

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد حطاب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électrotechnique
Spécialité Machines Électriques

présenté par

MECHEMACHE Kamel

&

IHAMOUIENE Aissa

Étude comparative avec simulation d'un filtre actif parallèle de courant

Proposé par : M^{me} M. GUERGAH

Juillet 2019.

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'étude.

Egalement, Nous avons remercié tous particulièrement M^{me} Guergeh Notre promotrice, pour son renfort ses directives et sa disponibilité malgré ses nombreuses occupations, durant le temps de ce projet.

Nos vifs remerciements vont aussi à nos membres de jury pour avoir accepté d'être examinateurs de notre travail

Nous remercions aussi tout particulièrement nos anciens professeurs qui nous ont donné le goût d'étudier cette matière qu'est l'électrotechnique.

Merci pour tous les collègues et amis du monde et tout l'amour qu'ils nous apportent jour après jour...

ملخص: تسببت التطورات الأخيرة في مجال إلكترونيات الطاقة في تدهور جودة الموجة الحالية المقدمة بسبب ظهور التوافقيات في شبكة النقل. العديد من الحلول المعتمدة للقضاء على هذه التوافقيات. في هذا العمل ناقشنا مبدأ التشغيل للمرشح النشط الموازي. لتحديد تيارات الاضطراب ، يتم تقديم طريقتين:

PQ ذات 4 أسلاك وطريقة DCAP.

يتم الحصول على نتائج المحاكاة باستخدام البرنامج (PSIM).

الكلمات المفتاحية: المرشح النشط الموازي. التوافقيات. DCAP. PQ.

Résumé: Les récents développements apparus dans le domaine de l'électronique de puissance, ont causée de la détérioration de la qualité de l'onde de courant fournie, en raison de l'apparition des harmoniques dans le réseau de transport. Plusieurs solutions adoptées pour l'élimination de ces harmoniques. Dans ce travail nous avons abordé le principe de fonctionnement du filtre actif parallèle. Pour l'identification des courants perturbateurs on a deux méthodes sont présentées : méthode PQ a 4 fils et la méthode DCAP. Les résultats de simulation sont obtenus en utilisant le logiciel (PSIM).

Mots clés : filtre actif parallèle , taux de distorsion harmonique , PQ , DCAP

Abstract: Recent developments in the field of power electronics have caused the deterioration of the quality of the current wave provided due to the appearance of harmonics in the transmission network. Several solutions adopted for the elimination of these harmonics. In this work, we have discussed the operating principle of the parallel active filter. For the identification of disturbance currents, two methods are presented: 4-wire PQ method and DCAP method. The simulation results are obtained using the software (PSIM).

Keywords : filter active parallel , total harmonic distortion , PQ , DCAP

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce travail a été dédié à l'application et l'amélioration des performances d'un filtre actif à quatre bras pour l'amélioration de la qualité d'énergie électrique dans un réseau électrique basse tension avec le fil de neutre. Le filtre actif parallèle son objectif est compensé les courants perturbateurs harmoniques, afin de maintenir un système de courants triphasé du côté de source sinusoïdal et équilibré ou en d'autres termes, découpler les perturbations causées par les charges non linéaires du réseau amont.

Le modèle du filtre est validé selon les résultats de la simulation obtenues avec les deux méthodes appliquées : PQ a quatre fils et DCAP.

On conclut d'après les résultats de la simulation obtenus que la méthode PQ donne des résultats dans les normes (THD inférieur à 5%), le THD chute de 30% vers 2.42% à chaque phase dans le cas de la charge équilibrée. Et le deuxième cas d'une charge déséquilibrée nous avons vu que le THD est environ 30% avant le filtrage. Après l'application de filtre la valeur moyenne de THD atteinte 2.52%.

La simulation de la DCAP dans le premier cas donne des mêmes résultats pareils de la PQ 2.42%. Mais la DCAP plus performante sa THD moyenne 2.41% dans le deuxième cas par rapport la PQ 4 fils qui donne un THD 2.52%. Parmi les avantages de la DCAP la simplicité des calculs par contre la PQ a 4 fils.

De plus le courant de neutre est compensé dans les deux méthodes.

Sommaire

Introduction générale :2

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

1.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Définition des harmoniques :	Erreur ! Signet non défini.
1.3 Les caractéristiques des perturbations harmoniques :	Erreur ! Signet non défini.
1.3.1 Rang de l'harmonique :	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2 Expression de la grandeur déformée :	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3 Taux de Distorsion Harmonique (THD) :	Erreur ! Signet non défini.
1.3.4. Spectre d'harmonique :	Erreur ! Signet non défini.
1.4. La pollution harmonique :	Erreur ! Signet non défini.
1.4.1 Les causes de la pollution harmonique :	Erreur ! Signet non défini.
1.4.2 Les conséquences de la pollution harmonique :	Erreur ! Signet non défini.
1.5 Solutions de filtrage des harmoniques :	Erreur ! Signet non défini.
1.5.1 Solutions traditionnelles de dépollution :	Erreur ! Signet non défini.
1.5.2 Solutions modernes :	Erreur ! Signet non défini.
1.6	
Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

2.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
2.2 Principe de base du filtrage actif :	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1 Le filtrage actif série :	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2 Le filtrage actif parallèle:	Erreur ! Signet non défini.
2.3 Structure générale d'un filtre actif :	Erreur ! Signet non défini.
2.3.1 Etude de la partie puissance :	Erreur ! Signet non défini.
2.3.2 Etude de la partie contrôle-commande :	Erreur ! Signet non défini.
2.4 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 03 : modélisation des méthodes d'identification des courants de référence

3.1 introduction:	Erreur ! Signet non défini.
3.2 Description du système :	Erreur ! Signet non défini.
3.2.1 Modèle du réseau d'alimentation :	Erreur ! Signet non défini.
3.2.2 Modèle de la charge :	Erreur ! Signet non défini.

3.2.3 Modèle de filtre :	Erreur ! Signet non défini.
3.3 Concept de la méthode p-q originale :	Erreur ! Signet non défini.
3.3.1 Théorie de la puissance instantanée. Méthode p-q. Application sur un réseau déséquilibré à 4 fils :	Erreur ! Signet non défini.
3.4 Concept de la méthode DCAP :	Erreur ! Signet non défini.
3.5 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 04 : résultats de simulation

4.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
4.2 Description du réseau électrique sans filtre actif de puissance :	Erreur ! Signet non défini.
4.3 Simulation avant filtrage :	Erreur ! Signet non défini.
4.3 Simulation après filtrage :	Erreur ! Signet non défini.
4.3.1 Le cas d'une charge équilibrée :	Erreur ! Signet non défini.
4.3.2 Cas d'une charge déséquilibrée :	Erreur ! Signet non défini.
4.3 Interprétation des résultats :	Erreur ! Signet non défini.

4.4

Conclusion :**Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion générale :62

1.1 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. [1]

Mais depuis quelques années, avec l'évolution technologique et l'utilisation croissante des dispositifs à base d'électronique de puissance dans les appareils industriels, tertiaires ou domestiques entraîne de plus en plus de problèmes de perturbation au niveau des réseaux électriques. Bien que ces appareils apportent une souplesse d'utilisation et une augmentation de la fiabilité avec un rendement élevé, ils se comportent comme des charges non linéaires qui absorbent des courants avec des formes d'ondes différentes des tensions d'alimentation ce qui affecte la qualité de l'énergie électrique. [2]

Dans ce chapitre, nous définissons les harmoniques et ses caractéristiques ensuite nous parlons sur leurs origines excitées et quelles sont les effets provoqués dans le réseau électrique à la fin du chapitre nous citons les méthodes classiques et modernes utilisés pour réduire ou bien éliminés les harmoniques.

1.2 Définition des harmoniques :

Un harmonique est défini comme étant une composante sinusoïdale d'un signal périodique, ayant une fréquence multiple de l'onde fondamentale. Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 Hz et 2000 Hz (entre les harmoniques de rangs $h=2$ et $h=40$).

L'amplitude de rang 1 est appelée la composante fondamentale du signal électrique périodique; dans notre cas c'est la (50 HZ). L'amplitude de chaque harmonique est inversement proportionnelle à son ordre.

Les premiers rangs harmoniques tel que (3, 5, 7,9) ont des amplitudes élevées, d'où l'importance des courants injectés, raison pour laquelle il faut limiter ces harmoniques dans les normes. [3]

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

En génie électrique les harmoniques c'est un signal périodique de fréquence (f) et de forme quelconque, qui peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux comprenant :

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

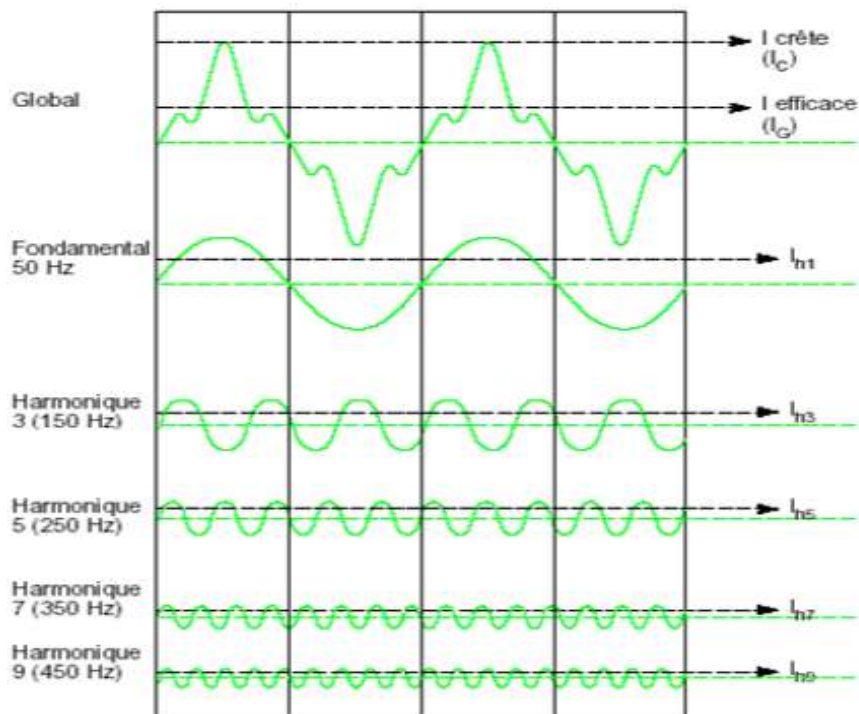


Figure1.1: L'image d'une onde déformée et de ses décompositions. [4]

1.3 Les caractéristiques des perturbations harmoniques :

1.3.1 Rang de l'harmonique :

C'est le rapport de sa fréquence à celle du fondamental (généralement la fréquence industrielle, 50 ou 60 Hz) $n = \frac{f_n}{f_1}$. Par principe, le fondamental f_1 a le rang 1.

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

1.3.2 Expression de la grandeur déformée :

Le développement en série de FOURIER de tout phénomène périodique est de la forme :

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n) \quad (1.1)$$

Où :

Y_0 = amplitude de la composante continue, généralement nulle en distribution électrique en régime permanent.

Y_n = valeur efficace de la composante de rang n .

φ_n = déphasage de la composante harmonique au temps initial.[4]

1.3.3 Taux de Distorsion Harmonique (THD) :

Pour un signal Y , le taux de distorsion harmonique THD est défini par la formule :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1} \quad (1.2)$$

Selon la norme, on peut généralement limiter h à 50. Cette grandeur permet d'évaluer l'aide d'un nombre unique la déformation d'une tension ou d'un courant circulant en un point du réseau.

Le taux de distorsion harmonique est habituellement exprimé en pourcentage.[1][4]

a. Le THD en tension : Caractérise la déformation de l'onde de tension. Une valeur de THD inférieure à 5 % est considérée comme normale. Aucun dysfonctionnement n'est à craindre. Une valeur de THD comprise entre 5 et 8 % révèle une pollution harmonique significative. Quelques dysfonctionnements sont possibles. Une valeur de THD supérieure à 8% révèle une pollution harmonique importante. Des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et la mise en place de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

b. Le THD en courant : Caractérise la déformation de l'onde de courant. Une valeur de THD inférieure à 10 % est considérée comme normale. Aucun dysfonctionnement n'est à craindre. Une valeur de THD comprise entre 10 et 50 % révèle une pollution harmonique

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

significative. Il y a risque d'échauffements, ce qui implique le surdimensionnement des câbles et des sources. Une valeur de THD supérieure à 50 % révèle une pollution harmonique importante. Des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et la mise en place de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.[4]

1.3.4. Spectre d'harmonique :

C'est la représentation de l'amplitude des harmoniques en fonction de leur rang, la valeur des harmoniques étant généralement exprimée en pourcentage du fondamental par un histogramme.

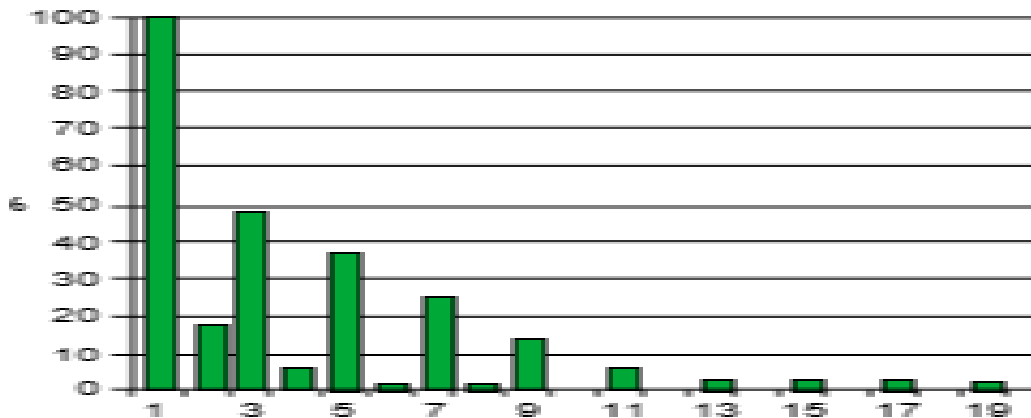


Figure1.2: Spectre d'harmonique.[5]

1.4. La pollution harmonique :

1.4.1 Les causes de la pollution harmonique :

La pollution harmonique est générée par des charges absorbant un courant d'intensité non-sinusoidal. Elles peuvent être de deux natures : soit des charges non-linéaires intrinsèques (e. g., ordinateur), soit linéaires mais couplées à un variateur ce qui les rend non-linéaires (e.g : ampoule à filament + gradateur, moteur triphasé + variateur). [7]

Nous pouvons citer à titre d'exemples de récepteurs non-linéaires :

- Redresseur monophasé à diodes avec filtrage.

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

- Redresseur triphasé à diodes avec filtrage.
- Convertisseurs statiques.
- Variateur de vitesse des moteurs asynchrones, Gradateur monophasé (Régulation de puissance de fours à résistances).
- Modulation de puissance des lampes halogènes.
- Redresseur triphasé à thyristors.
- Moteur asynchrone (Machines-outils, Appareils électroménagers, Ascenseurs, ...).
- Alimentation à découpage (Micro-informatique ...) [6]

1.4.2 Les conséquences de la pollution harmonique :

Les perturbations harmoniques des courants et des tensions ont des effets néfastes sur tous les récepteurs terminaux raccordés au réseau. Les effets engendrés par les harmoniques sont généralement de deux types : les effets instantanés et les effets à terme.

1.4.2.a Effets à terme :

Hormis la fatigue mécanique des matériaux due aux vibrations, l'effet à terme est l'échauffement[8]. Il provoque une destruction lente du matériel. On cite :

- Echauffement et vieillissement des condensateurs, des câbles et des équipements.
- Echauffement dû aux pertes supplémentaires des machines, des transformateurs et des câbles.[1][6][8]

1.4.2.b Les effets à instantané :

Vibrations, bruit par les efforts électrodynamiques proportionnels aux courants instantanés en présence, les courants harmoniques généreront des vibrations, des bruits acoustiques, surtout dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances). Des couples mécaniques pulsatoires, dûs aux champs tournants harmoniques, donneront des vibrations dans les machines tournantes.[8]

Le dysfonctionnement de certains équipements électriques comme les dispositifs de commande et de régulation. En présence d'harmoniques, le courant et la tension peuvent changer plusieurs fois de signe au cours d'une demi-période. Par conséquent, les équipements sensibles au passage par zéro de ces grandeurs électriques sont perturbés. [1]

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

Les récepteurs de télécommande centralisée à fréquence musicale utilisée par les distributeurs d'énergie peuvent être perturbés par des tensions harmoniques de fréquence voisine de celle utilisée par le système. Nous évoquerons plus loin d'autres causes de perturbation de ces relais liées aux impédances harmoniques de réseau. [8]

1.5 Solutions de filtrage des harmoniques :

On peut regrouper les solutions visant à réduire les perturbations harmoniques en deux groupes : les solutions classiques et les solutions modernes.

1.5.1 Solutions traditionnelles de dépollution :

Ce sont des techniques qui doivent être connues par tous les électriciens. Elles apportent une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations bien localisées et utilisent des composants passifs (inductances, condensateurs, transformateurs) et/ou des branchements qui modifient le schéma de l'installation.[6]

Agir sur la structure de l'installation: il est souhaitable d'alimenter un grand pollueur par un transformateur à part, afin de le séparer d'un récepteur sensible. Face à un pollueur moyen il est préférable d'effectuer l'alimentation par des câbles distincts au lieu de les connecter en parallèle. Une distribution en étoile permet le découplage par les impédances naturelles et/ou additionnelles.[9]

Surdimensionnement ou déclassement de l'installation électrique: on procède généralement au surdimensionnement des équipements afin d'assurer leur tenue aux surcharges harmoniques. Cette solution n'agit pas sur l'harmonique qui ne subit aucune action curative de la part de l'utilisateur. Par cette approche, les problèmes liés à la pollution électrique soumis aux harmoniques est utilisée dans le cas des installations existantes. Cette méthode cause un surcout de production et ne tire pas profit du potentiel réel de l'installation.[6]

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

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

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.[9]

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.[6]

Filtre 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. Parmi les dispositifs de filtrage les plus répandus, on distingue le filtre passif amorti ou passe-haut et le filtre passif résonnant (figure 1.4).[3]

- **Filtre passif amorti :**

C'est un filtre passe haut constitué d'une inductance en parallèle avec une résistance, le tout en série avec un condensateur comme décrit sur la figure 1.3. [10]

- **Filtre passif résonnant :**

Ou filtre shunt est composé d'une inductance L en série avec un condensateur C . La valeur d'inductance L et de la capacité C sont calculées à la fréquence de résonance correspondant à la fréquence de l'harmonique à éliminer. Lorsqu'on souhaite réaliser le filtrage d'un signal déformé entaché par plusieurs courants harmoniques, il est nécessaire de prévoir un ensemble de filtres ou chacun d'entre eux agit sur le rang harmonique à éliminer (la figure 1.4). [6]

Le dimensionnement de ces filtres (le filtre passif amorti ou passe-haut et le filtre passif résonnant) dépend des harmoniques à éliminer, des performances exigées, de la structure du réseau et de la nature des récepteurs. Par cette technique, il est en général plus aisé de rejeter les harmoniques de rang élevé que celles de rang faible. Malgré sa large utilisation dans l'industrie, ce dispositif simple a tout de même certains inconvénients:

- Une connaissance approfondie de la configuration du réseau électrique est nécessaire.
- Les variations de l'impédance du réseau peuvent détériorer les performances du filtre.

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

- Le réseau peut former un système résonnant avec le filtre et les fréquences voisines de la fréquence de résonance sont amplifiées.
- Équipements volumineux.
- Inadaptabilité et perte d'efficacité lorsque les caractéristiques du réseau électrique évoluent.[3][9]

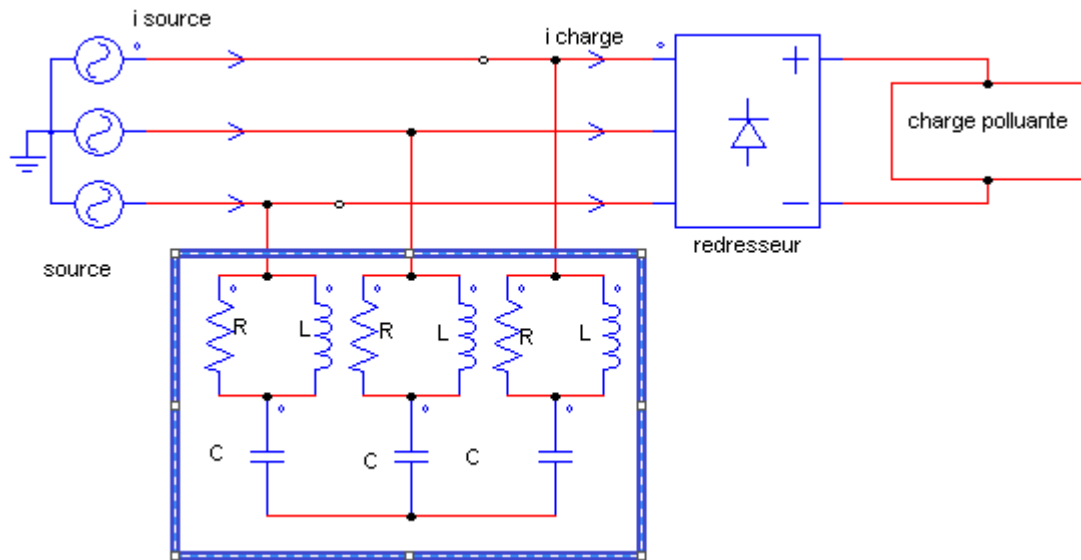


Figure 1.3: Filtre passif amortie.

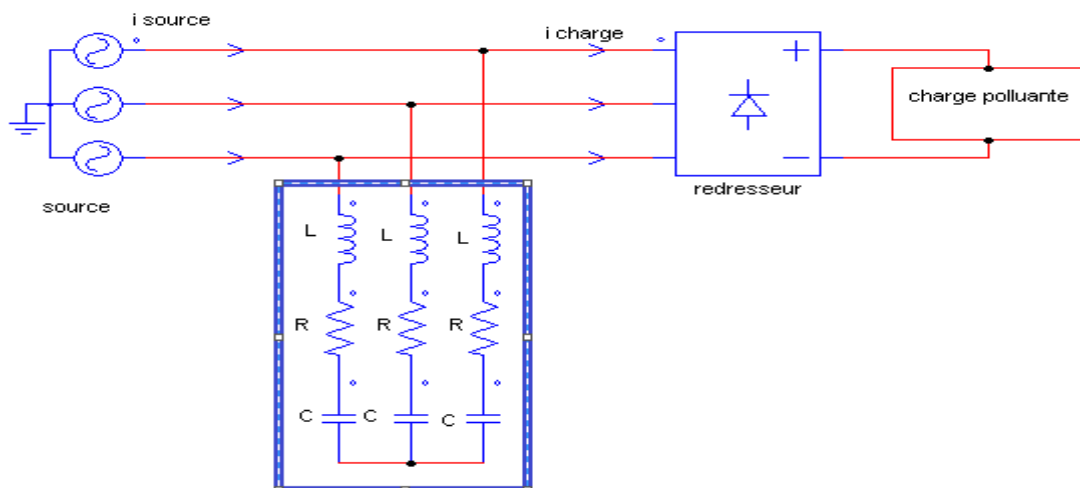


Figure 1.4 : Filtre passif résonnant.

1.5.2 Solutions modernes :

De nouvelles structures de filtrage plus efficaces ont été conçues et appelées filtres actifs de puissance en réponse aux inconvénients des solutions traditionnelles de dépollution qui ne répondent plus à l'évolution des charges et des réseaux électriques, en plus de l'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les transistors IGBT qui offrent de nouvelles possibilités. Le but de ces filtres est de générer des courants ou tensions harmoniques de manière à compenser les perturbations responsables de la dégradation des performances des équipements et installations électriques.[6]

Nous citons :

- Le filtre actif.
- Le filtre actif hybride.

a. Filtre actif parallèle (FAP) :

Appelé aussi compensateur shunt, il est connecté en parallèle sur le réseau de distribution (figure 1.5). Il est le plus souvent commandé comme un générateur de courant. Il restitue dans le réseau électrique les courants harmoniques injectés égaux à ceux absorbés par la charge non linéaire mais en opposition de phase, de telle sorte que le courant fourni par le réseau soit sinusoïdal et en phase avec la tension simple correspondante. Son indépendance vis-à-vis de la source et de la charge lui assure auto-adaptabilité, fiabilité et performance.

Le filtre actif parallèle empêche les courants harmoniques, réactifs et déséquilibres de circuler à travers l'impédance du réseau. Il améliore ainsi les taux de distorsion en courant et en tension.[9]

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

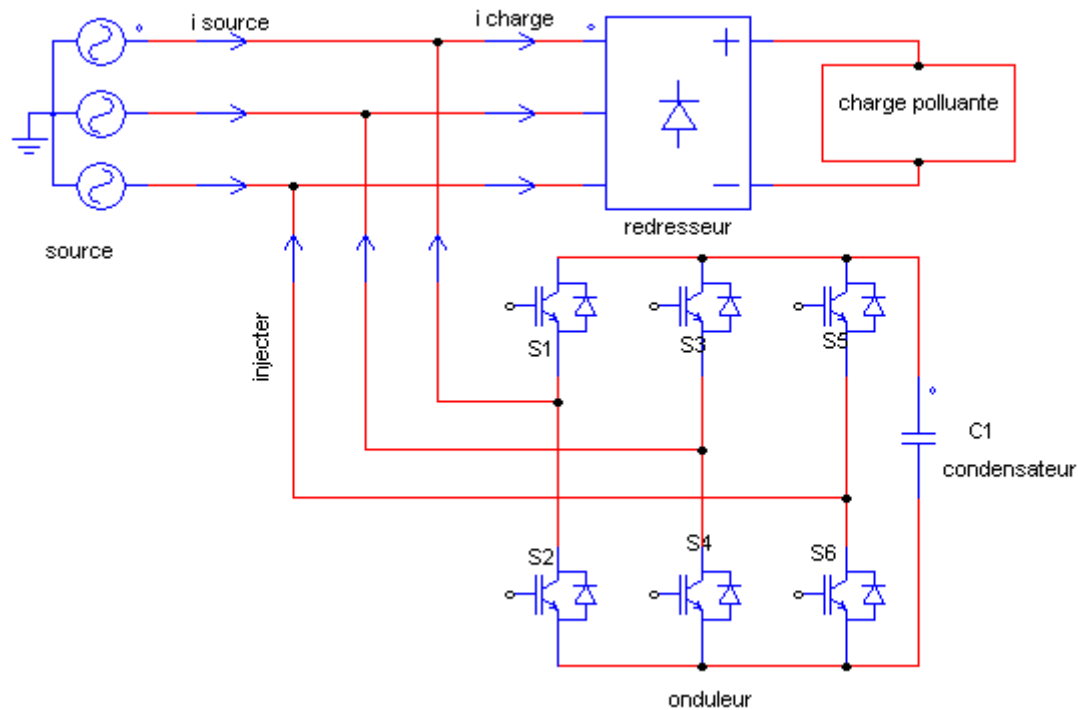


Figure 1.5: Filtre actif parallèle (FAP).

b. Filtre actif série (FAS) :

Le filtre actif série est connecté en série sur le réseau (figure 1.6). Il se comporte comme une source de tension qui engendre des tensions harmoniques dont la somme avec la tension réseau est une onde sinusoïdale. Il est destiné à protéger les installations sensibles aux tensions perturbatrices (harmoniques, creux, déséquilibres) 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, des conditionneurs de réseau. Toutefois, cette topologie présente quelques difficultés et inconvénients lors de sa mise en œuvre: elle ne permet pas, par exemple, de compenser les courants harmoniques consommés par la charge.[9]

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

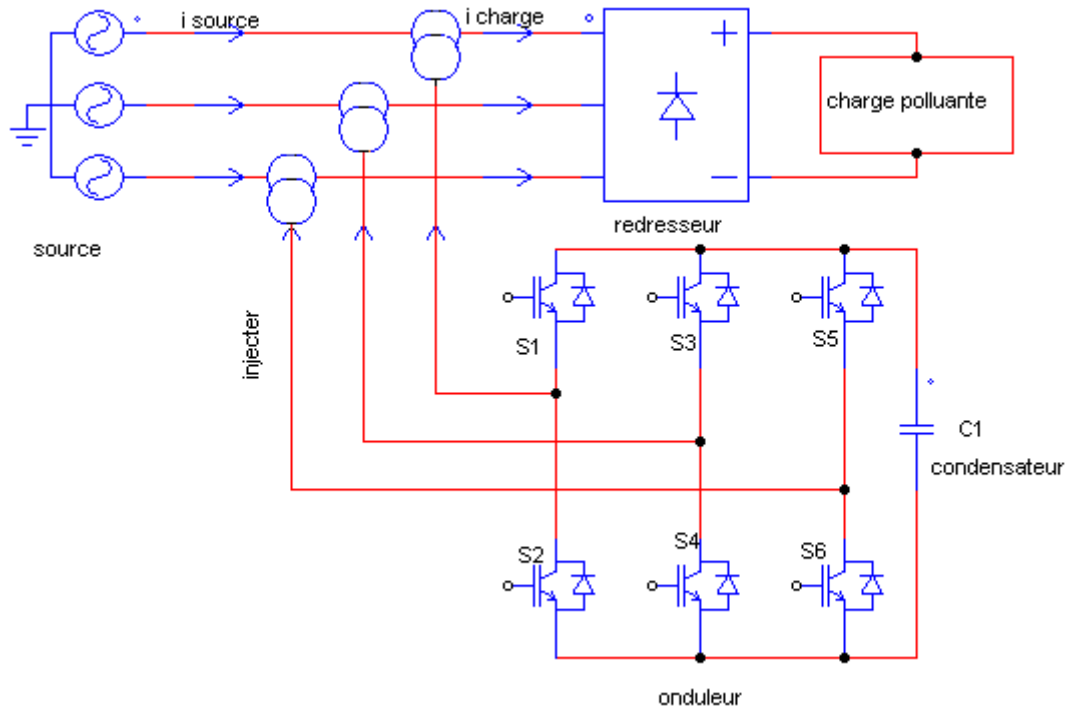


Figure 1.6 : Filtre actif série (FAS).

c. Filtre actif hybride :

Le filtre hybride est une topologie de filtre qui combine les avantages des filtres passifs et des filtres actifs. Pour cette raison, il est considéré comme l'une des meilleures solutions pour filtrer les harmoniques de courant des réseaux de distribution. Une des principales raisons de l'utilisation du filtre actif hybride est liée au développement des semi-conducteurs de puissance tels que les transistors de puissance de types MOSFET ou IGBT. De plus, du point de vue économique, le filtre hybride présente un atout majeur : il permet de réduire le coût du filtre actif, actuellement l'obstacle majeur à l'utilisation de filtres actifs.[1]

On distingue alors plusieurs types d'association de filtres actifs et passifs, les plus étudiées étant :

- Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.
- Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles
- Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles. [12]

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

c.1 Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif :

Dans cette topologie (figure 1.7), le filtre actif est connecté en parallèle avec le filtre passif. Tous deux sont également en parallèle avec la charge. Le filtre actif parallèle sert à compenser les courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante alors que le filtre passif, accordé sur une fréquence harmonique élevée, permet de compenser les harmoniques hautes fréquences. [1]

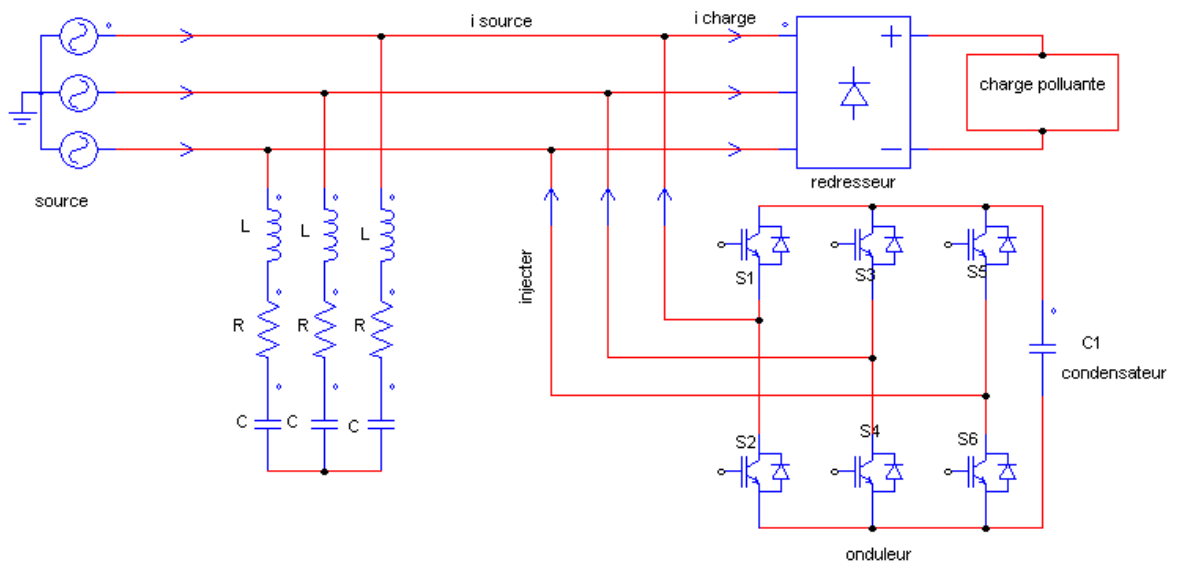


Figure 1.7 : Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.

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

Dans cette configuration, les deux filtres actif et passif sont directement connectés en série, sans l'intermédiaire d'un transformateur. L'ensemble est connecté en parallèle sur le réseau (figure 1.8). [1]

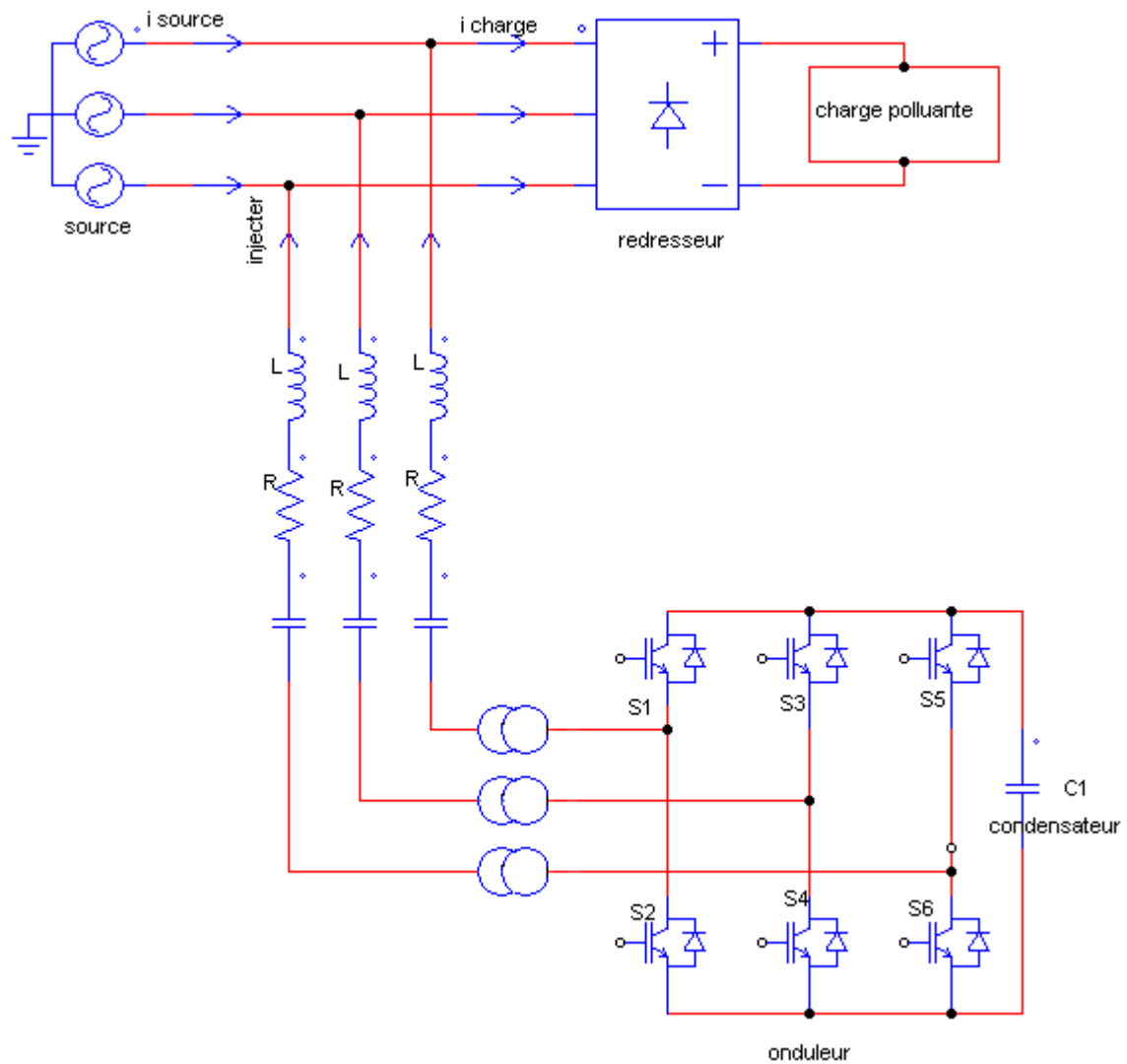


Figure 1.8 : Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.

c.3 Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif :

Cette structure (figure 1.9) permet de réduire les risques d'antirésonance entre les éléments des filtres passifs et l'impédance du réseau. Dans ce cas, le filtre actif série agit comme une résistance vis-à-vis des courants harmoniques et les oblige à circuler dans le filtre passif, tout en restant transparent à la fréquence fondamentale. La figure 1.9 illustre cette topologie. [1]

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

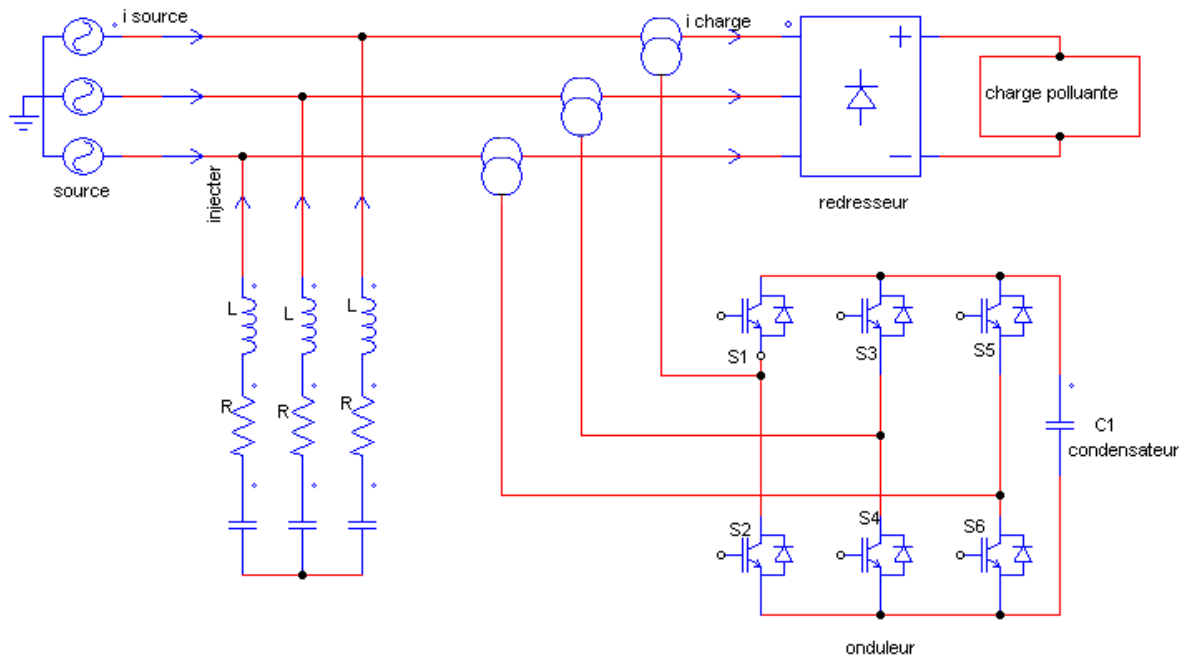


Figure 1.9 : Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif.

d. Filtre universel :

La combinaison parallèle-série des filtres actifs (figure 1.10), aussi appelée Unified Power QualityConditioner (UPQC), résulte de l'association des deux filtres actifs parallèle et série profitant des avantages des deux. L'UPQC assure la forme d'onde sinusoïdale pour le courant et de même pour la tension perturbée.[16]

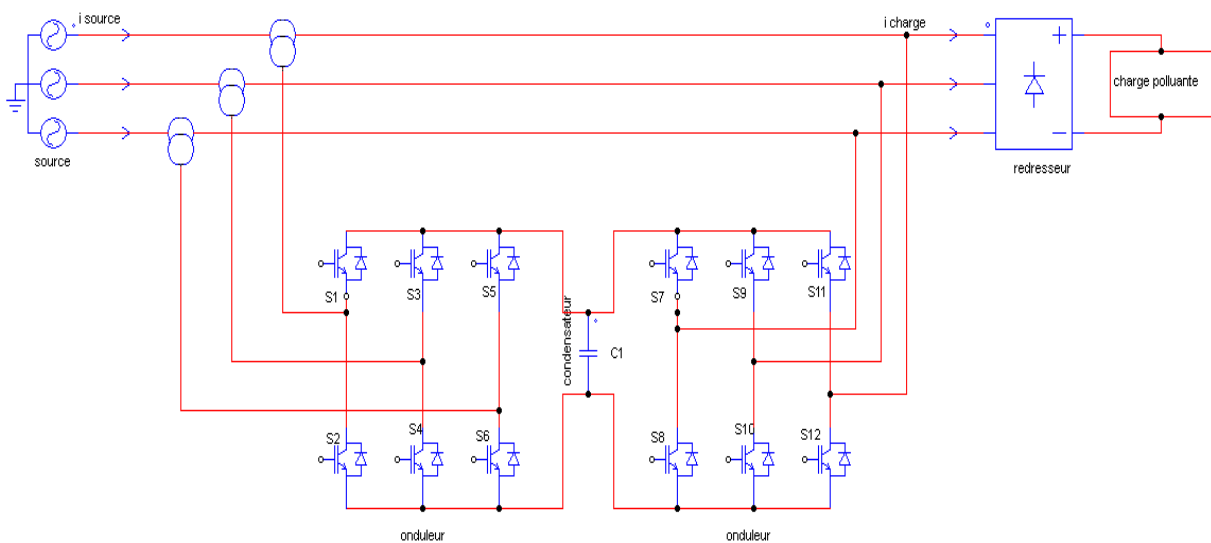


Figure 1.10 : Combinaison parallèle–série des filtres actifs.

1.6 Conclusion :

On a constaté dans ce premier chapitre que les charges non linéaires consomment des courants également non sinusoïdaux, c'est principalement là où se situe le phénomène de pollution des réseaux électriques.

Pour les dispositifs de dépollution d'une part on a vu les solutions traditionnelles mais ne sont pas efficaces et d'autre part le filtre passif qui constitue une solution bon marché mais avec un usage non systématique car il modifie les impédances des réseaux, il n'est pas flexible et il ne s'adapte pas, c'est pour ces raisons ce dispositif est défavorable à être utilisé dès l'apparition du filtre actif et le filtre hybride.

Chapitre 01 : généralité sur les harmoniques et la dépollution dans le réseau électrique

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

2.1 Introduction :

Une grande partie de l'énergie électrique produite dans le monde alimente différents types de charges non linéaires, ces charges génèrent des fréquences dans le réseau d'alimentation qui sont multiples de la fréquence fondamentale. Les courants harmoniques ne peuvent pas contribuer à la puissance active, ils doivent être éliminés pour améliorer la qualité de puissance. Les filtres actifs de puissance sont conçus pour cet objectif.[13]

Depuis la mise en œuvre de leur principe de base en 1970, les filtres actifs des harmoniques ont attiré l'attention des chercheurs de l'électronique de puissance qui se sont intéressés à la pollution harmonique dans les systèmes d'alimentation. Particulièrement, les filtres actifs ont été stimulés par l'apparition des IGBTs (bipolar insulated gate transistors), avec la disponibilité des cartes numériques DSPs (digital signal processors), FPGAs (field-programmable gate arrays), les sondes de courants et tension à effet Hall. Les filtres actifs modernes sont plus performants du point de vue qualité de filtrage, plus petits dans la taille physique, et plus flexibles dans l'application par rapport aux filtres passifs conventionnels qui utilisent les condensateurs, les inductances et les résistances. Cependant, les filtres actifs sont légèrement inférieurs dans le coût et l'efficacité par rapport aux filtres passifs, même actuellement.[14]

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de fonctionnement de filtrage actif que nous avons déjà vu dans le premier chapitre. Ensuite, nous avons montré la structure de filtre actif parallèle.

2.2 Principe de base du filtrage actif :

Les filtres actifs sont des filtres qui permettent d'éliminer plus efficacement le travail d'élimination harmonique que les filtres passifs. On a :

2.2.1 Le filtrage actif série :

Le filtre actif série permet d'éliminer les harmoniques de tension, de compenser le déséquilibre et de réguler la tension aux points de raccordement. Cette configuration

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

permet aussi d'éviter tout risque de résonance entre les éléments du filtre passif et l'impédance du réseau.[18]

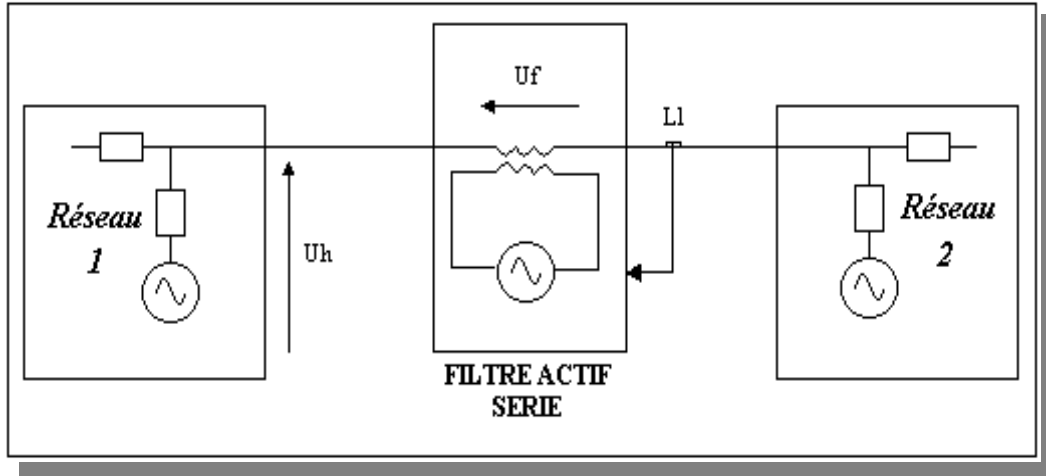


Figure 2.1 : Principe du filtrage actif parallèle

2.2.2 Le filtrage actif parallèle:

La figure 2.2 présente le principe du filtre actif parallèle, il est conçu pour fournir le courant de compensation i_f afin d'annuler les composantes harmoniques du courant de la charge non-linéaire, de telle sorte que le courant fourni par le réseau soit sinusoïdal.

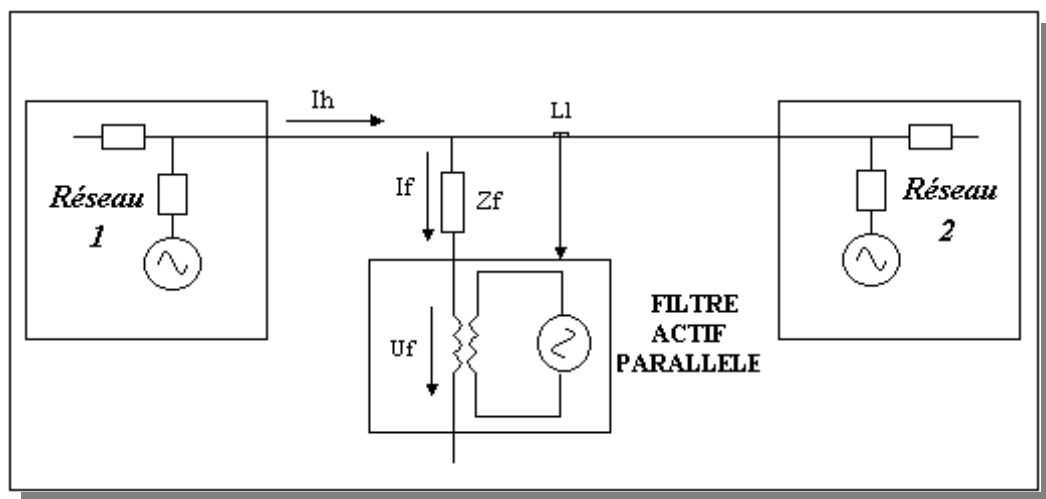


Figure 2.2 : Principe du filtrage actif parallèle

2.3 Structure générale d'un filtre actif :

La figure 2.3 donne la structure générale du filtre actif parallèle, laquelle se présente sous la forme de deux blocs : la partie puissance et la partie contrôle-commande.

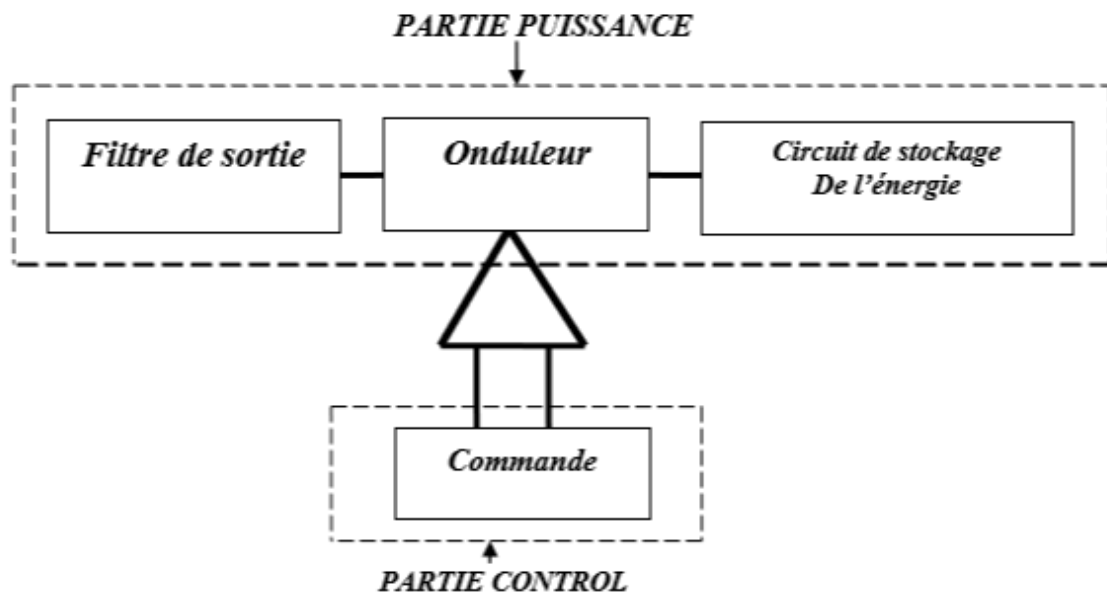


Figure 2.3 : Structure générale d'un filtre actif

La partie puissance est constituée :

- D'un onduleur de tension à base d'interrupteurs de puissance, commandables à l'amorçage et au blocage (GTO, IGBT, ...etc.) avec des diodes en antiparallèle.
- D'un circuit de stockage d'énergie, souvent capacitif.
- D'un filtre de sortie.

La partie contrôle-commande quant à elle est constituée :

- De la méthode d'identification des courants perturbés.
- De la régulation de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie.
- De la régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.
- De la commande de l'onduleur de tension.

2.3.1 Etude de la partie puissance :

a. Onduleur de tension :[16]

La Figure 2.4 présente un onduleur triphasé à structure de tension. Il se compose de trois bras à interrupteurs réversibles en courant, commandés à la fermeture et à l'ouverture, réalisés à partir d'un transistor (GTO ou IGBT) et d'une diode en antiparallèle. Le stockage de l'énergie du côté continu se fait par l'intermédiaire d'un condensateur C_{dc} de tension V_{dc} . Le filtre de sortie est un filtre passif habituellement du premier ordre (L_f, R_f) employé pour connecter l'onduleur de tension au réseau électrique.

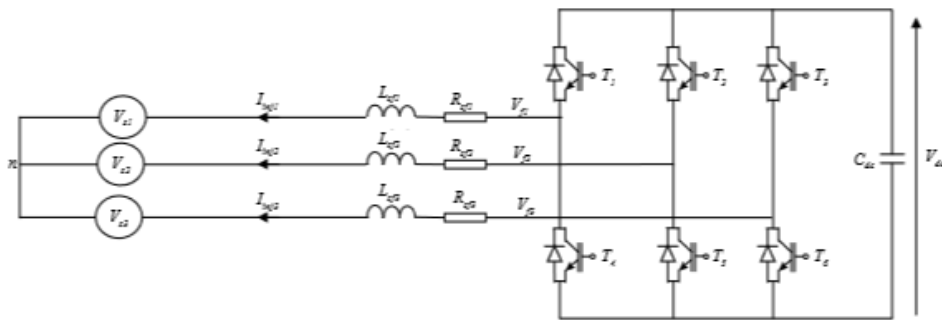


Figure 2.4: Onduleur de tension triphasé

Cette structure du filtre actif parallèle ne permet pas la fermeture simultanée des semi-conducteurs d'un même bras sous peine de court-circuiter le condensateur de stockage. Par contre, ils peuvent être tous les deux ouverts (pendant un temps mort). La continuité des courants est alors assurée par la mise en conduction d'une des diodes d'un même bras. En pratique, nous commandons les deux semi-conducteurs d'un même bras de façon complémentaire : la conduction de l'un entraîne le blocage de l'autre. En réalité, le mode, où les semi-conducteurs d'un même bras sont tous les deux fermés, n'existe que durant les commutations. Afin d'éviter un court-circuit à cause du délai de blocage des interrupteurs, il faut insérer sur un même bras, un temps d'attente, également appelé temps mort, entre la commande de blocage d'un interrupteur et la commande d'amorçage de l'autre. Avec l'hypothèse des commutations instantanées, ce mode de fonctionnement ne

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

sera pas pris en compte et par conséquent, aucun risque de court-circuiter le condensateur n'est à craindre.

b. Tension fournie par l'onduleur :

L'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur de la Figure 2.4 dépendent de l'état des signaux de commande (S1, S2, S3), comme défini ci-dessous : [16]

Signaux de commande	Fermé	ouvert
S1=1	T1	T4
S1=0	T4	T1
S2=1	T2	T5
S2=0	T5	T2
S3=1	T3	T6
S3=0	T6	T3

Tableau 2.1: L'état d'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur.

C. Système de stockage d'énergie :

Le stockage de l'énergie du côté continu se fait souvent par un système de stockage capacitif représenté par un condensateur C_{dc} qui joue le rôle d'une source de tension continue V_{dc} . Le choix des paramètres du système de stockage (V_{dc} et C_{dc}) se répercute sur la dynamique et sur 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 filtre est grande et que sa fréquence est faible. [16] [17]

Le condensateur du côté continu a deux fonctionnalités principales :

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

- Maintenir la tension avec un faible taux d'ondulation en régime permanent.
- Être un réservoir qui sert à fournir la différence d'énergie de la charge et la source durant le régime transitoire.

En régime permanent, la puissance active fournie par la source doit être égale à la puissance active absorbée par la charge plus une faible puissance active qui sert à compenser les pertes dans le filtre. La tension du côté continu peut être maintenue à une valeur de référence désirée.

Néanmoins, quand les conditions de charge changent, la puissance transite entre la source et la charge est perturbée et la différence d'énergie est compensée par le condensateur du côté continu ce qui éloigne cette tension de sa référence. Pour satisfaire les fonctionnalités du filtre actif, la valeur maximale du courant de référence doit être ajustée proportionnellement à l'énergie fournie par la source. Si la tension aux bornes du condensateur a été régulée et a atteint sa tension de référence, l'énergie fournie par la source est supposée être égale à l'énergie consommée par la charge. La valeur maximale du courant de référence est obtenue par régulation de la tension cotée continue. [17]

d. Filtre de sortie :

Ce filtre ne permet pas de satisfaire simultanément les deux critères de dimensionnement du filtre de sortie :

- Assurer la dynamique du courant.
- Empêcher les composantes dues aux commutations de se propager sur le réseau électrique.

Le bon dimensionnement du filtre de sortie du premier ordre dépendra donc du compromis à trouver entre la dynamique et l'efficacité du filtre actif parallèle. Ce compromis est très difficile à fixer sans l'emploi d'un filtre passif auxiliaire installé à la sortie de l'onduleur ou en amont du côté réseau. Cependant, ce filtre auxiliaire peut causer des effets secondaires non désirés comme la résonance avec d'autres éléments passifs installés sur le réseau électrique. Il occasionne également une consommation de puissance active par sa

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

résistance d'amortissement. De plus, la qualité de filtrage de ces filtres auxiliaires se dégrade avec le temps à cause du vieillissement de leurs éléments passifs. [17]

2.3.2 Etude de la partie contrôle-commande :

a. Introduction à la stratégie de commande :

La stratégie de commande se base sur la détection des courants perturbateurs dans le domaine temporel. Il existe trois 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. [16]

b. La méthode d'identification des courants perturbés :

Les différentes méthodes d'identification de courant perturbateur peuvent être regroupées en deux familles d'approche :

b.1 Domaine fréquentiel : 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. [18]

b.2 Domaine temporel : cette méthode est basée sur le calcul des puissances instantanées dans le domaine temporel. Certaines de ces méthodes se basent sur le calcul des puissances harmoniques de la charge non linéaire. D'autres peuvent être utilisées pour compenser à la fois les courants harmoniques et la puissance réactive, en se basant sur la soustraction de la partie fondamentale active du courant total. [16]

Méthode des courants :

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

Le principe de cette méthode, est d'identifier les courants harmoniques à partir du courant total. Et forcé l'onduleur a injecté des courants harmoniques inverses dans le réseau, Ce qui permet d'éliminer ces harmoniques. On capte le courant de charge polluante, ce courant est filtré par un filtre passe bande du deuxième ordre, ce qui permet d'éliminer la composante harmonique et ne laisse passer que la composante fondamentale. Le courant total moins la composante fondamentale donne le courant harmonique. Le courant injecté de l'onduleur est réglé autour de ce courant harmonique de référence. Les deux techniques de régulation : MLI sinus-triangulaire et hystérésis sont utilisées. Le filtre de sortie L_f est utilisé pour relier l'onduleur au réseau et pour empêcher les composantes de la commutation de se propager sur le réseau.[15]

Algorithme de la méthode des courants :

Le courant absorbé par la charge est composé de composante fondamentale et des composantes harmoniques à fréquence multiple de la fréquence fondamentale.

$$i_{Ch} = i_{Ch1} + \sum_{h=2}^{\infty} i_h \quad (2.1)$$

Avec :

i_{Ch} : le courant total de la charge.

i_{Ch1} : le courant fondamentale absorbé par la charge.

i_h : le courant harmonique absorbé par la charge.

Le filtre passe bande du deuxième ordre a pour but d'extraire la composante fondamentale du courant. La fréquence centrale est choisie égale à la fréquence fondamentale ($f_c=50\text{Hz}$). Cette méthode est caractérisée par la simplicité.[15]

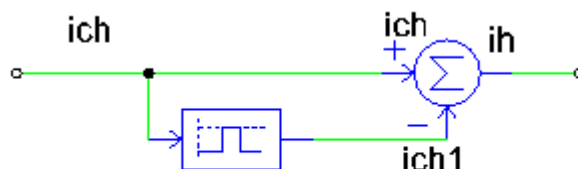


Figure.2.5 : Schéma représentant le principe d'identification des courants harmoniques.

Méthode de la puissance instantanée PQ :

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

La méthode des puissances instantanées est une méthode temporelle. Elle a été utilisée afin d'éviter les difficultés dues au nombre élevé de calcul lors de la mise en œuvre des méthodes fréquentielles telle que la méthode de Fourier (Transformées de Fourier rapide ou discrète). Cette méthode a été introduite par H. Akagi. Son principe 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, afin de calculer les puissances réelle et imaginaire instantanées. Ensuite, pour la détermination des courants harmoniques de la charge, la composante fondamentale est transformée en une composante continue et les composantes harmoniques en des composantes alternatives. Dans la méthode classique des puissances instantanées, on utilise généralement, soit un filtre passe-haut, soit un filtre passe-bas afin de ne garder que la composante harmonique du signal. [18][21]

c. Boucle de régulation du bus continu :

Les pertes dans le filtre actif (interrupteurs et filtre de sortie) sont la principale cause susceptible de modifier la tension moyenne V_{dc} du bus continu, qui doit être maintenue à une valeur fixe. La régulation de cette tension V_{dc} doit se faire par l'adjonction des courants fondamentaux actifs dans les courants de référence. La sortie du régulateur P_C s'ajoute, à un signe près, à la puissance active perturbatrice P_{et} donne lieu à un courant fondamental actif corrigeant ainsi V_{dc} . La puissance P_C représente la puissance active nécessaire pour maintenir la tension V_{dc} égale à la valeur de la tension de référence souhaitée ($V_{dc\ ref}$). Le régulateur employé ici est un régulateur proportionnel intégral (PI). En négligeant les pertes de commutations dans l'onduleur ainsi que l'énergie stockée dans l'inductance du filtre de sortie, la relation entre la puissance absorbée par le filtre actif et la tension aux bornes du condensateur peut s'écrire sous la forme suivante :

$$P_C = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C_{dc} V_{dc}^2 \right) \quad (2.2)$$

Pour des faibles variations de la tension V_{dc} autour de sa référence $V_{dc\ ref}$, la relation (2.2) peut être linéarisée pour devenir:

$$P_C = C_{dc} V_{dc\ ref} \frac{d}{dt} (V_{dc}) \quad (2.3)$$

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

Soit en lui appliquant la transformation de Laplace :

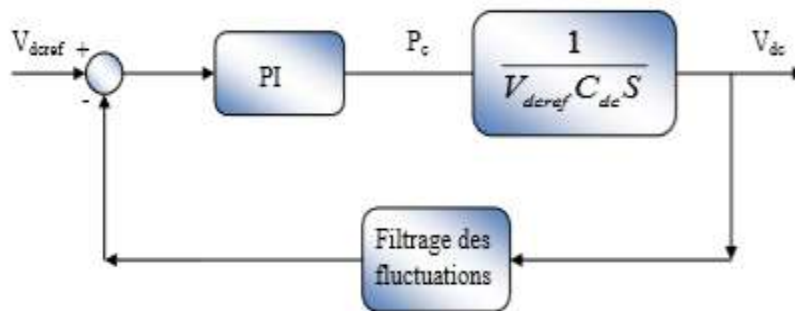
$$P_c(S) = C_{dc} V_{dc\text{ref}} S V_{dc}(S) \quad (2.4)$$

Donc

$$V_{dc}(S) = \frac{P_c(S)}{C_{dc} V_{dc\text{ref}} S} \quad (2.5)$$

La régulation de la tension du bus continu en boucle fermée est représentée par le schéma bloc de la Figure 2.6, les paramètres du régulateur PI doivent être choisis de façon à

ne
FAP.



obtenir un temps de réponse minimal afin de pas nuire à la dynamique du [19]

Figure 2.6: Boucle de régulation de la tension V_{dc} du bus continu. [19]

d. Stratégie de commande de l'onduleur du filtre actif :

d.1 Contrôle par la méthode de la modulation de largeur d'impulsion

Son principe général est de comparer une tension de référence à une porteuse triangulaire ou en dent de scie (figure 2.8).

Cette stratégie est caractérisée par deux paramètres :

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

- L'indice de modulation m est défini comme le rapport de la fréquence de modulation f_p de la porteuse à la fréquence f de la tension de référence $m = \frac{f_p}{f}$

- Le coefficient de réglage ou le taux de modulation r est le rapport de l'amplitude (Valeur crête) $U_{ref\ max}$ de la tension de référence à l'amplitude U_p de la porteuse

$$r = \frac{U_{ref\ max}}{U_p}. [15]$$

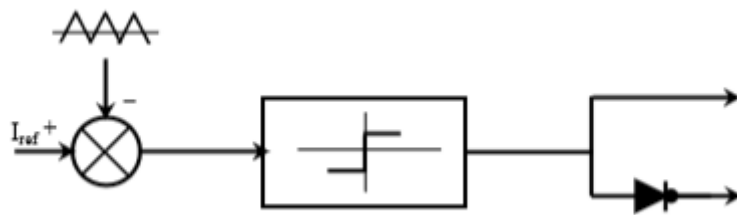


Figure 2.7 : Principe de contrôle du courant par MLI. [15]

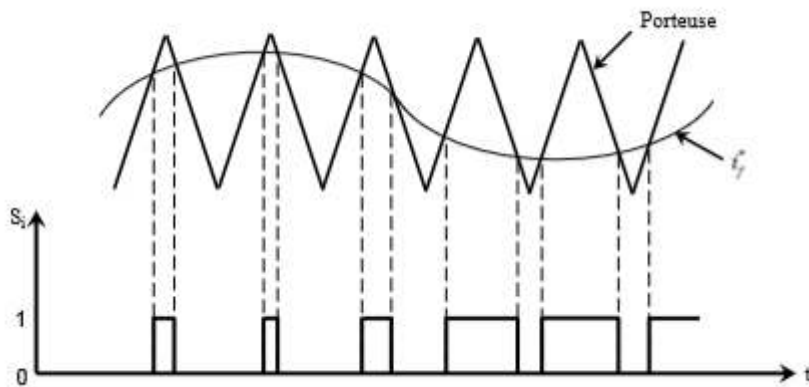


Figure 2.8 : Commande des interrupteurs par MLI.

d.2 Contrôle par la méthode d'hystérésis

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

Le principe général de cette stratégie est de comparer le courant de référence i_{ref} au courant réel, et à partir de l'écart entre ces deux courants, on déduit la commande des interrupteurs du convertisseur.

Le principe du contrôle par hystérésis, consiste à maintenir le courant à l'intérieur d'une bande en cadrent sa référence. La différence entre le courant et sa référence est comparée à une bande fixe de largeur appelée bande ou fourchette d'hystérésis. Chaque violation de cette bande entraîne un ordre de commutation des interrupteurs comme le montre la figure 2.10.

Cette méthode permet le contrôle de la fréquence de commutation des interrupteurs par action sur la largeur de la bande c'est pourquoi les performances de cette stratégie sont fortement liées à la largeur de la bande d'hystérésis.

Malgré sa grande robustesse, sa rapidité et la simplicité de son implantation dans les systèmes, la commande par hystérésis présente certains inconvénients. En effet, la génération d'une fréquence de commutation variable rend difficile la localisation des harmoniques que l'on souhaite éliminer.

Dans les deux figures suivantes (figure 2.9 et 2.10) nous avons présenté la Commande interrupteurs par hystérésis et son principe de contrôle du courant.[15]

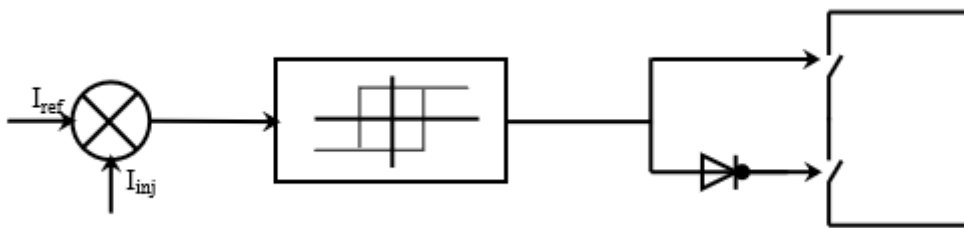


Figure 2.9 : Principe de contrôle du courant par hystérésis. [15]

Chapitre 02 : structure générale de filtre actif

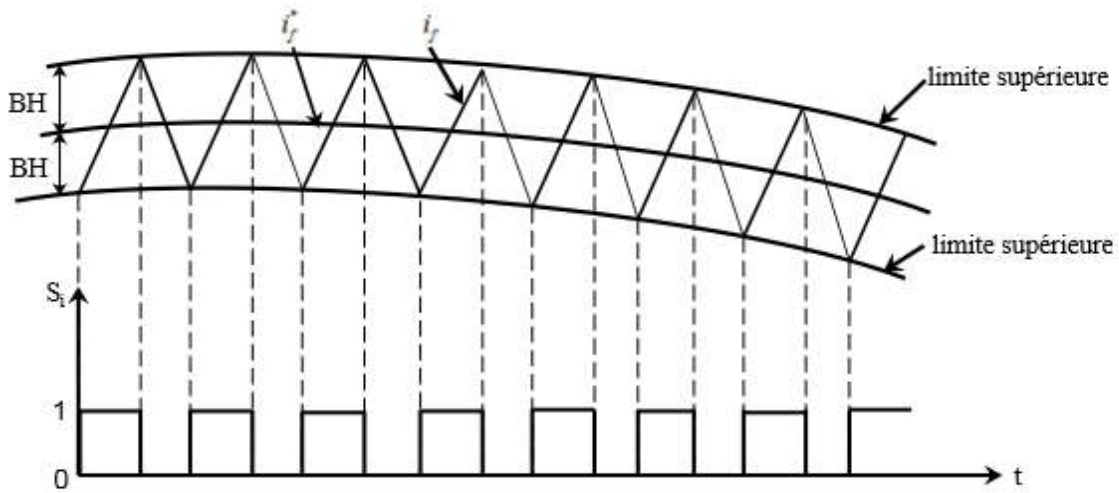


Figure 2.10 : Commande des interrupteurs par hystérésis.

2.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté la structure générale du filtre actif parallèle ainsi que leurs différents éléments constitutifs. En plus, La configuration du circuit de puissance, la stratégie de commande et le principe de fonctionnement du système de filtrage actif.

3.1 introduction:

Les performances d'un filtre actif parallèle dépendent en grande partie de la topologie utilisée, de la dynamique des algorithmes d'extraction et du contrôle des courants.

Dans ce chapitre nous présentons une description générale des différentes parties constituant un filtre actif parallèle à quatre bras et les algorithmes d'extraction des courants de référence qui nous ont été utilisés dans notre travail.

3.2 Description du système :

Dans cette partie, le système utilisé est une source de tension triphasée à quatre fils, trois charges non linéaires monophasées et d'un filtre actif parallèle.

3.2.1 Modèle du réseau d'alimentation :

La source de tension que nous allons utiliser est un système triphasé à quatre fils (trois phases + neutre) ayant une inductance L_s et une résistance R_s [24], comme le montre la figure suivante :

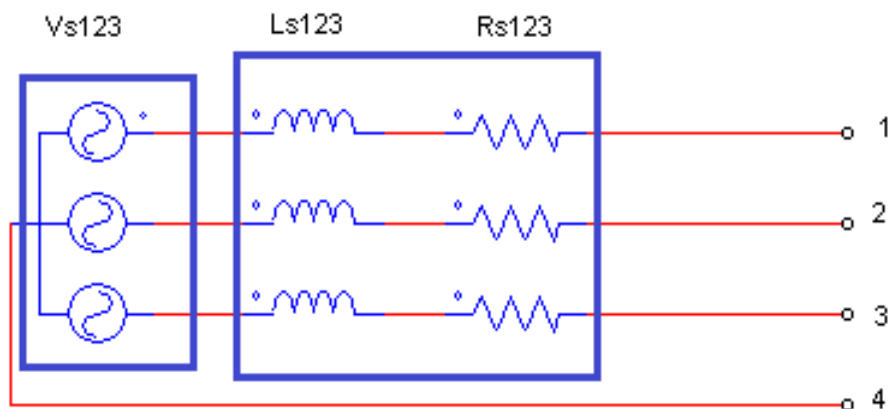


Figure 3.1: Réseau triphasé à quatre fils (trois phases + neutre).

3.2.2 Modèle de la charge :

La charge utilisée dans notre système est une charge non linéaire constituée de trois charges monophasées, chacune est un pont redresseur monophasé à diode, débitant chacune d'elles sur une charge RLC [24], comme illustre la figure suivante :

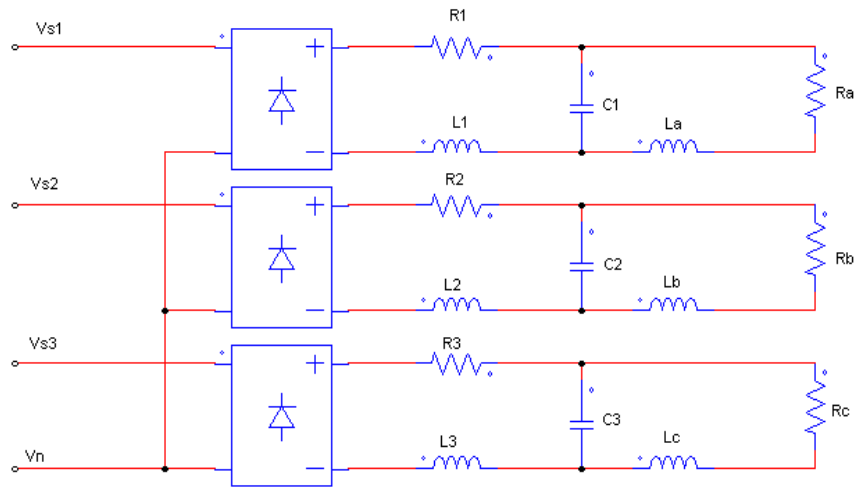


Figure 3.2 : modèle de la charge.

3.2.3 Modèle de filtre :

Le filtre actif de puissance de tension à trois bras à point milieu est illustré dans la figure 3.3. Cette structure est constituée de six interrupteurs réversibles en courant commandés à la fermeture et à l'ouverture en antiparallèle avec une diode. Ainsi, le filtre actif de puissance est constitué d'un onduleur triphasé à trois bras, le quatrième bras est constitué de deux résistances et deux condensateurs dont le point milieu est relié au neutre. L'onduleur est raccordé au réseau électrique par un filtre de sortie.[24]

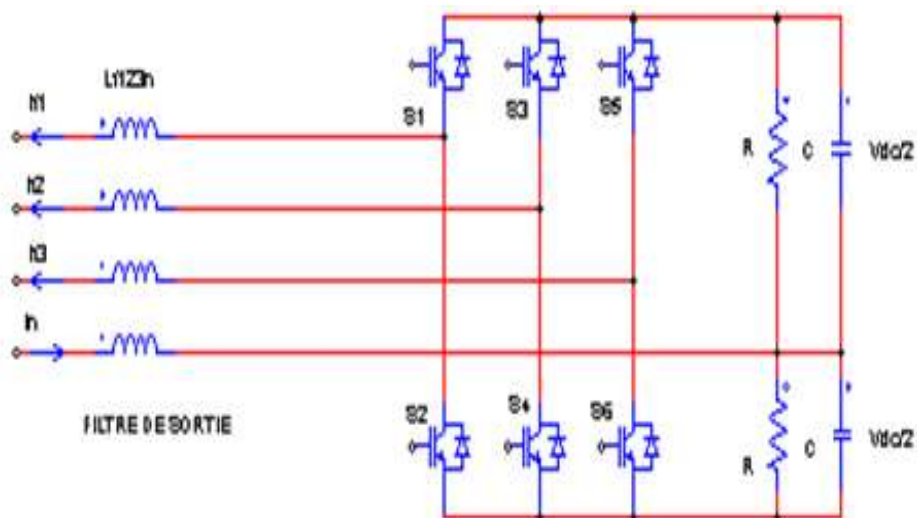


Figure 3.3 : Filtre actif parallèle à quatre fils avec un condensateur à point milieu.

3.3 Concept de la méthode p-q originale :

Cette méthode définie au départ pour les réseaux équilibrés à 3-fils a été par la suite étendue pour les réseaux déséquilibrés à 4 fils. [2]

Son principe 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, afin de calculer les puissances réelles et imaginaires instantanées.

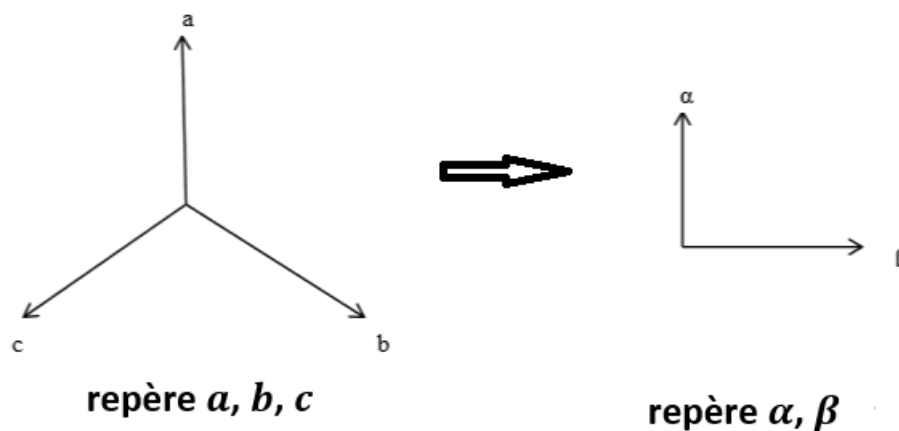


Figure 3.4 : Transformation de Clark

Les concepts de puissance dans les deux méthodes (3fils et 4 fils) ne sont pas les mêmes ainsi que les concepts pour la compensation sont différents et cela est lié la présence de la composante homopolaire de puissance dans les réseaux à 4 fils ou le courant et la tension homopolaires ne sont pas nuls en cas de réseau déséquilibré. Dans ce mémoire nous avons travaillé sur un réseaux 4 fils (3 phases avec neutre). [2]

3.3.1 Théorie de la puissance instantanée. Méthode p-q. Application sur un réseau déséquilibré à 4 fils :

Pour un système triphasé déséquilibré à 4 fils, les tensions $v_a(t), v_b(t), v_c(t)$ et les courants $i_a(t), i_b(t), i_c(t)$, s'expriment par :

$$\begin{cases} v_a(t) + v_b(t) + v_c(t) = v_h \\ i_a(t) + i_b(t) + i_c(t) = i_n \end{cases} \quad (3.1)$$

Chapitre 03 : modélisation des méthodes d'identification des courants de référence

Les transformations dans le repère orthogonal $\alpha, \beta, 0$ des courants d'un système triphasé sont :

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = C_{33} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Et pour les tensions :

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = C_{33} \cdot \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Avec C_{33} définie par :

$$C_{33} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Dans un système triphasé et équilibré la composante homopolaire nulle :

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (v_a + v_b + v_c) = 0 \quad (3.5)$$

$$i_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (i_a + i_b + i_c) = 0 \quad (3.6)$$

Dans cette théorie et pour une application en 4 fils, on considère que le circuit homopolaire est indépendant du circuit dans α, β , On définit, alors, deux puissances actives p_0 et $p_{\alpha\beta}$ en plus de la puissance réactive $q_{\alpha\beta}$. La puissance active instantanée totale est définie comme la somme des deux puissances actives (3.7) et la puissance réactive instantanée (3.8).

$$p(t) = p_0 + p_{\alpha\beta} = p_0 + v_\alpha \cdot i_\alpha + v_\beta \cdot i_\beta = v_a \cdot i_a + v_b \cdot i_b + v_c \cdot i_c \quad (3.7)$$

$$q(t) = q_{\alpha\beta} = v_\alpha \cdot i_\beta - v_\beta \cdot i_\alpha \quad (3.8)$$

Avec :

$$\begin{cases} p_{\alpha\beta}(t) = \bar{p}_{\alpha\beta} + \tilde{p}_{\alpha\beta} \\ q_{\alpha\beta}(t) = \bar{q}_{\alpha\beta} + \tilde{q}_{\alpha\beta} \\ p_0(t) = \bar{p}_0 + \tilde{p}_0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Chapitre 03 : modélisation des méthodes d'identification des courants de référence

Les puissances dans le repère $\alpha, \beta, 0$ s'expriment comme suit :

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p_{\alpha\beta} \\ q_{\alpha\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Les ondulations de la puissance sont extraites par un filtre passe haut (FPH) donné selon le critère $(FPH=1-FPB)$. Où FPB est un filtre passe bas. La figure 3.5 montre le moyen pour l'extraction de la composante continue et alternative pour une grandeur $x(t)$ qui peut être la puissance active ou réactive.

L'expression générale d'un filtre passe-bas du deuxième ordre :

$$FPB(p) = \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2.\varepsilon\omega_n p + \omega_n^2} \quad (3.11)$$

Avec :

p : opérateur de Laplace

ω_n : pulsation propre du filtre, sa valeur égale à : 314rad/s

ε : est le dépassement ou le coefficient d'amortissement, sa valeur égale a : 0.4

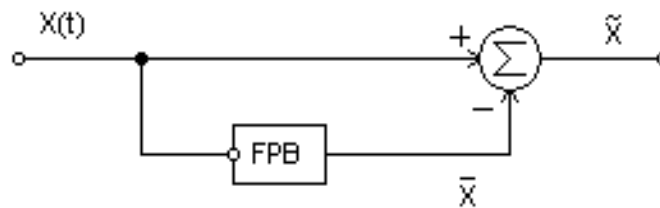


Figure 3.5 : Filtre Passe Haut (FPH) obtenu à partir Filtre Passe Bas (FPB)

La compensation des ondulations de la puissance active instantanée donnée dans (3.12)

$$\tilde{p}(t) = \tilde{p}_0 + \tilde{p}_{\alpha\beta} \quad (3.12)$$

Les ondulations de la puissance homopolaire p_0 ne sont pas séparées de la part continue \bar{p}_0 , (elles vont de pair), cela implique que le filtre actif ne peut pas fournir

Chapitre 03 : modélisation des méthodes d'identification des courants de référence

\tilde{p}_0 uniquement mais doit fournir \bar{p}_0 aussi. Mais un filtre actif ne doit pas fournir une puissance active. la solution consiste à extraire une puissance active « non homopolaire » $\Delta\bar{p}$ du repère α, β de même amplitude que la puissance homopolaire \bar{p}_0 . [2]

Avec :

$$\Delta\bar{p} = \bar{p}_0 \quad (3.13)$$

Les courants de référence seront donnés par (3.14), en tenant compte des pertes p_f dans le filtre.

$$\begin{bmatrix} i_{r0} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_0 \cdot v_{\alpha\beta}^2} \cdot \begin{bmatrix} v_{\alpha\beta}^2 & 0 & 0 \\ 0 & v_0 v_\alpha & -v_0 v_\beta \\ 0 & v_0 v_\beta & v_0 v_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_0 \\ \tilde{p}_{\alpha\beta} - \Delta\bar{p} \\ q_{\alpha\beta} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Une fois les courants de référence dans le repère $\alpha, \beta, 0$ sont calculés, il est aisé d'obtenir les courants de référence selon les axes a, b, c par la transformation inverse de Concordia :

$$\begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} = C_{33}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Avec :

$$C_{33}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

La figure 3.6 illustre l'identification des courants de référence lors de la compensation simultanée des courants harmoniques et de l'énergie réactive par la méthode des puissances instantanée à 4 fils.

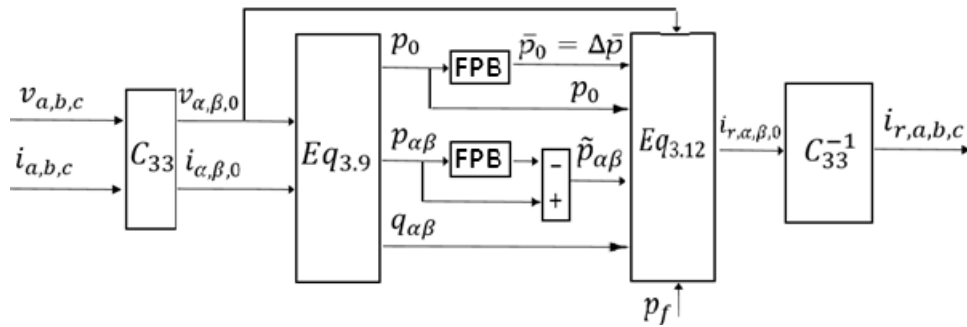


Figure 3.6 : Diagramme d'extraction des courants de référence pour la méthode p-q 4-fils en cas de compensation des harmoniques et du réactif.

Ensuite, nous avons travaillé sur une autre méthode qui s'appelle DCAP (Direct Control for Active Power).

3.4 Concept de la méthode DCAP :

Cette méthode est générique. Elle est applicable sur les systèmes polyphasés dont les réseaux triphasés à 3 et 4 fils sont des cas particuliers et aussi sur les réseaux monophasés.

Au lieu de répartir les puissances également sur les phases d'un système électrique, nous avons pensé à répartir des courants égaux lors de la compensation. A la suite, nous avons cherché à déterminer le courant actif sinusoïdal désiré dans la source.

Le principe de cette méthode est basé sur la définition des courants actifs souhaités du côté source i_{sdabc} . Une fois cela fait, les courants de référence $i_{ref abc}$ sont déduits de la différence entre les courants absorbés par la charge et les courants actifs souhaités sur la source comme suit :

$$i_{ref abc} = i_{Labc} - i_{sdabc} \quad (3.17)$$

Ce calcul est effectué fil par fil sur les valeurs instantanées et la particularité de l'approche réside dans le calcul des courants souhaités dans la source en considérant les valeurs effectives des tensions fondamentales du réseau.[2][23]

Chapitre 03 : modélisation des méthodes d'identification des courants de référence

$$\begin{cases} i_{sda}(t) = \frac{P_S}{v_{fa} \cdot (v_{fa} + v_{fb} + v_{fc})} \cdot v_{fa}(t) \\ i_{sdb}(t) = \frac{P_S}{v_{fb} \cdot (v_{fa} + v_{fb} + v_{fc})} \cdot v_{fb}(t) \\ i_{sdc}(t) = \frac{P_S}{v_{fc} \cdot (v_{fa} + v_{fb} + v_{fc})} \cdot v_{fc}(t) \end{cases} \quad (3.18)$$

Avec :

$v_{abc}(t)$: tension instantanée de la source

$v_{fabc}(t)$: tension fondamentale de source

v_{fabc} : Valeur efficace de la tension fondamentale

p_s : est la puissance active à alimenter par la source et déduite de (3.19)

$$p_s = p_L + p_f \quad (3.19)$$

p_L : est la puissance active requise par la charge et obtenue à la sortie d'un filtre passe-bas après le calcul de la puissance instantanée en (3.20)

$$p_L = v_a \cdot i_{La} + v_b \cdot i_{Lb} + v_c \cdot i_{Lc} \quad (3.20)$$

p_f : est la puissance à absorber par le filtre et nécessaire à la régulation de la tension du bus continuDC.

Cette méthode assure une répartition des courants dans les phases à partir de la puissance active requise pour la charge en incluant les pertes dans le convertisseur. Cette puissance active est ensuite répartie sur chacune des phases en fonction de la valeur de la tension fondamentale de chaque phase en fonction de la répartition des courants sinusoïdaux et équilibrés côté source et non de la répartition des puissances égaux dans les lignes de la source.[23]

Le système de tension est donné par (3.21) :

$$\begin{cases} v_a(t) = \hat{v}_{fa} \cdot \sin(\theta) + \sum_{h \neq 1}^{\infty} \hat{v}_{ha} \cdot \sin(h \cdot \theta + \alpha_h) \\ v_b(t) = \hat{v}_{fb} \cdot \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + \sum_{h \neq 1}^{\infty} \hat{v}_{hb} \cdot \sin\left(h \cdot \left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + \beta_h\right) \\ v_c(t) = \hat{v}_{fc} \cdot \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \sum_{h \neq 1}^{\infty} \hat{v}_{hc} \cdot \sin\left(h \cdot \left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + \gamma_h\right) \end{cases} \quad (3.21)$$

Chapitre 03 : modélisation des méthodes d'identification des courants de référence

Et la tension fondamentale de la source à extraire du système de tension à la PCC :

$$\begin{cases} v_a(t) = \hat{v}_{fa} \cdot \sin(\theta) \\ v_b(t) = \hat{v}_{fb} \cdot \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ v_c(t) = \hat{v}_{fc} \cdot \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (3.21)$$

Avec :

- La valeur maximale de tension :

$$\hat{v}_{fabc} = \sqrt{2} v_{fabc} \quad (3.22)$$

- La valeur efficace de la tension :

Les tensions fondamentales et efficaces sont obtenues par filtrage respectivement avec un filtre passe-bande (BPF) calé sur la fréquence du réseau et un filtre passe-bas (LPF) permettant de récupérer la valeur efficace de la tension fondamentale Figure 3.7. La valeur efficace est calculée en utilisant la définition suivante où T est la période de tension du réseau.[23]

$$v_{fabc} = \frac{1}{T} \cdot \sqrt{\int_0^T v_{fabc}^2 \cdot d\theta} \quad (3.23)$$

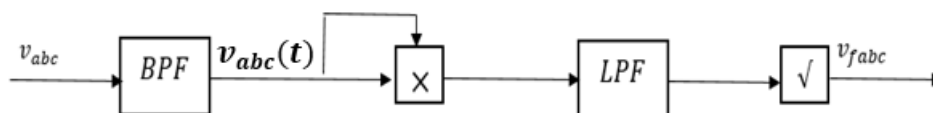


Figure 3.7:Extraction de la tension fondamentale et de sa valeur efficace

3.5 Conclusion :

Dans ce chapitre on a fait la modélisation de deux différentes stratégies d'extraction des courants de références : « la méthode des puissances instantanés(PQ) et la nouvelle méthode la DCAP (Direct Control for Actif Power) » sur un réseau 4 fils pour commander le filtre actif de puissance à quatre bras de façon directe.

Chapitre 04 : résultats de simulation

4.1 Introduction :

Le filtrage actif parallèle de puissance (FAP) à quatre bras est une des solutions modernes et efficaces permettant d'éliminer les harmoniques de courant ainsi que l'énergie réactive produite par la charge. Cette technique pouvant être appliquée que ce soit en mode équilibré ou pas.

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de simulations pour nos deux commandes suivies d'une étude comparative.

4.2 Description du réseau électrique sans filtre actif de puissance :

On considère le réseau électrique à quatre fils connecté à trois charges monophasées, comme le montre la figure 4.1 ci-dessous.

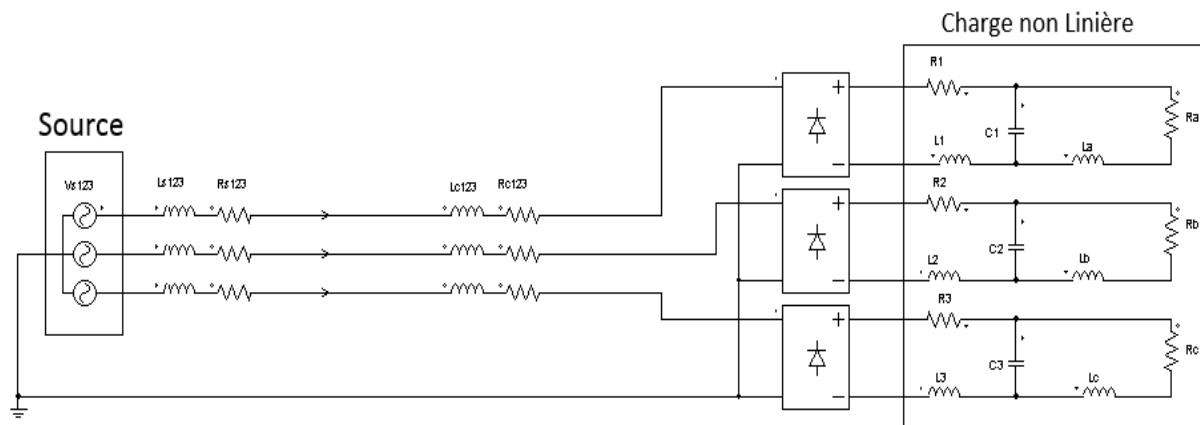


Figure4.1 : schéma d'un réseau triphasé à quatre fils alimentant trois charges non-linéaire.

- Les paramètres de réseau sont comme suit:

Les paramètres	v_{seff} [V]	f [HZ]	R_s [mΩ]	L_s [μH]	R_c [mΩ]	L_c [μH]
Les valeurs numériques	240	50	3.63	14.12	12.87	105.98

Tableau 4.1: Les paramètres de réseau. [24]

Chapitre 04 : résultats de simulation

- Les paramètres de la charge non linéaire :

A-charge équilibrée :

Les éléments de la charge non linéaire	$R_{123}[\Omega]$	$L_{123}[mH]$	$C_{123}[\mu F]$	$L_{abc}[mH]$	$R_{abc}[\Omega]$
Les valeurs numériques	5	9	480	20	12

Tableau 4.2: Les paramètres de la charge non linéaire équilibrée.[2]

B-charge déséquilibrée :

Les éléments de la charge non linéaire	$R_{123}[\Omega]$	$L_{123}[mH]$	$C_{123}[\mu F]$	$L_{abc}[mH]$	$R_a[\Omega]$	$R_b[\Omega]$	$R_c[\Omega]$
Les valeurs numériques	5	9	480	20	15	10	12

Tableau 4.3 : Les paramètres de la charge non linéaire déséquilibrée.[2]

- ❖ On a fait des modifications au niveau des résistances R_{abc} pour l'obtention d'un THD élevé .

4.3 Simulation avant filtrage :

Les tensions coté source sont sinusoïdales.

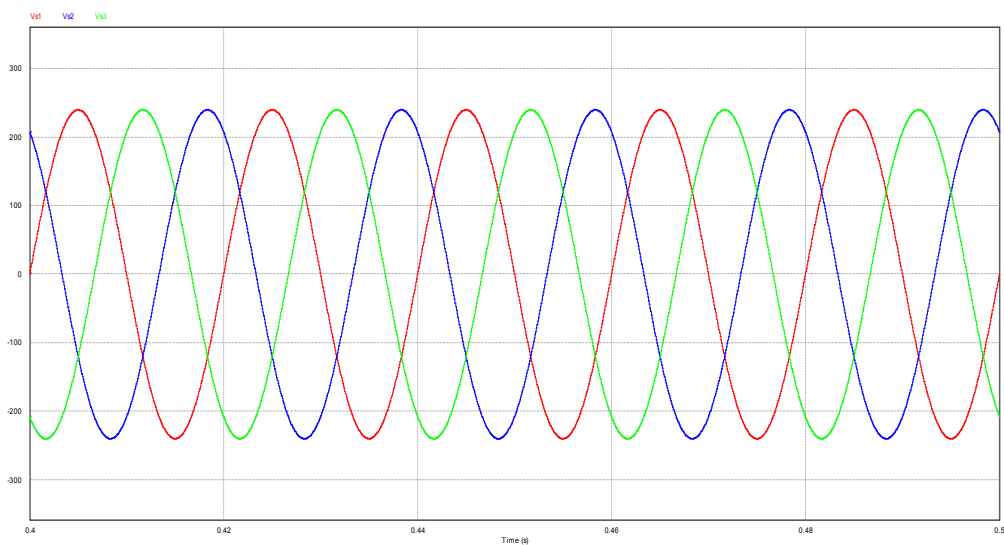


Figure 4.2 : tensions de la source

Chapitre 04 : résultats de simulation

1-charge équilibrée :

La (Figure 4.3) présente L'allure de courant absorbé par une des trois charges non linéaires

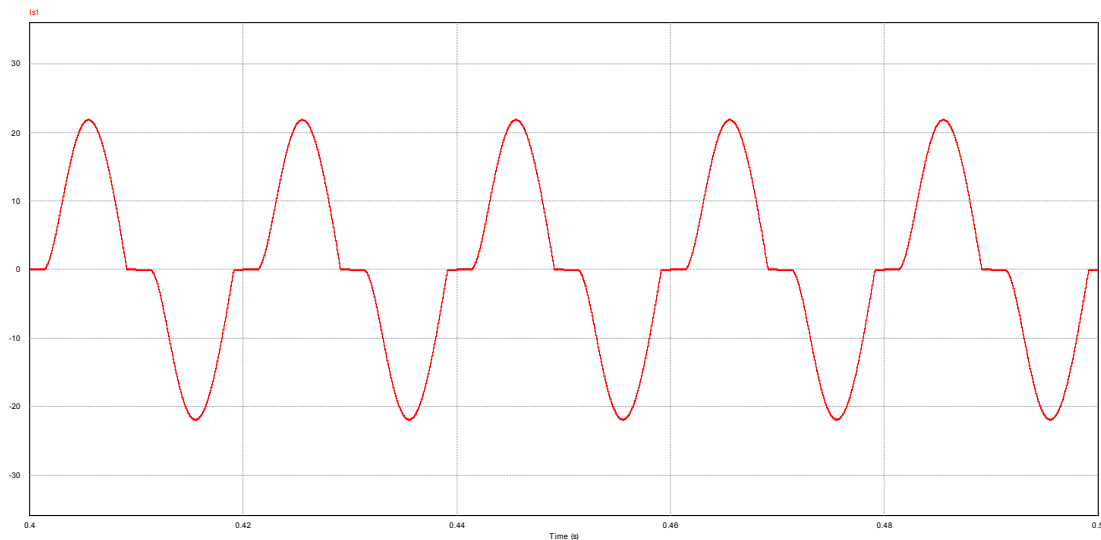


Figure 4.3 : Allure d'Is1 avant le filtrage dans la première phase.

La représentation spectrale decourant absorbépar une charge non linéaire dans la première phase est donnée dans la figure suivant :

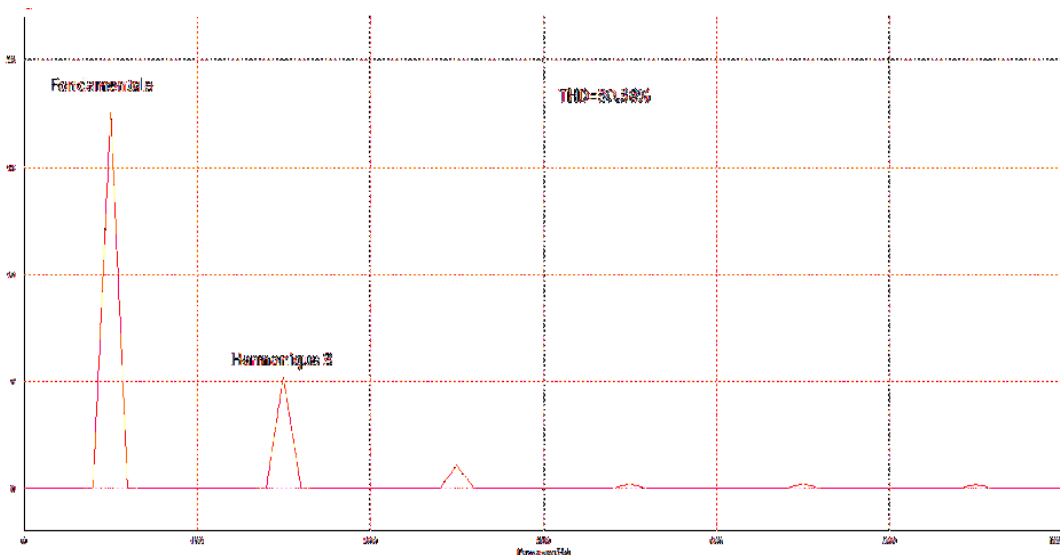


Figure 4.4 : Représentation spectrale de courant de la première phase Is1.

Le THD de courant Is1 est 30.38% avant mettre le filtre, nous montre que les charges non linéaires génèrent des harmoniques de courant au niveau de chaque phase.

Chapitre 04 : résultats de simulation

2-charge déséquilibrée :

Les courants absorbés par les charges non linéaires présentées par la figure suivante sont déséquilibrés :

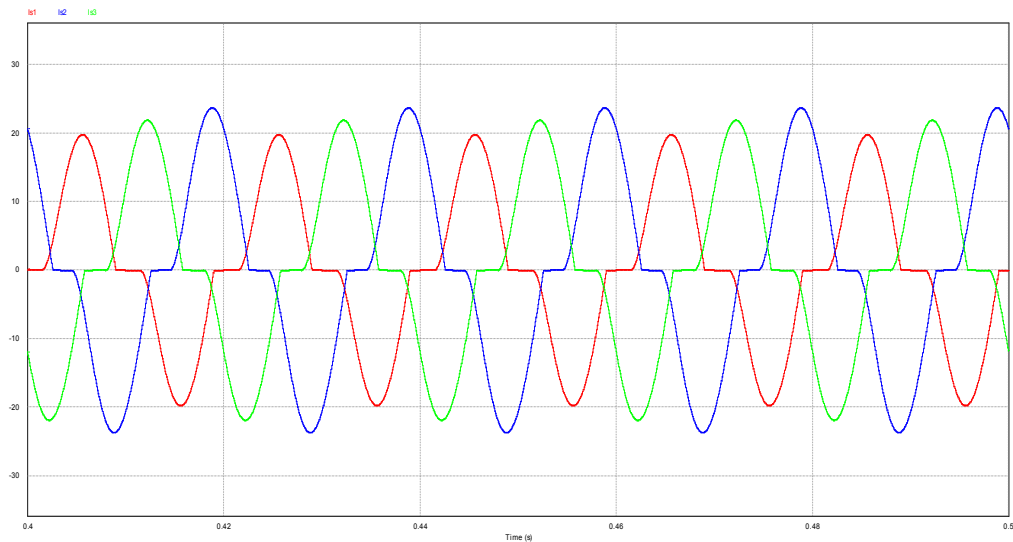


Figure 4.5 : L'allure des courants dans les phases avec charge déséquilibrée.

La représentation spectrale du courant de la figure 4.5 de chaque phase est alors comme suite :

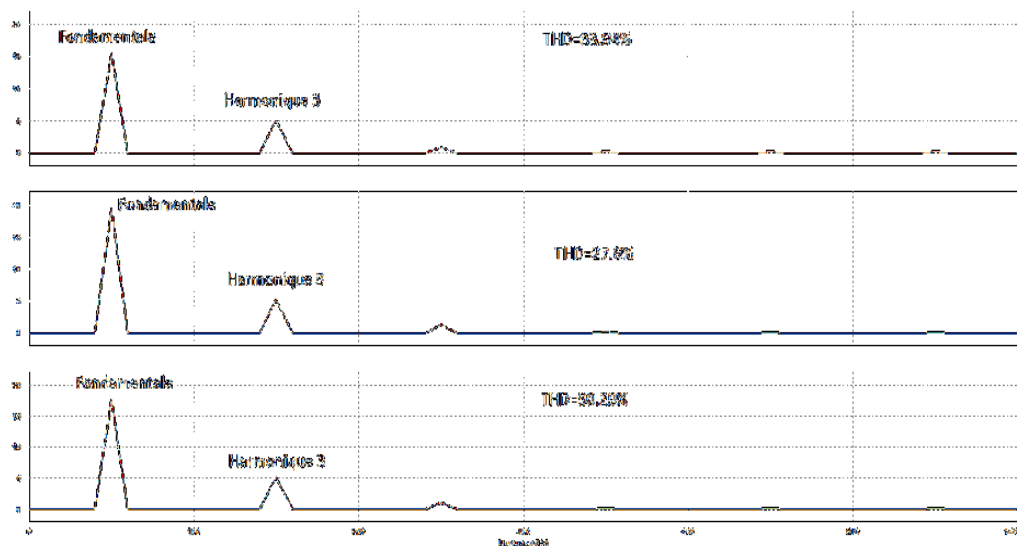


Figure 4.6 : Spectre harmonique des trois courants de source.

Chapitre 04 : résultats de simulation

La phase	I_{s1}	I_{s2}	I_{s3}
THD %	33.94	27.6	30.29

Tableau 4.4 : THD dans trois phases pour une charge déséquilibrée.

4.3 Simulation après filtrage :

Le réseau électrique connecté à trois charges monophasées non linéaire, nous allons ajouter un filtre actif de puissance parallèle avec la source et les charges non linéaire monophasé.

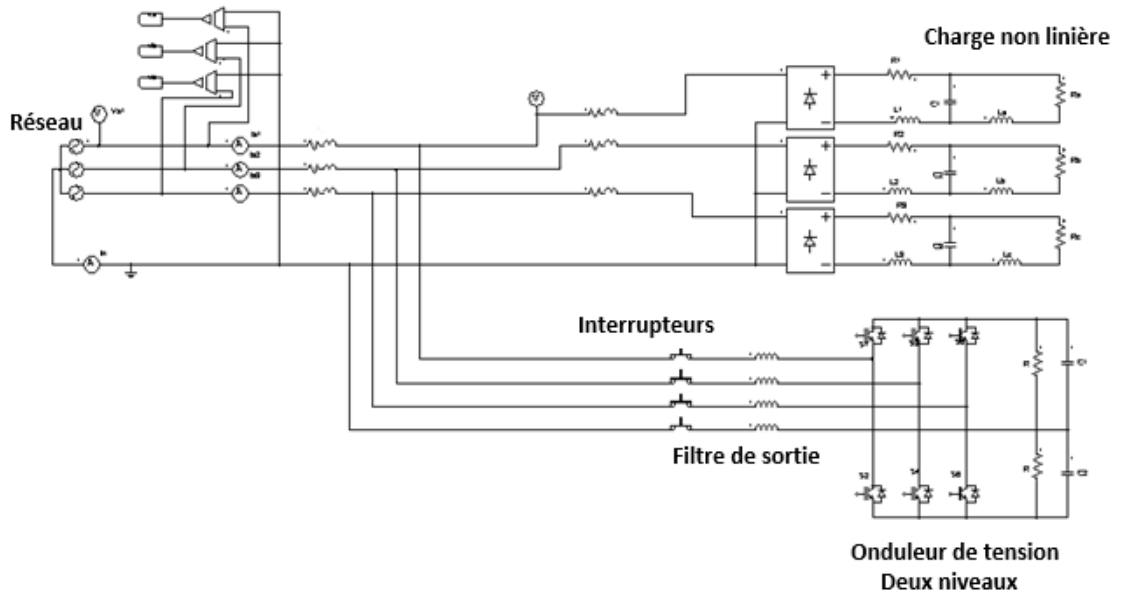


Figure 4.7 : connexion parallèle de filtre avec le réseau.

- Les paramètres de filtre :

Paramètre	$L_{f123n}[mH]$	$R[K\Omega]$	$C[mF]$	$Fd[KHZ]$	$Vdc/2[v]$
Valeur numérique	10	1	0.6	10	600

Tableau 4.5 : paramètres de filtre.[2]

Chapitre 04 : résultats de simulation

4.3.1 Le cas d'une charge équilibrée :

A-Résultats de la méthode PQ :

On considère le filtre actif est connecté entre les trois charges monophasées et le réseau électrique à quatre fils en parallèle. On utilise la méthode PQ 4 fils pour l'extraction des courants de référence.

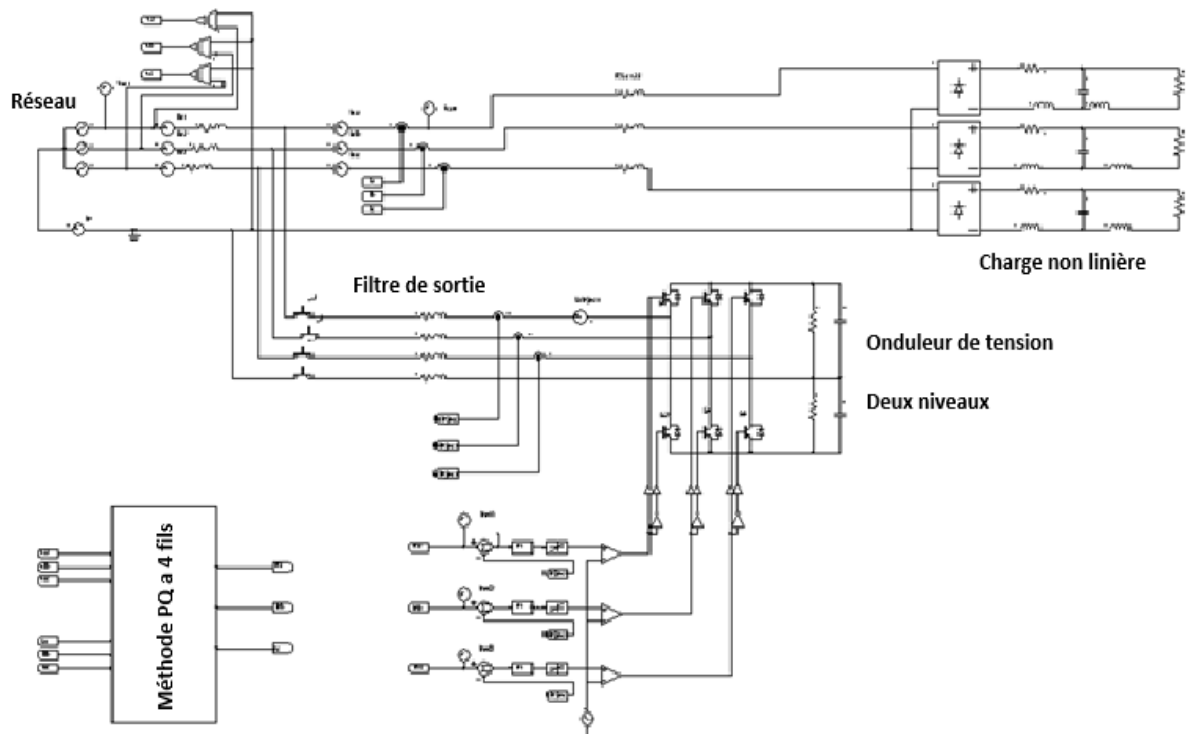
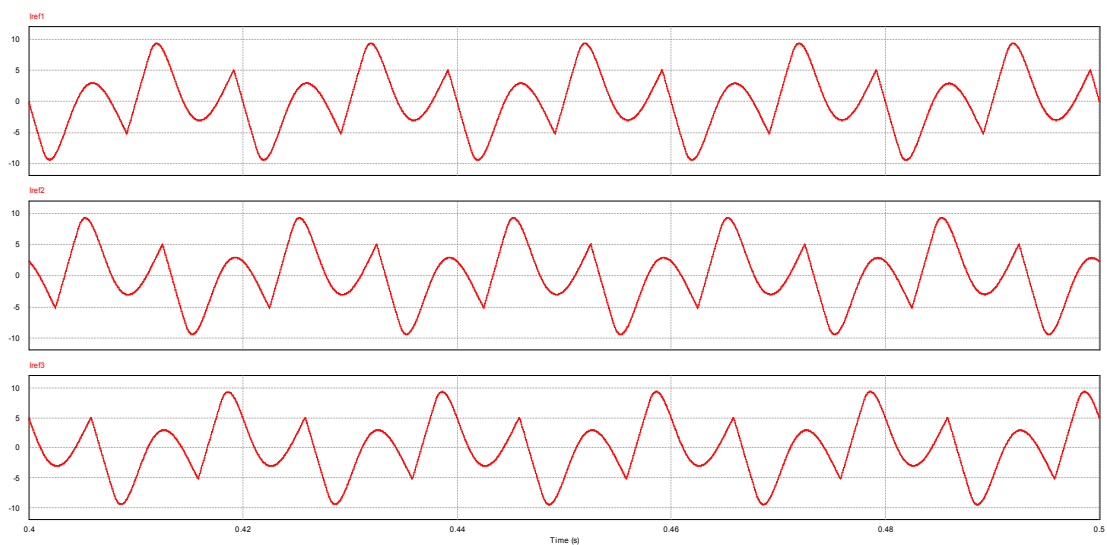


Figure 4.8 : Le circuit de simulation avec la méthode PQ 4 fils .

Nous avons obtenu les courant de référence comme suit :



Chapitre 04 : résultats de simulation

Figure 4.9 : Les courants de référence I_{ref1} , I_{ref2} , I_{ref3} .

Nous obtenons les courants injectés par le filtre actif de puissance pour les trois phases comme suit :

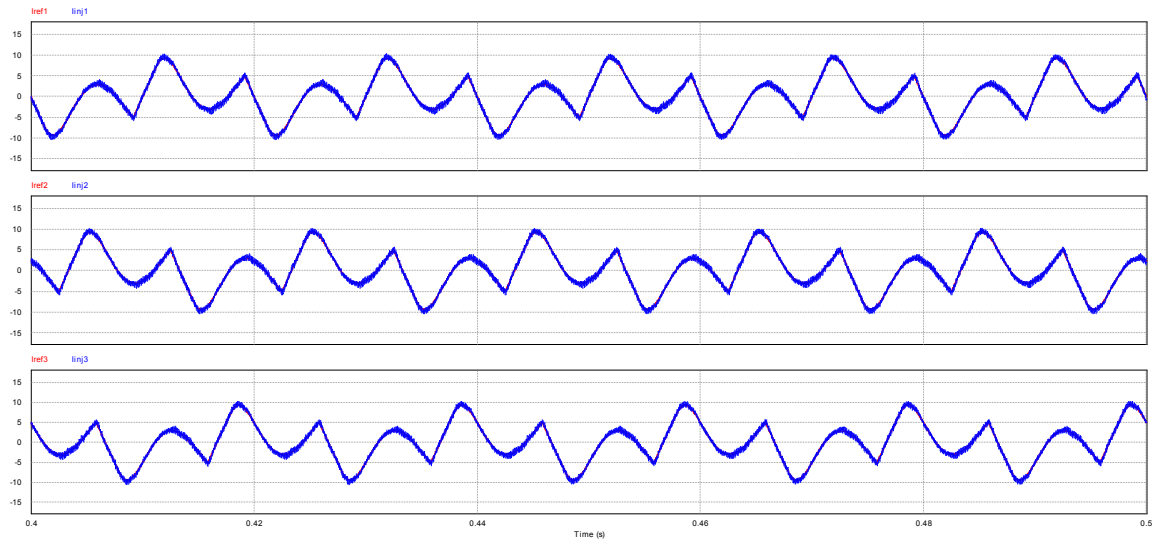


Figure 4.10 : les courants injectés par le filtre I_{inj1} , I_{inj2} , I_{inj3} avec les courants de référence.

D'après les deux figures les courants de référence et les courants injectés sont confondus.

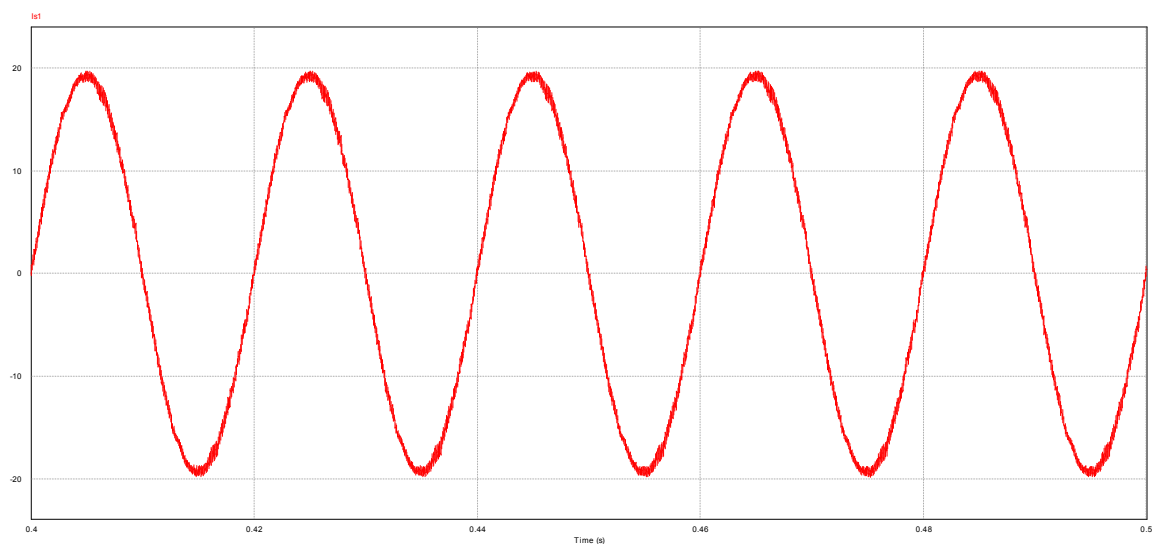


Figure 4.11: L'allure de courants d'une phase après filtrage.

Chapitre 04 : résultats de simulation

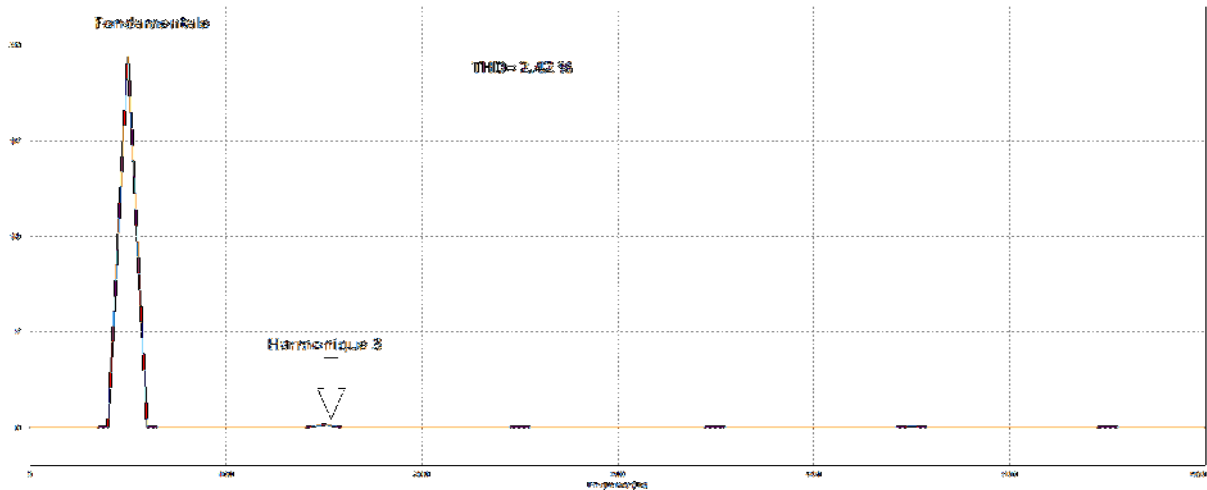


Figure 4.12 : Spectre harmonique de courant I_{s1} .

Le THD mesurer après filtrage avec la méthode PQ à quartes fils est égale à 2.42 %. Nous remarquons que le filtre actif de puissance parallèle élimine bien les harmoniques de courant.

B-Résultats de la méthode DCAP :

On considère le filtre actif est connecté entre les trois charges monophasées et le réseau électrique à quatre fils en parallèle. On utilise la méthode DCAP pour l'extraction des courants de référence.

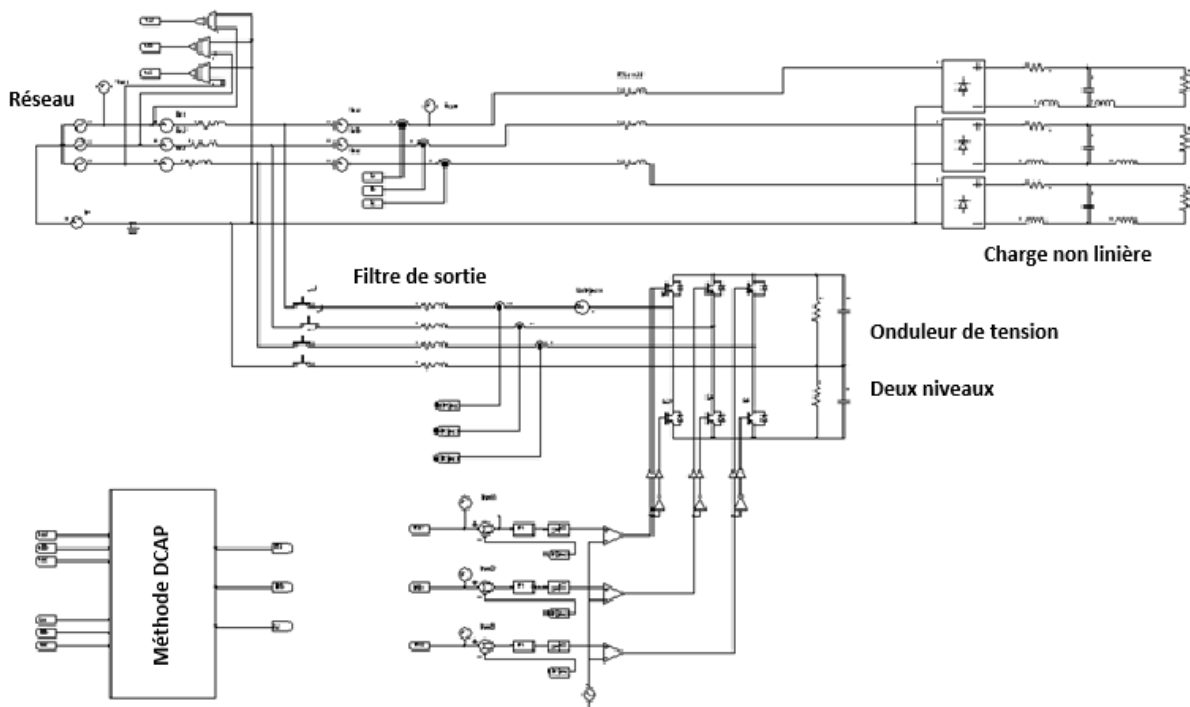


Figure 4.13 : Circuit de simulation avec méthode DCAP.

Chapitre 04 : résultats de simulation

Les courantes de référence sont extraites par la DCAP donne dans la figure suivant :

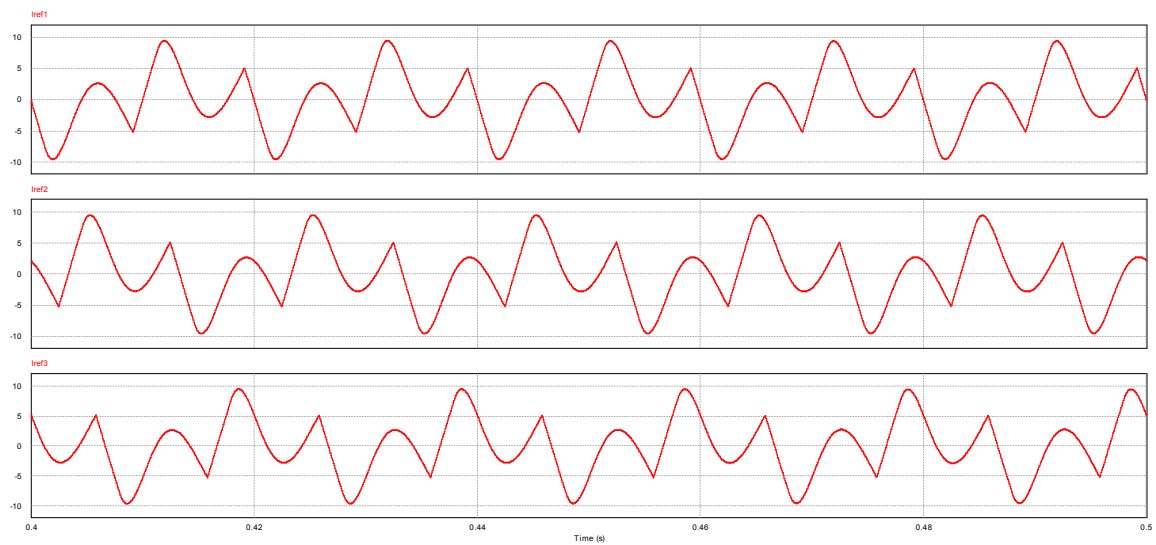


Figure 4.14 : Les courantes de référence Iref1, Iref2, Iref3.

Les courantes injectées par le filtre actif de puissance dans chaque phase donnés dans la figure suivant :

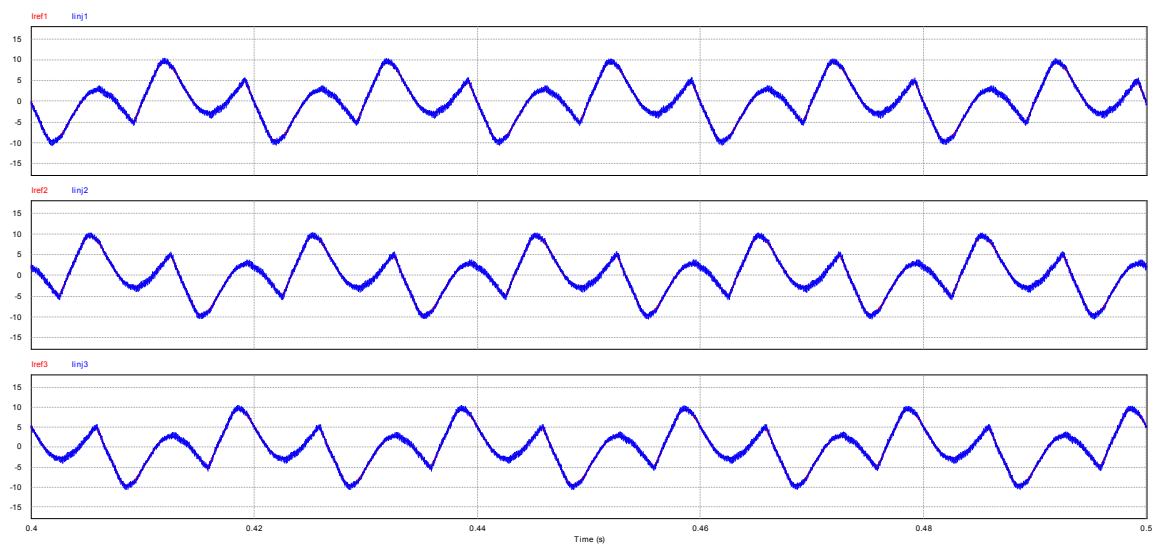


Figure 4.15 : les courants injectés par le filtre Iinj1, Iinj2, Iinj3 avec les courantes de référence.

Nous remarquons que les trois courants injectés par le filtre actif de puissance suivent les trois courants de références dans forme.

Chapitre 04 : résultats de simulation

Le courant de source après filtrage donner la figure suivante :

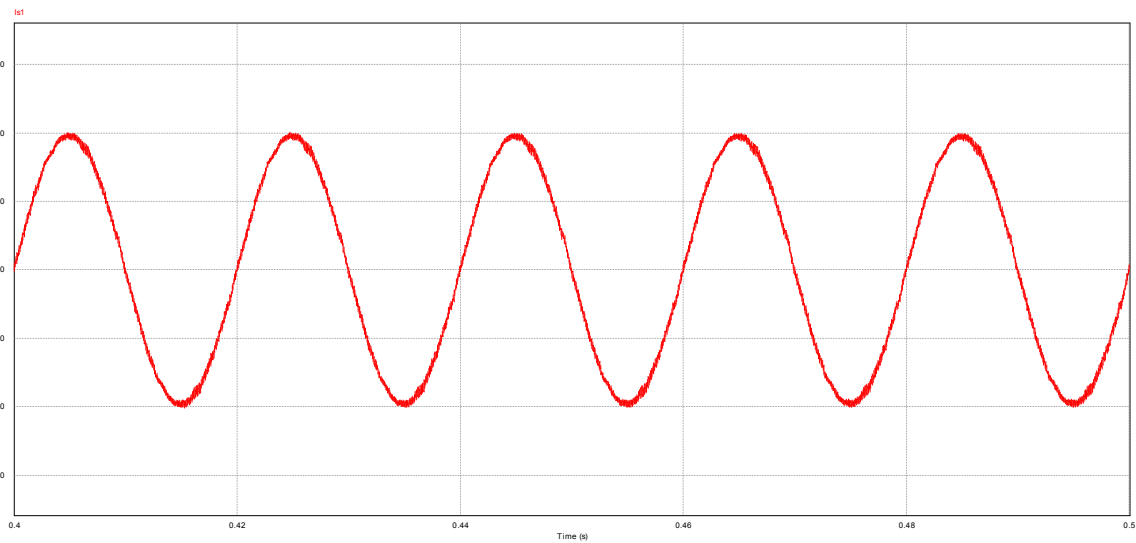


Figure 4.16: L'allure de courant d'une phase après filtrage.

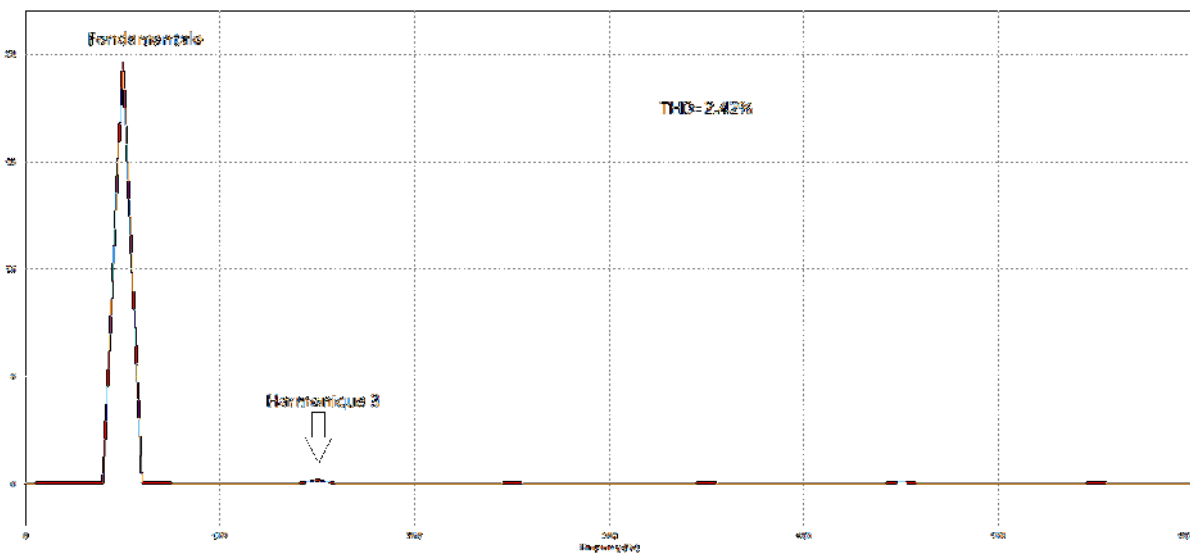


Figure 4.17 : Représentation spectrale de courant Is1

Le THD obtenu dans la simulation avec méthode DCAP égale 2.42%.les harmoniques sont éliminés par cette méthode.

Alors les deux méthodes DCAP et PQ 4 fils donnent des mêmes résultats dans le cas de la charge équilibrée.

Chapitre 04 : résultats de simulation

4.2.2 Cas d'une charge déséquilibrée :

On a simulé avec les mêmes circuits précédents, figure 4.10 pour méthode PQ 4 fils et la figure 4.15 pour la méthode DCAP,seulement l'utilisation des charges non linéaires déséquilibrées montrées dans le tableau 4.3.

A- Résultats de la méthode PQ :

Les courants de référence sont montrés dans la figure suivant :

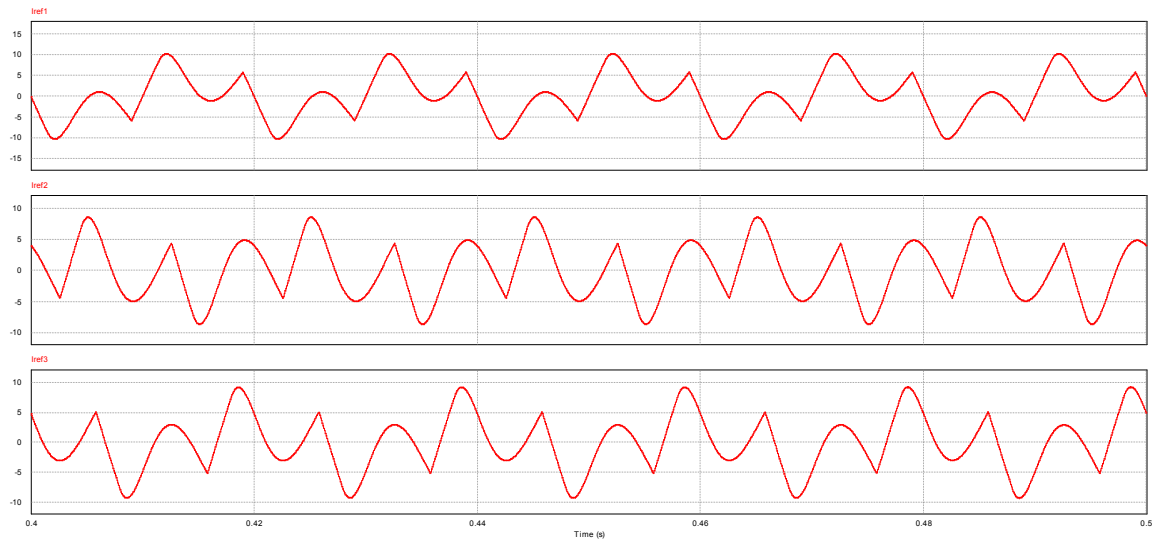


Figure 4.18 : Les courants de référence Iref1, Iref2, Iref3.

Les courants injectés par le filtre :

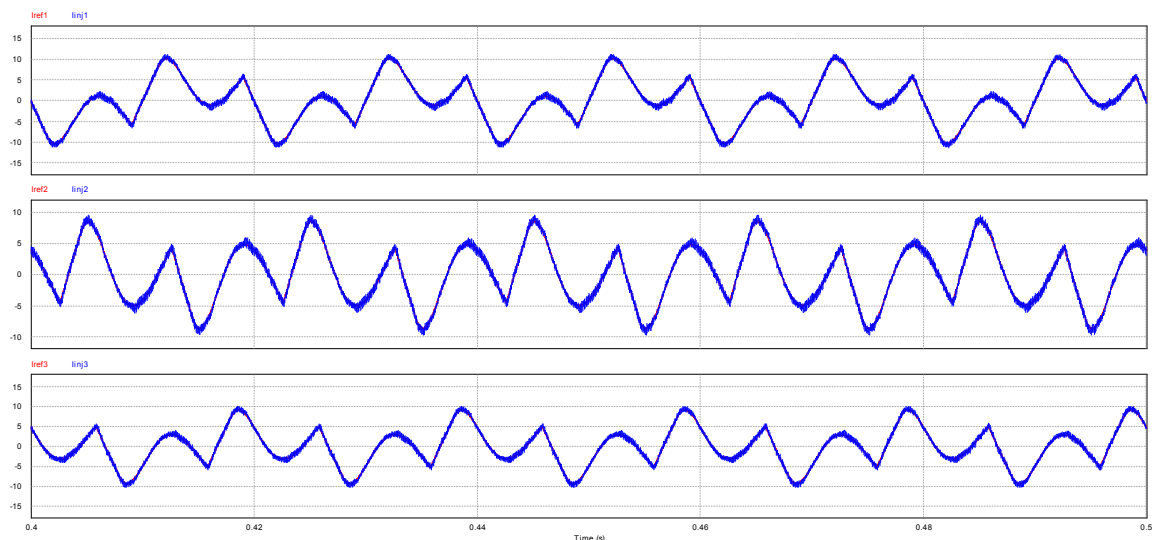


Figure 4.19 : les courants injectés par le filtre Iinj1, Iinj2, Iinj3 avec les courants de référence.

Les trois courants injectés par le filtre actif de puissance suivent les trois courants de références dans forme.

Chapitre 04 : résultats de simulation

Les courants de source après filtrage nous donnent la figure suivante :

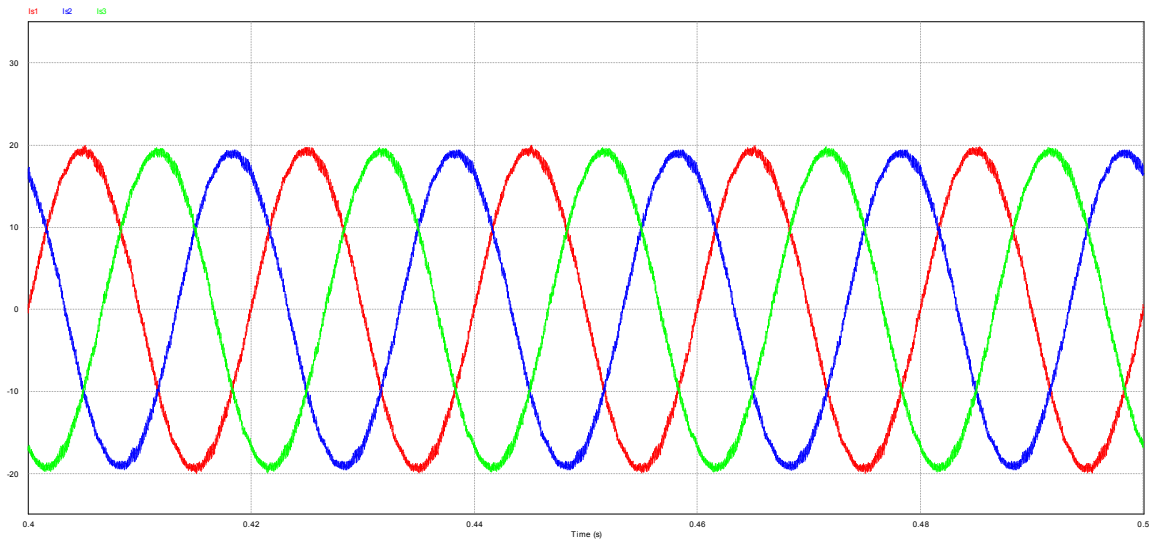


Figure 4.20: L'allure des trois courants I_{s1} , I_{s2} , I_{s3} après filtrage.

La représentation spectrale des courants de source après filtrage montre dans la figure suivante :

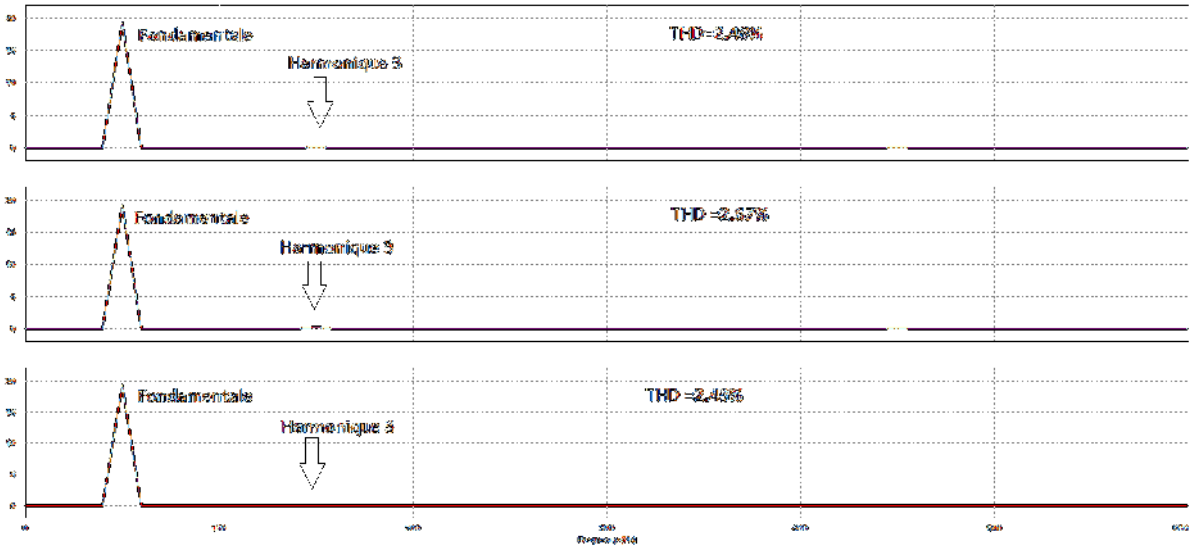


Figure 4.21 : Représentation spectrale des courants après filtrage dans le cas de la charge déséquilibrée avec PQ 4 fils.

La phase	I_{s1}	I_{s2}	I_{s3}
THD %	2.46	2.67	2.43

Tableau 4.5 : THD dans trois phases pour une charge déséquilibrée après filtrage avec PQ 4 fils.

Chapitre 04 : résultats de simulation

Nous remarquons bien que dans la figure 4.20, les harmoniques de courant ainsi que le déséquilibre pour chaque phase ont été compensés. De plus si nous comparons les signaux des figures 4.5 et 4.20, nous déduisons que la compensation de l'énergie réactive a été réalisée.

B-Résultats de la méthode DCAP :

Les courants injectés par le filtre :

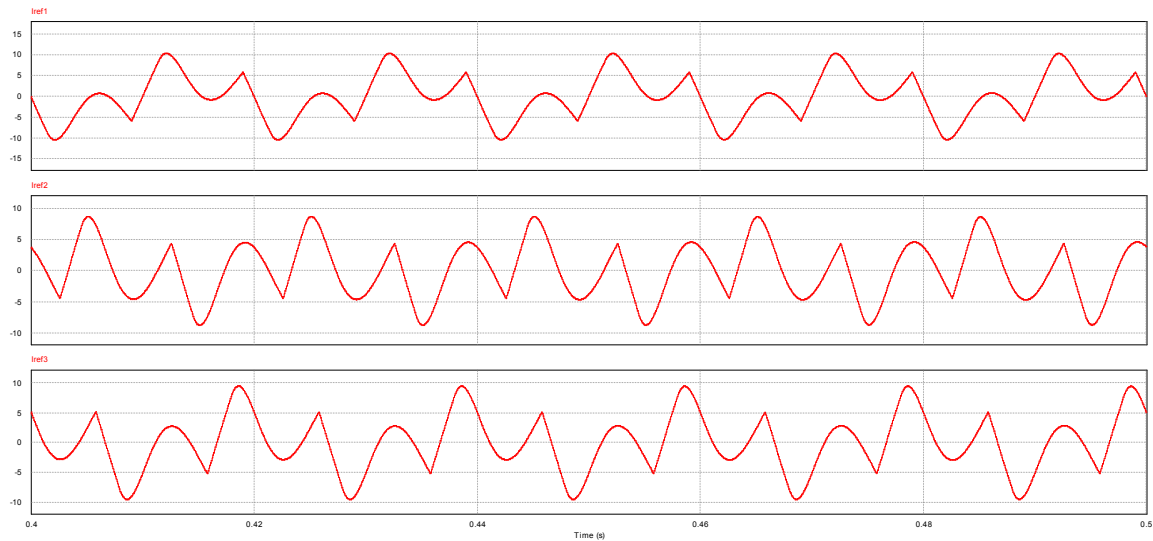


Figure 4.22 : Les courants de référence I_{ref1} , I_{ref2} , I_{ref3} .

Les courants de référence extraient par la méthode DCAP dans le cas de déséquilibre de charge :

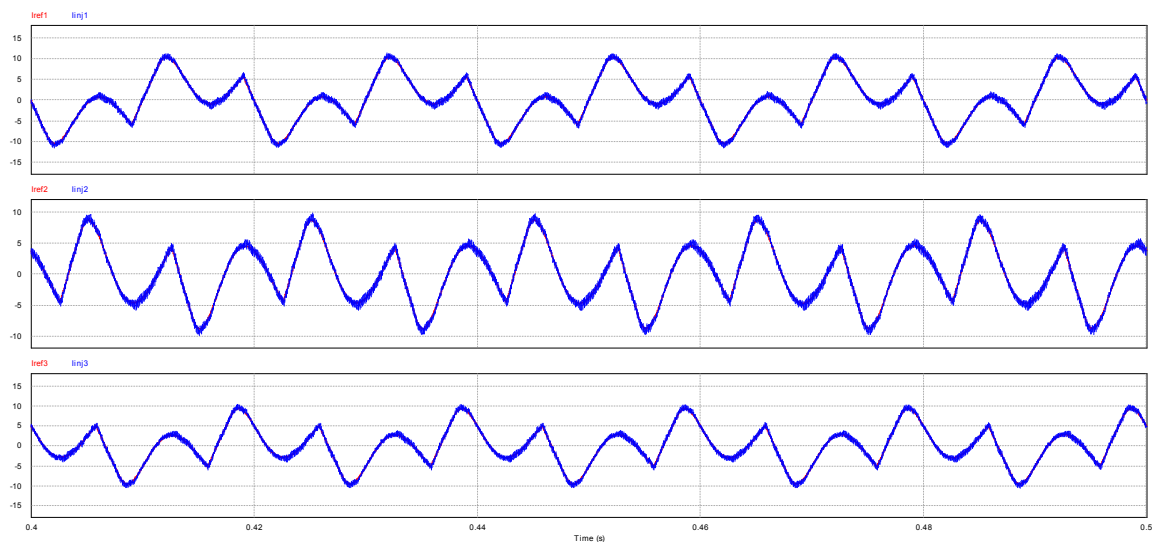


Figure 4.23 : les courants injectés par le filtre I_{inj1} , I_{inj2} , I_{inj3} avec les courants de référence.

Les trois courants injectés par le filtre actif de puissance suivent les trois courants de références dans forme.

Chapitre 04 : résultats de simulation

Les courants de source après filtrage nous donnent la figure suivante :

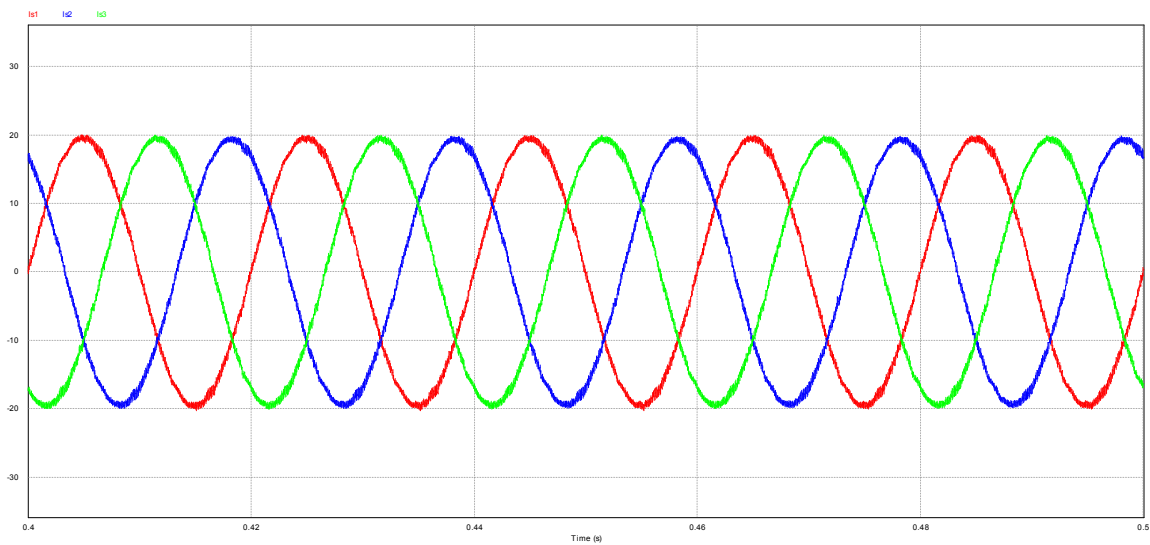


Figure 4.24: L'allure des trois courants I_{s1} , I_{s2} , I_{s3} .

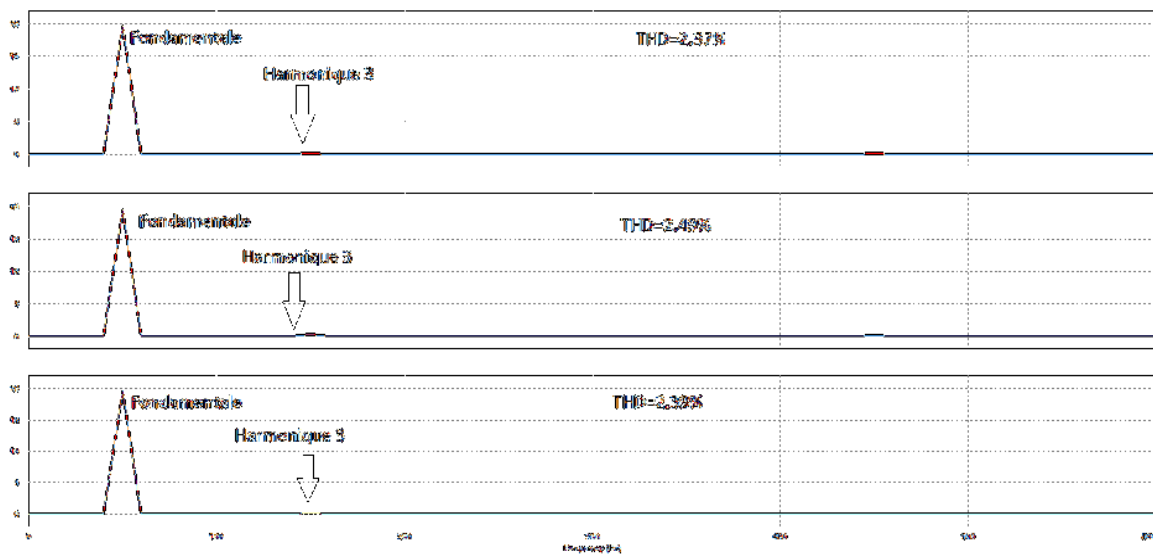


Figure 4.25 :Représentation spectrale des courants après filtrage dans le cas de la charge déséquilibrée avec DCAP.

La phase	I_{s1}	I_{s2}	I_{s3}
THD %	2.37	2.49	2.39

Tableau 4.6 : THD dans trois phases pour une charge déséquilibrée après filtrage avec la méthode DCAP.

Nous remarquons dans la figure 4.24 que les harmoniques de courant de chaque phase ont été compensés. Nous remarquons aussi à partir des figure 4.5 et 4.24 que le déséquilibre a été atténué.

4.3 Interprétation des résultats :

THD(%)						
	Charge équilibrée			Charge déséquilibrée		
Les courant	I_{s1}	I_{s2}	I_{s3}	I_{s1}	I_{s2}	I_{s3}
Avant le filtrage	30.38			33.94	27.6	30.29
PQ 4 fils	2.42			2.46	2.67	2.43
DCAP	2.42			2.37	2.49	2.39

Tableau 4.6 : les valeurs de THD dans trois phases avant et après le filtrage pour tous les cas.

D'après les résultats de la simulation obtenus que la méthode PQ donne des résultats dans les normes, le THD chute de 30% vers 2.42% à chaque phase dans le cas de la charge équilibrée. Et le deuxième cas d'une charge déséquilibrée nous avons vus que le THD est environ 30% avant le filtrage , après l'application de filtre la valeur de THD atteinte 2.46%, 2.67% et 2.43% dans l'ordre des phases I_{s1}, I_{s2} et I_{s3} .

La simulation de la DCAP dans le premier cas donne des mêmes résultats de la PQ 4 fils, THD égal à 2.42%. Mais la DCAP plus performante dans le cas d'une charge déséquilibrée sa THD dans les phase I_{s1}, I_{s2} et I_{s3} dans l'ordre 2.37%, 2.49%, 2.39%. Le THD donner par la DCAP est meilleur par rapport la PQ 4 fils qui donne un THD 2.46%, 2.67%, 2.43% dans chaque phase à l'ordre.

4.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la simulation de l'ensemble réseau, source (3 tensions sinusoïdales avec neutre), charge polluante et filtre actif parallèle à deux niveaux avant et après compensation. Les résultats de simulation et les interprétations obtenu avec les différentes méthodes d'identification des courants référence (la méthode PQ a 4 fils et la méthode DCAP) ainsi que la commande de l'onduleur par la méthode de la modulation de largeur d'impulsion MLI.

Les résultats obtenus dans ce travail très acceptable (THD inférieur à 5%), il permette de montrer l'efficacité d'un filtre actif parallèle.

Chapitre 04 : résultats de simulation

La simulation du filtre active parallèle à deux niveaux charge équilibrée avec les deux déférente méthode d'extraction des courant de référence donnent de mêmes résultats. Ces derniers sont égaux en termes de THD. Mais si en travailler avec la charge déséquilibrée ce filtre avec la DCAP donne des résultats mieux que la PQ 4 fils.

Les résultats de simulation montrent que la meilleure méthode adaptée pour la dépollution d'un réseau électrique perturbée, est celle du DCAP.

Liste des abréviations :

φ_n : déphasage.

ω : Pulsation du réseau.

F : la fréquence.

P : La puissance active.

q : puissance réactive.

\tilde{p} : Puissance alternative liées à la somme des composantes harmoniques active du courant.

\bar{p} : puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant.

p_f : la puissance absorbée par le filtre.

p_s : Puissance active délivrée par la source.

THD : Taux de distorsion harmonique.

GTO : Le thyristor à extinction par la gâchette, en anglais Gâche Turn-Off Thyristor.

IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor.

FAP : Filtre actif parallèle.

FAS : Filtre actif série.

UPQC : Unified Power Quality Conditioner.

DSPs : digital signal proces-sors.

FPGAs : field-programmable gate arrays.

V_{dc} : Tension moyennede bus continu.

$V_{dc\ ref}$: la valeur de la tension de référence souhaitée de bus continu.

C_{dc} : Condensateur de l'onduleur.

T1, 2, ... : L'interrupteur de l'onduleur.

S1,2, ... : signaux de commande de l'onduleur.

MLI : la Modulation de Largeur d'Impulsion.

FPB : filtre passe bas.

FPH : filtre passe haut.

PI : régulateur proportionnel intégral.

V_{abc} : tension de source.

$v_{\alpha\beta 0}$: Les tensions dans le repère orthogonal.

Is123 : courant de source.

$I_{\alpha\beta 0}$: Les courants dans le repère orthogonal.

i_{rabc} Les courants de références.

i_{sdabc} : Courants désirés pour la source de tension.

$i_{inj1,2,3}$: les courants injectés par le filtre.

R : résistance.

L : inductance.

C : capacité.

Ls123, Rs123 : impédance de la source.

PCC: Point de couplage commun.

PQ : méthode de la puissance instantanée.

DCAP: Direct Control for Active Power.

Liste des figures :

Figure 1.1 : L'image d'une onde déformée et de ses décompositions. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.2 : Spectre d'harmonique. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.3 : Filtre passif amortie. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.4 : Filtre passif résonnant..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.5 : Filtre actif parallèle (FAP)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.6 : Filtre actif série (FAS). **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.7 : Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif. . **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.8 : Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.9 : Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 1.10 : Combinaison parallèle–série des filtres actifs. **Erreur ! Signet non défini.**

Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.

- [1] Mohamed Muftah Abdusalam. Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2008.
- [2] Hanna Nohra, Antoine. Commande de filtres actifs parallèles sur un réseau fortement perturbé. PhD, Génie Electrique, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2017.
- [3] Hafsia, Salem Commande d'un Filtre actif parallèle à quatre bras par des techniques avancées. Masters thesis, Faculté des sciences et de la technologie UMKBiskra,2015.
- [4] <https://sitelec.org/download.php?filename=cours/harmoniques.pdf>
- [5] J. Schonek. Cahier technique n° 202. Schneider Electric Les singularités de l'harmonique 3.
- [6] AMARA Asma & BENGANA Adil Yassine. 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. 25 Juin 2015.
- [7] Julien SERRES, Patrick DUBOIS, Christophe JAUNAY et Sophie ESCOLANO, RESEAU ELECTRIQUE HAUTE QUALITE, Lycée Marie Madeleine Fourcade,2009.
- [8] Cahier technique n°152 « Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement.
- [9] Djaffar Ould Abdeslam. Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques: application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2005
- [10] Mohamed Muftah Abdusalam. Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2008
- [11] Mr. BENNAIDJA Tarek, Filtrage actif pour les réseaux déséquilibrés et distordus, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF-1- UFAS (ALGERIE),2014

- [12] Mohamed FERHAT, Commande en Temps Réel d'un Filtre Actif de Puissance, Université Ferhat Abbas – Sétif, 2012
- [13] O. VODYAKHO et C. MI, « Three-level inverter-based shunt active power filter in three-phase three-wire and four-wire systems», Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 24, p. 1350–1363, May 2009.
- [14] H. AKAGI, «The state-of-the-art of active filters for power conditioning», in Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on, p. 15 pp.–P.15, 2005.
- [15] Boucif Abdelmalek << Filtrage actif d'un réseau Électrique >> Université Mohamed Khider Biskra.
- [16] M. A. E. Alali, Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension, Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur Strasbourg I, France, (2002).
- [17] MOHAMED MAGRAOUI, « VALIDATION DE TECHNIQUES DE COMMANDE D'UN FILTRE ACTIF PARALLELE » L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE MONTREAL, LE 17 SEPTEMBRE 2007.
- [18] A. Hamadi, Contribution à l'étude des filtres hybrides de puissance utilisés pour améliorer la qualité de l'énergie dans le réseau électrique de distribution. Thèse de doctorat de l'université du Québec (2010).
- [19] K. Djazia, « Etude des filtres actifs pour réseaux déséquilibrés et distordus » , Université Ferhat Abbas – Sétif , Thèse de Doctorat , 2015.
- [21] Mohamed Muftah Abdusalam. Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2008. Français.
- [22] M.MOHAPATRA et B.BABU, « Fixed and sinusoidal-band hysteresis current controller for PWM voltage source inverter with LC filter », in Students Technology Symposium (TechSym), 2010 IEEE, p. 88–93, April 2010

[23] Antoine F. Hanna Nohra, Maurice Fadel and Hadi Y. Kanaan ,«Direct Control of a Three-Phase Active Filter on a Disturbed Network» IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.vol.24,p.6395-6400 29 Oct.-1 Nov. 2017

[24] Fatiha EMMERI & Zouleykha GHEMBAZA. Etude et simulation d'un circuit de commande pour filtre actif de puissance à quatre bras pour un réseau à quatre fils. Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen. 25 Juin 2015.

Introduction générale

Introduction générale :

A notre époque, l'énergie électrique est devenue nécessaire dans notre vie quotidienne surtout dans le domaine industriel qui se base beaucoup plus sur les dispositifs de l'électronique de puissance (utilisation de gradateurs, de redresseurs, de variateurs de vitesse, ...), tertiaire (informatique ou éclairage des bureaux, commerce, ...) qui vont entraîner de plus en plus des problèmes liés à la qualité de l'énergie électrique.

La distorsion harmonique est générée par les charges non linéaires connectées au réseau et qui absorbent des courants non sinusoïdaux. Ces harmoniques de courant vont à leur tour générer des tensions harmoniques aux différents points de connexion au réseau. Pour les autres équipements électriques connectés en ces points, cette pollution harmonique a des effets nocifs. Parmi ces effets, on peut notamment citer la déformation de la tension réseau au point de raccordement alors que le distributeur d'énergie est tenu de fournir une tension propre. Cette pollution peut également conduire à l'échauffement des câbles et des équipements électriques ou bien encore à l'arrêt soudain de machines tournantes, voire la destruction totale de tous ces équipements.[01]

Il existe plusieurs techniques de dépollution harmonique, parmi elles la solution la plus classique, la plus utilisée et la moins coûteuse qui est l'injection d'un filtre passif dans le réseau, malgré ces avantages cette technique présente des inconvénients majeurs comme l'encombrement, le phénomène de résonance, la difficulté à caractériser avec le réseau, Pour cela nous avons opté à travailler sur une autre technique qui consiste à injecter un filtre actif de puissance dans le réseau qui est moins encombrant et plus facile à caractériser.

L'objectif de ce travail est l'étude et la simulation d'un filtre actif parallèle dans le but d'éliminer les harmoniques de courant provoquées par une charge non linéaire dans un réseau triphasé avec le neutre, côté puissance on utilise des onduleurs de tension deux niveaux commandés par la Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI), on a identifié les courants perturbés par la méthode de la puissance instantanée (P-Q) à 4 fils et la méthode de contrôle direct de la puissance active (DCAP : Direct Control for Active Power).

Introduction générale

Notre mémoire sera divisé en quatre chapitres tels que :

Le premier chapitre sera consacré à présenter les différents phénomènes qui affectent la qualité de l'énergie électrique, et en citant les différentes solutions de dépollution classiques et modernes.

Le deuxième chapitre présentera, le principe de fonctionnement d'un filtre actif parallèle ainsi que sa topologie.

Le troisième chapitre on va faire une description des deux méthodes d'extraction des courants de références qui on a travaillé avec.

Le quatrième chapitre couvrira la présentation des résultats des simulations obtenus pour les différentes stratégies de commande que ce soit en mode équilibré ou déséquilibré. Il s'en suivra une étude comparative pour les deux.

Liste des tableaux :

Tableau 2.1: L'état d'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.1: Les paramètres de réseau.....46

Tableau 4.2: Les paramètres de la charge non linéaire équilibrée....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.3 : Les paramètres de la charge non linéaire déséquilibrée. **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.4 : THD dans trois phases pour une charge déséquilibrée. **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.5 : paramètres de filtre**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.5 : THD dans trois phases pour une charge déséquilibrée après filtrage avec PQ 4 fils.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.6 : THD dans trois phases pour une charge déséquilibrée après filtrage avec la méthode DCAP.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4.6 : les valeurs de THD dans trois phases avant et après le filtrage pour tous les cas.....**Erreur ! Signet non défini.**