et } T_4: \textit{ouvert}) \\ 0 & \text{Si } (T_4: \textit{fermé} \textit{ et } T_1: \textit{ouvert}) \end{cases} \\
S_b &= \begin{cases} 1 & \text{Si } (T_2: \textit{fermé} \textit{ et } T_5: \textit{ouvert}) \\ 0 & \text{Si } (T_5: \textit{fermé} \textit{ et } T_2: \textit{ouvert}) \end{cases} \\
S_c &= \begin{cases} 1 & \text{Si } (T_3: \textit{fermé} \textit{ et } T_6: \textit{ouvert}) \\ 0 & \text{Si } (T_6: \textit{fermé} \textit{ et } T_3: \textit{ouvert}) \end{cases}
\end{aligned}$$

Les potentiels des nœuds A, B, et C de l'onduleur par rapport au point milieu fictif (imaginaire) M sont donc données par les équations (II_01) et celles composées par (II_02).

$$\begin{bmatrix} V_{AM} \\ V_{BM} \\ V_{CM} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{2} \begin{bmatrix} 2S_a - 1 \\ 2S_b - 1 \\ 2S_c - 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II}_01)$$

Les tensions composées de l'onduleur s'expriment en fonction des états des interrupteurs comme suit

$$\begin{bmatrix} V_{AB} \\ V_{BC} \\ V_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{AM} - V_{BM} \\ V_{BM} - V_{CM} \\ V_{CM} - V_{AM} \end{bmatrix} = V_{dc} \begin{bmatrix} S_a - S_b \\ S_b - S_c \\ S_c - S_a \end{bmatrix} \quad (\text{II}_02)$$

Et, en fonction des tensions simples de l'onduleur :

$$\begin{bmatrix} V_{AB} \\ V_{BC} \\ V_{CA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{An} - V_{Bn} \\ V_{Bn} - V_{Cn} \\ V_{Cn} - V_{An} \end{bmatrix} \quad (\text{II}_03)$$

Ce qui donne :

$$\begin{bmatrix} V_{AB} - V_{CA} \\ V_{BC} - V_{AB} \\ V_{CA} - V_{BC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{An} - (V_{Bn} + V_{Cn}) + V_{An} \\ V_{Bn} - (V_{Cn} + V_{An}) + V_{Bn} \\ V_{Cn} - (V_{An} + V_{Bn}) + V_{Cn} \end{bmatrix} \quad (\text{II}_04)$$

Dans un système de trois tensions équilibrées, la somme des tensions est nulle, alors :

$$V_{An} + V_{Bn} + V_{Cn} = 0 \quad (\text{II}_05)$$

A partir de la relation (II_05), on peut écrire :

$$\begin{bmatrix} V_{An} \\ V_{Bn} \\ V_{Cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(V_{Bn} + V_{Cn}) \\ -(V_{Cn} + V_{An}) \\ -(V_{An} + V_{Bn}) \end{bmatrix} \quad (\text{II}_{06})$$

En remplaçant le système (II_06) dans (II_04), on peut trouver les tensions simples de l'onduleur en fonction de celles composées :

$$\begin{bmatrix} V_{An} \\ V_{Bn} \\ V_{Cn} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_{AB} - V_{CA} \\ V_{BC} - V_{AB} \\ V_{CA} - V_{BC} \end{bmatrix} \quad (\text{II}_{07})$$

A partir des systèmes (II_02) et (II_07), les tensions simples de l'onduleur peuvent s'écrire en fonction des états S_a , S_b et S_c et de la tension V_{dc} comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_{An} \\ V_{Bn} \\ V_{Cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \begin{bmatrix} 2S_a - S_b - S_c \\ -S_a + 2S_b - S_c \\ -S_a - S_b + 2S_c \end{bmatrix} \quad (\text{II}_{08})$$

Puisque les variables S_a , S_b et S_c prennent chacune deux valeurs, il en résulte huit combinaisons de commande, qui sont présentées dans le Tableau (II_01)

Cas	S_a	S_b	S_c	V_{fa}	V_{fb}	V_{fc}
0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	$2\left(\frac{V_{dc}}{3}\right)$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$
2	0	1	0	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$2\left(\frac{V_{dc}}{3}\right)$	$-\frac{V_{dc}}{3}$
3	1	1	0	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-2\left(\frac{V_{dc}}{3}\right)$
4	0	0	1	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$2\left(\frac{V_{dc}}{3}\right)$
5	1	0	1	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-2\left(\frac{V_{dc}}{3}\right)$	$\frac{V_{dc}}{3}$
6	0	1	1	$-2\left(\frac{V_{dc}}{3}\right)$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$
7	1	1	1	0	0	0

Tableau (II.1) : Tensions possibles à la sortie de l'onduleur

II.3.1.2 Représentation vectorielle des tensions générées

Le fonctionnement de l'onduleur de tension, en particulier en ce qui concerne les tensions de phases, il est commode de représenter les tensions fournies par l'onduleur dans un repère (α, β)

Les tensions du réseau, les courants et les tensions du filtre sont donnés par

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (\text{II}_{-09})$$

$$\begin{bmatrix} V_{f\alpha} \\ V_{f\beta} \end{bmatrix} = V_{dc} \begin{bmatrix} S_\alpha \\ S_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{II}_{-10})$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (\text{II}_{-11})$$

La **Figure II.5** présente les tensions générées par l'onduleur sous forme d'un vecteur, il y a huit positions possibles. Six se trouvent aux sommets d'un hexagone (V_1 à V_6) de module $\frac{2}{3}V_{dc}$ et deux positions à l'origine, de module nul (V_0 et V_7)

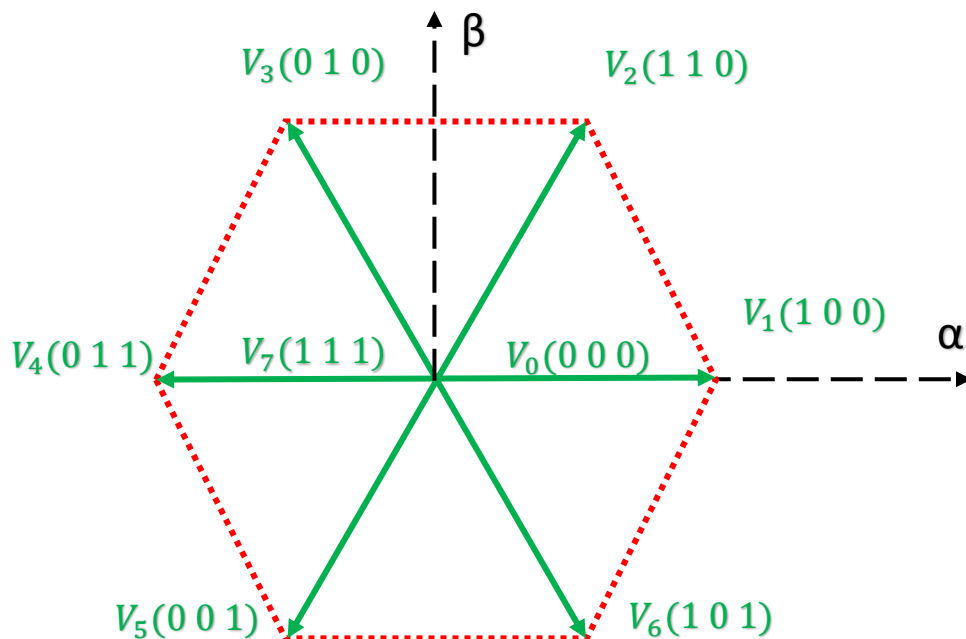


Figure II.5 : Représentation vectorielle des tensions générées par l'onduleur

II.3.2 Système de stockage d'énergie

Les batteries de condensateurs sont utilisées comme des éléments de stockage dans les installations petites et moyennes puissances, or que les bobines supraconductrices sont utilisées

pour les grandes puissances. Cependant les valeurs de la tension V_{dc} et de la capacité du condensateur C_{dc} influent sur la dynamique et la qualité de compensation du FAP. En effet, une tension V_{dc} élevée améliore la dynamique du filtre actif, et le choix de C_{dc} limite les ondulations de V_{dc} dues aux courants engendrés par le filtre actif. Les ondulations sont importantes si l'amplitude du courant du filtre est grande et que sa fréquence est faible. Donc si on prend en compte, seulement les premiers harmoniques pour le choix des paramètres du système de stockage, l'une des méthodes suivantes peut être utilisée [Kam15] :

✓ 1^{ere} Méthode :

Le calcul de l'énergie fournie par le filtre actif pendant une demi-période de la pulsation de puissance liée aux deux premiers harmoniques (5 et 7 pour un pont redresseur de Graëtz), est la base de la première méthode. On choisit un taux d'ondulation ΔV_{dc} acceptable, généralement de l'ordre de 5% de V_{dc} . On peut calculer C_{dc} à partir de la relation suivante [Mou16] :

$$C_{dc} = \frac{V_s \sqrt{I_5^2 + I_7^2 - 2I_5 I_7 \cos(5\alpha - 7\alpha)}}{2\Delta V_{dc} V_{dc}^2 \omega} \quad (\text{II}_{-12})$$

Avec :

V_s : Tension simple du réseau

α : Angle d'allumage des thyristors du pont de Graëtz, zéro dans le cas d'un redresseur à diodes

✓ 2^{eme} Méthode :

Elle est basée sur la mesure du courant harmonique I_h du rang le plus faible. La capacité C_{dc} se calcule avec l'expression suivante

$$C_{dc} = \frac{I_h}{\omega_h V_{dc} \Delta V_{dc}} \quad (\text{II}_{-13})$$

Avec :

I_h : Courant harmonique du rang h

ω_h : La pulsation la plus faible des harmoniques à compenser

II.4 Etude de la partie contrôle-commande

II.4.1 Commande de l'onduleur

Le but de la commande de l'onduleur est de permettre la meilleure reproduction des courants perturbés de référence, à travers les ordres de commande appliqués aux divers interrupteurs de puissance [Ala02].

La commande la plus utilisée est basée sur le convertisseur statique, c'est :

- ✓ La commande par hystérésis

II.4.1.1 Commande par hystérésis

La commande conventionnelle par hystérésis est très couramment utilisée de par sa simplicité d'utilisation et sa robustesse, Le principe de contrôle des courants par hystérésis consiste à maintenir chacun des courants générés dans une bande enveloppant les courants de référence. Si le courant généré dépasse la bande, l'ordre de commutation change, de manière à garder ce courant à l'intérieur de la bande [Mou16]

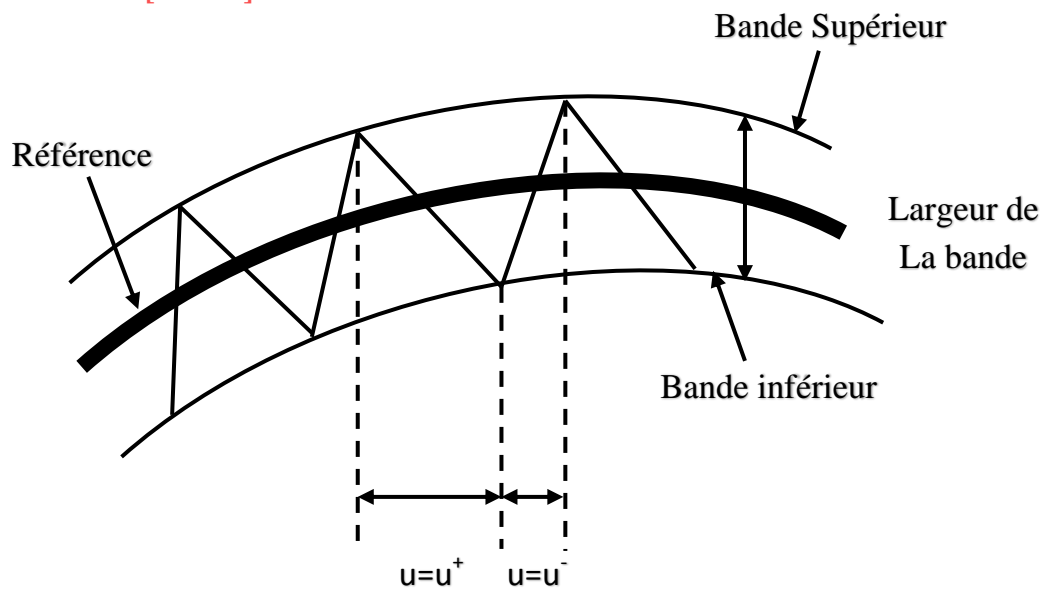
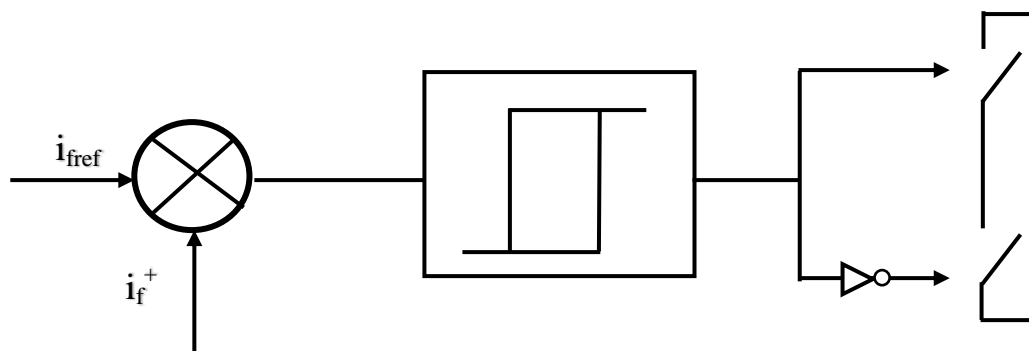


Figure II.6 principe du contrôle par hystérésis



Fig_ II.7 principe de commande par hystérésis

II.4.2 Régulation de la tension V_{dc}

La tension continue V_{dc} aux bornes du condensateur de stockage, doit être maintenue constante. La cause de variation de cette tension est l'échange de puissance active avec le réseau. Les fluctuations de cette tension doivent être faibles d'une part pour ne pas dépasser la limite en tension des semi-conducteurs constituant les interrupteurs et d'autre part pour ne pas dégrader les performances du filtre actif. Afin d'assurer le rôle de source de tension continue, une régulation de cette tension est nécessaire. Pour assurer la régulation de la tension continue, on peut utiliser un régulateur PI. Si on néglige les pertes au niveau de l'onduleur et dans le filtre de sortie [Gha16].

$$P_{dc} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C_{dc} V_{dc}^2 \right) \quad (\text{II}_{-14})$$

Appliquons la transformation de *Laplace* sur cette relation, nous obtenons

$$P_{dc}(s) = \frac{1}{2} S. C_{dc} V_{dc}^2(s) \quad (\text{II}_{-15})$$

La tension aux bornes du condensateur est donnée par :

$$V_{dc}^2(s) = \frac{2P_{dc}(s)}{S.C_{dc}} \quad (\text{II}_{-16})$$

A partir de la relation (II_16), et en tenant compte du régulateur (PI), la boucle de régulation de tension continue peut être représentée par la figure (II.8). Le choix des paramètres K_{idc} et K_{pdc} aura pour objectif d'obtenir un temps de réponse minimal afin de ne pas nuire la dynamique du filtre actif [Gha16].

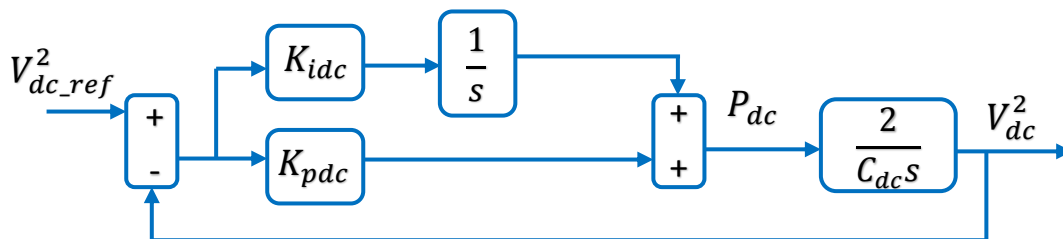


Figure II.8 Boucle de régulation de la tension continue

Avec :

K_{pdc} : Gain proportionnel du régulateur

K_{idc} : Gain intégral du régulateur

$$K_{idc} = \frac{1}{2} \omega_s^2 C_{dc} \quad (\text{II}_{-17})$$

$$\omega_s = 2\pi f_c \quad (\text{II}_{-18})$$

$$K_{pdc} = \xi \sqrt{2C_{dc}K_{idc}} \quad (\text{II}_{19})$$

II.5. Principe de filtrage 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 la charge non linéaire. [Zid15]

En pratique, on ne peut pas obtenir un courant de ligne purement sinusoïdal comme dans le cas idéal mais le but est d'avoir un courant qui sera le plus proche possible de la sinusoïde. [Sam07]

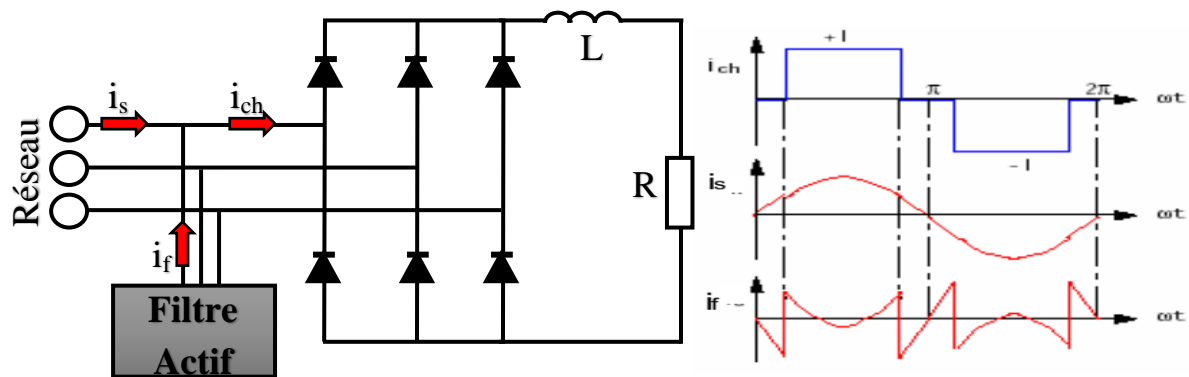


Figure II.9 : Formes d'ondes des courants

La charge constituée d'un pont de diodes débitant sur un circuit RL, Alors que le courant absorbé par la charge polluante est non sinusoïdal, le filtre actif injecte un courant de telle manière que le courant absorbé par le réseau doit être sinusoïdal [Omr07]

II.6 Commande du filtre actif parallèle

A l'heure actuelle, les chercheurs continuent toujours à améliorer les méthodes de commande des filtres actifs parallèles à fin d'obtenir des meilleurs résultats, tant du point de vue d'une meilleure extraction des perturbations, amélioration du régime dynamique, diminution du THD...etc, que de développement des nouvelles stratégies de commande pour une meilleure adaptation et robustesse de ces dernières, face aux différents types des charges non-linéaires. Il existe principalement deux stratégies de commande pour supprimer les courants harmoniques du réseau dépendant du courant mesuré. Dans notre travail on a étudié la commande directe [Gha11]

II.6.1 Méthode directe

Cette méthode est basée sur la mesure du courant de la charge polluante puis, de l'extraction des composantes harmoniques de ce courant. La figure (II.10) représente le schéma de la stratégie de commande directe. De cette manière, le filtre actif injecte les courants de compensation sans

information sur les courants du réseau. Toutes les erreurs dans le système comme l'incertitude des paramètres, les erreurs de mesure ou de commande apparaîtront dans le réseau sous formes des harmoniques non-filtrés [Gha11]

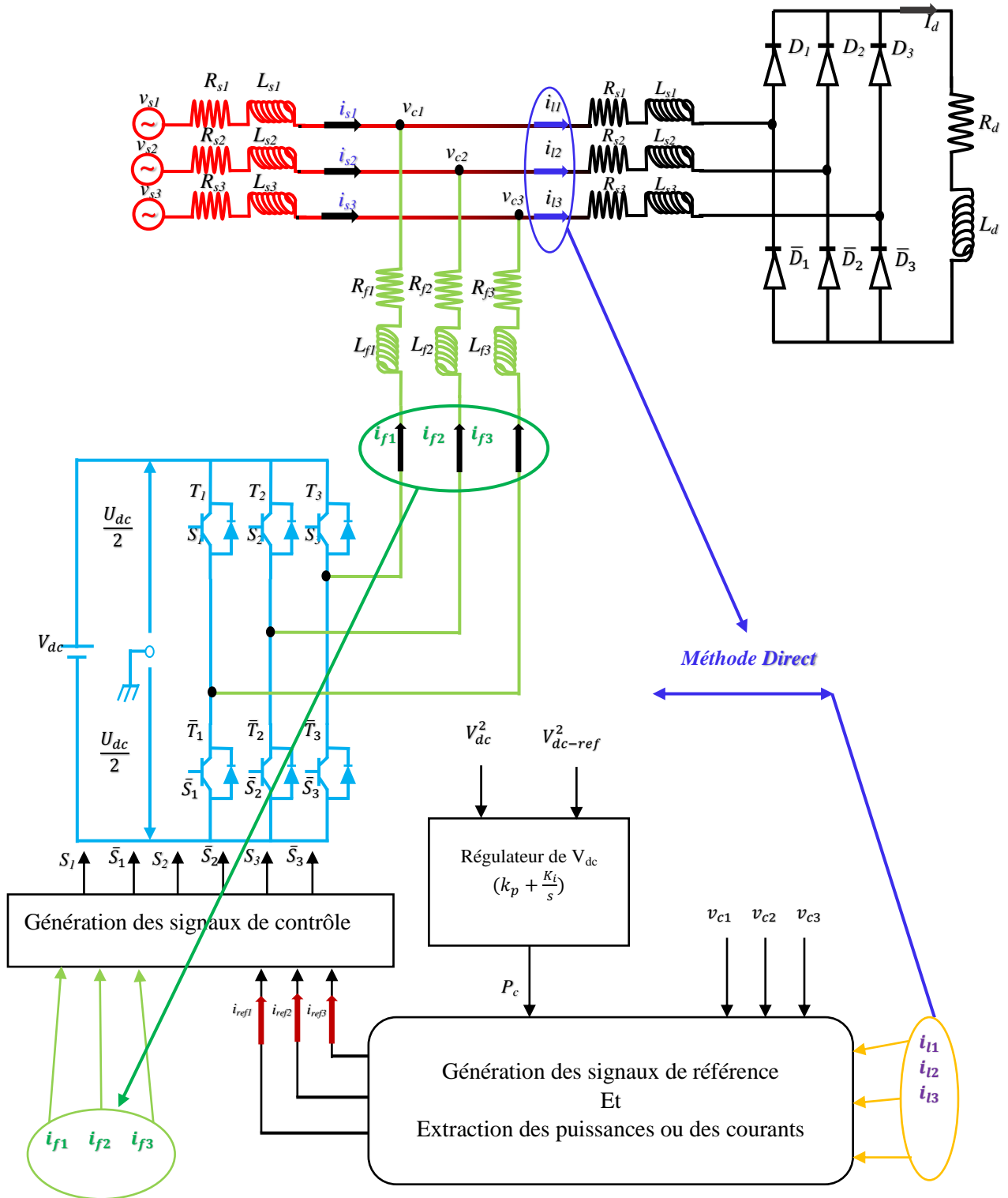


Figure II.10 Commande directe d'un filtre actif parallèle

II.6.2 Méthode indirecte

Cette méthode consiste à mesurer les courants du côté source, et d'imposer la forme sinusoïdale sur ces courants. La figure (II.11) montre le schéma de la commande indirecte du filtre actif [Gha11]

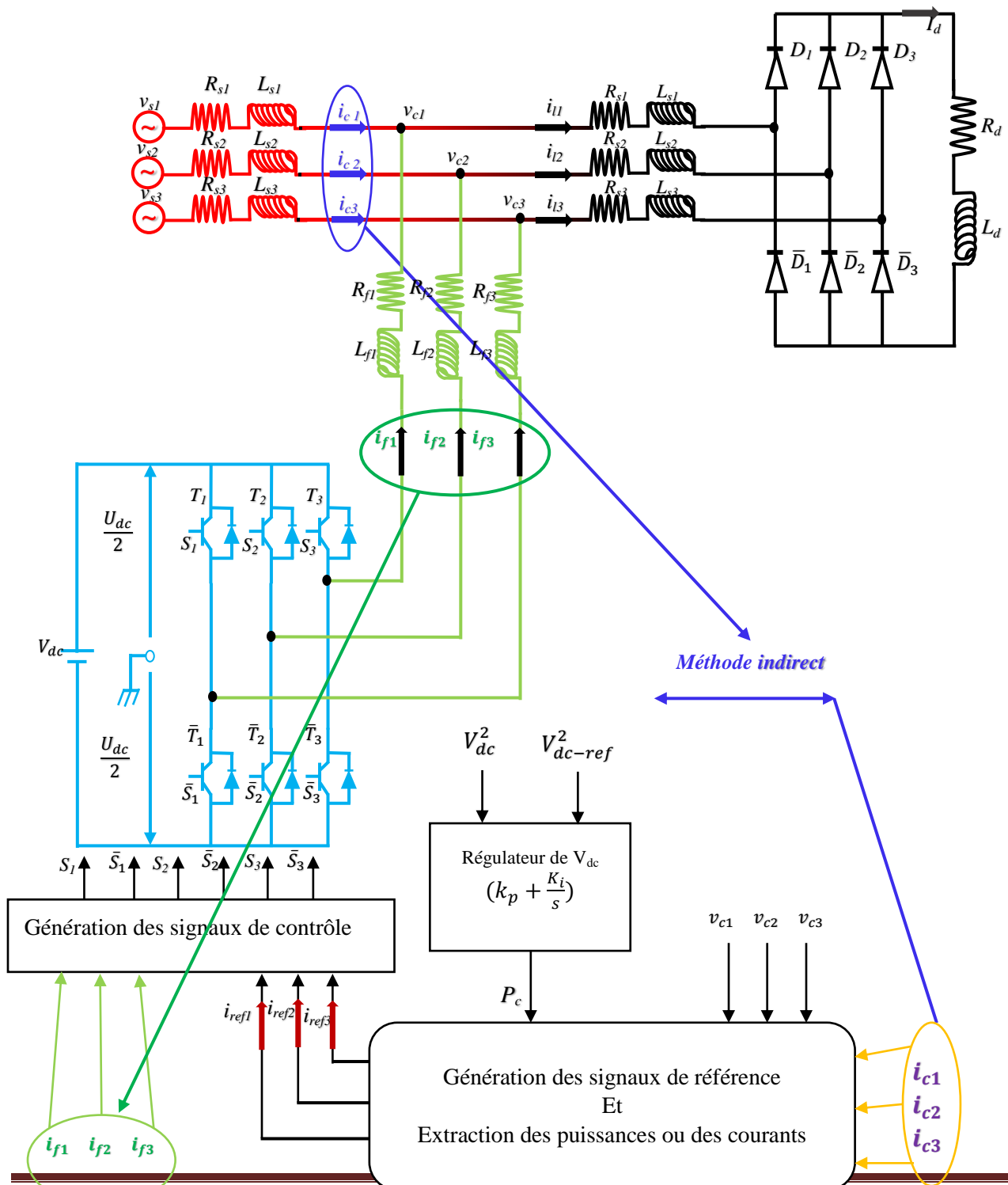


Figure II.11 Commande indirecte d'un filtre actif parallèle

II.7. Conclusion

Nous avons présenté et défini dans ce chapitre, la plupart des éléments constituant la structure du filtre actif parallèle. Cette structure a été partagée en deux parties à savoir la partie puissance et la partie contrôle-commande. Nous avons présenté le principe de la commande, hystérésis, de l'onduleur de tension servant de filtre actif, couramment utilisées dans les applications des filtres actifs. La commande par hystérésis est très simple et très rapide tandis que sa fréquence instantanée des commutations n'est pas contrôlable.

Le filtre actif parallèle doit injecter les courants harmoniques en opposition de phase avec celles envoyées par la charge polluante. La méthode d'identification de ces courants harmoniques fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre III

*Méthodes d'identification
des courants harmoniques*

Plan du Chapitre III

III.1 Introduction

III.2 Techniques d'identification des courants harmoniques de référence

III.2.1 Domaine fréquentiel

III.2.1 Domaine temporel

III.3 Classification des méthodes d'identification des courants Perturbateurs

III.3.1 Méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées Pq (PIRI_Théorie)

III.3.1 .1 Principe de la méthode

III.3.1.2 Séparation des puissances perturbatrices

III.3.1.3 Calcul des courants harmoniques

III.3.1.4 Schéma de l'identification par la méthode de puissances instantanées

III.3.2 Méthode de référentiel synchrone (SRF : synchronous reference frame)

III.3.2.1 Principe de la méthode

III.3.2.2 Séparation de séparation des composantes continues et alternative

III.3.2 .3 Calcul des courants harmoniques

III.3.2 .4 Schéma de l'identification par la méthode SRF

III.4 Conclusion

III.1 Introduction

Le bon choix de la méthode d'identification des grandeurs de référence (courant de référence dans le cas d'un filtre actif parallèle), ainsi que de la technique de commande, est primordial afin que le filtre actif puisse remplir les tâches pour lesquelles il est destiné. [Hin07]

Plusieurs méthodes d'identification des courants perturbés, ont été développées afin d'améliorer les performances des systèmes de dépollution classique des installations électriques. En général l'identification des composantes harmoniques se fait soit dans l'espace des courants, soit dans l'espace des puissances. [Gal17]

La transformation de fourier directe est l'une des méthodes les plus anciennes, mais qui nécessite une grande puissance de calcul, afin de réaliser toutes les transformations en temps réel. Pour cela, cette méthode est adaptée aux récepteurs ou les composantes harmoniques évoluent d'une manière lente, elle a pour avantage la capacité de cibler un par un les courants harmoniques qui parcourent le système, par conséquent la possibilité de compenser les composantes les plus prépondérantes [Gal17]

Parmi les identifications utilisées, on distingue principalement :

- Identification à partir de la détection des courants de la charge polluante.
- Identification à partir de la détection du courant de la source.
- Identification à partir de la détection de la tension de la source

La première méthode est la plus utilisée dans le domaine de la compensation des courants perturbateurs causés par les charges polluantes. [Mou16]

Nous parlerons dans ce chapitre des Deux méthodes utilisées, la première méthode est celle des puissances instantanées, l'autre est celle de référence synchronisé. Les deux méthodes sont fondées sur le principe de séparer la fondamentale des harmoniques par filtrage

III.2 Techniques d'identification des courants harmoniques de référence

Plusieurs algorithmes d'identification des grandeurs harmoniques de référence et de nombreuses techniques de commande et de régulation ont été développés depuis la mise en place des 1^{ers} filtres actifs. Selon leur champ de calcul, les algorithmes d'identification des grandeurs harmoniques sont classés dans deux domaines. [Hin07]

- ✓ Domaine fréquentiel
- ✓ Domaine temporel

III.2.1 Domaine fréquentiel

Les méthodes appartenant à ce domaine sont basés sur l'analyse de Fourier (transformée discrète, rapide,... etc.) pour identifier les harmonique de courant .ces méthodes sont bien adaptées aux charge, où le contenu harmonique varie lentement, par ailleurs, elles ont l'avantage d'identifier les harmonique individuellement, elles permettent donc une compensation sélective. Parmi les algorithmes appartenant à cette classe, on peut citer brièvement trois techniques [AII13]

- ✓ Algorithmes de Fourier & de la FFT (Fast Fourier Transform)
- ✓ Technique de la multiplication sinusoïdale
- ✓ Technique des séries de Fourier modifiées

Les inconvénients les plus importants de ces méthodes sont les résultats moyens en régime transitoire, un volume de calcul et une allocation de mémoire très considérables

III.2.1 Domaine temporel

Les algorithmes de compensation dans le domaine temporel sont basés sur la détermination instantanée des grandeurs de compensation des courants/tensions harmoniques. Généralement, les courants de référence sont requis non seulement pour la compensation des courants harmoniques mais également pour remplacer les déficits de la puissance réactive et les fluctuations du bus continu du filtre actif. Fondamentalement, les différents schémas proposés essayent d'inclure la composante réactive afin d'éliminer les courants harmoniques et de corriger le facteur de puissance. Beaucoup d'algorithmes entrent dans cette catégorie [Hin07], Parmi celles-ci, on présente les deux (2) méthodes suivantes

- Méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées ;
- Méthode de référence synchronisée ;

III.3 Classification des méthodes d'identification des courants Perturbateurs

III.3.1 Méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées PQ (PIRI_Théorie)

III.3.1.1 Principe de la méthode

L'identification des courants harmoniques, par cette méthode, est réalisée sur les puissances réelle et imaginaire instantanées (PIRI) par transformation des grandeurs électriques (tension,

courant) dans un repère fixe par la transformée de Concordia. Les courants harmoniques donc, sont donnés dans un repère fixe (α, β) [Rao14]

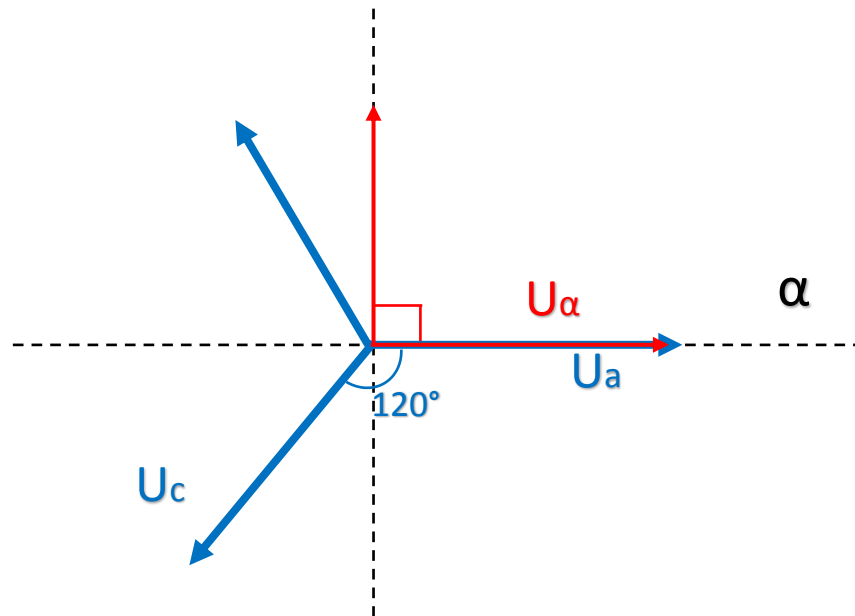


Figure III.1 Diagramme de transformation du référentiel $a-b-c$ au référentiel $\alpha-\beta$.

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = [C_{32}] \cdot \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = [C_{32}] \cdot \begin{bmatrix} I_{la} \\ I_{lb} \\ I_{lc} \end{bmatrix} \quad (\text{III_01})$$

Avec C_{32} la matrice de transformation développée par Concordia, selon la représentation de la Fig_ III.1. Et dont l'expression est donnée par

$$[C_{32}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{III_02})$$

La PIRI est basée sur le calcul des puissances réelle et imaginaire instantanées où toutes deux sont constituées d'une composante constante créée par les fondamentaux des courants et une composante ondulée créée par les courants harmoniques. Donc, la séparation des deux composantes permet de générer les courants fondamentaux et les courants harmoniques [Mou16]

Notons par (V_α, V_β) et (I_α, I_β) les composantes orthogonales du repère (α, β) associées respectivement aux tensions de raccordement du **filtre actif parallèle** (V_S) et aux courants absorbés par les charges polluantes (I_C). La transformation $(\alpha, \beta, 0)$ triphasée permet d'écrire, la relation des tensions suivante [Kam15] :

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{III_03})$$

Et la relation des courants ci-dessous

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{la} \\ i_{lb} \\ i_{lc} \end{bmatrix} \quad (\text{III_04})$$

Où

v_α, v_β et I_α, I_β les composantes orthogonales dans le repère (α, β) respectivement, des tensions du V_s et des courants absorbés par les charges polluantes I_l

Et, les composantes (v_0 et I_0) d'indice (0) représentent les composantes homopolaires du système triphasé

La puissance active instantanée, $P(t)$ est définie par la relation suivante

$$P(t) = v_{s1}I_{l1} + v_{s2}I_{l2} + v_{s3}I_{l3} \quad (\text{III_05})$$

Cette expression peut être écrite dans le repère $(\alpha-\beta)$ par

$$\begin{cases} P(t) = v_\alpha I_\alpha + v_\beta I_\beta \\ P_0(t) = v_0 I_0 \end{cases} \quad (\text{III_06})$$

Avec $P(t)$ la puissance réelle instantanée, $P_0(t)$ la puissance homolaire instantanée. L'avantage de la transformation dans le repère $(\alpha-\beta)$ est la séparation des séquences homopolaires du système triphasé de courant ou de tension. De la même manière, la puissance imaginaire instantanée peut s'écrire sous la forme suivante

$$q(t) = -\frac{1}{\sqrt{3}} [(v_{sa} - v_{sb})I_{lc} + (v_{sb} - v_{sc})I_{la} + (v_{sc} - v_{sa})I_{lb}] \quad (\text{III_07})$$

Alor :

$$q(t) = v_\alpha I_\beta - v_\beta I_\alpha \quad (\text{III_08})$$

La puissance q a une signification plus large que la puissance réactive habituelle. En effet, contrairement à la puissance réactive, qui ne considère que la fréquence fondamentale, la

puissance imaginaire prend en compte toutes les composantes harmoniques de courant et de tension c'est pourquoi on lui donne une autre dénomination (puissance imaginaire) avec comme unité le *Volt-Ampère Imaginaire (VAI)* [Gha16]

A partir des relations (III _06) et (III _08), nous pouvons établir la relation matricielle suivante

$$\begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{III}_09)$$

Les puissances active et réactive instantanées peuvent s'écrire comme la somme d'une composante continue et d'une composante alternative, ce qui nous permet d'écrire l'expression ci-dessous [III _05 et III _06]

$$\begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} & \tilde{p} \\ \bar{q} & \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (\text{III}_10)$$

\bar{P} est la partie continue liée à la composante fondamentale active du courant, \bar{q} est la partie continue liée à la composante fondamentale réactive du courant

\tilde{P} Est la partie alternative liée à la composante perturbation active du courant, \tilde{q} est la partie alternative liée à la composante perturbation réactive du courant

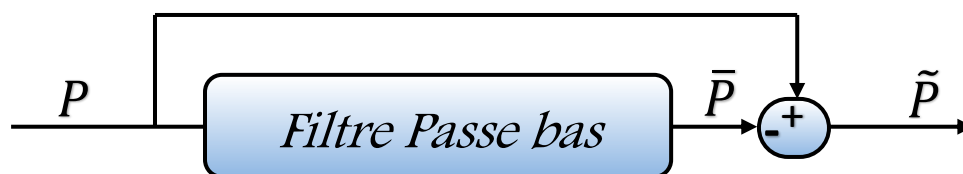
III.3.1.2 Séparation des puissances perturbatrices

Pour séparer la composante fondamentale et les composantes perturbatrices on utilise des filtres.

*- Un filtre passe- haut est un filtre qui laisse passer des composantes perturbatrices (la partie alternative) et qui atténue la composante fondamentale (la partie continue)

*- Un filtre passe- bas est un filtre qui laisse passer la composante fondamentale (la partie continue) et qui atténue des composantes perturbatrices (la partie alternative)

Les deux types de filtre d'extraction sont présentés à la figure suivante



a) Filtre Passe bas



a) Filtre Passe haut

Figure III.2 : Schéma de principe de la méthode séparation des puissances

III.3.1.3 Calcul des courants harmoniques

En inversant la relation (III_09), nous pouvons recalculer les courants dans le repère α - β comme le montre l'équation (III_11)

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (\text{III}_11)$$

En considérant les équations (III_09) et (III_11), nous pouvons séparer le courant dans le repère (α - β) en trois composantes, active, réactive à la fréquence fondamentale et les harmoniques. Ceci conduit à

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}}_{\text{courant Actif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{\text{courant Réactif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{\text{courant Harmonique}} \quad (\text{III}_12)$$

Avec $\Delta = v_\alpha^2 + v_\beta^2$ Supposé constant si on considère comme hypothèse que les tensions du réseau sont sinusoïdales et équilibrées

L'expression (III_12) montre que les l'identification des différentes composantes du courant dans le repère (α - β) revient à séparer des termes continus des puissances réelle et imaginaire instantanées. Les courants harmoniques (courants identifiés) sont les références du filtre et sont calculés à partir de la transformation de Concordia inverse de (C_{23}) définie par [Mou16]

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{III}_13)$$

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = C_{23} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{III}_14)$$

III.3.1.4 Schéma de l'identification par la méthode de puissances instantanées

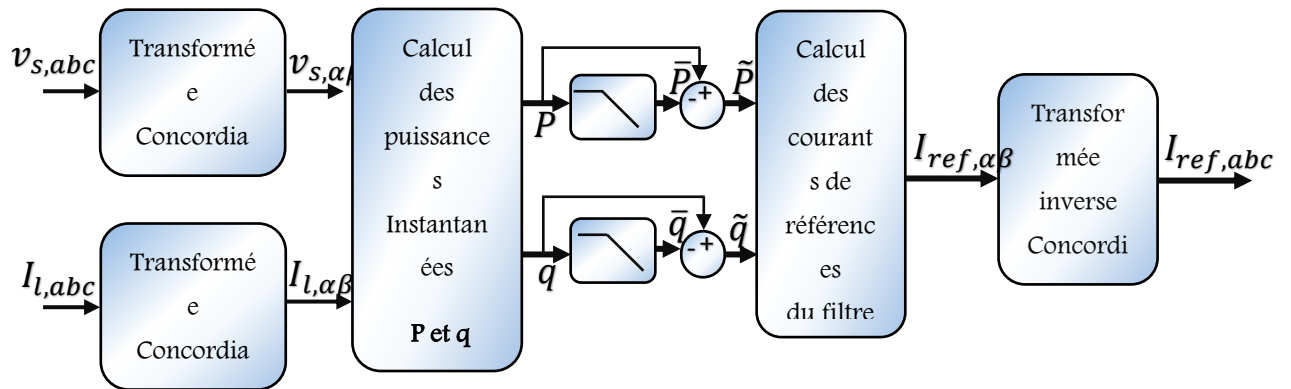


Figure III.3 : Schéma de principe de la méthode des puissances instantanées

III.3.2 Méthode de référentiel synchrone (SRF : synchronous reference frame)

III.3.2.1 Principe de la méthode

La méthode de référentiel synchrone (synchronous reference frame), exploite également la transformation de Concordia mais appliquée uniquement aux courants de ligne (I_{la}, I_{lb}, I_{lc}). Ensuite, une seconde transformation est opérée pour passer des courants de ligne en Park d-q ceci permet de transformer la composante fondamentale du courant en une composante continue et les composantes harmoniques du courant en des composantes alternatives. Cela nous permet d'éliminer à l'aide d'un simple filtre passe bas, la composante continue du courant. Son principe est [Nek14]

Soit la transformation des courants de ligne triphasé équilibrés (I_{la}, I_{lb}, I_{lc}) en système biphasé :

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{la} \\ I_{lb} \\ I_{lc} \end{bmatrix} \quad (\text{III}_{15})$$

En exploitant les signaux $[\cos(\theta)]$ et $[\sin(\theta)]$ tirés de la tension " fondamentale " du réseau, nous obtenons l'expression des courants dans le système d-q tournant à la pulsation de la composante fondamentale de la tension du réseau, nous obtenons l'expression matricielle suivante pour les courants dans le système dq :

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\hat{\theta}) & -\cos(\hat{\theta}) \\ \cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{III}_{16})$$

Avec $(\hat{\theta})$ la position angulaire de la tension fondamentale du réseau, Ces composantes peuvent alors être exprimées comme la somme d'une composante continue et d'une composante alternative

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_d + \tilde{I}_d \\ \bar{I}_q + \tilde{I}_q \end{bmatrix} \quad (\text{III}_{17})$$

\bar{I}_d et \bar{I}_q les composantes continues de I_d et I_q

\tilde{I}_d et \tilde{I}_q les composantes alternatives de I_d et I_q .

III.3.2.2 Séparation de séparation des composantes continues et alternative

La séparation de \bar{I}_d et \bar{I}_q des composantes \tilde{I}_d et \tilde{I}_q se fait par moyen d'un filtre passe-bas et passe-haut



Figure III.4 : Schéma de principe de séparation des composantes continues et alternative

III.3.2.3 Calcul des courants harmoniques

A partir de l'équation (III_16), nous pouvons exprimer les composantes du courant selon le repère $\alpha\beta$ par :

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\hat{\theta}) & -\cos(\hat{\theta}) \\ \cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\hat{\theta}) & \cos(\hat{\theta}) \\ -\cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} \quad \text{(III_18)}$$

Soit encore

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\hat{\theta}) & \cos(\hat{\theta}) \\ -\cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_d \\ \bar{I}_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin(\hat{\theta}) & \cos(\hat{\theta}) \\ -\cos(\hat{\theta}) & \sin(\hat{\theta}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{I}_d \\ \tilde{I}_q \end{bmatrix} \quad \text{(III_19)}$$

Ensuite, la transformation inverse de Concordia permet d'obtenir les courants de référence, selon les axes abc, à l'aide de la relation

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad \text{(III_20)}$$

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = C_{23} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad \text{(III_21)}$$

III.3.2.4 Schéma de l'identification par la méthode SRF

L'algorithme de d'identification des courants harmoniques par la méthode de référentiel synchrone est schématisé par la **FIG_ III.5**

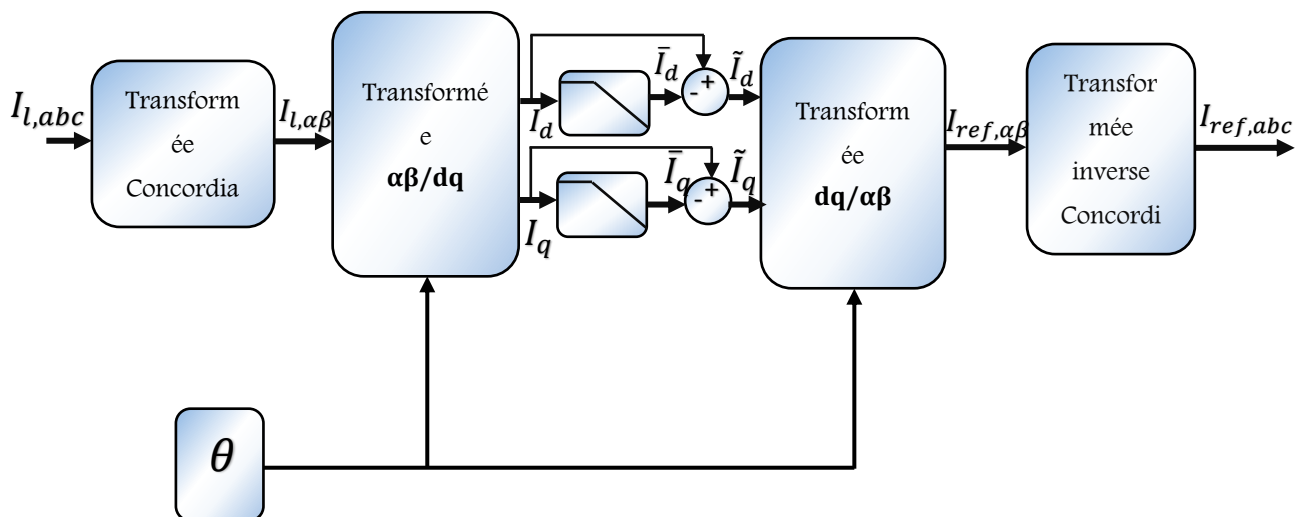


Figure III.5 : Principe d'identification des harmoniques par la méthode SRF

III.4 Conclusion

Une bonne compensation du filtre actif, exige l'efficacité de la méthode d'identification harmonique. Les deux méthodes d'identification considérées pour l'extraction des courants harmoniques à des courants absorbés par la charge non linéaire, ont été étudiées.

Dans le chapitre suivant, Ces méthodes, seront simulées et les résultats obtenus seront analysés.

Chapitre IV

Résultats de simulation

Plan du Chapitre IV

IV.1 : Paramètres de simulation

IV.2 : Charge linéaire

IV.3 : Charge non linéaire

IV.4 : Méthode de la Puissance Instantanée Réelle et Imaginaire (Pq)

IV.4.1 Resultat de Simulation et l'analyse

IV.4.2 Comportement du FAP en régime dynamique (Changer la charge)

IV.5 Méthode de référentiel synchrone (SRF)

IV.5.1 Resultat de Simulation et l'analyse

IV.5.2 Comportement du FAP en régime dynamique

IV.6 : Comparaison des résultats de simulation des deux méthodes

IV.7 : Conclusion

IV -1 : Paramètres de simulation

Pour évaluer et comparer les deux méthodes de commande précédemment étudiées, nous avons procédé à des simulations des courants du réseau dans des conditions idéales ou perturbées. La simulation du système global (réseau électrique, charge non linéaire, FAP) est effectuée sous l'environnement Matlab/Simulink en utilisant également la toolbox « SimPowerSystems ». Lors des simulations, la charge polluante est constituée par un pont redresseur triphasé à diodes et le réseau d'alimentation est un réseau triphasé. Tous ces

<i>Réseau électrique</i>	
Tension	220 V

paramètres de simulation sont récapitulés dans le tableau 4.1.

Fréquence	50 Hz
Résistance et inductance (R_s, L_s)	3m Ω , 2.6 μ F
Charge non linéaire	
Résistance et inductance (R_l, L_l)	10m Ω , 0.3mF
Résistance et inductance (R_d, L_d)	15 Ω , 2mF
Filtre Actif de puissance	
Résistance et inductance (R_f, L_f)	20m Ω , 3mF
Condensateur de stockage C_{dc}	1100 μ F
Tension de référence V_{dc_ref}	622V

Tableau IV.1 : les paramètres du système a simulé

IV -2 : Charge linéaire

Le courant circulant dans cette charge linéaire alimenté par une tension sinusoïdale figure 4.1

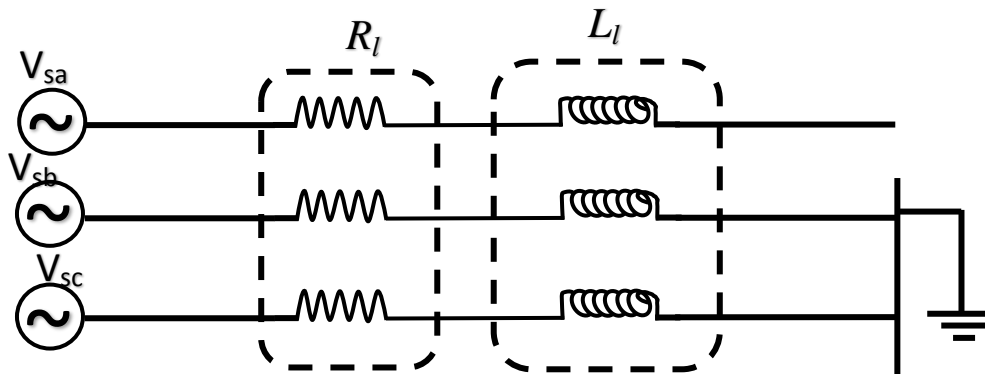


Figure IV.1 : Schéma de la charge linéaire

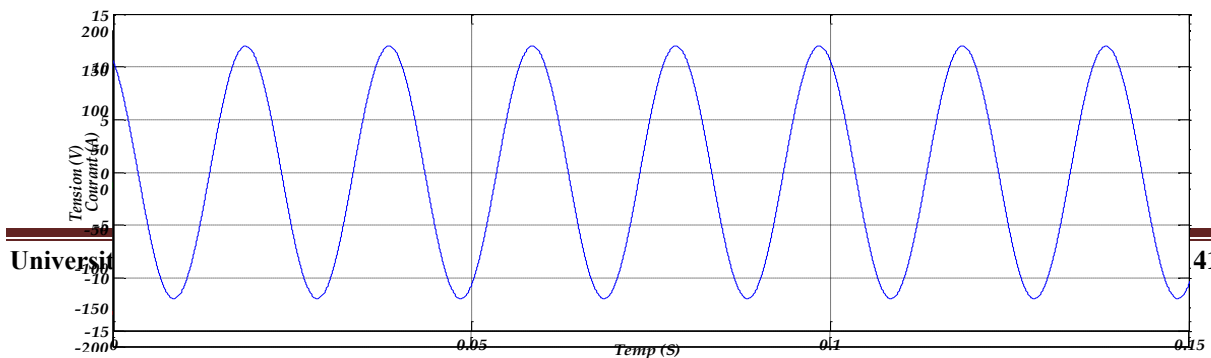


Figure IV.2 : La tension et le courant de la charge linéaire

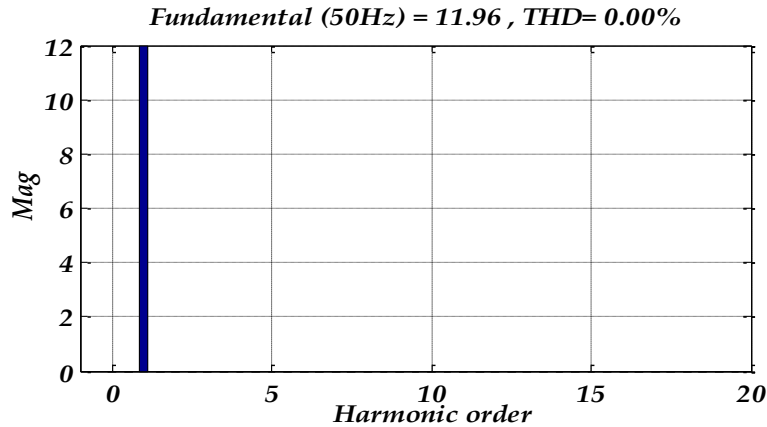


Figure IV.3 : spectre harmonique du courant de la charge linéaire

IV -3 : Charge non linéaire

Considérons que la charge polluante est un redresseur de tension triphasé à diodes connectée au réseau par l'intermédiaire d'une impédance de ligne (R_l, L_l) et alimentant une charge inductive (R_d, L_d). Le schéma de principe est illustré par la figure IV.4

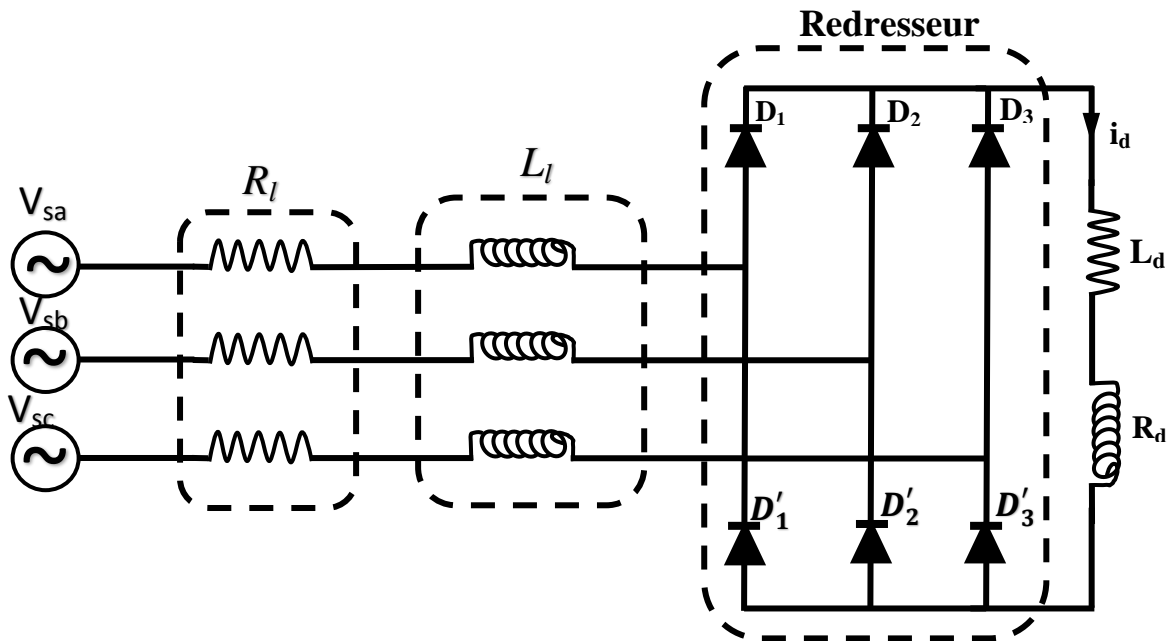


Figure IV.4 : Schéma de la charge polluante

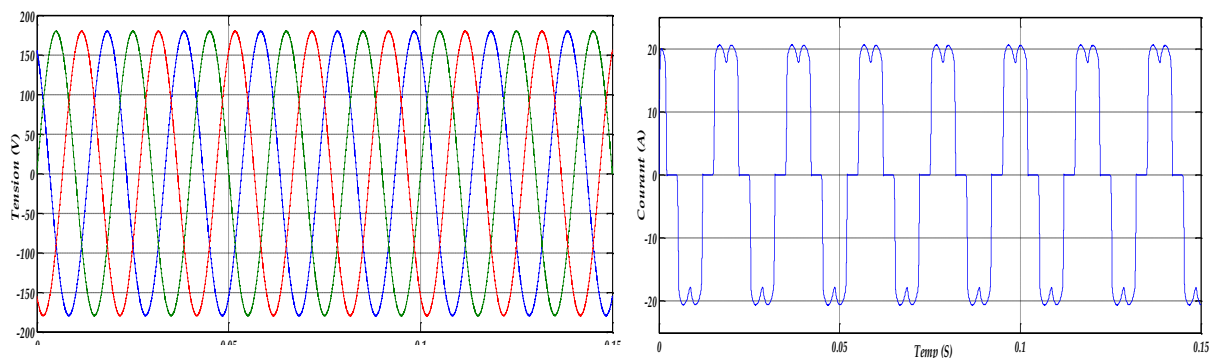
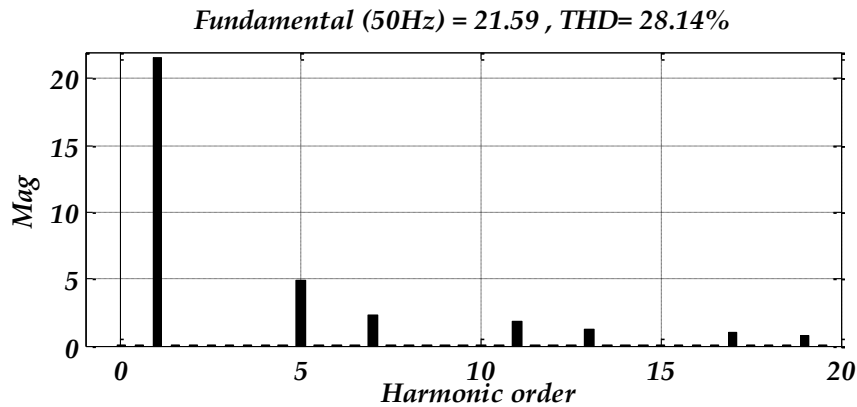
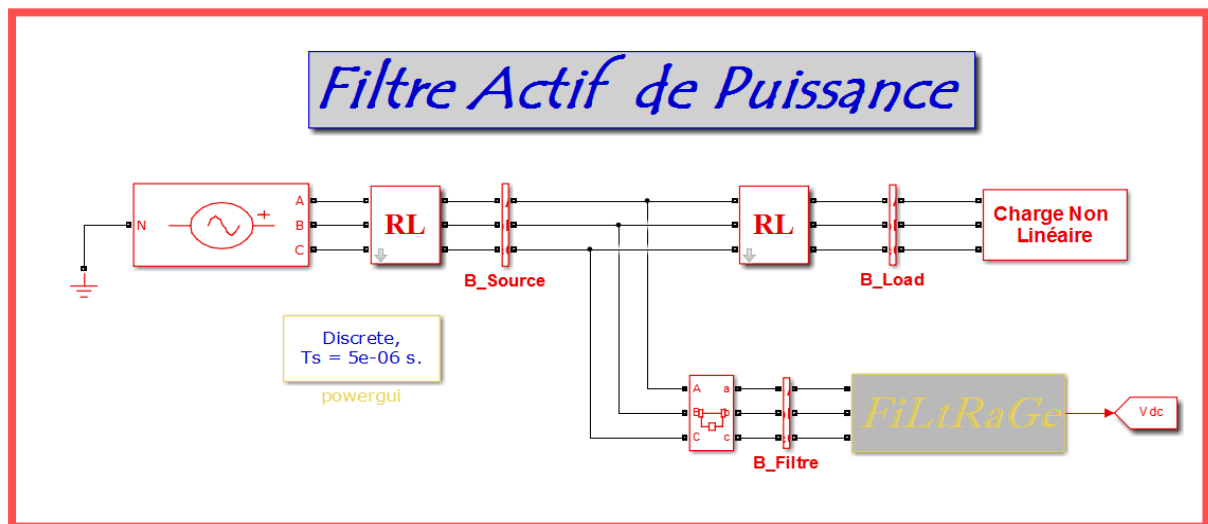


Figure IV.5 : La tension et le courant de la charge non linéaire**Figure IV.6** : spectre harmonique du courant de la charge non linéaire

D'après ces résultats nous notons :

- Charge linéaire, le courant du réseau i_s est sinusoïdal, avec un taux de distorsion de 0.0 %
- Charge non linéaire, le courant du réseau i_s est non sinusoïdal, car il est riche en harmoniques, générés par la charge non linéaire avec un taux de distorsion de 28.14%. Il est identique au courant de charge i_c , bien que la tension V_s qui l'alimente soit sinusoïdale

Pour résoudre ce problème, on a utilisé un filtre actif de puissance commandé par hystérésis pour les deux méthodes PQ et SRF

**Figure IV.7** : Schéma de simulation d'un filter Actif de Puissance

IV -4 : Méthode de la Puissance Instantanée Réelle et Imaginaire (Pq)

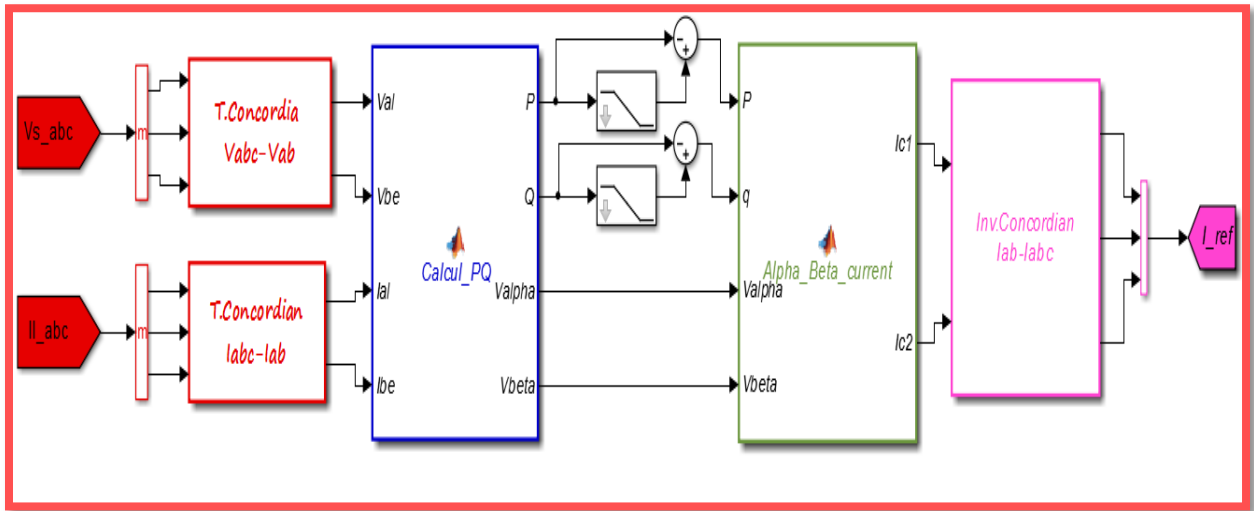


Figure IV.8 : Schéma d' Identification des courants harmoniques (Pq)

la méthode d'identification des courants harmonique, se compose de différents blocs de calcul, à la sortie nous obtenons les coutants harmoniques de référence

IV -4-1 : Resultat de Simulation

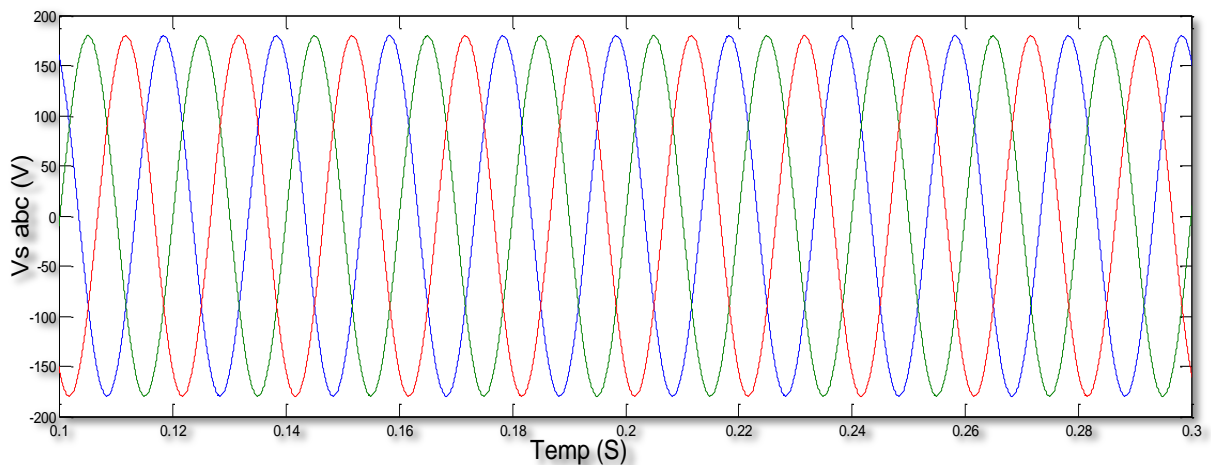


Figure IV.9 : Les tensions de Source

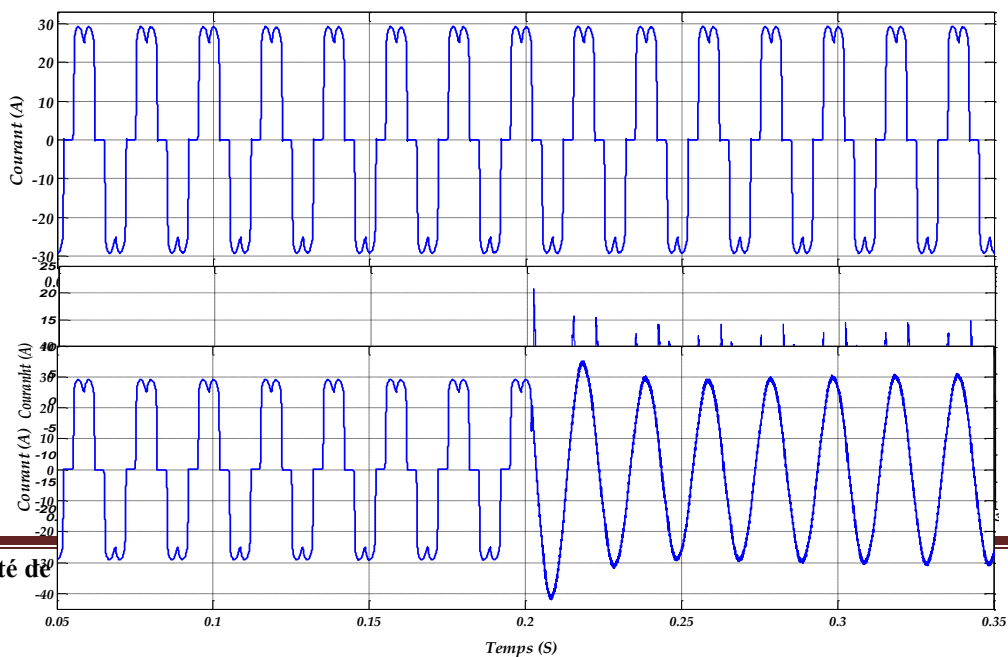


Figure IV.10 Les Courant de charge et source avant et après filtrage et courant de filtre

La Figure IV.10 schématise les différentes formes d'onde avant et après le filtrage. Avant la mise en service du FAP (avant $t=0.2s$) nous remarquons que le courant de charge i_c et de source i_s ont la même forme (une forme distordue) et que le courant du filtre est nul. A l'instant $t=0.2s$, le FAP est mis en service il commence à injecter les courants de compensation i_f . Ce qui permet, après un transitoire, aux courants du réseau de redevenir quasi-sinusoidaux avec un THD qui décroît de 28.14 % à 1.72%.

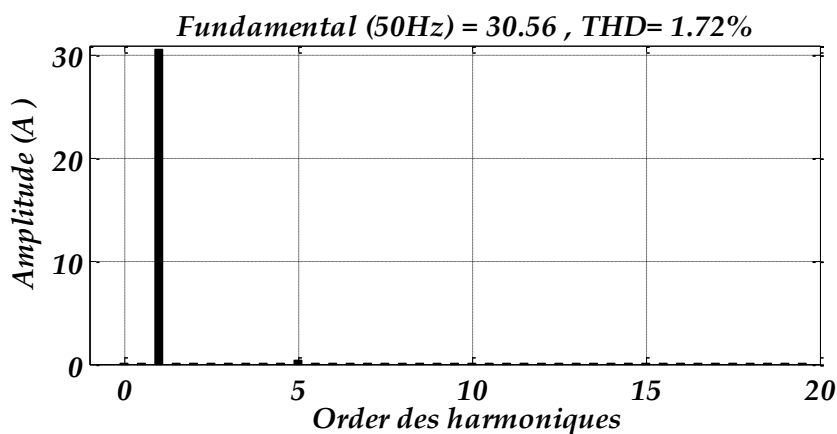


Figure IV.11 Spectre harmonique du courant après FAP

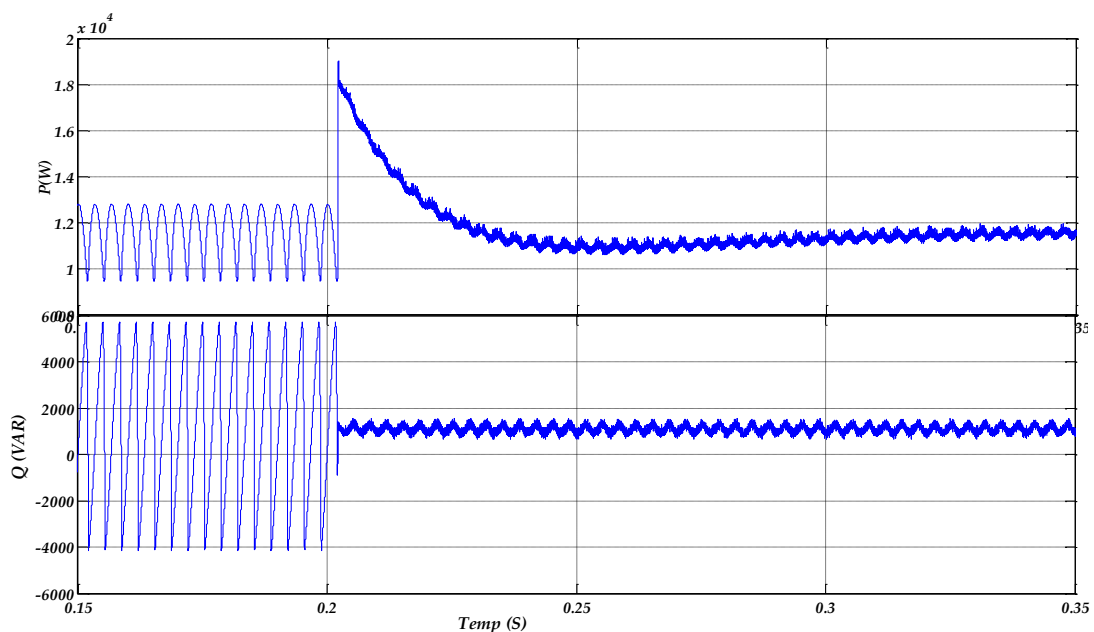


Figure IV.12 puissances instantanées active p et réactive q avant et après FAP

la Figure IV.12 présente les puissances instantanées active $P(W)$ et réactive $Q(Var)$, nous remarquons que dès que le FAP est mis en service à l'instant $t=0.2s$, il compense l'énergie réactive qui a été consommée par la charge non linéaire

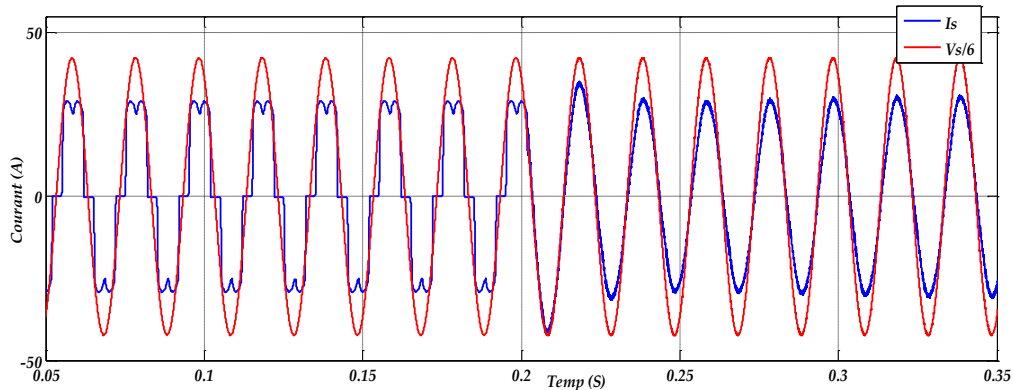


Figure IV.13 Courant et tension de source de la première phase avant et après filtrage

Nous pouvons constater dans la Figure IV.13 que dès la mise en service du FAP à l'instant $t=0.2s$, le courant i_s et la tension v_s du réseau deviennent instantanément en phase

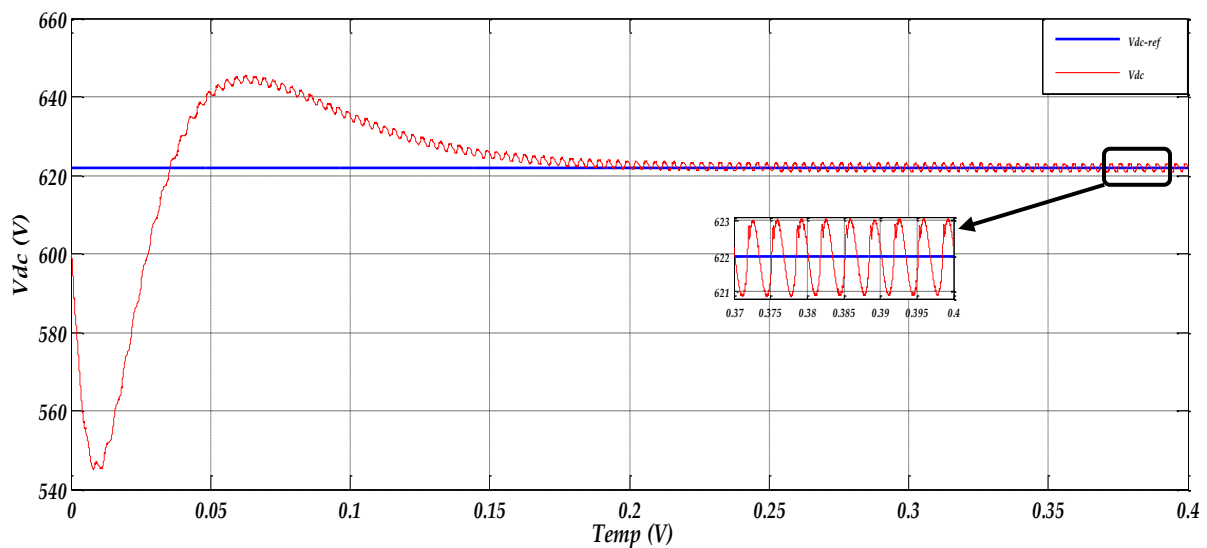


Figure IV.14 Tension aux bornes du condensateur

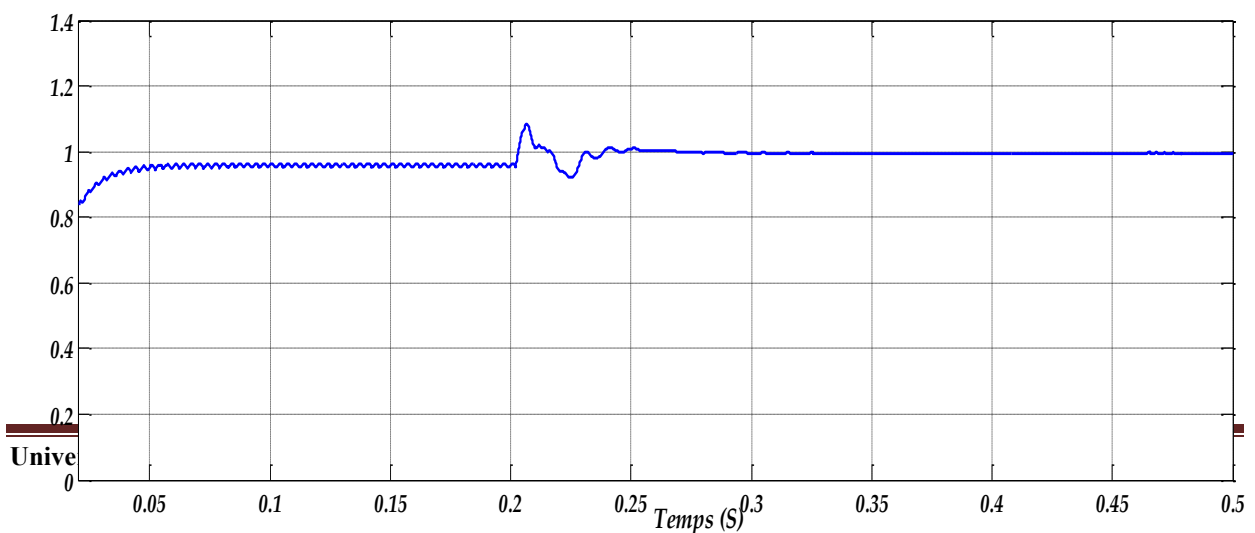


Figure IV.15 Facteur de puissance

Nous constatons dans la Figure IV.15 que dès la mise en service du FAP, à l'instant $t=0.2s$, le facteur de puissance est amélioré, il est élevé à l'unité.

IV -4-2 : Comportement du FAP en régime dynamique (Changement de la charge)

Pour étudier le comportement du FAP en régime dynamique et la robustesse de la commande, nous avons procédé à une variation de la charge non linéaire. Le passage de la charge_1 à charge_2, se fait à l'instant $t=0.4s$. Comme le montre la figure Fig_ IV.16

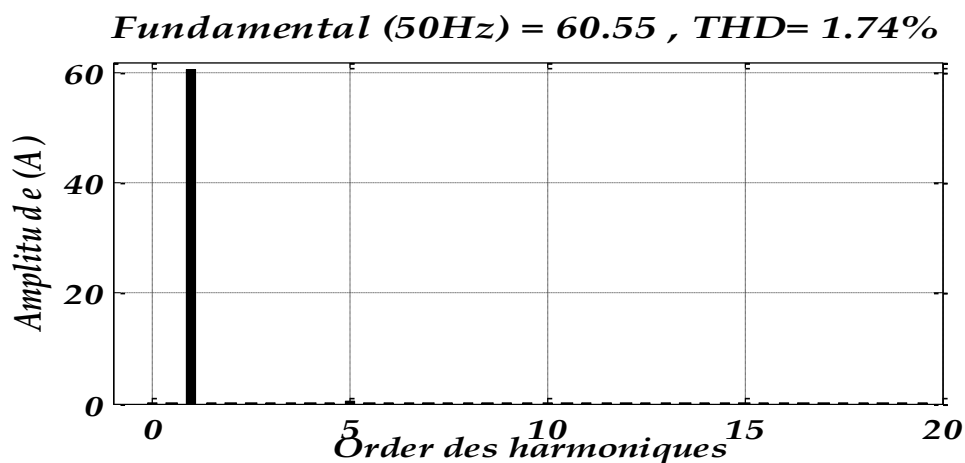
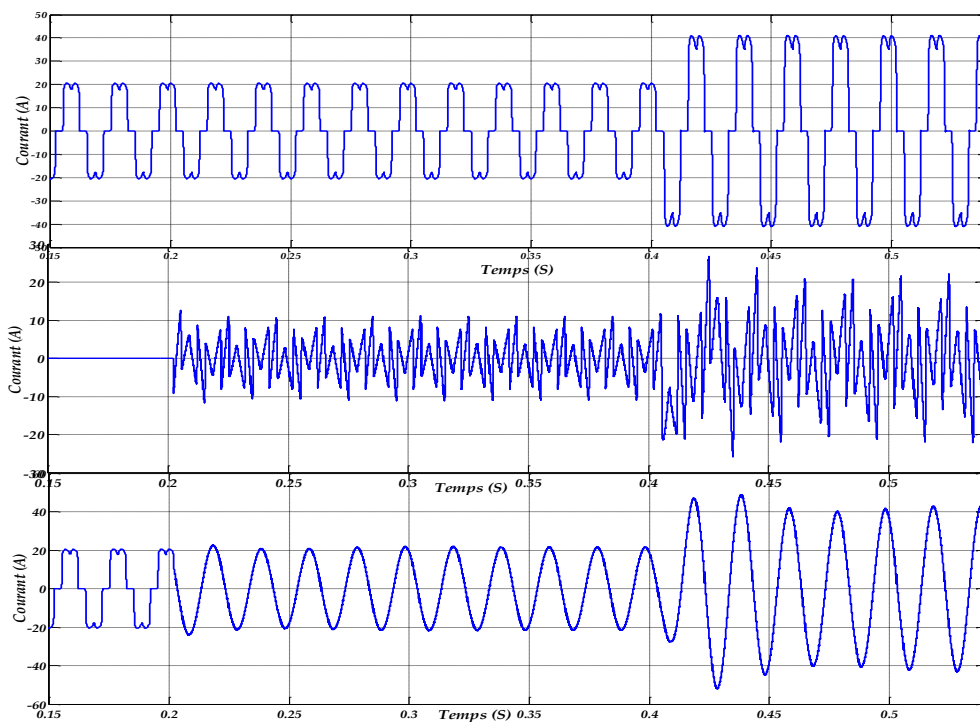


Figure IV.16

Comportement du FAP en régime dynamique

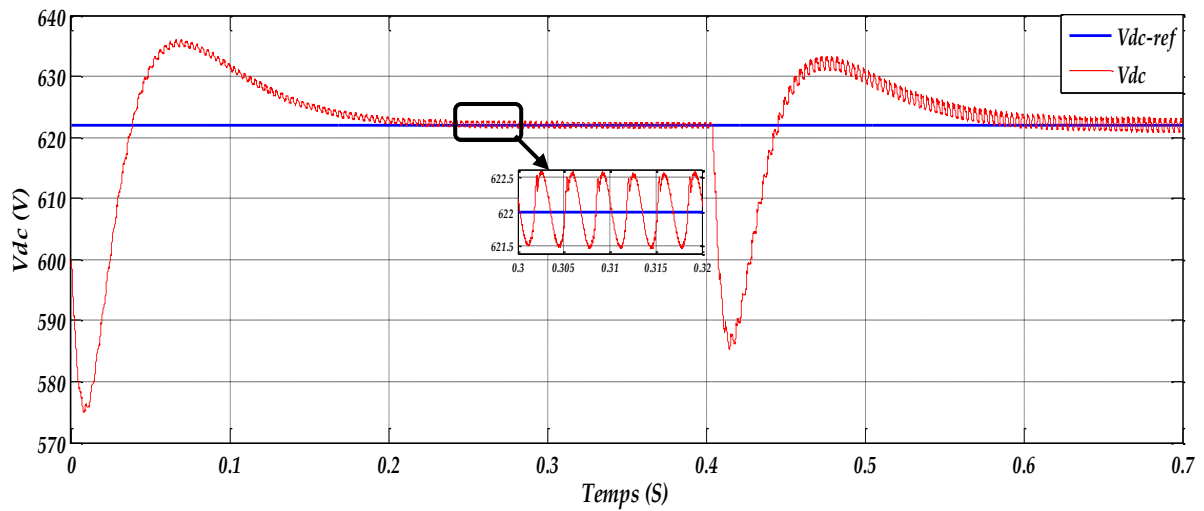
Figure IV.17 Spectre harmonique du courant de la 2^{ème} charge après FAP

Figure IV.18 Tension aux bornes du condensateur en régime dynamique

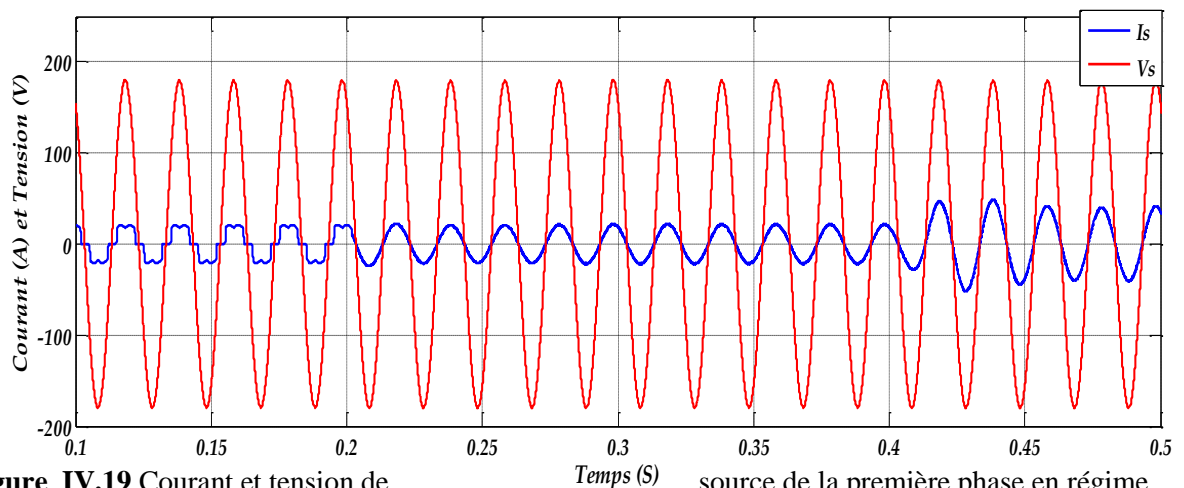


Figure IV.19 Courant et tension de source de la première phase en régime dynamique

Par ailleurs, la Figure IV.19 montre que le courant de source et la tension de source sont toujours en phase, malgré la variation de la charge.

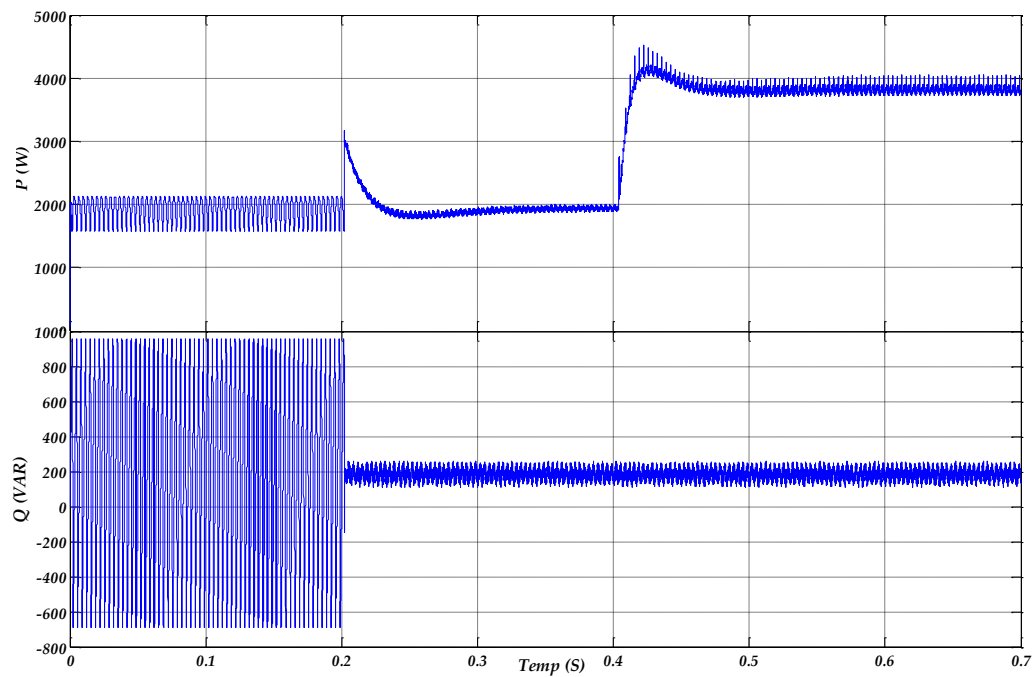


Figure IV.20 Puissances instantanées active p et réactive q en régime dynamique

Lors de variations de la charge (à $t=0.4$ s), une puissance active nécessaire est délivrée par la source. Alors que l'énergie réactive n'a subi aucun changement et demeure proche de sa référence, de valeur nulle, pour assurer une bonne compensation du réactif

IV -5 : Méthode de Référentiel Synchrone (SRF)

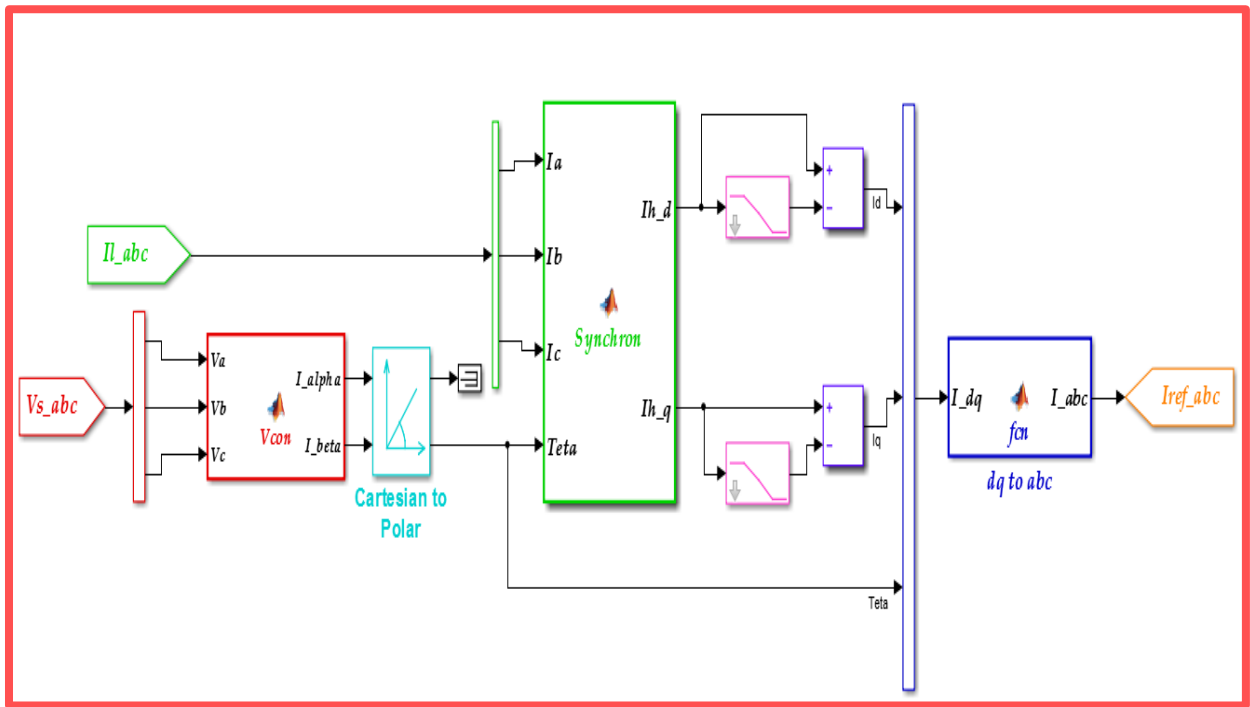


Figure IV.21 Schéma d'Identification des courants harmoniques (SRF)

IV -5-1 : Resultat de Simulation

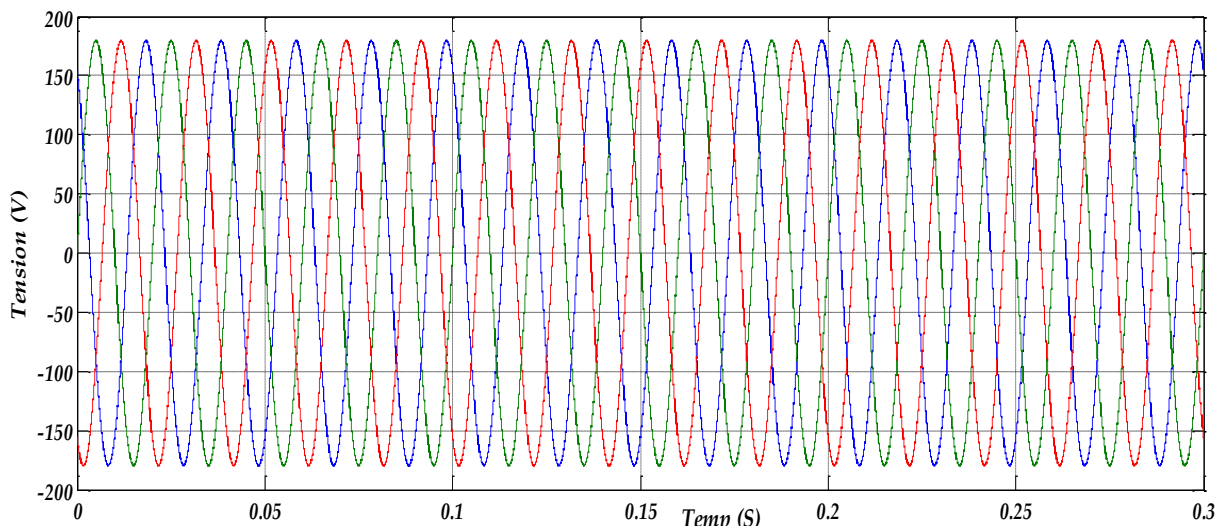
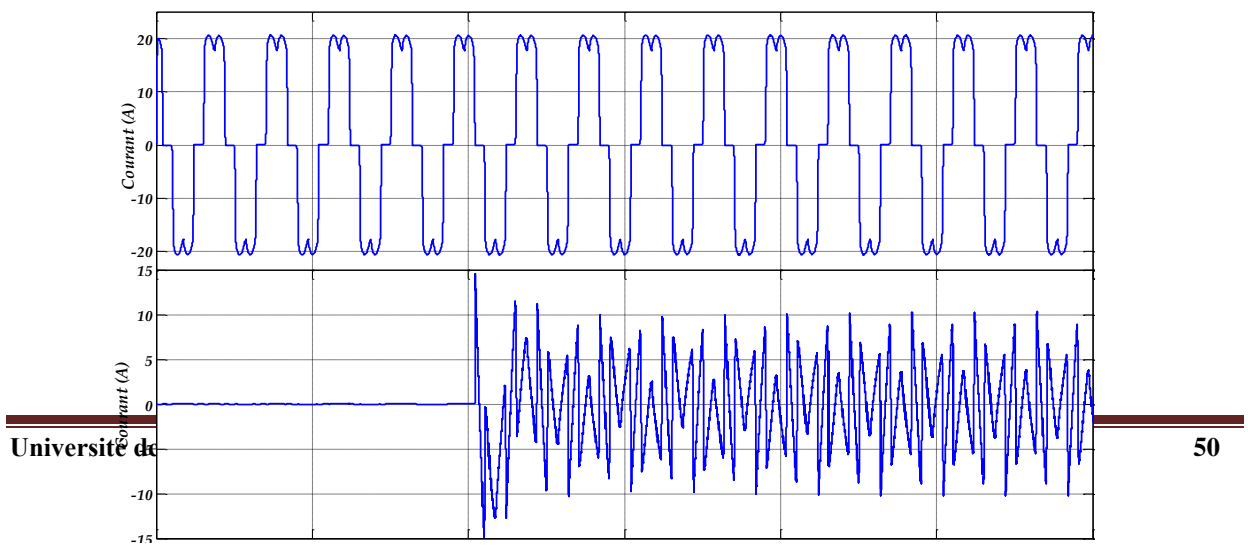


Figure IV.22 Les tensions de Source



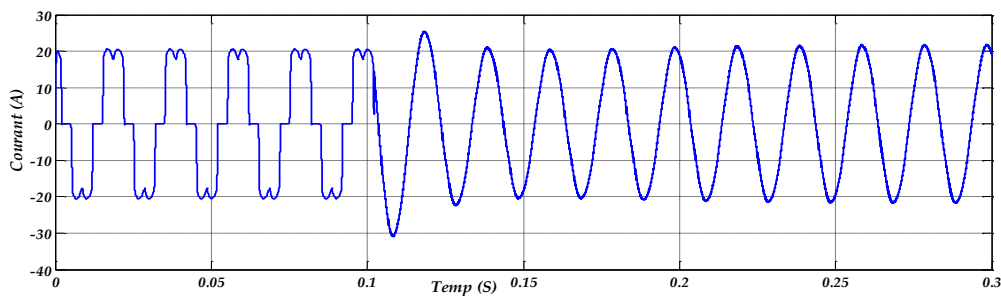


Figure IV.23 Les Courants de charge et de source avant et après filtrage et courant du filtre

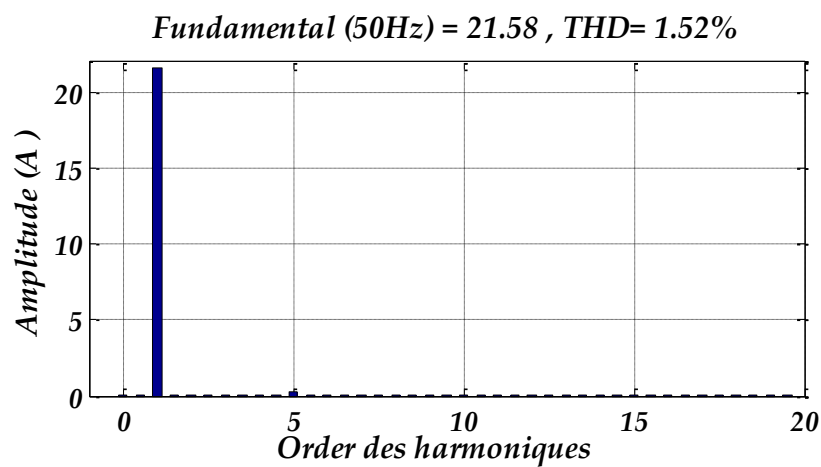
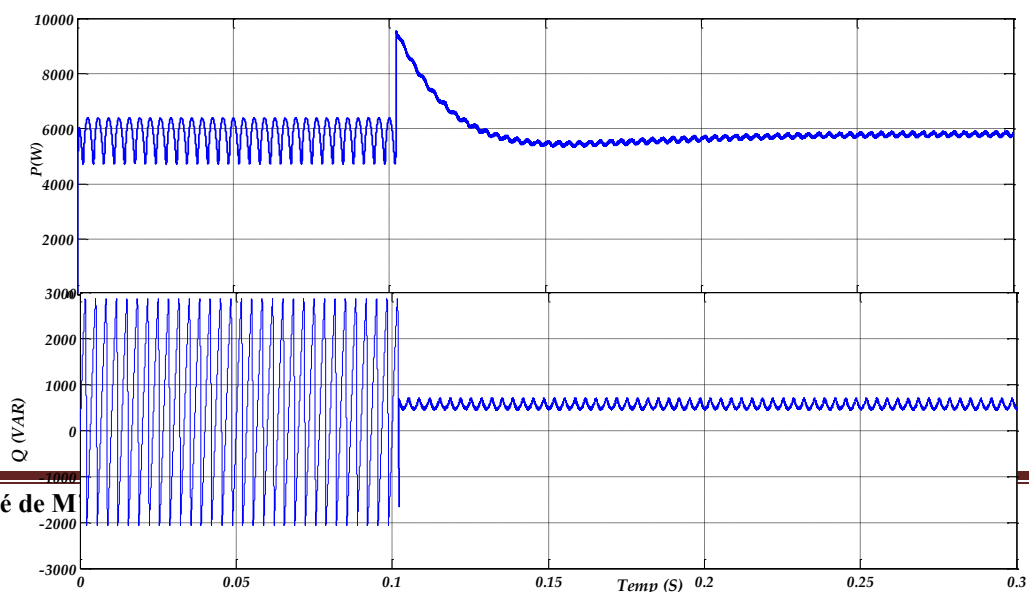
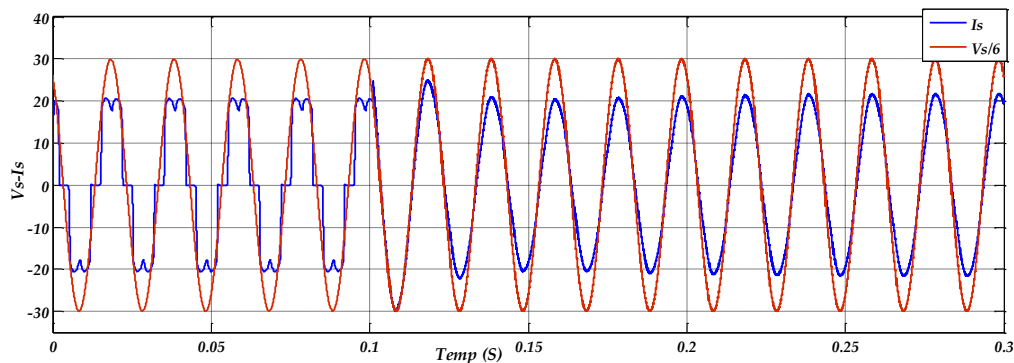


Figure IV.24 Spectre harmonique du courant de source

Après application du filtre actif parallèle, on remarque une nette amélioration dans l'allure du courant de source, comme il est illustré dans la Fig. IV -23. Avant la mise en service (avant $t=0.1s$) nous remarquons que le courant de charge i_c et de source i_s ont la même forme (une forme distordue) et que le courant du filtre est nul. La source est dépolluée à un niveau assez satisfaisant, ceci est confirmé par le spectre harmonique de la Fig. IV -24 avec un THD de 1.52%.



Fig_ IV.25 puissances instantanées active p et réactive q avant et après filtrage
le filtre actif permet ici de compenser le courant harmonique ainsi que la puissance réactive.



Fig_ IV.26 Courant et tension de source de la première phase.

la Figure **IV.26** montre qu' avant filtrage le courant n'est pas en phase avec la tension de source correspondante ce qui signifie un mauvais facteur de puissance, le retard entre le courant et la tension de source. Dès la mise en service du FAP à l'instant $t=0,1s$, le courant i_s et la tension v_s deviennent en phase (compensation de la puissance réactive)

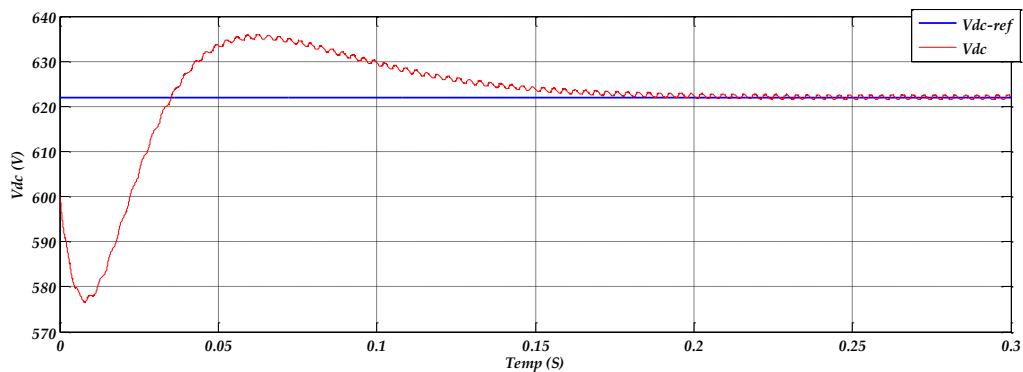


Figure IV.27 Tension aux bornes du condensateur.

La figure **IV.27** présente la tension aux bornes du condensateur, elle suit parfaitement sa référence de 622 V.

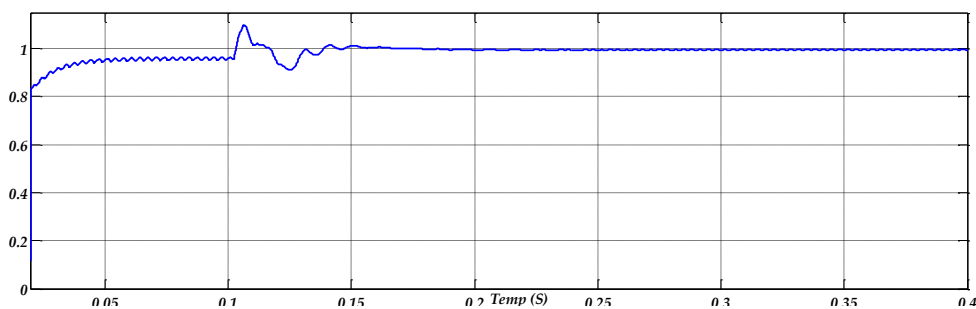
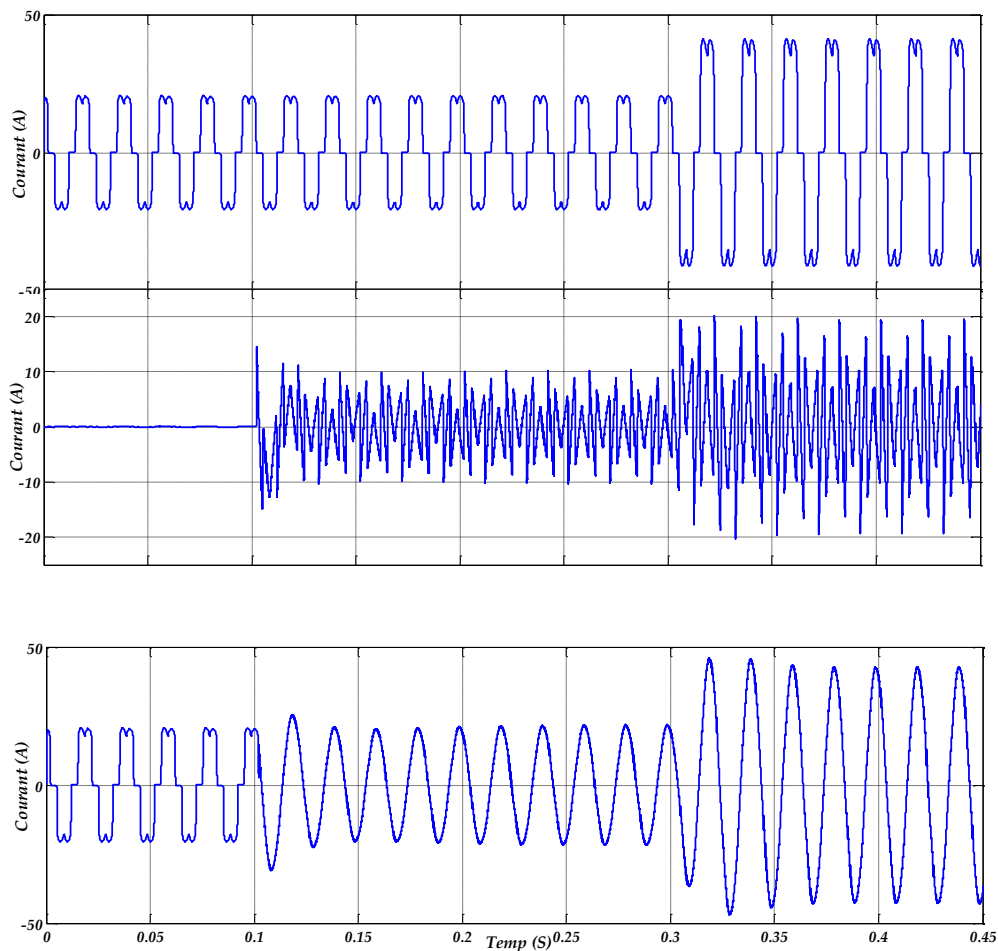


Figure IV.28 Facteur de Puissance.

Avant la mise en service (avant $t=0.1s$) nous remarquons un mauvais facteur de puissance. A l'instant $t=0.2s$, le FAP est mis en service, le facteur de puissance est devenu près de l'unité. Il passe par un transitoire de $0.05s$.

IV -5-2 : Comportement du FAP en régime dynamique :

Pour étudier le comportement du FAP en régime dynamique et la robustesse de la commande, nous avons procédé à une variation de la charge non linéaire. Le passage de charge_1 à charge_2, se fait à l'instant $t=0.3s$.

**Figure IV.29** Comportement du FAP en régime dynamique

La figure IV.29 montre que la forme des courant sont sinusoïdale après le filtrage, Même lorsque la variation de charge (à $t=0.3s$), la figure IV.30 présente le spectre harmonique avec un THD égal à **Fundamental (50Hz) = 42.9 , THD= 1.48%**

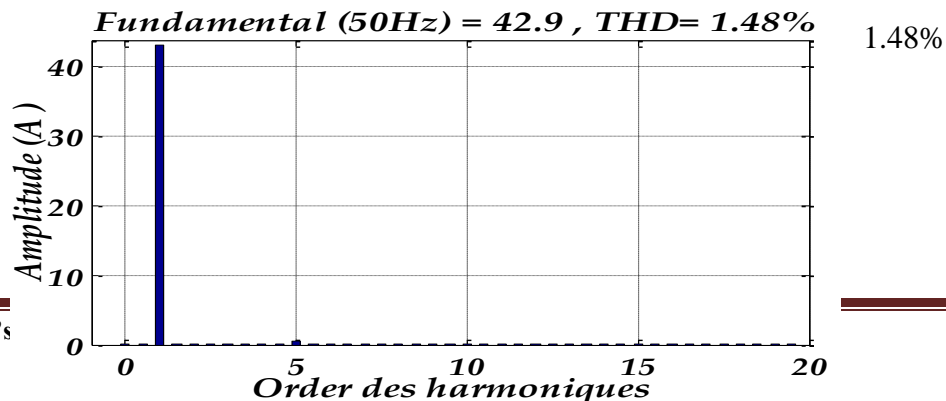


Figure IV.30 Spectre harmonique du courant de source la 2^{ème} charge

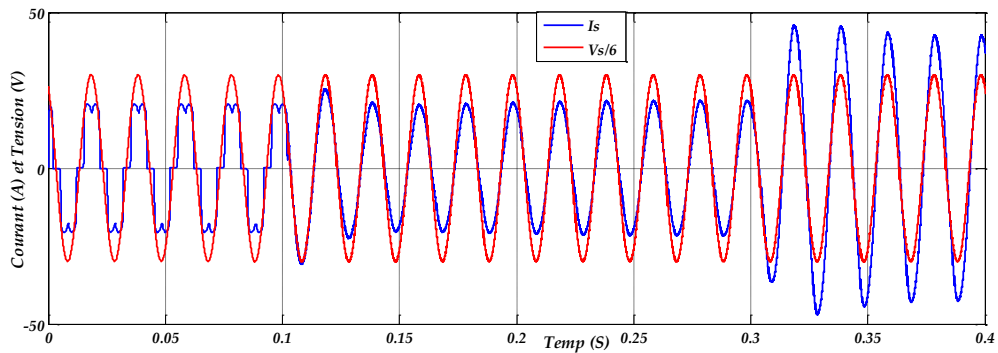


Figure IV.31 courant et tension de source de la première phase en régime dynamique

Nous pouvons constater dans la Figure IV.31 que dès la mise en service du FAP à l'instant $t=0.1s$, le courant I_s et la tension v_s du réseau deviennent instantanément en phase et ils restent en phase malgré la variation de la charge à l'instant $t=0.3 s$

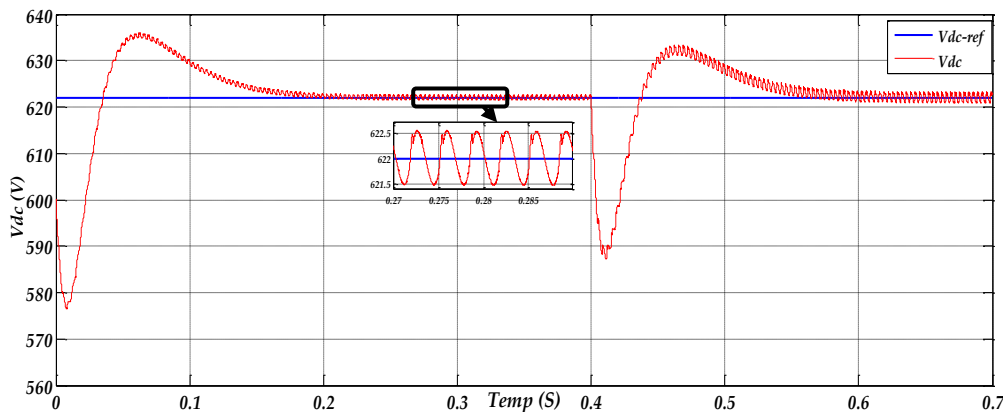
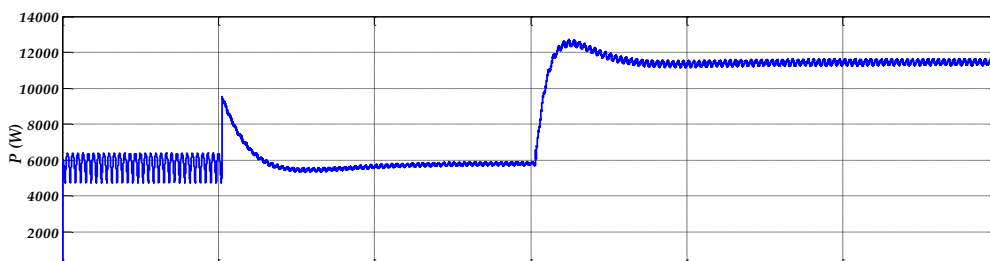
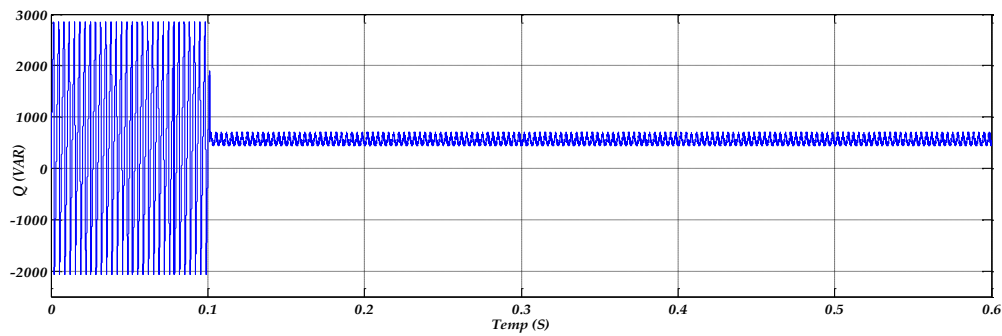


Fig IV.32 Tension aux bornes du condensateur en régime dynamique

La tension aux bornes du condensateur suit parfaitement sa référence après le passage d'une phase transitoire qui dure presque 0.02s, comme il est illustrée dans la figure 4.32





Fig_ IV.33 Puissances instantanées active p et réactive q en régime dynamique

Lors de variations de la charge (à $t=0.4s$), l'énergie réactive n'a subi aucun changement et demeure proche de sa référence, de valeur nulle, pour assurer une bonne compensation du réactif

IV -6 : Comparaison des résultats de simulation des deux méthodes

Après le développement, la synthèse et la simulation, on compare les deux méthodes, il est important de valider leurs comportements afin de vérifier les performances constatées lors de la procédure de simulation :

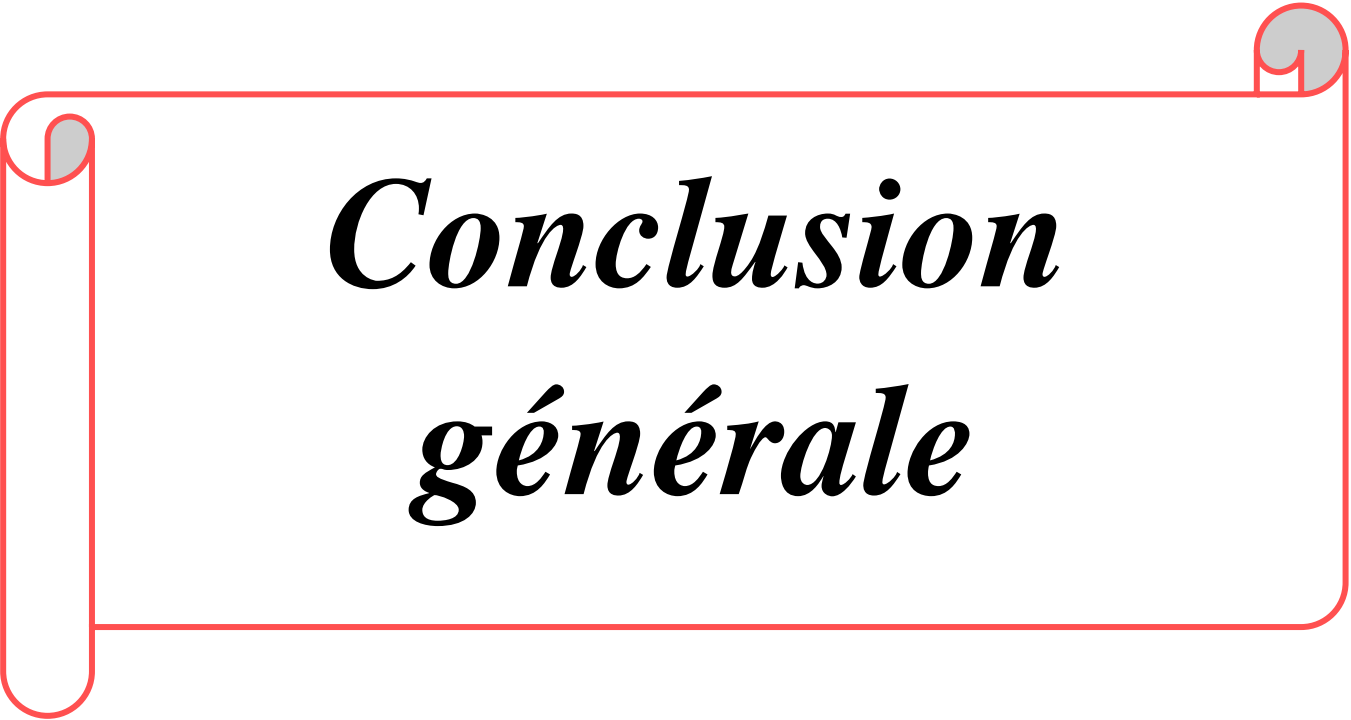
Les courants de charge sont pollués et déformés (un THD = 28%), après le filtrage (coté source), on remarque que le THD obtenu par la méthode de puissance instantané Pq est amélioré (THD = 1.72%), il est supérieur à celui obtenu par la méthode de référentiel synchrone SRF (THD = 1.52%).

Avec les deux méthodes la valeur du taux d'harmonique de distorsion THD diminue nettement inférieur à 5%.

Nous notons que le filtre Actif de Puissance en régime dynamique fonctionne parfaitement et que la variation de la charge n'influe pas son bon fonctionnement.

IV -7 : Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les différents résultats de simulation obtenus, qui sont très satisfaisants et montrent bien le bon fonctionnement, l'efficacité et la robustesse du FAP et confirment la bonne réponse dynamique du filtre actif de puissance pour les deux Méthodes (pq et SRF), mais la méthode SRF est plus performante que la méthode PQ.



***Conclusion
générale***

CONCLUSION GENERALE

La pollution harmonique est l'un des problèmes majeurs qui dégrade la qualité d'énergie électrique dans les réseaux. La circulation des courants harmoniques dans les lignes et entre les charges est difficile à prédire et à contrôler.

Dans cette perspective, le mémoire a été consacré, pour contribuer au développement des nouveaux dispositifs de dépollution des réseaux appelés "filtres actifs". Notre travail s'est porté plus particulièrement sur l'étude d'un filtre actif de puissance. Celui-ci a été placé dans un milieu constitué d'un réseau triphasé, pollué par un redresseur.

En Première, nous avons effectué une étude théorique sur la problématique des perturbations harmoniques, leurs origines et leurs effets sur le réseau électrique. Puis, nous avons abordés les différentes solutions comme le filtrage passif, et particulièrement le filtre actif de puissance.

Dans notre travail le filtre actif parallèle est basé sur l'onduleur commandé par hystérésis. Elle est robuste et simple à mettre en œuvre.

Nous avons ensuite étudié des différentes stratégies destinées à la commande du filtre actif de puissance. L'efficacité du filtre actif dépend fortement du type de commande utilisée pour le contrôle de ses courants. L'extraction des courants harmoniques a été principalement basée sur la méthode des puissances instantanées et la méthode de détection synchrone. Les deux méthodes donnent des résultats satisfaisants en termes de performances.

Les résultats obtenus montrent l'efficacité des commandes étudiées.



Perspectives

Perspectives

Dans ce travail, plusieurs perspectives peuvent être évoquées. Nous pouvons citer :

- ✓ Application d'autres techniques de commande du filtre actif comme la commande par mode glissant, la commande non-linéaire de puissance (commande par backstepping, commande adaptative), commande par logique floue (fuzzy logic).

- ✓ Développement d'autres structures du filtre actif de puissance (multiniveaux, multi-bras) afin d'allier les points forts d'une structure aux avantages reconnus d'une commande.

A decorative red border that resembles a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like a binding or a scroll edge. The word 'Bibliographie' is centered within this border.

Bibliographie

Références

- [Amr16] Amroune Mourad « **Commande et diagnostic d'un filtre actif parallèle** » mémoire de Master Université de M'sila 2016.
- [Ala02] Alali Mohamad Alaa Eddin « **Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension** » THÈSE, École Doctorale Sciences Pour l'Ingénieur ULP – ENSAIS – ENGEES – URS, 2002.
- [Ama06] Amaia Lopez de Heredia Bermeo, « **Commande avancées des systèmes dédiés à l'amélioration de la qualité de l'énergie : de la basse tension à la moyenne tension**», Thèse de Doctorat en génie électrique, Institut National Polytechnique de Grenoble, (France) 2006.
- [All13] Allal Moustafa «**Etude et Simulation d'un filtre actif de puissance parallèle utilisent une commande floue** » mémoire de Master Université de M'sila 06/2013.
- [Ben12] Bengourina Mohamed Rida « **Etude et Mise au Point d'un Filtre Actif Parallèle d'harmonique en Vue d'améliorer la Qualité de l'alimentation électrique** » mémoire de Magister Université d'Oran 2012.
- [Bea07] S. Beaulieu « **Etude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique**», Mémoire de fin d'étude, Université. Québec à Chicoutimi, Mai 2007.
- [Dja05] Djaffar Ould Abdeslam, «**Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension**» Thèse Doctorat, Université haut alsace, 2005.
- [Gal17] Galou Elhacène et Hamani Rachida «**Contribution à La Commande d'un filtre actif parallèle**» mémoire de Master Université de Bejaia 2017.
- [Gha11] Ghadbane Ismail « **Commande d'un Filtre Actif Triphasé Parallèle Par Différents Régulateurs** » mémoire de Magister Université de Biskra 24 /02/2011.

- [Gha16] GHADBANE Ismail «**Etude Et Réalisation D'un Filtre Actif Parallèle En Utilisant Différentes Stratégies De Contrôle** » mémoire de Master Université de Biskra 05/05/2016.
- [Heb16] Hebaibia Samira et Dakhli Loubna « **Modélisation et Simulation d'un Filtre Actif Parallèle à sept Niveaux à Commande MLI** » Thème de Mémoire master Université Tébessa 2016.
- [Hin07] HIND Djeghloud « **Filtrage Actif de Puissance** » THÈSE UNIVERSITÉ MENTOURI CONSTANTINE 12/12/2007.
- [Kam15] Kamel DJAZIA «**Etude des filtres actifs pour réseaux déséquilibrés et distordus**» Thèse de doctorat de l'Université Ferhat Abbas – Sétif 21/10/2015.
- [Lai04] Z. Laid, B.-S. Salem, « **Etude et réalisation d'un onduleur monophasé utilisant la technique PWM à base " MOSFET"** », Mémoire d'ingénieur de l'Université de Biskra, 2004.
- [Moh08] Mohamed Muftah Abdeslam, «**Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales** » thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-i 29 mai 2008.
- [Mou16] Moussa Oussama «**Etude des harmoniques et techniques de commandes du filtre actif**» mémoire de Magister Université de Batna 2, 2016.
- [Nek14] Nekkar Djamel «**Contribution à l'étude des Stratégies de Commande des Filtres Actifs Triphasés**», Mémoire de Magister, Université de Souk-Ahras, 2014.
- [Omr07] Omeiri Amar «**Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant** » Thèse Doctorat, Université Annaba 2007.
- [Rao14] Raouf BELRECHID et Mouloud AISSANI «**Filtrage des harmoniques via un poste à souder**» Welding and NDT Research Center (CSC) BP.64, Cheraga – ALGERIA, 09-11 Novembre 2014.
- [Sha09] Shahram KARIMI «**Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage "FPGA in the loop" : application au filtre actif parallèle** » thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy -I, 26 Janvier 2009.

- [Sah12] Sahli Abdeslem «**Filtrage actif et contrôle de puissances : application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau**» mémoire de Magister Université Ferhat Abbas – Sétif 2012.
- [Sou15] Soufiane ben Ali et Saddam Bouhanak «' **Etude ET Simulation d'un Filtre Actif Parallèle à Quatre Files** » mémoire de Magister Université d'El-Oued, 2015.
- [Ste07] Steeve Beaulieu, «**Etude et mise au point d'un filtre actif d'harmonique en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique** » Mémoire de Fin d'Etudes, Université Québec à Chicoutimi, Mai 2007.
- [Sam07] B.SAMIR, « **Filtrage actif parallèle des réseaux électriques avec compensation de l'énergie réactive** », Thèse ingénieur d'état en génie électrique Université Msila 2007.
- [Wir06] Wira, P., Ould Abdeslam, D., Mercklé, J., Chapuis, Y.-A., and Flieller, D. «**Stratégie neuromimétiques d'identification et de commande d'un filtre actif parallèle**» Revue des Systèmes, Série Revue Internationale de Génie Electrique (RS-RIGE), vol. 9, no. 1, pp 35-64, 2006.
- [Zid15] Zidane Abdallah et Zellouma Saïd « **Compensation des harmoniques et de la puissance réactive à l'aide du filtre actif parallèle**» mémoire de MASTER Université d'El-Oued, 2015.
- [Zel06] Zellouma.L, « **Filtrage actif parallèles des harmoniques de courant génère par un pont redresseur triphasé non commande** », thèse de magistère de l'université de Annaba, 2006.

Résumé

L'alimentation de charges non linéaires tels que diode ou thyristor ou redresseurs,... etc par une source d'alimentation, dans un réseau électrique, est fréquemment soumise à des perturbations et/ou déséquilibres du courant d'alimentation reçu par la charge. Les perturbations du courant d'alimentation désignent la présence d'harmoniques dans le courant d'alimentation, celui-ci n'étant alors pas sinusoïdal, ainsi que la présence d'une puissance réactive trop importante circulant sur le réseau.

Le filtrage actif est une solution efficace qui consiste à injecter un courant adapté sur le réseau pour réduire les perturbations. Pour cela l'objet du travail présent dans ce mémoire est l'étude théorique et la simulation numérique du fonctionnement d'un filtre actif parallèle. Après un rappel des origines et des effets de la pollution harmonique sur les réseaux électriques, les dispositifs actifs permettant d'y remédier les harmoniques, sont présentés. La commande du filtre actif à base de l'onduleur a été ensuite étudiée, à savoir la technique d'identification des harmoniques : la méthode des puissances instantanées (pq) et Méthode de référentiel synchrone (SRF).

Les simulations effectuées témoignent de l'importance de ce travail au filtrage des harmoniques et à la compensation de l'énergie réactive

Mots clés : Filtre Actif de Puissance Parallèle, harmonique, charges non linéaires, Réseau perturbé

Abstract

Feeding non-linear loads such as diode or thyristor or rectifiers, etc...by a power source in an electric network is frequently subject to disturbances and / or unbalances in the supply current received by the load. The disturbances of the supply current denote the presence of harmonics, its waveform being non sinusoidal as well as the presence of too much reactive power circulating in the network

The active filter is an effective solution that consists in the injection of a suitable current into the network to reduce disturbance. Therefore, the present work aims to study the behavior of a parallel active filter for harmonic current compensation. After a reminder of the origins and effects of harmonic pollution on electricity networks. Active devices to remedy the harmonic are presented. The control of the active filter based on the inverter was then studied, namely the harmonic identification technique: the instantaneous powers method (pq) and synchronous reference frame (SRF) Finally.

The simulations demonstrate the importance of this work is harmonic filtering and reactive power compensation

Keywords: Shunt Active Power Filter, harmonic, non-linear loads, perturbed network

ملخص

غالبا ما يخضع تزويد الاحمال الغير خطية مثل الصمام الثنائي او الثايرستور او المعدلات وما الى ذلك بواسطة مصدر طاقة في شبكة الكهربائية الى اضطرابات او اختلالات في تيار التغذية الذي تستقبله الحمل. اضطرابات في تيار التغذية تدل على وجود التوافقيات في تيار التغذية، الذي لا يكون بعد ذلك جيبييا، ووجود الكثير من طاقة رد الفعل في الشبكة

المصفى النشط هو الحل الفعال الذي يتضمن حقن التيار المناسب في الشبكة لتقليل من الاضطرابات. ولهذا الغرض فإن موضوع العمل الموجود في هذه الرسالة هو الدراسة النظرية والمحاكاة لعمل مرشح نشط مواز. بعد التذكير بأصول وتأثيرات التلوث التوافقي على الشبكات الكهربائية، يتم عرض الأجهزة النشطة التي تسمح بمعالجة التوافقي: طريقة الطاقة الأنية (PQ) وأيضاً طريقة المرجع المتزامن (SRF).

أعطت المحاكاة التي أجريت خلال هذا العمل نتائج ممتازة تدل على أهمية الترشيح التوافقي للتيار الكهربائي وكذلك تحسين معامل الاستطاعة

كلمات مفتاحية: مرشح موازي نشط للطاقة، التوافقي، حمولات غير خطية، مشاكل الشبكة