

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة



Faculté : Science de l'ingénierat

Département : Electrotechnique

Domaine : Sciences techniques

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES DEUX TECHNIQUES
D'IDENTIFICATION DES HARMONIQUES PQ ET DQ D'UN
FILTRE ACTIF PARALLELE**

Présenté par : **Abbes Mohamed taha el amine**

Ghabach Chemseddine

Encadrant : *Mohammedi Moufid*

MCB

Badji Mokhtar-Annaba-

Kelaiaia Samia	MCB	Badji Mokhtar-Annaba-	Président
Mohammedi Moufid	MCB	Badji Mokhtar-Annaba-	Encadrant
Meghni billem	MCA	Badji Mokhtar-Annaba-	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicaces

*Il m. est difficile d'exprimer tout ce que je
dois à ma famille.*

*Je pense particulièrement à mon Père et ma
Mère pour L'incalculable soutien moral et
logistique et les nombreux encouragements que
j. ai toujours reçue de leur part.*

ABBES MOHAMMED



REMERCIEMENTS

Nous rendons nos profondes gratitude à dieu qui nous a aidés réaliser ce modeste travail

Nous remercions nos encadreur "Mohammedi Moufid" pour les efforts qu'ils ont déployés, pour nous aider conseiller, encourager et corriger.

Nous remercions aussi tous le corps enseignants et administratifs qui ont contribué à notre formation universitaire.

ملخص

تمتص الأحمال غير الخطية التيارات غير الجيبية وتستهلك عادةً طاقة تفاعلية. تولد هاتان الظاهرتان عددًا معينًا من الاضطرابات التي تتراوح من عطل في المعدات إلى تدهور بعض أو كل المعدات المتصلة بالشبكة. بفضل تطور إلكترونيات الطاقة وخاصةً في الآونة الأخيرة التقدم المحرز في مجال أشباه موصلات الطاقة، التي يمكن التحكم فيها عند الفتح والإغلاق، والتي تعمل على ترددات عالية جدًا، وأجهزة التصفية التوافقية الحديثة ذاتية التكيف، والتي تسمى التصفية النشطة، يمكن تصميمها.

يتعلق العمل الذي نقدمه بشكل خاص بالدراسة عن طريق المحاكاة الرقمية لمرشح نشط متوازي يهدف إلى ترشيح التيارات التوافقية الناتجة عن حمل غير خطي وتعويض الطاقة التفاعلية. يتضمن عملنا دراسة مشتركة لتحديد التوافقيات والتحكم في العاكس. تعتبر خطوة تحديد التيارات التوافقية أساسية في عملية التصفية.

تمت دراسة ومحاكاة تقنيتين لتحديد الهوية: طريقة القوى النشطة والتفاعلية اللحظية $p-q$ وطريقة التعرف من الكشف عن تيار المصدر $d-q$. يوفر هذا ميزة اختيار الاضطراب ليتم تعويضه بدقة وسرعة وسهولة الزرع.

يحتوي المرشح النشط المقترح على دائرة تحكم بسيطة للغاية تتكون من مستشعرين للجهد ومستشعر تيار واحد. تتمثل ميزة هذا النوع من الفلتر النشط في سهولة الطلب وانخفاض تكلفة التنفيذ. تم تقديم النمذجة والمحاكاة لتجميع الشبكة والحمل الملوث والمرشح النشط الموازي. تم التحقق من صحة الطريقتين المقترحتين من خلال المحاكاة العددية. تم إجراء العديد من حالات المحاكاة مصحوبة بتحليل زمني وتحليل طيفي من نموذج تجميع الشبكة والمرشح النشط الموازي وحمل الملوثات. تظهر نتائج المحاكاة للطريقتين المقترحتين أن المرشح النشط المتوازي ينظف بشكل فعال الشبكة الكهربائية من التوافقيات الناتجة عن الحمل غير الخطي.

ABSSTRACT

Non-linear loads absorb non-sinusoidal currents and typically consume reactive power. These two phenomena generate a certain number of disturbances ranging from equipment malfunction to the deterioration of some or all of the equipment connected to the network. Thanks to the evolution of power electronics and especially to recent progress made in the field of power semiconductors, controllable on opening and closing, operating at very high frequencies, modern self-adapting harmonic filtering devices, called active filtering, have been able to be designed.

The work we present particularly concerns the study by digital simulation of a parallel active filter intended to filter the harmonic currents generated by a non-linear load and to compensate for reactive energy. Our work involves the joint study of harmonics identification and inverter control. The step of identifying harmonic currents is fundamental in the filtering process.

Two identification techniques were studied and simulated: Method of instantaneous active and reactive powers $p-q$ and the method of identification from the detection of the current of the source $d-q$. This offers the advantage of choosing the disturbance to be compensated with precision, speed and ease of implantation.

The proposed active filter has a very simple control circuit which consists of using two voltage sensors and a single current sensor. The advantage of this type of active filter is the ease of ordering and the low cost of implementation. The modeling and simulation of the network assembly, polluting load and parallel active filter were presented. The validation of the two proposed methods was carried out by numerical simulation. Several simulation cases accompanied by a temporal analysis and a spectral analysis were performed from the model of the network assembly, parallel active filter and pollutant load. The simulation results for the two proposed methods show that the parallel active filter effectively cleans the electrical network from the harmonics generated by the non-linear load.

RESSUME

Les charges non linéaires absorbent des courants non sinusoïdaux et consomment généralement de la puissance réactive. Ces deux phénomènes engendrent un certain nombre de perturbations allant du dysfonctionnement d'un équipement jusqu'à la détérioration d'une partie ou de la totalité des équipements connectés sur le réseau. Grâce à l'évolution de l'électronique de puissance et surtout aux récents progrès réalisés dans le domaine des semi-conducteurs de puissance, commandables à l'ouverture et à la fermeture, fonctionnant à des fréquences très élevés, des dispositifs de filtrage modernes des harmoniques auto-adaptables, appelés filtrage actifs ont pu être conçus.

Le travail que nous présentons concerne particulièrement l'étude par simulation numérique d'un filtre actif parallèle destiné à filtrer les courants harmoniques générés par une charge non linéaire et à compenser l'énergie réactive. Notre travail porte sur l'étude conjointe de l'identification des harmoniques et de la commande de l'onduleur. L'étape d'identification des courants harmoniques est fondamentale dans le processus de filtrage.

Deux techniques d'identification ont été étudiées et simulées : Méthode des puissances active et réactive instantanées $p-q$ et la méthode d'identification à partir de la détection du courant de la source $d-q$. Celle-ci offre l'avantage de choisir la perturbation à compenser avec précision, rapidité et facilité d'implantation.

Le filtre actif proposé possède un circuit de commande très simple qui consiste à utiliser deux capteurs de tension et un seul capteur de courant. L'avantage de ce type de filtre actif est la simplicité de commande et le coût d'implémentation faible. La modélisation et la simulation de l'ensemble réseau, charge polluante et filtre actif parallèle ont été présentées. La validation des deux méthodes proposées a été effectuée par simulation numérique. Plusieurs cas de simulation accompagnés d'une analyse temporelle et d'une analyse spectrale ont été effectués à partir du modèle de l'ensemble réseau, filtre actif parallèle et charge polluante. Les résultats de simulation pour les deux méthodes proposées montrent que le filtre actif parallèle dépollue efficacement le réseau électrique des harmoniques générées par la charge non linéaire.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CHAPITRE 01: ETAT DE L'ART SUR LES HARMONIQUES

1.1. Introduction.....	1
1.2. Définition de l'harmonique	1
1.3. Source des harmoniques.....	2
1.4. Harmonique de courant et de tension.....	2
1.4.1. Rang harmonique.....	3
1.5. Taux global de distorsion harmonique THD.....	4
1.6 Effets des perturbations harmoniques.....	4
1.7. Solutions traditionnelles de dépollution.....	6
1.8. Solutions modernes de dépollution.....	12
1.8.1. Filtre actif.....	12
1.8.2. Filtrage hybride actifs et passifs.....	15
1.9. Comparaison des différents filtres actifs.....	15
1.10. Différentes techniques d'extraction des harmoniques.....	16
1.10.1. Méthodes fréquentielles.....	16
1.10.2. Domaine temporel.....	17
1.10.3. Stratégie d'identification.....	17
1.10.4. Comparaison entre les méthodes d'identification des courants harmoniques.....	17
1.11 Comparaison entre les méthodes d'identification.....	18
1.11. Conclusion.....	18

CHAPITRE 02: ÉTUDE THÉORIQUE DES MÉTHODES D'IDENTIFICATION DES HARMONIQUES P-Q ET D-Q

2.1. Introduction.....	21
2.2. Commande de filtre actif parallèle	21

2.2.1. Etude de partie puissance.....	22
a. Onduleur de tension	22
b. Filtre de sortie.....	23
c. Système de stockage de l'énergie.....	23
2.2.2. Etude de partie commande.....	24
a. Commande de l'onduleur.....	24
2.2.3. Système de régulation du filtre actif parallèle.....	24
2.2.4. Techniques d'extraction des harmoniques.....	25
2.3. Méthode des puissances active et réactive instantanées p-q.....	26
2.3.1. Définition et principe.....	26
2.3.2. Etape principale	26
2.3.3. Modèle mathématique	27
2.4. Méthode de détection synchrone d-q.....	30
2.4.1. Définition et principe	30
2.4.2. Etape principale.....	31
2.4.3. Modèle mathématique	32
2.5. Conclusion.....	35
 <i>CHAPITRE 03: COMPARAISON PAR SIMULATION ENTRE LES TECHNIQUES D'IDENTIFICATION PQ ET DQ</i>	
3.1 Introduction.....	37
3.2 Dimensionnement du filtre actif parallèle	37
3.3 Simulation et interprétation des résultats	38
3.4 Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	46
RÉFÉRENCES.....	47

LISTE DES FIGURES

FIGURE	TITRE	N°
Figure 1.1	La forme d'onde d'une tension distordue	1
Figure 1.2	Spectre de fréquence d'un courant non-sinusoidal	3
Figure 1.3	Filtre passif de puissance	8
Figure 1.4	Raccordement d'une inductance anti-harmonique	9
Figure 1.5	Filtre passif série	9
Figure 1.6	Filtre passif parallèle	10
Figure 1.7	Filtre résonant agissant sur plusieurs rangs d'harmonique	11
Figure 1.8	filtre amorti	11
Figure 1.9	Filtre Actif Parallèle	13
Figure 1.10	Filtre Actif Série	14
Figure 1.11	Filtre actif universel	14
Figure 2.1	schéma principe générale de filtre actif parallèle	21
Figure 2.2	Schéma global d'obtention de tous les harmoniques de la charge par La méthode (p-q)	26
Figure 2.3	Schéma de principe de la méthode séparation des puissances	28
Figure 2.4	Diagramme de génération des courants de référence par la méthode p-q	30
Figure 2.5	Schéma global d'obtention de tous les harmoniques de la charge par la méthode (d-q)	31

Figure 2.6	Représentation vectoriel de passage de repère (abc) ver le repère (d-q)	32
Figure 2.7	Principe de la méthode d-q	34
Figure 2.8	Diagramme de blocs d'une PLL	34
Figure 3.1	Bloc de simulation	38
Figure 3.2	Schéma Bloc du FA	39
Figure 3.3	Tension de source	39
Figure 3.4	Courant de la résistance	40
Figure 3.5	Courant de la résistance	40
Figure 3.6	Courant de la source avant et après l'application du FA	41
Figure 3.7	Tension du bus continu aux bornes de la capacité	41
Figure 3.8	FFT et la valeur du THD du courant de source	42
Figure 3.9	Test d'évaluation	44

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX	TITRES	N°
Tableau 1.1	Effets de la pollution harmonique	6
Tableau 1.2	Avantages et inconvénients des différents filtrages	15
Tableau 1.3	Comparaison entre les méthodes d'identification des harmoniques	18

LISTE DES SYMBOLES

Symbole	Désignation
S	Puissance apparente
D	Puissance déformante
P	Puissance active
Q	Puissance apparente
V	Tension simple
U	Tension électrique
R	Résistance
I	Courant électrique
$v(t)$	Tension réelle instantanée
v_0	Valeur moyenne de la tension
v_n	Composantes de la tension instantanée de rang n
φ_n	Déphasage de rang n
ω	Pulsation
V_{max}	Tension maximale
I_{max}	Courant maximal
N	Rang
$\cos(\varphi)$	Facteur de puissance
F	Fréquence fondamentale
f_n	Fréquence harmonique de rang n
$i(t)$	Courant réel instantané
i_0	Valeur moyenne du courant
i_n	Composantes du courant instantané de rang n
I_{eff}	Valeur efficace du courant

I_{ref}	Courant de référence
V_{eff}	Valeur efficace de la tension
ω_0	Pulsation propre
C_{dc}	Capacité du condensateur du côté continu de l'onduleur
V_{dc}	Tension du bus continu
$X_\alpha; X_\beta$	Valeur dans le repère (α - β)
p	Puissance instantané active
Q	Puissance instantané réactive
$\bar{p}; \bar{q}$	Puissance continue liée à la composante fondamentale active et réactive du Courant
$\tilde{p}; \tilde{q}$	Puissance alternative liées à la somme des composantes harmonique du courant
$\overline{i_{1d}}; \overline{i_{1q}}$	Composante continue (fondamentale) de courant de charge dans le repère d-q
$\widetilde{i_{1d}}; \widetilde{i_{1q}}$	Composante alternative (harmonique) de courant de charge dans le repère d-q

ACRONYMES

THD	Taux de distorsion harmonique
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
GTO	Gate Turn-Off thyristor
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
CEI	Comité international d'électrotechnique
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
FAP	Filtre Actif Parallèle
FAS	Filtre Actif Série
UPQC	Unified Power Quality Conditioner
PLL	Phase-Locked Loop

INTRODUCTOIN GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La large utilisation des systèmes à base d'électronique de puissance, notamment les convertisseurs statiques, durant ces dernières décennies, a entraîné une dégradation significative de la qualité de l'énergie électrique. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges dites déformantes.

Ces charges non linéaires, telles que les redresseurs à diodes et à thyristors, les gradateurs, les ordinateurs et leurs périphériques et les appareils de climatisation et d'éclairages à base de tubes fluorescents, consomment un courant non sinusoïdal. Ces appareils absorbent des courants non sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale et de ce fait introduisent des pollutions harmoniques sur les courants et les tensions des réseaux de distribution électrique. Face à cette situation, des solutions ont été mises en œuvre en vue de la compensation des harmoniques. Les premières solutions adoptées dites traditionnelles ont montré leurs limites et leurs incapacités à s'adapter sous certaines contraintes.

Avec l'ascension de l'électronique de puissances précisément des composants de puissance tels que les IGBT, MOSFET ; des dispositifs modernes ont été mises œuvre, ayant la capacité de répondre aux besoins requis et pallier le problème lié aux harmoniques. En effet, la découverte de ce dispositif qui est le filtre actif de puissance, a révolutionnée le domaine de l'énergie. Le filtre actif de puissance sous ces différentes structures à savoir le filtre actif parallèle, le filtre actif série et les filtres hybrides ; répondent mieux aux contraintes industrielles et s'adaptent à la variation de l'impédance du réseau et de la charge. De nos jours le filtre actif parallèle est la solution moderne, adéquate et aussi efficace pour la dépollution harmonique dans l'optique de restaurer la forme sinusoïdale du courant dans le réseau de distribution de l'énergie électrique.

Le travail présenté dans ce mémoire est relatif à la comparaison de stratégies d'identification des courants harmoniques entre la méthode p-q et la méthode d-q.

Le mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre du mémoire recense les perturbations qui peuvent apparaître dans un réseau électrique basse tension et expose leurs causes et leurs conséquences. Les solutions de dépollution existantes, tant traditionnelles que modernes sont rappelées.

INTRODUCTOIN GENERALE

Le chapitre deux, se pointera sur l'étude de commande de filtre actif parallèle et le modèle mathématique des méthodes d'identifications p-q et d-q.

Le troisième chapitre est consacré à la comparaison des résultats de simulation de deux méthodes d'identification : méthode des puissances active et réactive instantanées p-q et méthode de détection synchrone d-q. La comparaison a lieu en analysant les courant harmoniques, en régime équilibré de la tension.

Et, enfin on termine notre travail avec une conclusion générale.

chapitre 1

Etat de l'art sur les harmoniques

1.1 Introduction

L'énergie électrique est produite sous forme de système de tensions triphasées, sinusoïdales et équilibrées, dont les paramètres caractéristiques sont la fréquence, l'amplitude et la forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. L'utilisation croissante de charges polluantes provoque de plus en plus des problèmes de perturbation au niveau des réseaux électriques. Ces perturbations ont des effets néfastes sur le fonctionnement et la durée de vie des équipements électriques. Donc, pour éviter le dysfonctionnement des équipements, des moyens de compensation sont utilisés tels que les filtres passifs, actifs ou hybrides.

Dans ce chapitre, nous identifions d'abord l'origine des harmoniques et leurs effets sur les réseaux et les équipements électriques. Ensuite, nous présentons les solutions mises en œuvre pour dépolluer les réseaux électriques [1].

1.2 Définition de l'harmonique

Les harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'une tension ou d'un courant dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale. Ces harmoniques sont produits en grande proportion et avec des niveaux de distorsion élevés par les charges domestiques et industrielles

La plupart des charges non linéaires génèrent des harmoniques de rangs impairs et les plus détectés dans un réseau électrique sont habituellement le cinquième, le septième et le onzième. La Figure 1.1 illustre la forme d'onde d'une tension distordue contenant, en plus du terme fondamental de fréquence 60 Hz, trois harmoniques de rang 5, 7, 11[1].

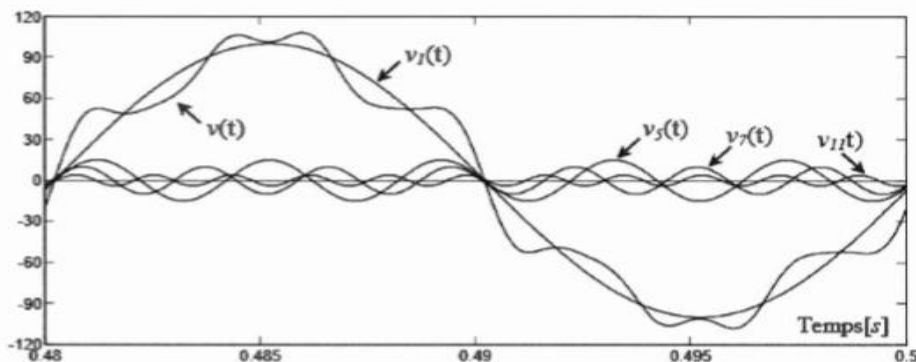


Figure 1.1 La forme d'onde d'une tension distordue

Avec

$v(t)$: onde déformée.

$v_1(t)$: fondamental.

$v_5(t)$, $v_7(t)$, $v_{11}(t)$: harmoniques

Toute fonction périodique peut être représentée par une série de Fourier de la forme :

$$B(t) = B_0 + \sum_{h=1}^{\infty} (B_h \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(h\omega t - \phi_h)) \quad (1.1)$$

B_h = la valeur efficace de la composante de rang h

ϕ_h = phase de la composante h lorsque $t=0$

B_0 = amplitude de la composante continue, généralement nul.

1.3 Source des harmoniques

La prolifération des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique des réseaux électriques. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, ou parfois à des fréquences quelconques. Le passage de ces courants harmoniques dans les impédances du réseau électrique peut entraîner des tensions harmoniques aux points de raccordement et alors polluer les consommateurs alimentés par le même réseau électrique.

Les différents secteurs industriels concernés sont aussi bien du type secondaire (utilisation des gradateurs, des redresseurs, des variateurs de vitesse...), que du type tertiaire (informatique ou éclairage dans les bureaux, commerces,...) ou domestique (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre)[2].

1.4 Harmonique de courant et de tension

Les harmoniques présentes sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation de charges non linéaires. Quand elles sont connectées au réseau d'une certaine fréquence. Elles absorbent un courant pas sinusoïdal mais de même fréquence.

Ces charges se comportent comme des sources de courant harmonique, c'est-à-dire que le courant est fixé par la charge et non par tension du réseau. Ces courants provoquent, dans le réseau, des chutes de tension harmoniques selon la loi d'Ohm [2].

$$\vec{V} = \vec{Z}_h \cdot \vec{I}_h \tag{1.2}$$

\vec{V} : Tension harmonique de rang h ;

\vec{Z}_h : Impédances harmoniques de rang h ;

\vec{I}_h : Courant harmonique de rang h ;

1.4.1 Rang harmonique :

Il est défini comme le rapport entre la valeur efficace de l'harmonique (de courant ou de tension) de rang h et la valeur efficace du fondamental (de courant ou de tension).

$$\frac{I_h \text{ Ou } V_h}{I_1 \text{ Ou } V_1} \tag{1.3}$$

Où I_h et V_h représentent les composantes harmoniques de rang h ; I_1 et V_1 représentent les composantes fondamentales.

En général, la valeur de chaque harmonique est exprimée par son taux individuel (en pourcentage du fondamental) comme représenté à la figure 1.2.

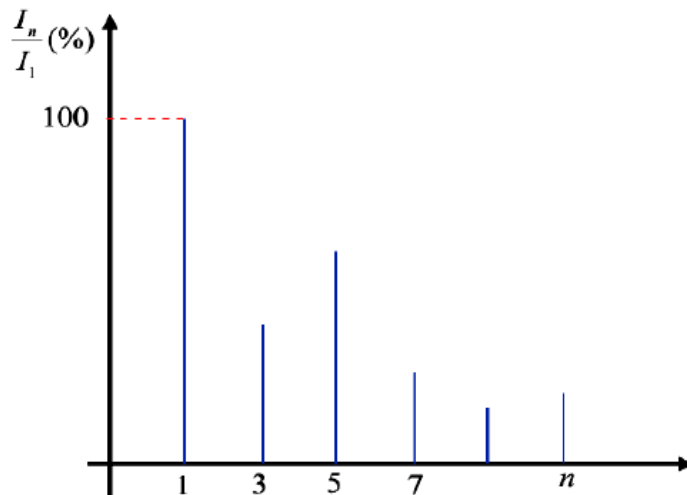


Figure 1.2 Spectre de fréquence d'un courant non-sinusoidal.

1.5 Taux Global de Distorsion Harmonique THD

Le taux global de distorsion harmonique est la grandeur la plus utilisée pour mesurer la déviation d'une onde périodique contenant des harmoniques par rapport à une onde purement sinusoïdale. Le *THD* est défini comme la racine carrée de la somme des carrés des valeurs efficaces de toutes les harmoniques divisé par la valeur efficace du fondamental.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{X_h^2}{X_1^2}} \quad (1.4)$$

X étant la valeur efficace du courant ou de la tension.

En général, le rang d'harmonique h est limité jusqu'au rang 19^{eme} ou 50^{eme} selon la précision désirée. Pour les harmoniques de fréquences élevées supérieures à 2500 Hz, elles sont atténuées par l'effet de peau et par la présence des inductances de lignes. Lorsque le *THD* vaut zéro, on peut conclure qu'il n'y a pas d'harmoniques sur le réseau.

1.6 Effets des perturbations harmoniques

Les courants harmoniques se propagent dans le réseau électrique, déforment l'allure du courant de la source et polluent les consommateurs alimentés par ce même réseau. Ils peuvent occasionner des incidents au niveau de l'appareillage du client ce qui donne lieu à des surcoûts de production d'énergie importants. On peut classer les effets engendrés par les harmoniques en deux types: les effets instantanés et les effets à terme.[3]

a) Effets instantanés

Les effets instantanés apparaissent immédiatement dans certains appareillages :

- **Défauts de fonctionnement de certains équipements électriques:** En présence d'harmoniques, la tension et le courant peuvent changer plusieurs fois de signe dans une demi-période. Les appareils dont le fonctionnement est basé sur le passage à zéro des grandeurs électriques peuvent être affectés.
- **Troubles fonctionnels des micro-ordinateurs:** Les effets sur ces équipements peuvent se manifester par la dégradation de la qualité de l'image et par des couples pulsatoires des moteurs d'entraînement de disque.

- **Erreurs dans les appareils de mesure:** Certains appareils de mesure et les compteurs d'énergie à induction présentent des dégradations de mesure des erreurs de lecture supplémentaires en présence d'harmoniques.
- **Vibrations et bruits:** Les courants harmoniques génèrent également des vibrations et des bruits acoustiques, principalement dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances et machines tournantes).

b) Effets à terme

Ils se manifestent après une exposition plus ou moins longue à la perturbation harmonique. L'effet à terme le plus important est de nature thermique, il se traduit par l'échauffement. Il conduit à une fatigue prématurée du matériel, des lignes et amènent un déclassement des équipements.

- **Echauffement des câbles et des équipements:** Ces effets peuvent être à moyen terme (de quelques secondes à quelques heures) ou à long terme (de quelques heures à quelques années) et concernent les câbles qui peuvent être le siège du suréchauffement du neutre et les enroulements comme pour les transformateurs ou les moteurs.
- **Echauffement des condensateurs:** L'échauffement est causé par les pertes dues au phénomène d'hystérésis dans le diélectrique. Les condensateurs sont donc sensibles aux surcharges, quelles soient dues à une tension fondamentale trop élevée ou à la présence d'harmoniques. Ces échauffements peuvent conduire au claquage.
- **Echauffement due aux pertes supplémentaires des machines électriques et des transformateurs:** L'échauffement est causé par les pertes dans le stator des machines électriques et principalement dans leurs circuits rotoriques à cause des différences importantes de vitesse entre les champs tournants inducteurs harmoniques et le rotor.

Les harmoniques gênent aussi des pertes supplémentaires dans les transformateurs, par effet Joule dans les enroulements, accentuées par l'effet de peau et des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans les circuits magnétiques. Le tableau 1.1 ci-dessous présente quelques effets.

MATERIEL ELECTRIQUE	EFFETS DE LA POLLUTION HARMONIQUE
Machines tournantes (moteurs triphasé, alternateur)	- Echauffement supplémentaire -Couples oscillatoires qui provoquent des vibrations et des bruits.
Transformateurs	-Echauffement supplémentaire -Pertes dans le fer -Risque de saturation
Câbles	Augmentation des pertes surtout dans le câble de neutre où s'ajoutent les harmoniques de rang 3.
Electronique de puissance	Trouble de fonctionnement
Condensateurs	Vieillessement prématuré
Dispositif de protection (fusibles, disjoncteurs)	Déclenchements intempestifs
Compteurs d'énergie	Erreurs de mesure
Téléviseurs	Déformation de l'image et du son
Lampes à décharge	Risque de vieillissement prématuré

Tableau 1.1 Effets de la pollution harmonique

1.7 Solutions classiques de dépollution

Ce sont des techniques connues par les électrotechniciens. Elle apporte une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations bien localisées et utilisent des composants passifs (inductances, condensateurs, transformateurs) et/ou des branchements qui modifient le schéma de l'installation [3].

a. Agir sur la structure de l'installation.

Il est souhaitable d'alimenter un grand pollueur par un transformateur a part, afin de le séparer d'un récepteur sensible. Face à un pollueur moyen il est préférable d'effectuer l'alimentation des câbles distincts au lieu de les connecter en parallèle. Une distribution en étoile permet le découplage par les impédances naturelles et/ou additionnelles

b. Surdimensionnement ou déclassement de l'installation électrique

L'objectif n'est pas d'éliminer les courants harmoniques circulant dans l'installation électrique, mais plutôt de (faire avec), en évitant leurs conséquences. Au moment de la conception d'une installation nouvelle, l'idée consiste à surdimensionner tous les éléments de l'installation susceptibles de véhiculer des courants harmoniques, à savoir les transformateurs, les câbles, les disjoncteurs, les groupes électrogènes et les tableaux de distribution. La solution la plus largement utilisée est le surdimensionnement du conducteur neutre. La conséquence est un accroissement important du coût de l'installation. Dans des installations existantes, la solution la plus répandue consiste à déclasser les équipements de distribution électrique soumis aux courants harmoniques. La conséquence est l'impossibilité de tirer profit du potentiel réel de l'installation [3].

c. Renforcement de la puissance de court-circuit

La diminution de l'impédance totale en amont de la charge non linéaire permet de réduire la tension créée par les harmoniques de courant, et donc de diminuer le taux de distorsion harmonique en tension au point de raccordement. Cependant, les courants harmoniques ne sont pas atténués.

d. Rééquilibrage des courants du réseau électrique

C'est une solution qui permet de répartir les charges d'une manière identique sur les trois phases. En effet, les charges monophasées et biphasées mal réparties engendrent des courants déséquilibrés dans un réseau électrique basse tension.

e. Filtrage passif

Il représente une solution conventionnelle aux problèmes de distorsion harmonique et qui existe depuis longtemps. Les filtres passifs sont des éléments à base d'inductances, capacités et résistances configurés et réglés pour contrôler les harmoniques.

➤ Principe de fonctionnement

Le principe du filtrage passif est d'éviter les courants harmoniques au même temps éliminer les tensions harmoniques résultantes en modifiant l'impédance locale du réseau [4].

On peut classer les filtres passifs selon les paramètres suivants:

- Leur emplacement sur le réseau.
- Leur mode de connexion.
- Leur degré d'amortissement.
- Leur fréquence de résonance.

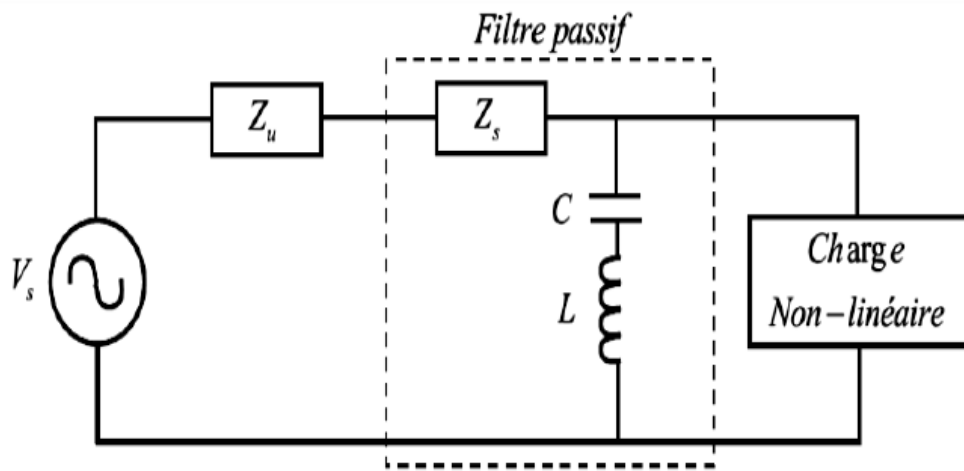


Figure 1.3 Filtre passif de puissance.

➤ Types de filtres passifs

- Inductance anti-harmoniques

Cette topologie est composée d'une inductance installée en série avec les condensateurs de compensation sur chaque branche monophasée afin de protéger les batteries de condensateurs d'une surintensité due aux harmoniques

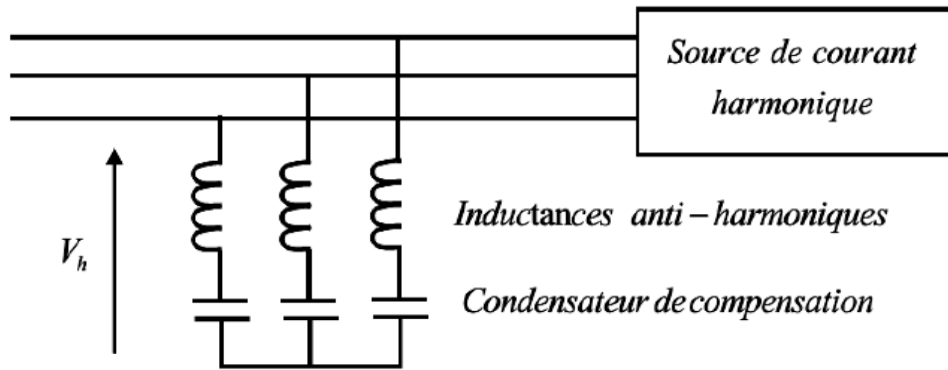


Figure 1.4 Raccordement d'une inductance anti-harmonique.

Afin d'éviter une résonance parallèle (antirésonance) de ce filtre avec l'inductance du réseau sur lequel il est raccordé, on l'accorde sur une fréquence inférieure à celle de la première injection de courant harmonique.

L'installation d'inductances anti-harmoniques augmente la tension permanente à la fréquence fondamentale aux bornes des condensateurs qui doivent donc être dimensionnés en conséquence.

- Filtre passif série

Une façon d'atténuer les harmoniques générées par les charges non linéaires est d'introduire un filtre passif série (Figure 1.5), dans l'alimentation d'entrée ligne de sorte que le filtre offre une impédance élevée à la circulation des harmoniques à partir de la source à la charge non linéaire. Depuis le filtre passif série est accordé sur une fréquence particulière, il offre une impédance élevée à sa seule fréquence d'accord. Selon la propriété physique de L et C choisie, il existe généralement une bande étroite autour de la fréquence d'accord lorsque l'impédance reste élevée.

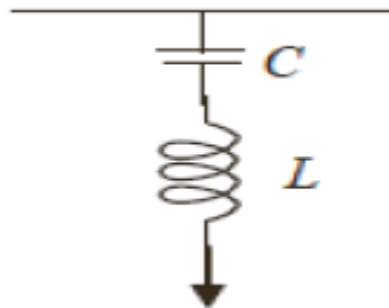


Figure 1.5 Filtre passif série

- Filtre passif parallèle

Le filtre passif parallèle est montré sur la Figure (1.6). Il est constitué d'une inductance en parallèle avec un condensateur. Il présente une impédance faible pour tous les harmoniques et une impédance suffisamment importante par rapport au fondamental, ce qui empêche les courants harmoniques de se propager vers le réseau. Le filtre passif parallèle à un comportement inductif pour les fréquences inférieures à la fréquence fondamentale et un comportement capacitif pour les fréquences supérieures à la fréquence fondamentale, ce qui est un avantage majeur pour le contrôle du courant dans l'inductance.

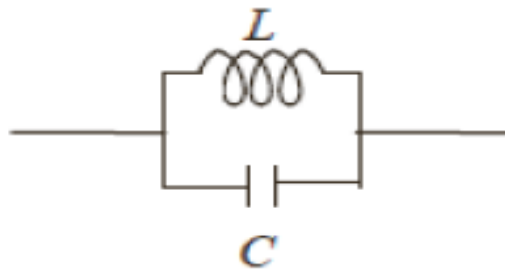


Figure1.6 Filtre passif parallèle

- Filtre résonant:

Le filtre passif résonant (figure1.7), est constitué d'un circuit résonant composé d'un condensateur et d'une inductance en série accordé sur la fréquence de l'harmonique que l'on veut éliminer. Ce filtre a pour caractéristique une impédance très faible à un courant harmonique déterminé. [6]

Lorsqu'on souhaite réaliser le filtrage d'un signal déformé entaché par plusieurs courants harmoniques, il est nécessaire de prévoir un ensemble de filtres, chacun d'entre eux agit sur le rang harmonique à éliminer [7]

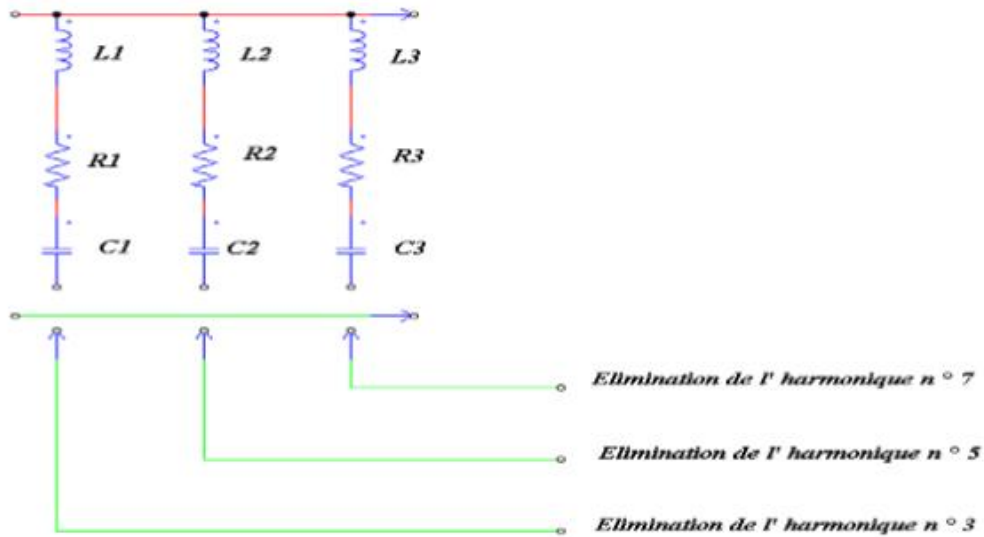


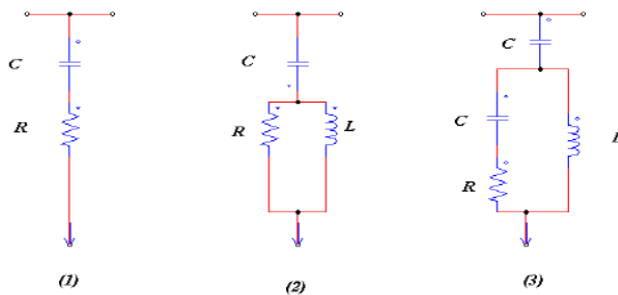
Figure 1.7 Filtre résonant agissant sur plusieurs rangs d'harmonique

- Filtre amorti

Le filtre amorti peut réduire le risque de résonance non souhaitée, et permet de réduire considérablement la taille du filtre passif, en fonctionnant sur une large gamme de fréquence. On distingue trois types de filtre amorti (figure 1.8): le filtre de premier ordre est très peu utilisé car il exige une grande capacité et provoque des pertes de puissance élevées. Les filtres de deuxième et troisième ordre sont plus performants. [5]

- Quelques avantages du filtre amorti

- ✓ Performances moins sensibles aux variations de température, aux déviations de fréquence et aux tolérances des composants.
- ✓ Faible valeur d'impédance pour une large gamme de fréquence harmonique. [4]



1-filtre amorti premier ordre 2-filtre amorti deuxième ordre 3-filtre amorti troisième ordre

Figure.1.8 filtre amorti.

1.8 Solutions nouvelles de dépollution

Deux raisons principales ont conduit à concevoir une nouvelle structure de filtrage moderne et efficace appelée filtre actif. La première raison est due aux inconvénients inhérents des solutions traditionnelles de dépollution qui ne répondent plus à l'évolution des charges et des réseaux électriques. La seconde raison fait suite à l'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les transistors IGBT et MOSFET. Le but de ces filtres est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à compenser les perturbations responsables de la dégradation des performances des équipements et installations électriques [9].

1.8.1 Filtre actif

Nous citerons trois topologies possibles de filtres actifs:

- le filtre actif parallèle (FAP): conçu pour compenser toutes les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et la puissance réactive.
- le filtre actif série (FAS): conçu pour compenser toutes les perturbations de tension comme les harmoniques, les déséquilibres et les creux de tension.
- la combinaison actif parallèle-série: La combinaison parallèle-série actifs, aussi appelée Unified Power Quality Conditioner (UPQC), solution universelle pour compenser toutes les perturbations en courant et en tension.

a. Filtre actif parallèle

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau est le plus souvent contrôlé comme un générateur de courant. Il injecte dans le réseau des courants harmoniques égaux à ceux absorbés par la charge polluante, mais en opposition de phase avec ceux-ci. Le courant coté réseaux sera ainsi sinusoïdal, cependant la tension au point de raccordement ne le sera que si la tension ne contient pas d'harmoniques. Ainsi l'objectif d'un filtre parallèle générateur de courant consiste à empêcher les courants harmoniques absorbés par la charge non linéaire de circuler à travers l'impédance du réseau située en amont du point de connexion du filtre. Le dimensionnement du filtre actif est lié au courant harmonique à générer. La majorité des filtres actifs parallèles actuellement installés sur les réseaux électriques fonctionnent selon ce principe [9].

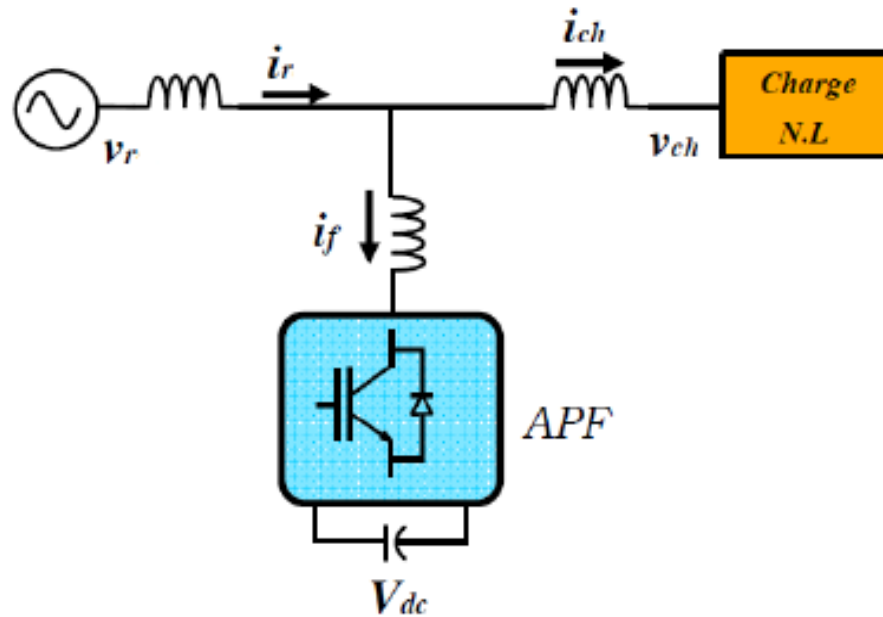


Fig. 1.9 Filtre Actif Parallèle

b. Filtre actif série

Le filtre actif série est connecté en série sur le réseau comme le montré la figureII.1. Il se comporte comme une source de tension qui engendre des tensions harmoniques dont la somme avec la tension du réseau est une onde sinusoïdale.

Il est destiné à protéger les installations qui sont sensibles aux tensions perturbatrices (harmoniques, creux, déséquilibrés) provenant de la source et également celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Cette structure est proche, dans le principe, à des conditionneurs de réseau. Toutefois, cette topologie présente quelques difficultés et inconvénients lors de sa mise en œuvre, elle ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge.

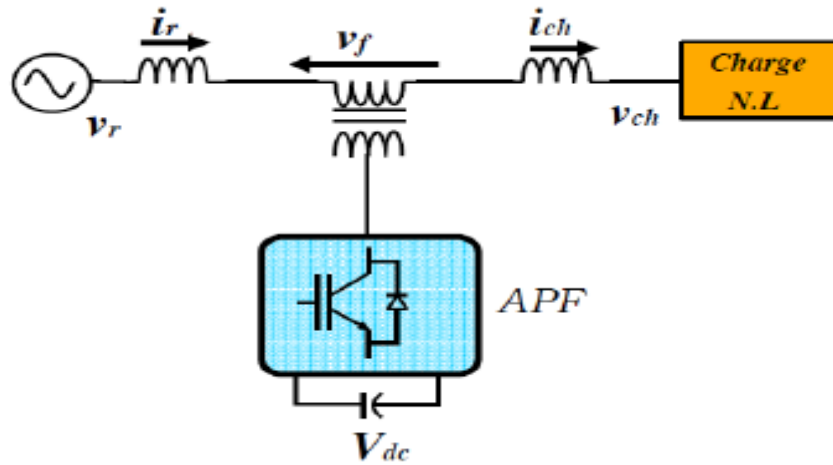


Fig. 1.10 Filtre Actif Série

- Mise en œuvre

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

c. Filtre actif parallèle-série dit Universel

La combinaison parallèle-série active, aussi appelée Unified Power Quality Conditioner (UPQC), résulte de l'association des deux filtres actifs parallèle et série. Profitant des avantages des deux filtres actifs, l'UPQC assure un courant et une tension sinusoidaux du réseau électrique à partir d'un courant et d'une tension perturbés de celui-ci.

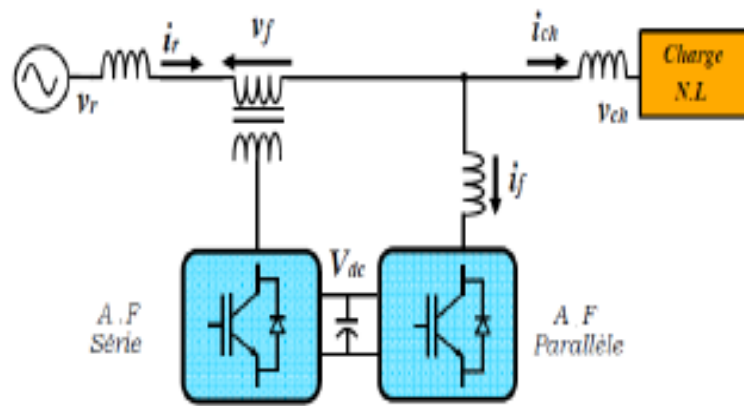


Fig.1.11 Filtre actif universel

1.8.2 Filtrage hybride actifs et passifs

Malgré la grande attention portée sur les filtres actifs, leur application industrielle reste limitée à certains pays où les solutions traditionnelles sont inefficaces face à la prolifération des équipements polluants de fortes puissances sur un réseau qui n'est pas assez puissant partout. L'application industrielle de ces nouveaux dispositifs de filtrage est freinée par leur coût. Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent le prix des filtres actifs, et Ainsi augmenter leur potentialité d'application, l'association de filtres actifs de faible puissance à des filtres passifs peut être une solution .Dans ce cas, les filtres passifs ont pour rôle d'éliminer les harmoniques prépondérants permettant de réduire le dimensionnement des filtres actifs qui ne compensent que le reste des perturbations.

Plusieurs configurations ont été présentées dans la littérature, les plus étudiées étant:

- ❖ Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.
- ❖ Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles.
- ❖ Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.

I.9 Comparaison des différents filtres actifs

<i>Type du filtre</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Filtrage actif parallèle	Élimination de courants harmoniques, compensation de l'énergie réactive, correction du facteur de puissance, rééquilibrage des courants de la charge non linéaire.	Coût et pertes élevés, limité aux charges de faible et moyenne puissance, risque d'écoulement des courants de compensation dans les filtres passifs raccordés au même réseau.
Filtrage actif série	Isolation et absorption des tensions harmoniques, rééquilibrage et régulation des tensions alimentant la charge non linéaire.	Coût et pertes élevés, difficulté de protéger le filtre actif contre les surintensités, incapacité à contrôler l'énergie réactive.
Combinaison parallèle-série actifs (UPQC)	Dimensionnement réduit du filtre actif destiné seulement aux basses fréquences harmoniques, applicabilité aux fortes puissances, régulation de l'énergie réactive, suppression des creux de tension des fours à arc et des cyclo convertisseurs.	Les courants de compensation peuvent circuler dans les filtres passifs, les courants harmoniques peuvent transiter dans le filtre actif.

Tableau 1.2Avantages et inconvénients des différents filtrages

1.10 Différentes techniques d'extraction des harmoniques

Cette identification sert à générer des références nécessaires à la compensation. Les perturbations les plus fréquentes affectant les courants dans un système triphasé sont les déséquilibres et la distorsion de la forme d'onde. Dans la littérature, on trouve plusieurs méthodes qui décrivent différents algorithmes d'identification possibles. Plusieurs d'entre elles présentent une comparaison entre différentes méthodes en insistant sur les points forts et faibles de chaque méthode. Ces méthodes se classifient en deux groupes selon le domaine temporel ou fréquentiel.

1.10.1 Méthodes fréquentielles

Les méthodes du domaine fréquentiel utilisent l'analyse de Fourier (la transformée discrète, la transformée rapide, la transformée discrète récursive, etc.) pour identifier les harmoniques de courant. Ces méthodes sont bien adaptées aux charges où le contenu harmonique varie lentement. Par ailleurs, elles ont l'avantage d'identifier les harmoniques individuellement. Elles permettent donc une compensation sélective. Néanmoins, les inconvénients les plus importants de ces méthodes sont des résultats moyens en régime transitoire et un volume de calcul et une allocation de mémoire très considérables [11].

1.10.2 Domaine temporel

Les méthodes du domaine temporel permettent une réponse plus rapide et requièrent moins d'opérations que les méthodes précédentes. Le principe de ce type de méthodes est la séparation du fondamental ou de certains harmoniques du reste des harmoniques par filtrage. Les méthodes les plus importantes sont:

- La méthode de la puissance instantanée p-q.
- La méthode du Repère de Référence Synchronisé (SRF).
- La méthode de la détection synchronisée d-q (SDA).
- La méthode sinusoïdale Généralisée de Fryze (SGF).
- La méthode basée sur le courant actif.
- La méthode tri-monophasée.
- La méthode basée sur la régulation de la tension.

1.10.3 Stratégie d'identification

La stratégie de commande se base sur la détection des courants perturbateurs dans le domaine temporel. Il existe 3 possibilités d'identification des courants perturbateurs.

- ✓ Identification à partir de la détection du courant 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 pour le filtre actif parallèle pour compenser les courants perturbateurs causés par les charges polluantes. Cette méthode de détection sera employée dans cette étude.

1.10.4 Comparaison entre les méthodes d'identification des courants harmoniques

La méthode (p-q) a l'avantage d'être assez simple pour la mettre en application sous forme analogique puisqu'elle a besoin seulement des opérations de multiplication et de filtrage simple.

L'inconvénient le plus évident de la méthode (p-q) est qu'elle s'exécute mal dans des conditions non équilibrées de tension d'alimentation, parce que l'algorithme suppose que les tensions d'alimentation sont sinusoïdales et équilibrées.

Un avantage de la méthode SRF est qu'elle s'exécute bien avec n'importe quelle forme d'onde du courant. Un inconvénient est que l'algorithme est assez complexe et exige un circuit PLL pour fonctionner correctement.

Dans la méthode (p-q), l'exécution est bonne pour les conditions de la tension d'alimentation en cas de déséquilibre. Un inconvénient de cette méthode est qu'elle suppose que les courants dans chaque phase sont égaux, ou la charge est équilibrée.

1.11 Comparaison entre les méthodes d'identification

La méthode	Analogique	Numérique	Avantages	Inconvénient
La méthode p-q	Oui	Oui	Simple	Bonne pour des tensions sinusoïdales uniquement.
La méthode SFR	Non	Oui	Utilisé pour une source déséquilibré avec/sans distorsion	Exige un circuit PLL.
La méthode d-q	Oui	Oui	Utilisé pour une source déséquilibré.	Suppose que les courants dans les phases sont équilibrés.
La méthode SGF	Non	Oui	Utilisé pour une source déséquilibré avec/sans distorsion	Exige un circuit PLL.

Tableau1.3 Comparaison entre les méthodes d'identification des harmoniques.

1.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les définitions relatives à la qualité de l'énergie électrique en citant leurs natures et origines (les différentes sources de perturbation) avec les critères d'évaluations de performances à l'image de la détermination du taux de distorsion d'harmoniques. Sans oublier d'énuméré certains effets néfastes sur les différents équipements connectés au réseau électrique.

Il s'en est suivi, la présentation des différentes solutions de dépollution du réseau électriques, les premières étant considéré comme solutions classiques tels les filtres passifs. Ces derniers ne sont pas très efficaces du fait qu'ils ne s'adaptent pas à l'évolution des réseaux électriques et des charges polluantes. Par contre, les secondes considérées comme des solutions modernes, à l'image

des structures de filtre actif (série, parallèle), conditionneur de puissance. Ces topologie sont pour but de compenser les perturbations harmoniques, les déséquilibres ainsi dans certains cas, la puissance réactive de sorte à rendre les signaux tension ou le courant de réseau électrique sinusoidaux. Et différentes techniques d'extraction des harmoniques

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le commande de filtre actif parallèle et les deux méthodes d'identification (p-q) et (d-q).

Chapitre 2

*Étude théorique des
méthodes d'identification
des harmoniques p-q et d-q*

2.1. Introduction

Le filtrage actif, comme moyen de compensation des harmoniques, est de plus en plus utilisé pour réaliser des interfaces de dépollution entre les réseaux électriques et les récepteurs polluants. Le rendement économique des filtres actifs est important pour le fournisseur d'énergie qui éprouve à cause des harmoniques des pertes considérables dans les transformateurs et les lignes et de l'interaction entre la source et les charges. Le consommateur est aussi concerné car la pollution harmonique et l'interaction entre les charges provoquent des défaillances du secteur et des récepteurs, et détériorent la productivité. La bonne exploitation d'un filtre actif parallèle est liée de façon significative aux choix des techniques de contrôle applique. Afin d'avoir la capacité de suivre les variations de courant de référence et la réalisation d'un niveau de performance satisfaisant de filtrage. Dans ce chapitre nous présentons la partie de commande de filtre actif parallèle et les deux méthodes d'identifications p-q et d-q

2.2. Commande de filtre actif parallèle :

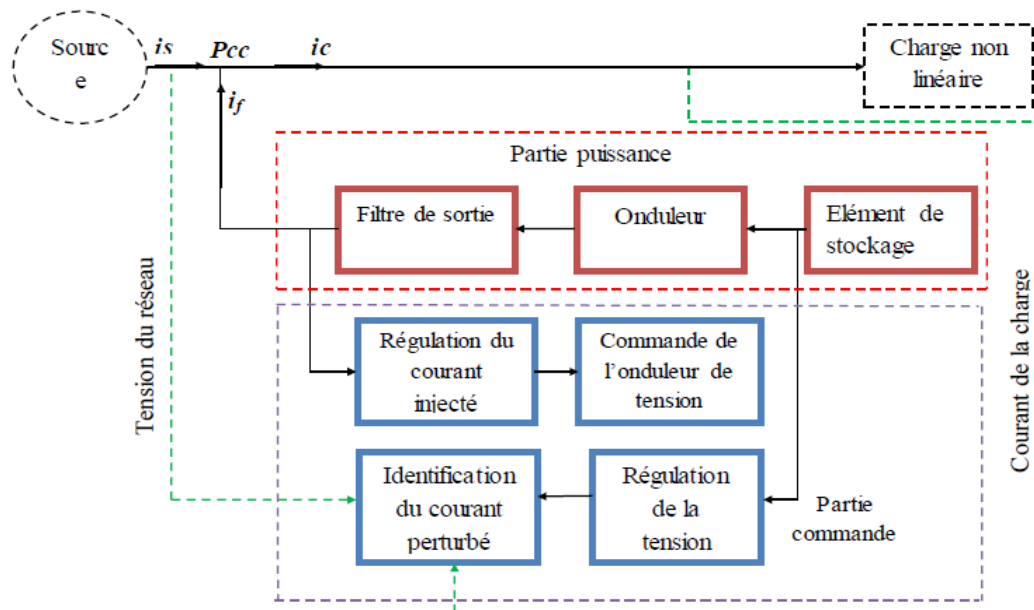


Figure 2.1: schéma principe générale de filtre actif parallèle

La Figure (2.1) donne la structure générale du filtre actif parallèle, laquelle se présente sous la forme de deux blocs :

- La partie puissance est constituée :
 - d'un onduleur à base d'interrupteurs de puissance, commandables à l'ouverture et à la fermeture (GTO, IGBT, MOSFET, etc....) avec des diodes en antiparallèle.
 - d'un circuit de stockage d'énergie.
 - d'un filtre de sortie.
- La partie commande est constituée :
 - de la commande de l'onduleur.
 - de la régulation du DC et de régulation du courant injecté
 - de la méthode d'identification des courants perturbés.

2.2.1. Etude de partie puissance

Le FAP est une structure de tension connectée en parallèle au réseau, Le filtre entre l'onduleur et le réseau est un filtre de premier ordre qui est en réalité une simple inductance mais avec des spécificités au niveau de son circuit magnétique (introduction de noyaux en ferrites). Il a deux objectifs générer des courants harmoniques à partir de la différence des tensions entre la sortie du pont onduleur et le réseau. A ce titre, l'inductance (L_f) intervient dans la commandabilité du courant du filtre. Réduire au point de raccordement au réseau (PCC), l'amplitude des créneaux de tension générés.

Les interrupteurs sont bidirectionnels en courant. Ils sont formés par des composants semi-conducteurs commandés à la fermeture et à l'ouverture (IGBT, thyristors GTO), en antiparallèle avec une diode. Dans ce cas également, l'onduleur de tension est raccordé entre deux types de sources : source de courant côté alternatif et source de tension côté continu.

La présence de ces deux types de sources impose les conditions suivantes :

- ❖ Un seul interrupteur d'un bras doit conduire pour éviter des court-circuités de la source de tension.
- ❖ Le courant de ligne doit toujours trouver un chemin libre d'où la mise en antiparallèle des diodes avec les interrupteurs pour éviter l'ouverture du circuit de la source de courant

a. Onduleur de tension :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continue - alternative à partir d'une source de tension continue, on peut obtenir à la sortie une tension alternative.

Donc, il est possible de produire à la sortie du convertisseur une tension alternative,

b. Filtre de sortie:

Le filtre de sortie est un filtre passif utilisé pour connecter l'onduleur de tension au réseau électrique. Un filtre de sortie du premier ordre est le plus souvent utilisé dans la littérature. Il est composé d'une inductance (L_f) comportant une résistance interne (R_f). Une valeur relativement faible de (L_f) permet d'obtenir une bonne dynamique du FAP en satisfaisant l'égalité. Cependant, une faible valeur de (L_f) permet à la majorité des harmoniques, induits par les commutations, de passer du côté réseau et d'affecter ainsi les installations et les équipements électriques. Inversement, une valeur relativement élevée de (L_f) empêche ces harmoniques de se propager sur le réseau électrique mais nécessite une tension V_{dc} plus élevée afin de garantir les performances du filtre actif. Pour limiter la propagation de ces harmoniques, un filtre passif auxiliaire peut être ajouté à la sortie de l'onduleur ou en amont (côté réseau) pour absorber ces harmoniques liés au découpage.

c. Système de stockage de l'énergie :

Le choix de la tension V_{dc} et de la capacité de condensateur C_{dc} affecte la dynamique et la qualité de compensation du filtre actif parallèle. En effet, une tension V_{dc} élevée améliore la dynamique du filtre actif. De plus, les ondulations de la tension continue V_{dc} causées par les courants engendrés par le filtre actif et limitées par le choix de C_{dc} peuvent dégrader la qualité de compensation du filtre actif parallèle. Ces fluctuations sont d'autant plus importantes que l'amplitude du courant du filtrer grande et que sa fréquence est faible. Pour cette raison, nous pouvons estimer que seuls les premiers harmoniques sont pris en compte dans le choix des paramètres du système de stockage [15].

Le stockage de l'énergie est réalisé côté continu à l'aide d'un système de stockage capacitif, représenté par un condensateur (C_{DC}) jouant le rôle d'une source de tension continue. Le choix des paramètres du système de stockage (V_{dc-ref} et C_{DC}) a une influence directe sur la dynamique du FAP et sur ses performances de compensation. D'une part, une tension (V_{dc-ref}) élevée améliore la dynamique du FAP. D'autre part, les ondulations de la tension continue V_{dc} , causées par les courants engendrés par le FAP et limitées par le choix de la valeur de (C_{DC}), peuvent dégrader la qualité de compensation du FAP. Une valeur élevée de (C_{DC}) réduit les ondulations de (V_{DC}) mais augmente le coût et la taille du FAP.

2.2.2. Etude de partie commande

La partie commande du filtre actif parallèle est constituée de plusieurs blocs assurant son fonctionnement. Ce fonctionnement est basé sur :

- la commande de l'onduleur.
- l'identification du courant perturbateur.
- la régulation de la tension du bus continu.
- la boucle de verrouillage de la phase (PLL).

Le rôle de la commande est la génération de courants harmoniques à travers le filtre actif égaux à ceux produits par la charge polluante, mais en opposition de phase afin de rendre les courants de sources sinusoïdaux.

a. Commande de l'onduleur:

La commande de l'onduleur de tension consiste à générer des signaux dans le but de contrôler ses interrupteurs. Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs méthodes ont été mises en œuvre telles que :

- La commande par hystérésis
- La commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).
- La commande par hystérésis modulé

2.2.3. Système de régulation du filtre actif parallèle

La régulation dans le domaine des procédés industriels est défini comme étant la mise en œuvre de l'ensemble des moyens théoriques, matériels et techniques pour maintenir chaque grandeur physique essentielle égale à une valeur désirée. Cette valeur désirée est appelée consigne. Par action sur une grandeur réglant et ce malgré l'influence des grandeurs perturbatrices du système, les grandeurs physiques essentielles sont maintenu égale à celle désirée.

Dans le cas du filtre actif parallèle, la régulation des courants de référence et de tension continue aux bornes du condensateur est primordiale pour son bon fonctionnement. Ainsi pour pouvoir contrôler et réguler le FAP, nous avons besoin d'un régulateur.

Les principaux régulateurs connus sont :

- ✓ Les régulateurs PID (Proportionnel, intégral, dérivé)

- ✓ Les régulateurs PD (Proportionnel, dérivé)
- ✓ Les régulateurs PI (Proportionnel, intégral)
- ✓ Les régulateurs P (Proportionnel)
- ✓ Régulateur par retour d'état avec intégrateur
- ✓ Régulateur quasi linéaire
- ✓ Régulateur flou

2.2.4. Techniques d'extraction des harmoniques

La qualité de la compensation des harmoniques de courant dépend fortement des performances de la méthode d'identification choisie. En effet, un système de commande, même très efficace, ne pourra pas à lui seul effectuer un filtrage satisfaisant si les courants harmoniques sont mal identifiés.

Pour cette raison, de nombreuses méthodes d'identification ont été développées dans la littérature. Elles peuvent être regroupées selon deux approches.

- Identification dans le domaine fréquentiel :

Ce type d'approche utilise la transformée de Fourier rapide, pour extraire les harmoniques du courant de charge. Cette méthode est particulièrement adaptée aux charges dont le contenu harmonique varie lentement. Elle présente également l'avantage de sélectionner chaque harmonique individuellement et permet ainsi de ne compenser que les courants harmoniques prépondérants. Cependant, cette méthode nécessite des calculs lourds afin d'identifier ces courants harmoniques. Pour cette raison, les méthodes fréquentielles ne sont pas utilisées en pratique car la charge polluante peut généralement varier rapidement au cours du temps.

- Identification dans le domaine temporel :

Les méthodes du domaine temporel permettent une réponse plus rapide et requièrent moins d'opérations que les méthodes fréquentielles. Le principe de ce type de méthodes est la séparation du fondamental ou de certains harmoniques du reste des harmoniques par le filtrage.

Dans un premier temps, nous présentons la méthode des puissances instantanées p-q utilisée pour l'extraction des courants harmoniques. Ensuite nous entamons la méthode des puissances instantanées d-q.

2.3. Méthode des puissances active et réactive instantanées p-q

2.3.1. Définition et principe

La méthode des puissances active et réactive instantanées (fréquemment appelée méthode p-q) a été introduite par HIROFUMI Akagi[48]. Son principe est basé sur le passage des systèmes triphasés constitués par les tensions simples et les courants de ligne, vers un système diphasé repère (α, β) en utilisant la transformation de Concordia, afin de calculer les puissances instantanées. Ensuite, l'utilisation soit d'un filtre passe bas, soit d'un filtre passe haut afin d'éliminer la composante continue de la puissance active afin de ne garder que la composante harmonique du signal sachant que la composante fondamentale est transformée en une composante continue et les composantes harmoniques en composantes alternatives[12].

2.3.2. Les étapes principales

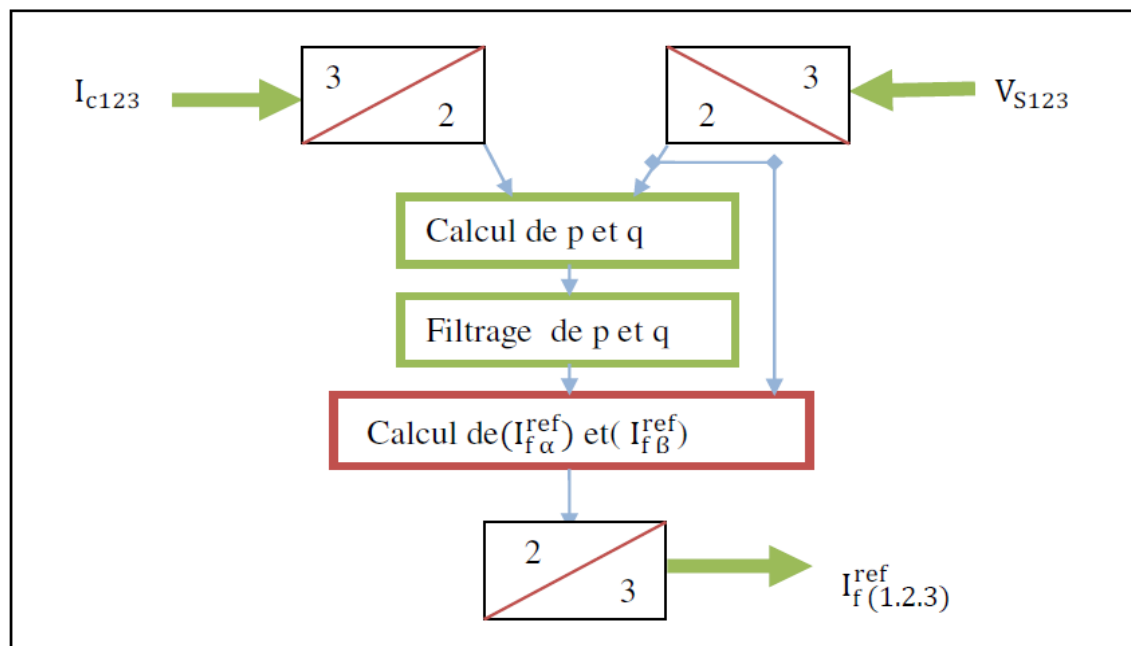


Figure2.2: Schéma global d'obtention de tous les harmoniques de la charge par La méthode (p-q)

etape1: est basé sur le passage de systèmes triphasés constitués par les tensions simples et les courants de ligne, à un système diphasé (repère α - β) en utilisant la transformation de Concordia

etape2: calculer les puissances réelle et imaginaire instantanées.

etape3: déterminer les courants harmoniques de la charge, la composante fondamentale est transformée en une composante continue et les composantes harmoniques en composantes alternatives.

2.3.3. Modèle mathématique

Consiste à ramener la tension V_r de la source et le courant i_{ch} de la charge dans le repère (α, β) en utilisant la transformation de Concordia.

Cette transformation permet de passer d'un système triphasé à un système biphasé, ce qui simplifie les expressions mathématiques et réduit le cout d'implantation.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad 2.1$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \quad 2.2$$

Les composante ayant l'indice(0)représentant les composantes homopolaires du système triphasé de courant et de tension, on considère que le réseaux étudié est à neutre isolé et composé de trois fils ce qui empêche la circulation des composantes homopolaire[12].

A partir des équations 2.1 et 2.2, on calcule les puissances instantanées, active p et réactive q, elles sont données par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad 2.3$$

On peut décomposer les puissances instantanées p et q en deux composantes, les composantes continues liées au fondamental (\bar{p} et \bar{q}) et les composantes alternatives liées aux harmoniques (\tilde{p} et \tilde{q}). Cela peut s'écrire comme suit :

$$\begin{cases} p = \bar{p} + \tilde{p} \\ q = \bar{q} + \tilde{q} \end{cases} \quad 2.4$$

\bar{p} : Puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant et de la tension

\bar{q} : Puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant et de la tension

\tilde{p} et \tilde{q} puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices du courant et de la tension.

Un filtre de puissance est utilisé afin de séparer la composante de la puissance liée aux harmoniques de la puissance liée au fondamental. Le schéma représente le principe de séparation des puissances et donné par la figure 2.1

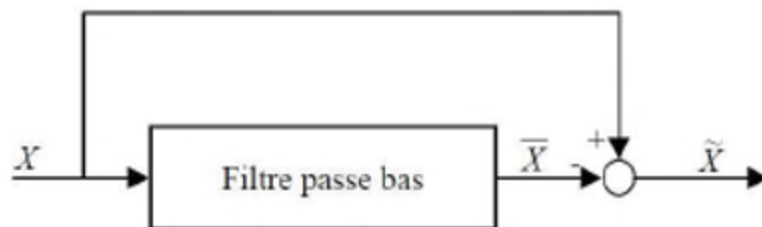


Figure 2.3: Schéma de principe de la méthode de séparation des puissances

La fréquence de coupure du filtre est choisie, selon que la charge soit équilibrée ou déséquilibrée, de manière à ce qu'il puisse bloquer le passage des composantes harmoniques instantanées, et de permettre uniquement le passage des composantes continues représentant les puissances active et réactive à la fréquence fondamentale

Après avoir séparé les puissances, on calcule les courants perturbateurs dans le repère (α, β) en servant de l'expression 2.5 comme suit :

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 - \tilde{p} \\ -\tilde{q} \end{bmatrix} \quad 2.5$$

Avec :

$$\Delta = v_\alpha^2 + p_0 \quad 2.6$$

p_0 : est la puissance active fournie par la boucle de tension nécessaire à la régulation de la tension continue

La relation 2.5 est utilisée afin de compenser l'ensemble des harmoniques. Cette technique permet aussi d'effectuer de la compensation de l'énergie réactive puisque l'absorption de l'énergie réactive se traduit par une compensation continue selon l'axe q ($\overline{i_q}$) non nulle, le courant du filtre permettant cette compensation est donc :

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -\tilde{q} \end{bmatrix} \quad 2.7$$

Et si l'objectif est de compenser la puissance réactive et l'ensemble des harmoniques, on utilise la relation 2.7 :

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 - \tilde{p} \\ \overline{q} - \tilde{q} \end{bmatrix} \quad 2.8$$

Les courants de perturbations triphasées qui représentent les courants identifiants, dite courants de référence $i_{ref\alpha}$, sont donnés par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} i_{ref1} \\ i_{ref2} \\ i_{ref3} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} \quad 2.9$$

$i_{ref\alpha}$, $i_{ref\beta}$ courants perturbateurs calculés dans le repère (α,β) à partir des courants réactifs et harmoniques de la relation (2.8).

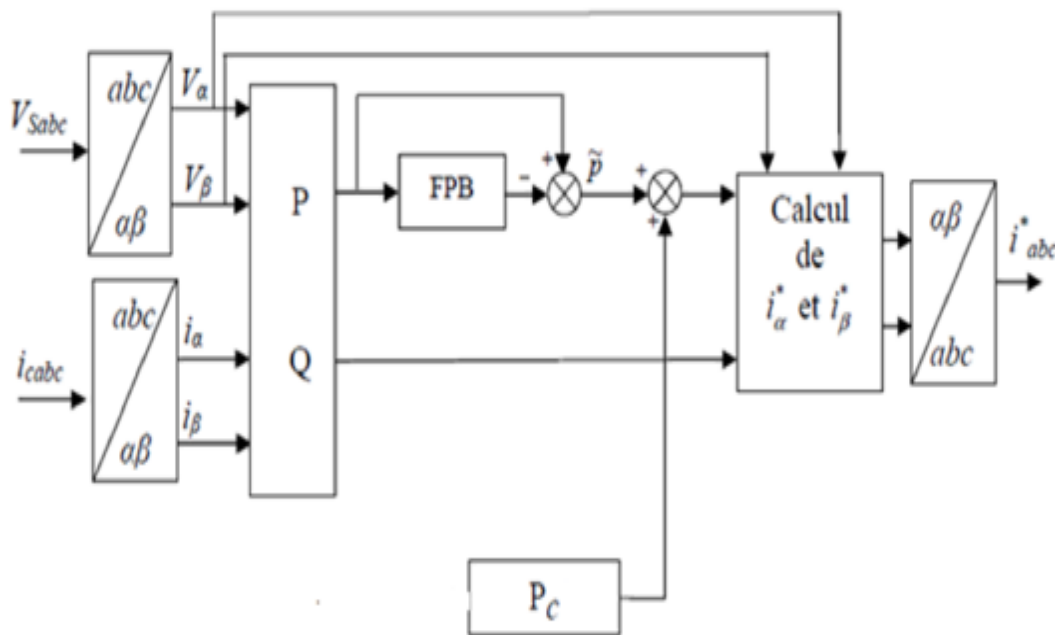


Figure 2.4: Diagramme de génération des courants de référence par la méthode p-q

2.4. Méthode de détection synchrone d-q

2.4.1. Définition et principe

La méthode de référentiel synchrone appelé aussi méthode des courants instantanés d-q permet d'obtenir de meilleurs performances même si le réseau est perturbé ou déséquilibré. Elle effectue le passage d'un système triphasé et équilibré (abc) à un système diphasé (d-q), le passage du système (abc) réel à un système (dq) se fait par l'intermédiaire de la transformation de Clark dans le repère fixe et orthogonal $(\alpha\beta)$; suivi d'une rotation des axes. Basée sur la

transformation de Park, cette méthode effectue un passage des courants ($i_{l\alpha,\beta}$) de la charge vers des courants ($i_{ld,ilq}$) dans un repère diphasé (d-q). Cette transformation se fait par pulsation électrique $\theta = \omega t$

2.4.2. Etape principale

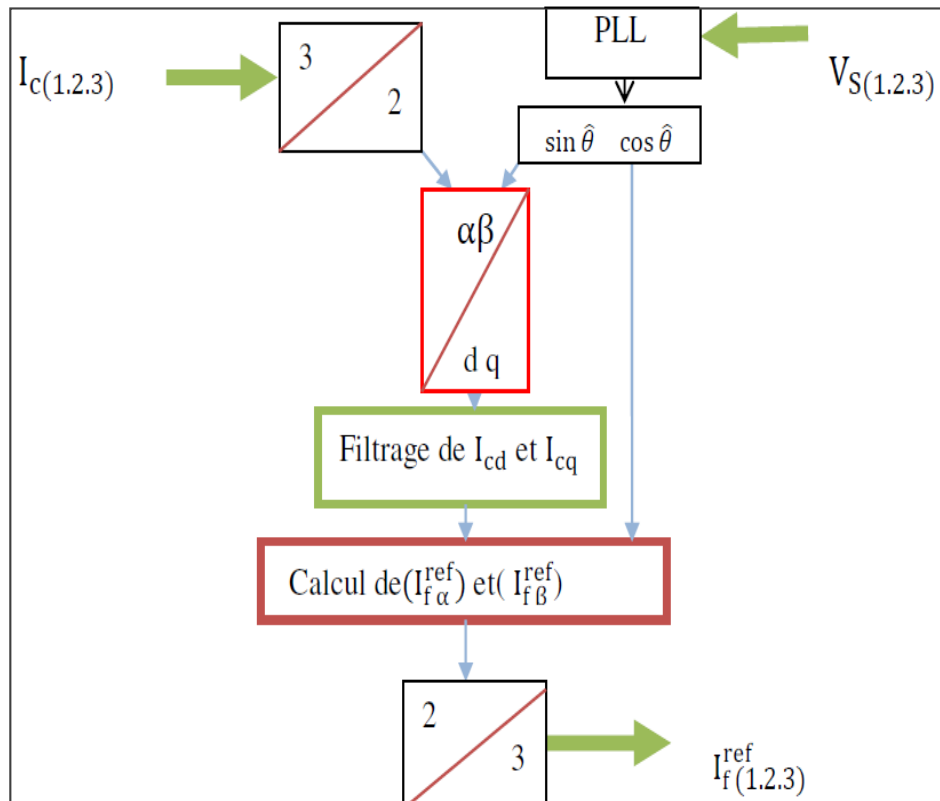


figure2.5: Schéma global d'obtention de tous les harmoniques de la charge par la méthode (d-q)

Cette méthode, introduite par Bhattacharya 1991, exploite également la transformation de Concordia mais appliquée uniquement aux courants de ligne de la charge $i_{ln}(t)$ [16].

Ensuite, une seconde transformation est opérée pour passer des courants de ligne en (d-q), ce qui 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. L'avantage majeur de cette méthode par rapport à la précédente réside dans le fait que les éventuelles

tensions harmoniques n'ont plus d'influence sur les courants identifiés et par conséquent le filtrage sera meilleur [17].

2.4.3. Modèle mathématique

Il y a cinq étapes pour calculer les courants de référence pour un filtre actif parallèle [13]

Étape 1: Transformer les courants de charge triphasés (i_{la}, i_{lb}, i_{lc}) à $(i_{l\alpha}, i_{l\beta}, i_{l0})$ en utilisant l'équation (2.10):

$$\begin{bmatrix} i_{l\alpha} \\ i_{l\beta} \\ i_{l0} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{la} \\ i_{lb} \\ i_{lc} \end{bmatrix} \quad 2.10$$

Étape 2: Transformer les courants $i_{l\alpha}$ et $i_{l\beta}$ à i_{ld} et i_{lq} par:

$$\begin{bmatrix} i_{ld} \\ i_{lq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \sin(\omega t) \\ -\sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{l\alpha} \\ i_{l\beta} \end{bmatrix} \quad 2.11$$

Où ω est la pulsation électrique.

Le schéma vectoriel de passage du repère (abc) vers le repère (d-q) est représenté dans la Figure 2.3

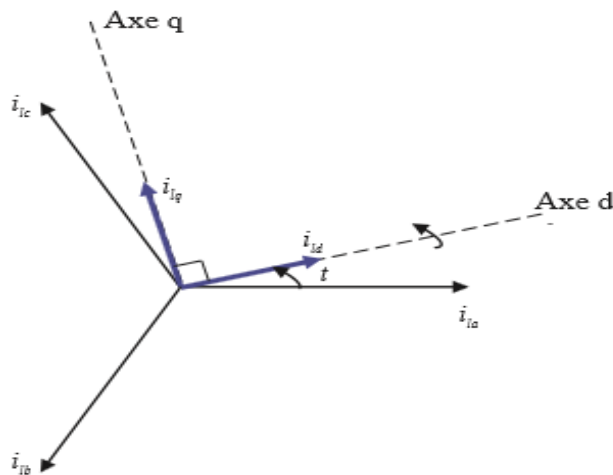


Figure 2.6 : Représentation vectoriel de passage de repère (abc) ver le repère (d-q)

On peut décomposer les courants i_{ld} et i_{lq} en deux termes, les composantes fondamentales et harmoniques. Les harmoniques se comportent comme une composante alternative et les termes fondamentaux se comportent comme une composante continue, donc on peut écrire :

$$\begin{bmatrix} i_{ld} \\ i_{lq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{i_{ld}} + \widetilde{i_{ld}} \\ \overline{i_{lq}} + \widetilde{i_{lq}} \end{bmatrix} \quad 2.12$$

$\overline{i_{ld}}$ et $\overline{i_{lq}}$: Composante continue (fondamentale) de courant de charge dans le repère d-q.

$\widetilde{i_{ld}}$ et $\widetilde{i_{lq}}$: Composante alternative (harmonique) de courant de charge dans le repère d-q.

Étape 3: De l'étape 2, il est montré que les courants de charge se composent de deux termes. Pour cette étape, le filtre passe-bas (FPB) est utilisé pour séparer les composantes harmoniques ($\widetilde{i_{ld}}$, $\widetilde{i_{lq}}$) comme le montre la Figure 2.7.

Étape 4: Le passage des composantes harmoniques ($\widetilde{i_{ld}}$, $\widetilde{i_{lq}}$) de repère d-q vers le repère $\alpha\beta$

($\widetilde{i_{l\alpha}}$, $\widetilde{i_{l\beta}}$) en utilisant l'équation suivant :

$$\begin{bmatrix} \widetilde{i_{ld}} \\ \widetilde{i_{lq}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \sin(\omega t) \\ -\sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widetilde{i_{l\alpha}} \\ \widetilde{i_{l\beta}} \end{bmatrix} \quad 2.13$$

Étape 5 : Calcule des courants de référence triphasés (i_a, i_b, i_c) à partir de l'équation (2.14) :

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widetilde{i_{l\alpha}} \\ \widetilde{i_{l\beta}} \\ \widetilde{i_{l0}} \end{bmatrix} \quad 2.14$$

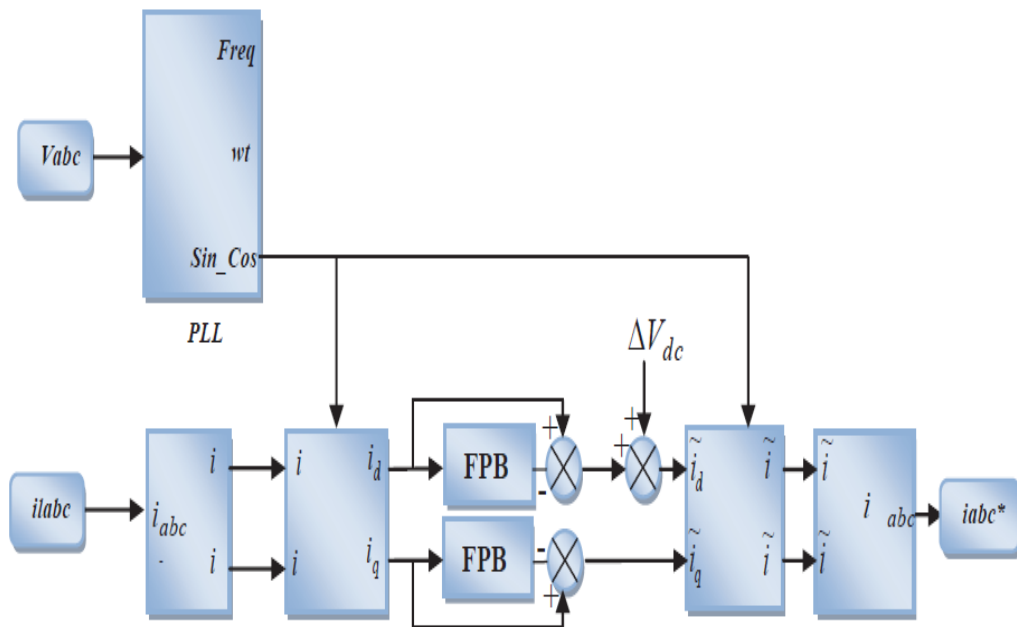


Figure 2.7: Principe de la méthode d-q

Afin d'échanger une puissance contrôlée, l'onduleur doit toujours être synchronisé avec le réseau. Le but du bloc de synchronisation est d'obtenir la phase de la tension instantanée du réseau. Plusieurs techniques sont utilisées, le choix le plus commun consiste à utiliser une boucle à verrouillage de phase (PLL: Phase locked loop)[14].

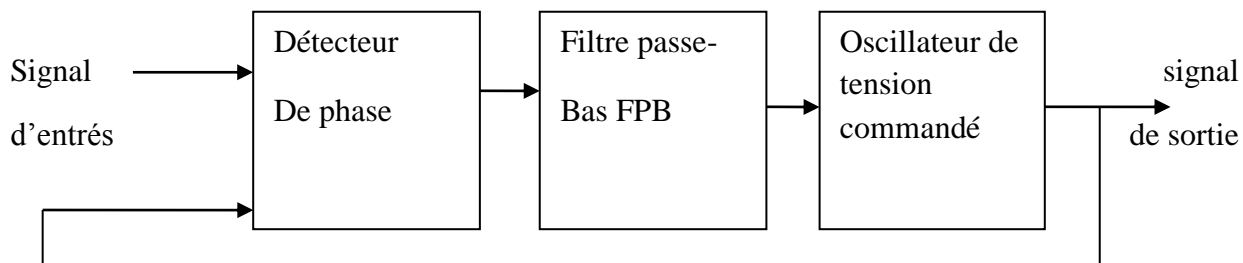


Fig. 2.8: Diagramme de blocs d'une PLL.

2.5. Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire que le filtre actif parallèle de puissance qui n'est autre qu'un onduleur est un dispositif adéquat pour la compensation harmonique. En effet, l'identification et l'extraction des courants harmoniques se fait par plusieurs méthodes. Parmi ces méthodes, on cite la méthode p-q et d-q qui ont été exposées et étudiées dans ce chapitre. Ces deux méthodes génèrent des courants de référence en se basant directement sur le courant de la charge sans tenir compte des tensions du réseau.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter la comparaison par simulation entre les techniques d'identification PQ et DQ

Chapitr3

**Comparaison par simulation
entre les techniques
d'identification PQ et DQ**

3.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre sera d'évaluer et de comparer l'adaptabilité et la robustesse entre les deux modèles d'identification du filtre actif parallèle face à une variation de tension de référence constante. Nous procédons à la validation de notre étude par simulation avec deux méthodes de contrôle de PQ et DQ.

3.2 Dimensionnement du filtre actif parallèle

Pour notre simulation, la méthode d'identification qui est utilisée est bien sûr celle du référentiel synchrone d-q. La technique de modulation utilisée est l'hystérésis.

Le système qui sera utilisé dans notre travail comporte un réseau électrique triphasé à trois fils, une charge non linéaire (pont à diodes) qui alimente une charge R et un filtre actif parallèle triphasé à structure de tension. Les paramètres de chaque élément constituant notre système est donné comme suit :

✚ Modèle de la source

- Tension maximale de la source $V_{max} = 220\sqrt{2}$ V ;
- Fréquence du réseau électrique $f = 50$ Hz ;
- Inductance du réseau $L_r = 2 \times 10^{-3}H$

✚ Modèle de la charge polluante

- La charge polluante utilisée est tout simplement un pont à diode alimentant une charge R, avec $R = 30\Omega$.

✚ Modèle du filtre actif parallèle

- Inductance de sortie $L_f = 2 \times 10^{-3}H$;
- Source continue capacitive à l'entrée de l'onduleur $C_{dc} = 1500 \times 10^{-6}F$

3.3 Simulation et interprétation des résultats

- Block de simulation

L'implémentation du modèle mathématique du filtrage actif, dans un code de calcul sous l'environnement Matlab-Simulink est illustrée par la figure 3.1.

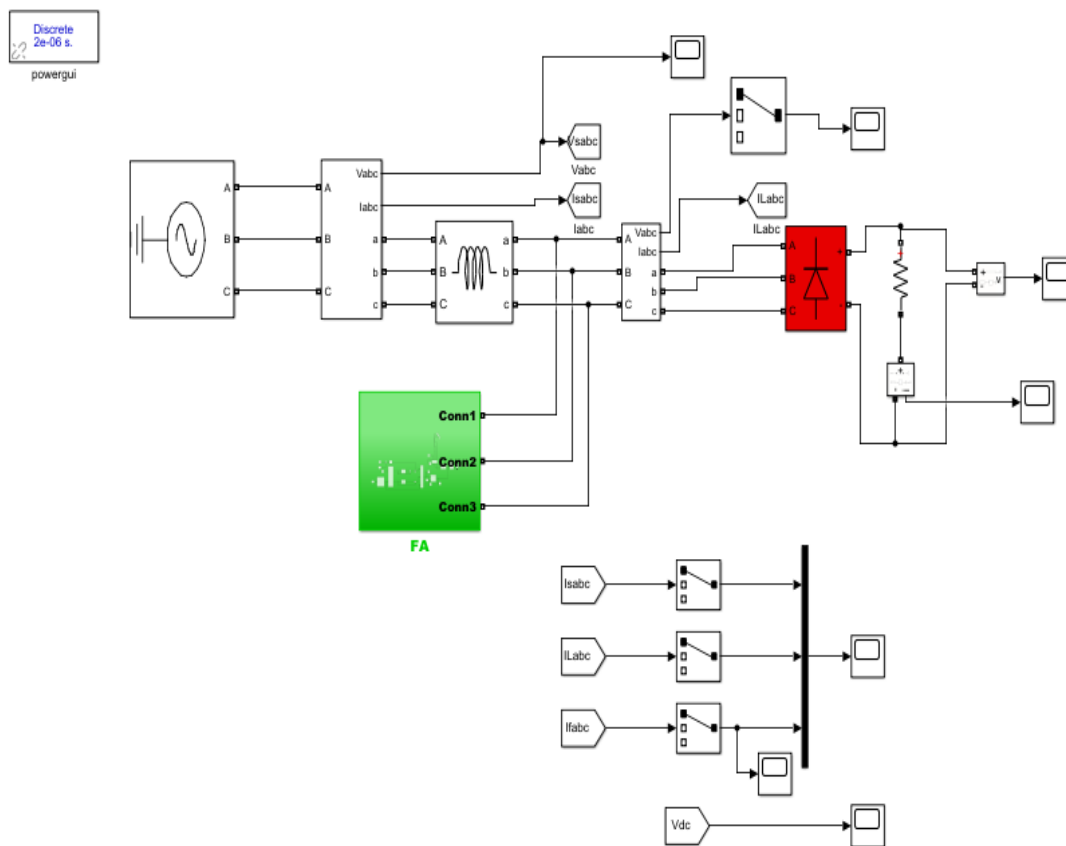
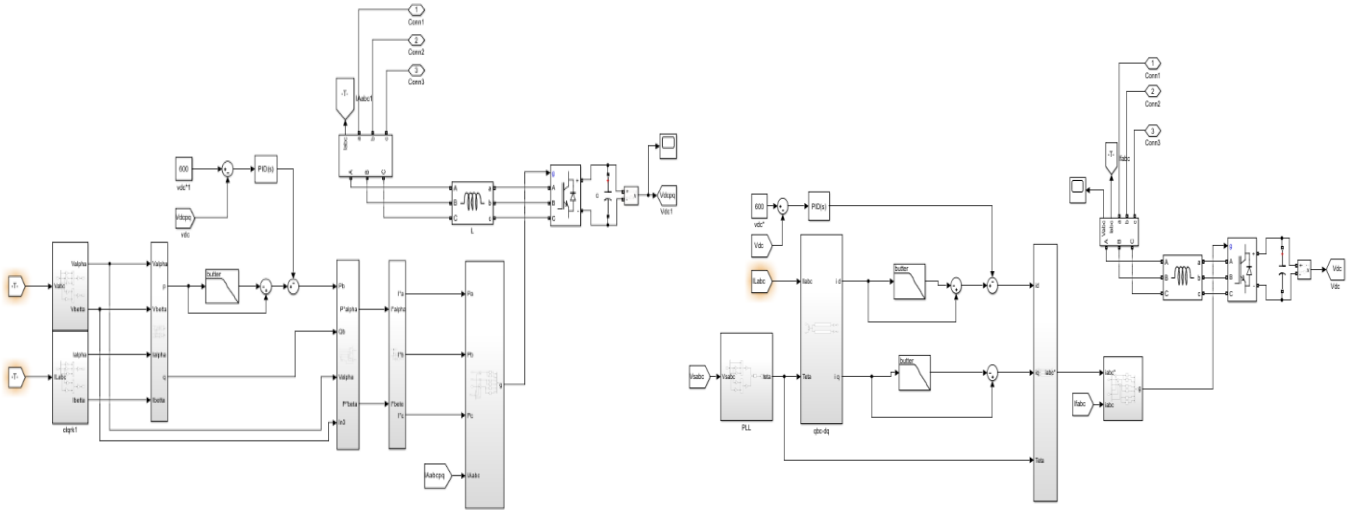


Figure.3.1: Bloc de simulation

Pour le block du filtrage actif (FA), on a utilisé deux techniques de commande, à savoir la technique dite PQ (figure.3.2.a) et la technique dite DQ (figure.3.2.b), pour l'identification des harmoniques crée par la charge non linéaire (redresseur+résistance).



a. Technique PQ

b. Technique DQ

Figure.3.2:Schéma Bloc du FA

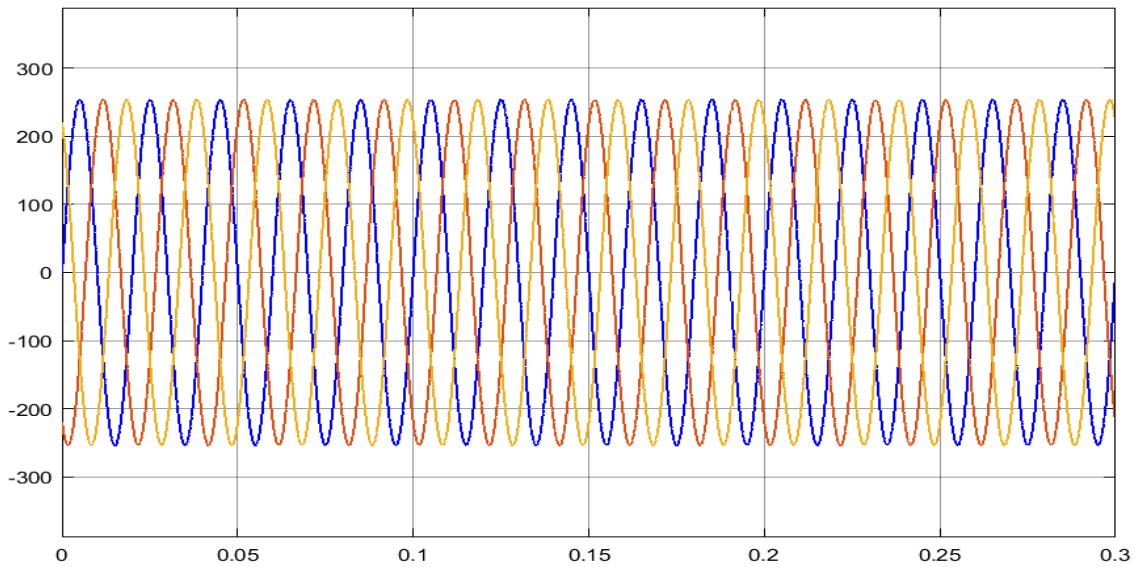
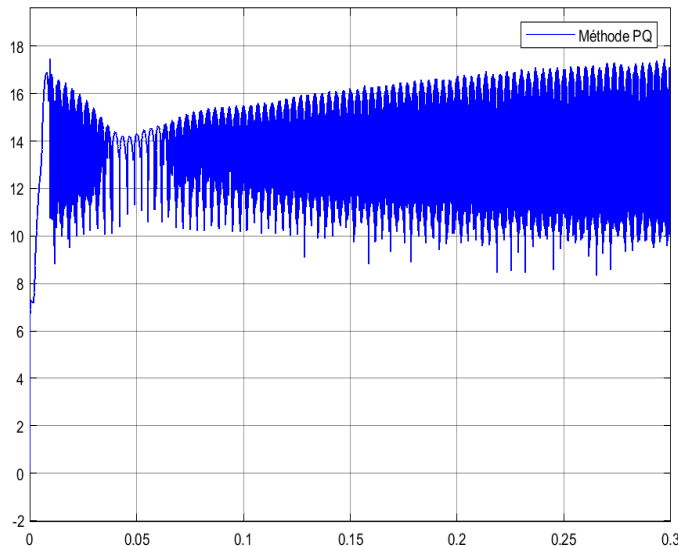
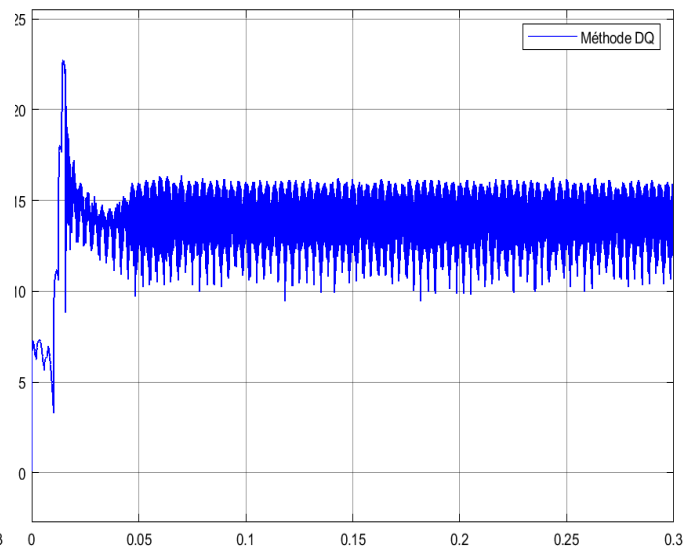


Figure.3.3:Tension de source

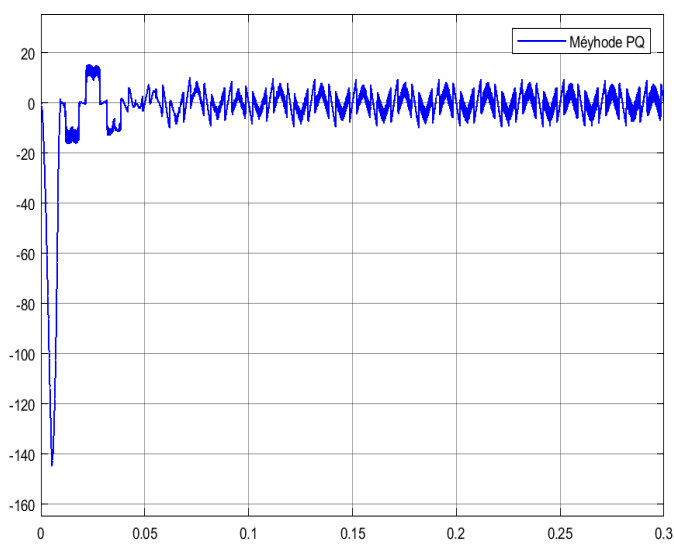


b. Technique PQ

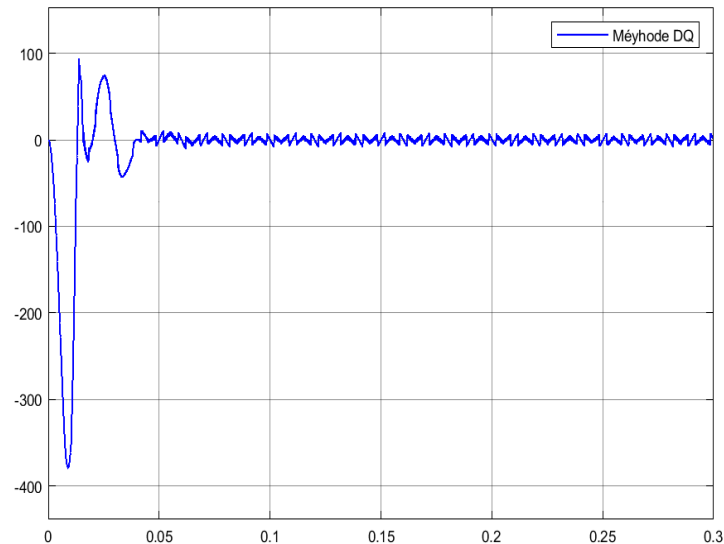


a. Technique DQ

Figure.3.4:Courant de la résistance



b. Technique PQ



a. Technique DQ

Figure.3.5:Courant de la résistance

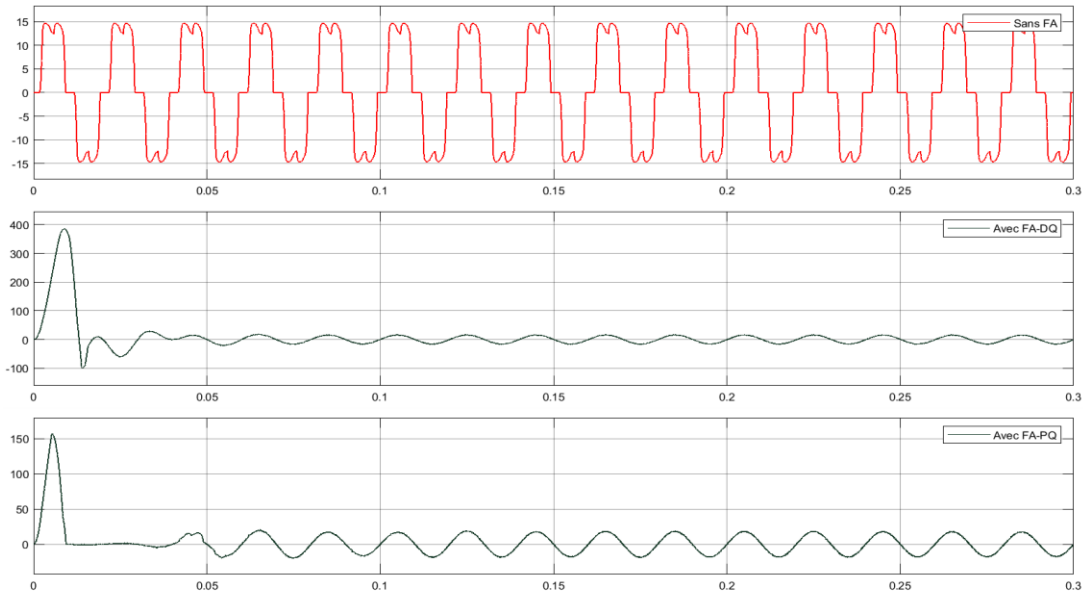
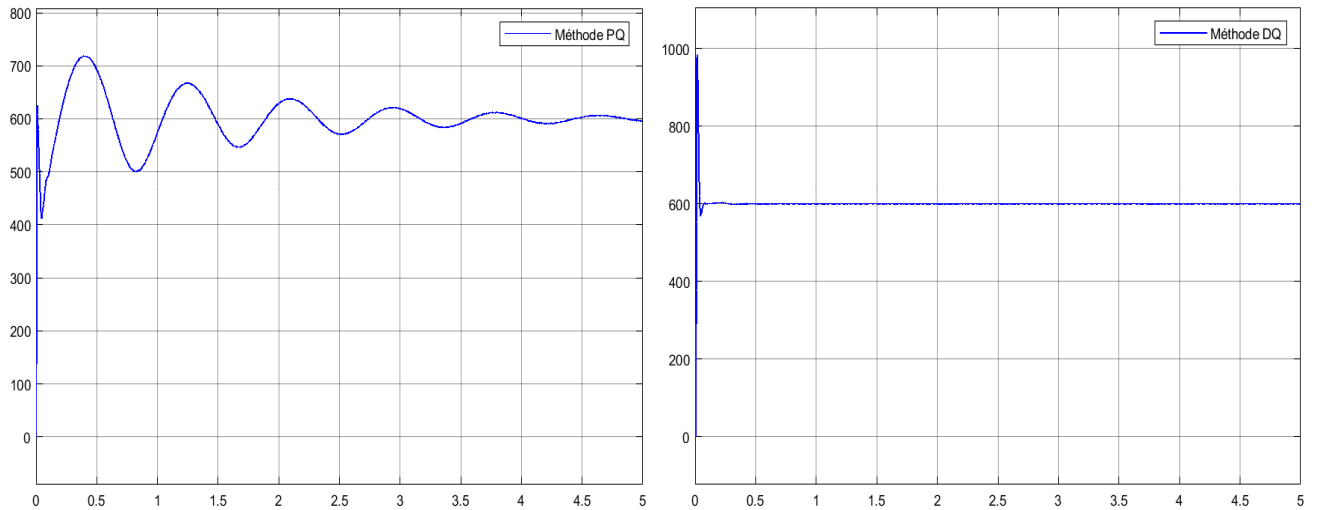


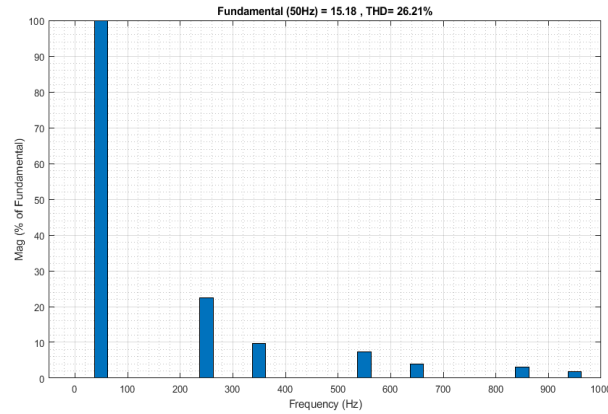
Figure.3.6: Courant de la source avant et après l'application du FA



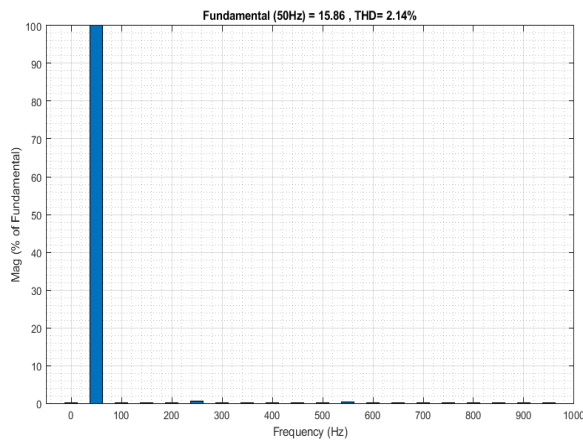
a. Technique PQ

b. Technique DQ

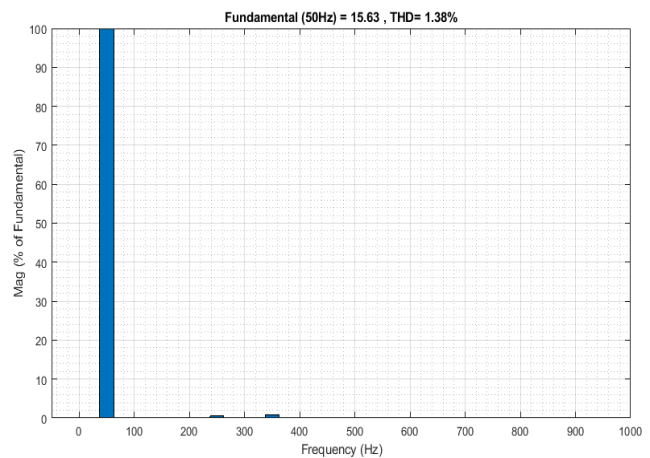
Figure.3.7: Tension du bus continu aux bornes de la capacité



a. Sans FA



b. Technique PQ



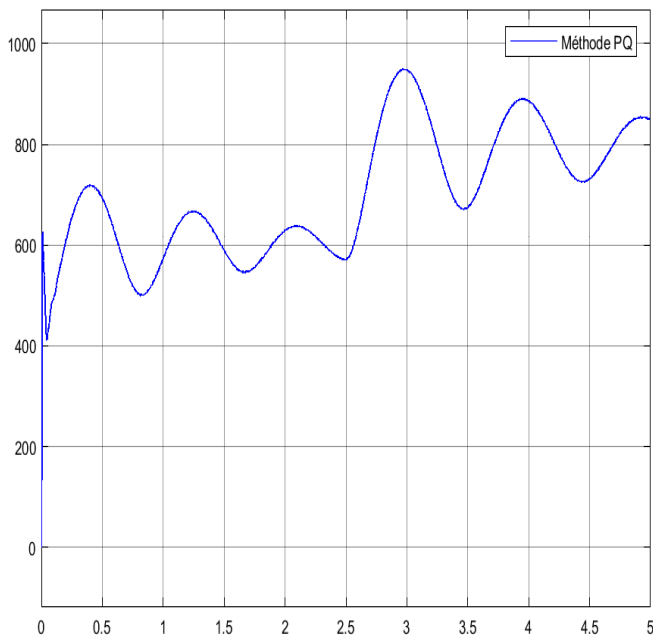
c. Technique DQ

Figure.3.8:FFT et la valeur du THD du courant de source

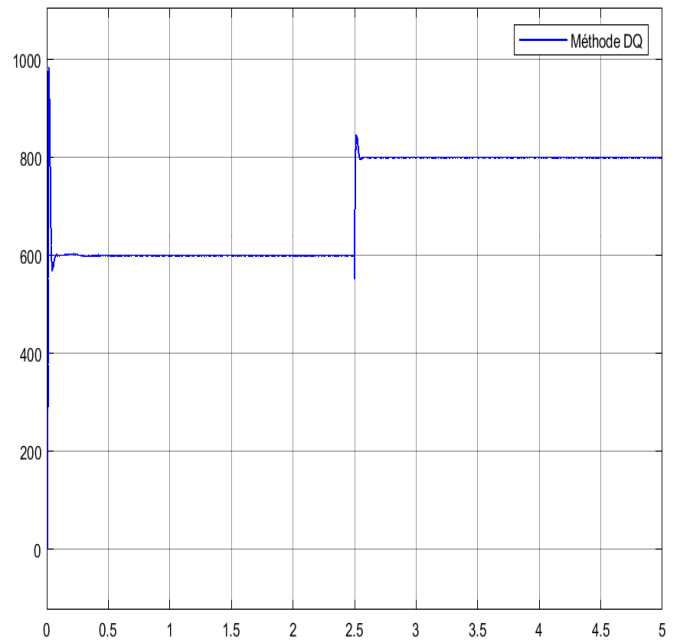
L'analyse et l'étude comparative des résultats de simulations obtenus avec et sans filtre actif (FA) permettent la justification de l'effet et de l'impact du FA sur l'amélioration de la qualité du signal. En effet, il assure l'élimination des harmoniques dues à la présence d'une charge non

linéaire et de ce fait rend la forme du courant électrique la plus proche de forme sinusoïdale et par conséquent réduit conséquemment le taux de distorsion harmonique.

Par ailleurs, une commande adéquate de l'onduleur où les références des harmoniques à éliminer sont identifiés par les deux méthodes d'identification utilisée (PQ, DQ). Ainsi qu'un contrôleur PI pour la régulation de la tension du bus continu aux bornes de la capacité (figure 3.7). En termes d'analyse, on note sur les résultats de la (figure 3.8), l'efficacité de la présence du FA, que ce soit avec la méthode DQ ou PQ en comparant avec le modèle sans FA. Cela est justifié par les valeurs faibles des taux de distorsion harmonique (THD).

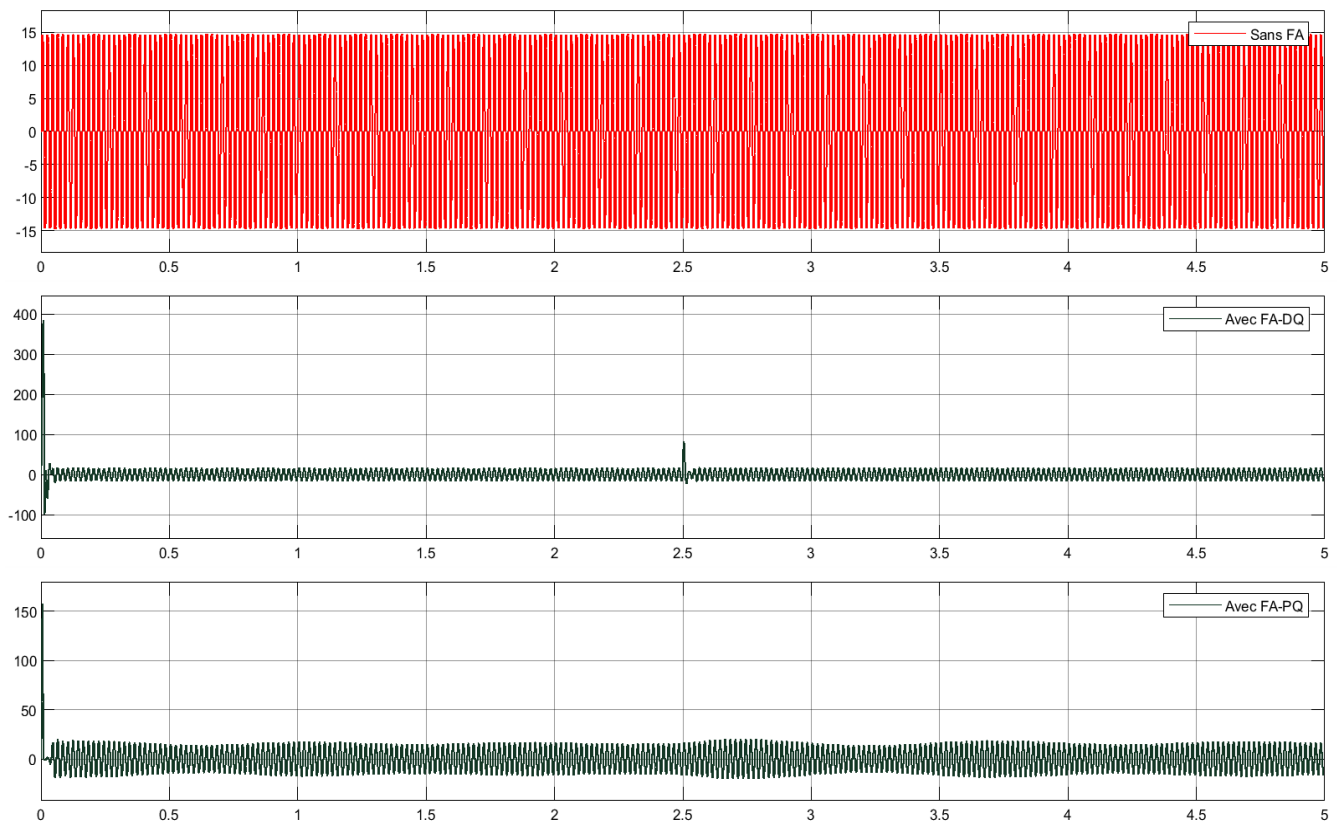


Technique PQ



Technique DQ

a. Tension du bus continu aux bornes de la capacité



b. Courant de la source avant et après l'application du FA (DQ ; PQ)

Fig.3.9: Test d'évaluation

Lors de la variation de la tension de référence continue (dc-bus) d'un échelon (600V-800V), on constate d'après la figure 3.9, que le modèle du FA avec la méthode d'identification DQ est plus robuste, stable et avec un temps de réponse rapide par rapport le modèle du FA avec la méthode PQ. Ainsi que l'efficacité du FA avec la méthode DQ pour l'élimination des harmoniques est mieux par rapport le modèle avec la méthode PQ (Figure 3.9.b).

3.4 Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire que le filtre actif parallèle de puissance qui n'est autre qu'un onduleur est un dispositif adéquat pour la compensation harmonique. En effet, l'identification et l'extraction des courants harmoniques se fait par deux méthodes (DQ-PQ), en raison de faire une comparaison entre eux. Ces méthodes génèrent des courants de référence en se basant directement sur le courant de la charge sans tenir compte des tensions du réseau.

L'évaluation entre les deux techniques d'identification (DQ-PQ) et l'adaptabilité du FA face aux variations d'un échelon de la tension d_c -bus est traduite réellement par le contrôle efficace du système de commande du FA, qui assure que la valeur de la tension DC aux bornes de la capacité qui alimente l'onduleur sera toujours ramenée est égale à la valeur de référence imposée. D'autre part, l'évaluation entre les deux méthodes est justifiée par l'amélioration de la qualité du signal courant de la source qui est traduite par la valeur réduite du THD.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié par simulation numérique en utilisant le MATLAB l'identification des courants harmoniques. Notre objectif est de réaliser une comparaison entre deux techniques pour déterminer les courants harmoniques. Pour atteindre ce but, nous avons présenté en premier temps les effets liés à la connexion des dispositifs d'électronique de puissance sur la qualité de l'énergie électrique. Des solutions ont été proposées permettant pour remédier à chaque type de perturbation.

Par la suite, nous pouvons dire que le filtre actif parallèle de puissance qui n'est autre qu'un onduleur est un dispositif adéquat pour la compensation harmonique. En effet, l'identification et l'extraction des courants harmoniques se fait par deux méthodes (DQ-PQ), en raison de faire une comparaison entre eux. Ces méthodes génèrent des courants de référence en se basant directement sur le courant de la charge sans tenir compte des tensions du réseau.

L'analyse et l'étude comparative des résultats de simulations obtenus avec et sans filtre actif (FA) permettent la justification de l'effet et de l'impact du FA sur l'amélioration de la qualité du signal. En effet, il assure l'élimination des harmoniques dues à la présence d'une charge non linéaire et de ce fait rend la forme du courant électrique la plus proche de forme sinusoïdale et par conséquent réduit conséquemment le taux de distorsion harmonique.

Par ailleurs, une commande adéquate de l'onduleur où les références des harmoniques à éliminer sont identifiés par les deux méthodes d'identification utilisée (PQ, DQ). Ainsi qu'un contrôleur PI pour la régulation de la tension du bus continu aux bornes de la capacité (figure 3.7). En termes d'analyse, on note sur les résultats de la (figure 3.8), l'efficacité de la présence du FA, que ce soit avec la méthode DQ ou PQ en comparant avec le modèle sans FA. Cela est justifié par les valeurs faibles des taux de distorsion harmonique (THD).

L'évaluation entre les deux techniques d'identification (DQ-PQ) et l'adaptabilité du FA face aux variations d'un échelon de la tension d_c -bus est traduite réellement par le contrôle efficace du système de commande du FA, qui assure que la valeur de la tension DC aux bornes de la capacité qui alimente l'onduleur sera toujours ramenée est égale à la valeur de référence imposée. D'autre part, l'évaluation entre les deux méthodes est justifiée par

Conclusion générale

l'amélioration de la qualité du signal courant de la source qui est traduite par la valeur réduite du THD.

RÉFÉRENCES

- [1] AIT OUFQIR BADR-EDDINE<< Filtrage d'harmoniques dans un réseau mixte photovoltaïque-électrique par estimation adaptative coupe-bande >> université du québec à montréal 2017
- [2] Lahmar-amel << Filtrage et qualité d'énergie >> universite badji mokhtar annaba 2017
- [3] OMEIRI AMAR << Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant >> universite badji mokhtar annaba 2007
- [4] STEEVE BEAULIEU << étude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique >> mémoire université du quebec a chicoutiml, 2007
- [5] HAMOUDI FARID << commande robuste d'un filtre actif shunt a quatre fils >>, thèse de magistrale, université hadj lekher, batna, 2008
- [6] TADJER SID-Ahmed << Étude d'un système de compensation d'harmoniques en utilisant un générateur photovoltaïque << GPV >> >>, thèse de magistrale, université de M'Hamed bougara-boumerdes, 2008
- [7] Yue MA, Zhu Ling, « An analysis and simulation of shunt hybrid active power filter » Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Systems 2007, Oct. 8-11, Seoul Korea, pp. 90-93, 2007.
- [8] Abdelfettah BOUSSAID<< Filtrage actif des harmoniques dans les réseaux électriques. Contribution à l'amélioration de l'énergie électrique >> université des frères mentouri – constantine
- [9] AMARA Asma<< Etude et simulation d'un circuit de commande pour un filtre actif de puissance parallèle à deux bras à point milieu pour un réseau électrique à trois fils >> Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2015.
- [10] hind djeghloud<< filtrage actif de puissance >> université mentouri constantine 2007

- [11] Kamel DJAZIA <<Etude des filtres actifs pour réseaux déséquilibrés et distordus>>université ferhat abbas setif 1
- [12] Abdelfettah BOUSSAID<<Filtrage actif des harmoniques dans les réseaux électriques. Contribution à l'amélioration de l'énergie électrique>>université des frères mentouri – constantine 2017
- [13] nekkar djamel<<Contribution l'Etude des Stratégies de Commande des Filtres Actifs Triphasés>>Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras 2014
- [14] A.L.D. Bermeo « Commandes avancées des systèmes dédiés à l'amélioration de la qualité de l'énergie : de la basse tension à la montée en tension », Thèse Doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble 2006.
- [15] M.A.alali, "Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension (Automatisation des systèmes de puissance électriques)", Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur – Strasbourg I, Strasbourg 12 Septembre 2002.
- [16] S, KARIMI " Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage "FPGA in the loop". application au filtre actif parallèle" Thèse de Docteur l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2009
- [17] T. Abdelkrim, E.M. Berkouk ,K . Aliouane , K. Benamrane et Benslimane "Etude et réalisation d'un onduleur à trois niveaux commandé par MLI vectorielle"