

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLÔME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

## *Thème*

FILTRAGE ACTIF PARALLELE DES  
HARMONIQUES DU COURANT GENERE  
PAR UN PONT REDRESSEUR TRIPHASE NON  
COMMANDE

**Proposé et dirigé par :**

Mr BEN DAIKHA A Malik

**Présenté par :**

ZAITER Rida

ZANBOUA Chaâbane

**Année Universitaire:**

2009/2008

# *Remerciement*

*Nous remercions avant tout ALLAAH qui nous a aidés à  
accomplir ce travail*

*Nous tenons à remercier monsieur Ben daikha A malik pour sa  
collaboration ; ainsi que pour son aide constant et précieux, et nous  
guider dans notre modeste travail.*

*Sans oublier BEDBOUDI Mohamed et Mr CHOUAF Fathi pour leurs  
attentions constantes, aide moral, et pour nous avoir guidées. à la  
présentation de ce travail.*

*En deuxième lieu, nous tenons à remercier les membres du département  
d'électrotechnique, qui nous a assuré*

*L'environnement adéquat afin de réaliser notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous ceux et celles qui ont participé de  
près ou de loin à l'élaboration du présent travail.*

*Pour finir, nous tenons à remercier du fonds de c œur nos familles,  
exceptionnellement nos parents qui nous ont si patiemment apporté leurs  
soutiens.*

# *Dédicaces*

*A mes plus chers au monde mes parent*

*A mes frères et mes sœurs surtout*

*Siham, Hicham Surtout alktakit*

*« Sirin et Lamis »*

*À toute ma famille*

*A toutes mes amies surtout*

*Badro, faiez, nacer, chaabane, azedin, adel*

*A mes collègues de la promotion 2008 -2009*

*A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin,*

*Je dédie ce modeste travail*

*Rida*

# *Dédicaces*

*A mes plus chers au monde à ma mère*

*et à Feu mon père*

*A mes frères et mes sœurs surtout*

*,Hicham Surtout alktakit*

*« Israa et Anas »*

*À toute ma famille*

*A toutes mes amies surtout*

*Badro, faiez, nacer, Rida ,azedin, adel*

*A mes collègues de la promotion 2008 -2009*

*A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin,*

*Je dédie ce modeste travail*

## *Chaabane*

# Liste des Tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau (I -1)</b>	Exemples de charges polluantes.	9
<b>Tableau (I-2)</b>	Effets des harmoniques.	11
<b>Tableau (II-1)</b>	Comparaison entre le filtre actif et le filtre passif	19
<b>Tableau (V-2)</b>	les résultats des simulations.	54
<b>Tableau (V-1)</b>	Les valeurs des éléments caractérisant la structure étudiée	42

## Liste des Figures

<b>Figures</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Fig. (I-1)	représente la décomposition d'un signal périodique 50 Hz en séries de Fourier	5
Fig. (I-2)	représentation spectrale d'un signal périodique.	7
Fig. (I-3)	décomposition d'un signal périodique.	7
Fig. (II-1)	Pont dodécaphasé.	13
Fig. (II-2)	branchement d'un filtre résonant.	15
Fig. (II-3)	branchement d'un filtre amorti	15
Fig. (II-4)	sources des harmoniques de tension et de courant.	16
Fig. (II -5)	Filtre actif parallèle.	17
Fig.(II -6)	Filtre actif série	18
Fig. (II -7)	Combinaison parallèle-série actifs (UPQC)	20
Fig. (II -8)	Filtre actif série et filtre passif parallèle.	21
Fig. (II -9)	Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle	21
Fig.(II-10)	Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.	22
Fig (III-1)	Principe du filtrage actif parallèle	24
Fig. (III-2)	Exemple de formes d'ondes	25
Fig. (III-3)	Structure générale d'un filtre actif parallèle.	26
Fig.(III-4)	Onduleur de tension triphasé.	27
Fig (III-5)	Principe de la commande des courants par hystérésis	28
Fig (III-6)	Principe de commande par MLI	28
Fig. (III-7)	Schéma de principe d'onduleur monophasé commandé par MLI sinus-triangle.	29
Fig. (IV-1)	Schéma représentant le principe de séparation des puissances	34
Fig. (IV-2)	Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées.	35
Fig (V -1)	Schéma synoptique de l'association filtre actif-réseau-charge polluante.	38

Figure(V -2)	Schéma synoptique d'un réseau triphasé.	39
Figure (V-3)	Schéma synoptique d'un pont redresseur.	40
Figure (V-4)	Présentations hématiche d'un onduleur triphasé	40
Figure (V-5)	Schéma de redresseur non commandé.	44
Figure (V-6):	Schéma bloc de la méthode d'identification du courant harmonique	45
Figure (V-7):	Onduleur de tension.	46
Figure (V-8):	Schéma global d'un filtre actif parallèle.	47
Figure (V-9)	Courant redressé.	48
Figure (V-10)	Tension redressée.	48
Figure (V-11)	Courant de charge.	49
Figure (V-12)	Courant harmonique	49
Figure (V-13)	Courant harmonique injecté par le filtre.	50
Figure (V-14)	Courant de source.	50
Figure (V-15)	Spectre de la courante source avant filtre	51
Figure (V-16)	Spectre de la courante source après filtre.	51
Figure (V-17)	Courant de charge.	52
Figure (V-18)	Courant harmonique.	52
Figure (V-19)	Courant de filtre actif.	53
Figure (V-20)	Courant de source.	53
Figure (V-21)	Courant redressé	54

# Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Naissance des harmoniques et leurs effets sur le réseau d'alimentation</b>	
I -1. Introduction .....	3
I -2. Définition des harmoniques .....	4
I- 3. Les types d'harmoniques .....	6
I-3.1. Décomposition d'un signal périodique .....	6
I-3.2. Le facteur de distorsion harmonique THD:.....	6
I-3.3. Représentation spectrale .....	7
I -4. Notion des charges.....	8
I -5. Source des harmoniques .....	9
I -6. Les effets des harmoniques .....	10
I -7. Conclusion. ....	12
<b>Chapitre II : Méthodes d'élimination des harmoniques</b>	
II -1. Introduction.....	13
II -2. Transformateur a couplage spécial .....	13
II -3. Pont dodécaphasé.....	13
II -4.Compensation de la puissance réactive.....	14
II -5.solution de filtrage.....	14
II -5.1 Filtrage passif .....	14
II -5.1.1. Filtre résonant .....	14
II -5.1.2 Filtre amorti .....	15
II -5.2. Inconvénients des filtres passifs.....	16
II -5-3 Filtrage actif.....	16
II -5-3-1 Principe.....	16
II -5-3-2 Le filtre actif parallèle le (F.A.P) .....	17
II -5-3-3 Le filtre actif série (F.A.S).....	17
II -5-4 Les avantages du filtre actif .....	18
II -5-5 La combinaison parallèle-série actifs (UPQC).....	19
II -5-6 Combinaison hybride active et passive.....	20
II -5-6-1 Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.....	20
II -5-6-2 Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles.....	21
II -5-6 -3 Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.....	22
II-6 Conclusion.....	23

## Chapitre III: Le filtre actif parallèle

III -1. Introduction.....	24
III-2 . Principe du filtre actif parallèle:.....	24
III -3. Structure d'un filtre actif parallèle.....	25
III- 4. Généralité sur les onduleurs.....	26
III-4-1. Onduleur de tension triphasé.....	27
III-4-2 La commande de l'onduleur.....	27
III-4-2 -1 Commande des courants par hystérésis.....	28
III-4-2-2 Commande en tension MLI.....	28
III-4-2 -3 Principe de MLI sinus-triangle.....	29
III-5 Conclusion.....	30

## Chapitre IV: Identification des courants harmoniques

IV-1 introduction .....	31
IV-2. La méthode d'identification des courants perturbés.....	31
IV-2-1 Généralités sur les méthodes d'identification.....	31
IV.2.2. Principe du fonctionnement de la méthode des puissances instantanées ..	32
IV-2-2-1 Généralités sur les puissances instantanées.....	32
IV-2-2-2 Séparation des puissances perturbatrices.....	34
IV-2-2-3 Calcul des courants perturbateurs.....	34
IV-2-2-4 Algorithme d'identification.....	35
IV-3 Conclusion.....	36

## Chapitre V : Modélisation et simulation

V-1. Introduction.....	37
V-2. Schéma synoptique de l'association filtre actif-réseau-charge polluante.....	38
V-3.modélisation de l'association réseau- filtre actif- charge polluante:.....	39
V-3-1. Modélisation du réseau.....	39
V-3-2 .Modélisation de la charge polluante (Redresseur triphasé).....	40
V-3-3. Modélisation du filtre actif (ou de l'onduleur).....	40
V-4. Introduction au Simulink .....	43
V-4-1. Schémas de simulation .....	44
V-4-2. Résultat de Simulation .....	48
V-4-3. Changement de la charge.....	52

V-5. Conclusion.....	55
<b>Conclusion générale</b> .....	56

## INTRODUCTION GENERALE

Les perturbations de courant et de tension dans les réseaux de distribution électrique sont causées par la prolifération des charges non linéaires, telles que les convertisseurs statiques (les redresseurs, les gradateurs, etc.), le matériel informatique, les appareils de climatisation ou encore les éclairages à base de tubes fluorescents.

Ces appareils absorbent des courants non sinusoïdaux et introduisent de ce fait des pollutions harmoniques. Les harmoniques engendrées par ces charges circulent dans les réseaux électriques et perturbent sérieusement le fonctionnement normal de certains équipements électriques pouvant même engendrer leur destruction. Ces effets néfastes peuvent apparaître instantanément, mais peuvent également se produire en différé tant pour le distributeur que pour les exploitants.

C'est pour ces raisons que le filtrage des distorsions en courant et en tension est au centre des préoccupations actuelles à la fois des fournisseurs et des utilisateurs d'énergie électrique. Pour des installations électriques existantes, les filtres actifs parallèles (FAP) sont à ce jour les solutions avancées de dépollution les plus adéquates. Actuellement, les solutions actives sont celles qui répondent au mieux aux contraintes de la production et de la distribution. Leur réponse est instantanée et elles s'adaptent automatiquement aux évolutions des perturbations introduites par les charges du réseau électrique. Que ce soit dans le secteur industriel ou dans le secteur domestique, les FAP s'insèrent facilement dans un réseau de distribution électrique sans imposer un aménagement des installations du fournisseur d'énergie ou du consommateur.

Les FAP sont constitués de convertisseurs à base d'interrupteurs de puissance, de type onduleur, associés à un dispositif de contrôle et de commande adapté.

Ils peuvent être assimilés à des sources de courant ou de tension qui compensent directement les perturbations harmoniques en injectant sur le réseau des courants ou des tensions en opposition de phase par rapport aux perturbations mesurées.

Dans ce mémoire le travail est réalisé sur l'ensemble réseau, charge non linéaire (pont triphasé non commandé), filtre actif.

Cette thèse comporte cinq chapitres, structurés comme suit :

Au premier chapitre nous analyserons les naissances des harmoniques et leurs effets sur le réseau d'alimentation.

Le second chapitre traite les différentes solutions de filtrage traditionnel et moderne de réduction de ces perturbations finalement; nous détaillerons les avantages et les inconvénients (filtrage traditionnel et moderne).

Dans le troisième nous avons traité le filtre actif parallèle à base d'onduleur de tension (MLI et Hystérésis).

Dans le quatrième chapitre nous avons étudié les différentes méthodes d'identification des courants harmoniques, celle choisit pour notre étude étant la méthode des puissances actives et réactives instantanées.

Au dernier chapitre, la modélisation de l'ensemble, de réseau-charge polluante-filtre actif, est d'abord présenté, puis les résultats de simulation (On à choisit dans notre étude la commande de Hystérésis). **[10]**

# Chapitre I

Naissance des harmoniques et  
leurs effets sur le réseau  
d'alimentation

## **I-1. Introduction :**

L'un des phénomènes les plus influents sur la qualité de l'énergie électrique distribuée au consommateur est le phénomène des harmoniques. Idéalement, l'électricité serait distribuée sous une forme de tension sinusoïdale parfaite d'amplitude et de fréquence constante. En pratique, l'opération du système électrique d'alimentation et l'utilisation de l'énergie électrique par les consommateurs provoquent différentes dérivations qui fait que le signal de courant obtenu est différent du signal sinusoïdal idéal que l'on appelle fondamental.

Lorsqu' on connecte sur le réseau des convertisseurs tels que les redresseurs et les cyclo-convertisseurs, on est confronté à différents problèmes. [2]

## I-2. Définition des harmoniques :

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

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

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

Le « rang » de l'harmonique est la valeur de l'entier qui détermine sa fréquence (sur un réseau 50Hz,  $I_h 7 = 350 \text{ Hz}$ ) [1].

La figure (I-1) représente la décomposition d'un signal périodique.

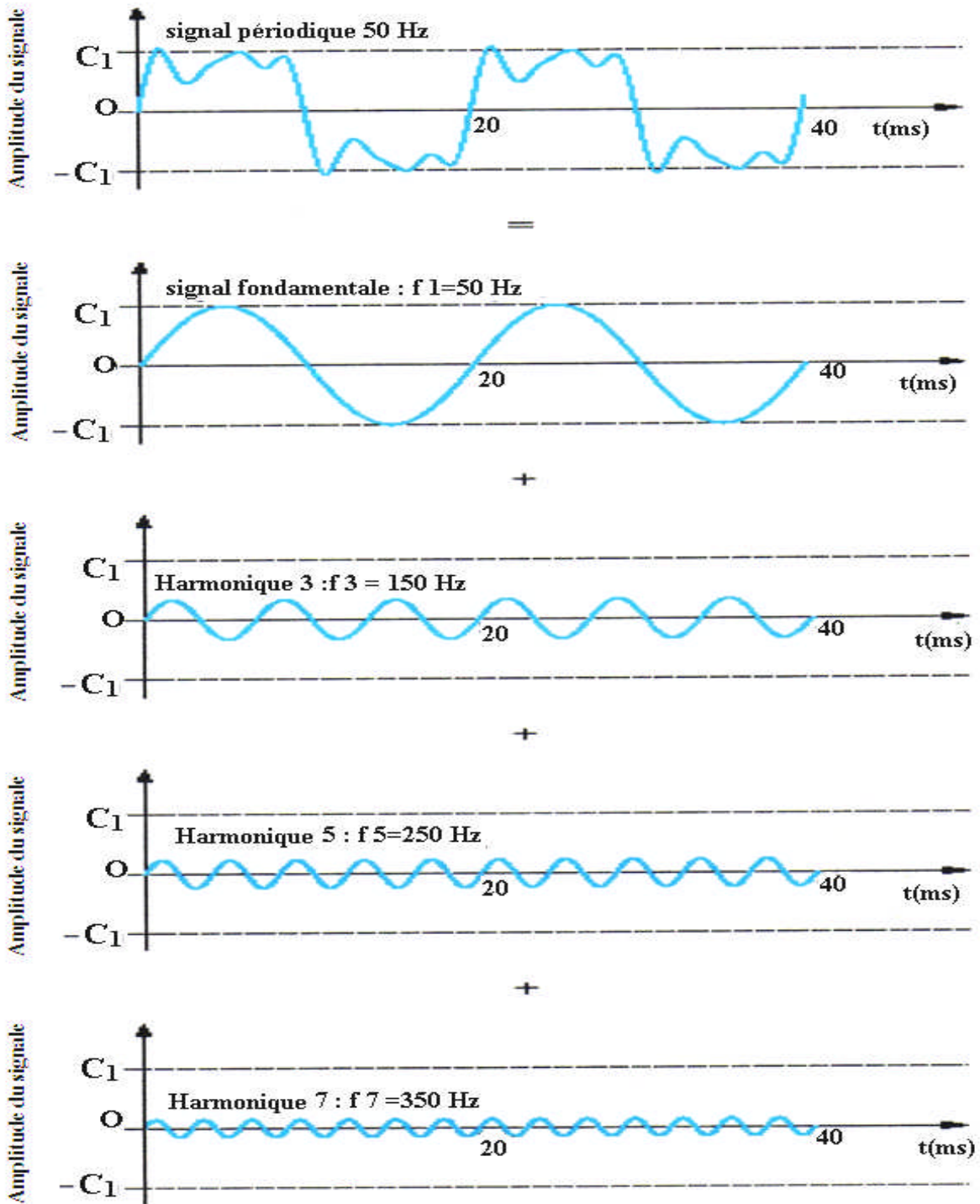


Figure (I-1) représente la décomposition d'un signal périodique 50 Hz en séries de Fourier.

### I.3. Les types d'harmoniques :

#### I.3.1. Décomposition d'un signal périodique :

FOURIER a démontré, que toute fonction périodique  $y(t)$  non sinusoïdale de fréquence ( $f$ ) peut être représentée, selon la décomposition harmonique sous la forme d'une somme de fonction composée. Fig. (I-2).

- D'un terme sinusoïdal à la fréquence ( $f$ ) de valeur efficace ( $Y_1$ ). Ce terme est appelé **fondamental**.
- Des termes sinusoïdaux dont les fréquences sont égales à ( $n$ ) fois la fréquence du fondamental et de valeurs efficaces ( $Y_n$ ). Ces fréquences multiples du fondamental sont appelées **harmoniques**.
- D'une éventuelle composante continue d'amplitude ( $Y_0$ ).
- **Inter harmoniques**: Ce sont des composantes sinusoïdales d'une grandeur qui ne est pas une fréquence multiple entière de celle du fondamental.
- **Infra harmoniques** : Ces sont des composantes des fréquences inférieures à celle du fondamental [1].

L'expression de ces grandeurs est donnée par le développement de la série de Fourier suivant:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \phi_n)$$

#### I.3.2. Le facteur de distorsion harmonique THD:

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

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Y_h^2}}{Y_1}$$

$Y_1$ : valeur efficace de la tension fondamentale.

$Y_h$ : valeur efficace de la tension harmonique du range  $h$ .

Ou encore par:

$$\text{THD} (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} * 100$$

$I_1$ : valeur efficace du courant fondamentale.

$I_h$ : valeur efficace du courant harmonique du range  $h$ . [4]

### I.3.3. Représentation spectrale :

Un signal déformé se compose généralement de plusieurs harmoniques. On représente souvent ce signal sous forme d'un spectre fig.( I-2), c'est à dire a l'aide d'un schéma ou l'on porte abscisse la fréquence et en ordonnée le module (en valeur efficace ou en pour cent) .

Ces courbes dans la fig.( I-3 ) nous montrent la décomposition d'un signal période en série de Fourier.[1]

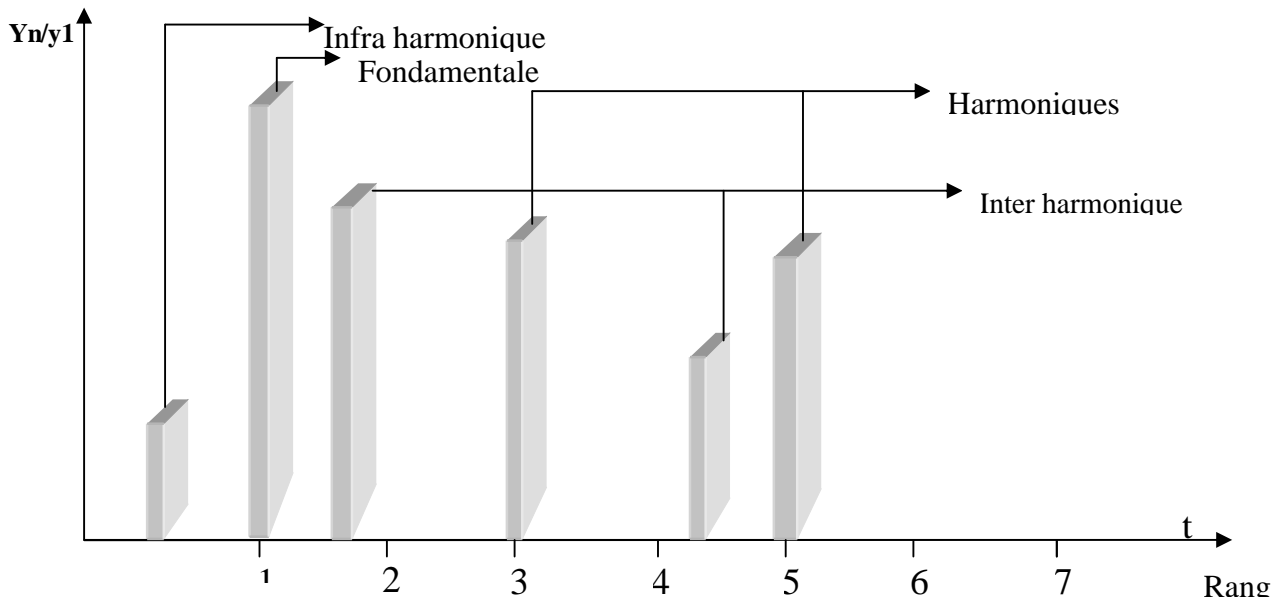


Fig. (I-2):représentation spectral d'un signal périodique.

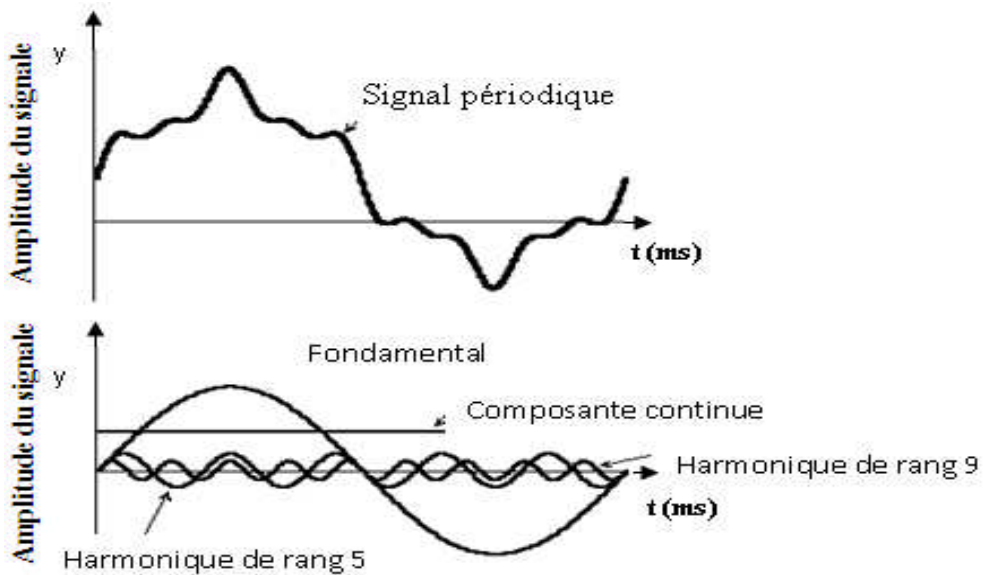


Fig. (I-3): décomposition d'un signal périodique.

## I.4. Notion des charges:

Les récepteurs peuvent être classés en deux familles principales :

- ✓ les récepteurs linéaires (ou charges linéaires).
- ✓ les récepteurs non-linéaires (ou charges non-linéaires).

Une charge est dite linéaire si, alimentée par une tension sinusoïdale, elle consomme un courant sinusoïdal. Cependant, le courant et la tension peuvent être déphasés. Les charges linéaires couramment utilisées sont constituées de résistances, de capacités et d'inductances.

Une charge est dite non-linéaire lorsque la relation entre la tension et le courant n'est plus linéaire. Un tel récepteur alimenté par une tension sinusoïdale, consomme un courant non-sinusoïdal. Par la suite, nous nous restreindrons aux charges non-linéaires triphasées, qui consomment un courant périodique, de même période que celle de la tension.

Cette classe de charges englobe les convertisseurs statiques (gradateurs, redresseurs), les circuits magnétiques saturés, les lampes, ... [2]

Le tableau montre quelques exemples des charges non linéaires fréquemment utilisés dans le réseau électrique.


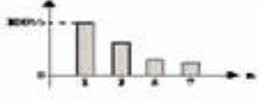

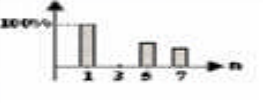
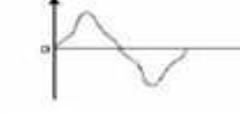
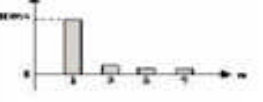
Type de charge	Appareils concernés	Courant absorbé	Spctre harmonique correspondant
Gradateur monophasé (commande par angle de phase)	Régulation de puissance de four à résistance Modulation de puissance des lampes halogènes		
Redresseur triphasé à thyristor	Variateur de vitesse des moteurs à courant continu et des moteurs synchrones		
Moteur asynchrone	Machines-outils Appareils électroménagers Ascenseurs.		

Tableau (I -1) Exemples de charges polluantes.

### I-5. Source des harmoniques :

Les harmoniques sont générées par des charges non linéaires absorbant un courant non sinusoïdal. Actuellement, les équipements à base de thyristors constituent la principale source de ces harmoniques. Ces appareils, dont les caractéristiques électriques varient avec la valeur de la tension, sont assimilables à des générateurs de courants harmoniques:

- ✓ Onduleurs, hacheurs.
- ✓ Ponts redresseurs, électrolyse, machine à souder.
- ✓ Fours à arc et à induction.
- ✓ Variateurs de vitesse électroniques pour moteur à courant continu ou pour moteur asynchrone ou synchrone.
- ✓ Appareils domestiques tels que téléviseurs, lampes à décharges, lampes fluorescentes à ballast électronique.
- ✓ Alimentation à découpage informatique.
- ✓ Gradateurs de lumière, de chauffage. [6]

## **I-6. Les effets des harmoniques :**

Les effets des harmoniques les plus connus et les plus spectaculaires sont la destruction de condensateurs ou de disjoncteurs sous l'effet de forts courants harmoniques amplifiés par des résonances. Ce phénomène est généralement observable sur des réseaux internes d'usines alimentant des convertisseurs statiques et en présence de condensateurs installés sans précaution. Un autre phénomène de plus en plus rencontré, est l'échauffement des transformateurs et des conducteurs de neutre sous l'effet des courants harmoniques.

On rencontre le plus souvent ce type de situation en milieu tertiaire, en raison de la multiplication des matériels informatiques monophasés.

Il faut aussi remarquer que les harmoniques peuvent avoir des effets moins visibles, mais tout aussi réels, les effets à long terme, qui sont d'autant plus sournois qu'on ne peut les relier directement et de façon claire à la présence d'harmoniques sur le réseau, ils se traduisent par une fatigue accélérée du matériel, Il est d'usage de dire que, dans les installations industrielles, les tensions harmoniques inférieur à 5% de la tension fondamentale ne produisent pas d'effets notables. Entre 5% et 7%, on commence à observer des effets, de 7% à 10% ces effets sont fréquents, et pour plus de 10%, les effets sont quasiment certains.

Ces chiffres sont admis par la plupart des experts en compatibilité électromagnétique qui interviennent sur les problèmes d'harmoniques. [1]

Parmi les effets instantanés sur le côté réseau on peut citer :

- Perturbation des systèmes électriques, des dispositifs de mesures et de protections.
- Perturbation des lignes de téléphones proches des lignes de puissance.
- Résonance, Vibration et bruits.
- Surcharge des conducteurs de neutre.
- En ce qui concerne les effets à long terme.
- Echauffement qui réduit la durée de vie des matériels (Condensateurs, transformateurs, machines tournantes,...).
- Du côté charge l'effet harmonique se manifeste ainsi Fatigue mécanique des matériaux due aux vibrations, Pour les machines synchrones, les tensions et les courants harmoniques provoquent des pertes et des échauffements supplémentaires dus aux flux de fuites, particulièrement dans les moteurs à induction.
- Ils réduisent le couple utile et empêchant le moteur d'atteindre sa vitesse maximale. [4]

Le tableau suivant récapitule les principaux effets néfastes harmoniques. [4]

<b>Matériel</b>	<b>Matériel Effets</b>
Condensateurs de puissance	Echauffement, vieillissement prématuré (claquage), résonance.
Moteurs	Pertes et échauffements supplémentaires. Réduction des possibilités d'utilisation à pleine charge. (vibrations, fatigue mécanique)
Transformateurs	Pertes supplémentaires dans le fer (par courants de Foucault) et dans les enroulements (par effet Joule).
Dispositifs de protection (fusibles, disjoncteurs magnétothermiques.)	Fonctionnement intempestif.
Câbles	Pertes diélectriques et ohmiques supplémentaires (particulièrement dans le neutre en cas de présence d'harmonique)
Ordinateurs	Troubles fonctionnelles
Electronique de Puissance	Troubles liées à la forme d'onde (commutation, synchronisation).
Compteur d'énergie	Erreur de mesure
Téléviseurs.	Déformation d'image.

Tableau (I-2). Effets des harmoniques.

## **1-7. Conclusion.**

Dans ce chapitre nous avons présenté la distorsion harmonique et les différentes sources de perturbation affectant la forme d'onde des tensions du réseau électrique, ainsi que leurs effets néfastes sur les équipements électriques qui y sont connectés. Ces effets sont à l'origine d'échauffements et de dégradations du fonctionnement de ces équipements. Les normes imposées ont été également présentées. Elles fixent les limites de la génération d'harmoniques.

# Chapitre II

## Méthodes d'élimination des harmoniques .

## II-1. Introduction

Il existe aujourd'hui toute une panoplie de matériels et de solutions pour l'atténuation des harmoniques, tous présentant cependant des inconvénients et des avantages.

## II -2.Transformateur à couplage spécial:

Cette solution empêche la propagation des courants harmoniques de rang 3 et de leurs multiples. Il s'agit d'une solution centralisée pour un ensemble de charges monophasées. Elle n'a cependant aucun effet sur les autres rangs d'harmoniques (H5, H7, etc...) [5].

## II -3. Pont dodécaphasé :

Deux redresseurs hexaphasés montés en série font composer ce pont, qui est le pont le plus utilisé (cas des puissances importantes). Donc, toujours dans le souci de repousser le premier harmonique présent sur un spectre pollué, l'association de deux ponts triphasés en série a été envisagée comme il est illustré sur le schéma de la figure (II 1).

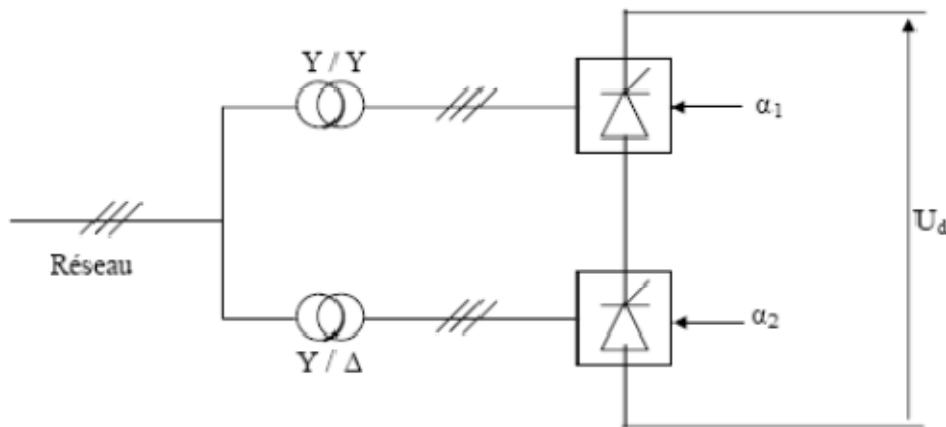


Fig. (II-1): Pont dodécaphasé.

L'utilisation d'un grand nombre de semi-conducteurs et de transformateurs à deux enroulements secondaires rendent cette solution onéreuse. Elle entraîne un coût supplémentaire et demande plus que le savoir faire habituel pour les mettre en oeuvre. Ces solutions ne résolvent pas les problèmes causés par les charges polluantes qui existent sur le marché. [4]

## **II -4. Compensation de la puissance réactive :**

La puissance réactive est majoritairement consommée par les moteurs asynchrones et plus récemment par des dispositifs à base d'électronique de puissance. Différentes méthodes de compensation sont utilisées pour relever le facteur de puissance. La plus simple consiste à placer des batteries de condensateurs en parallèle avec le réseau. L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait que la puissance réactive fournie par les condensateurs est constante et qu'elle ne s'adapte pas à l'évolution du besoin. [3]

## **II -5. Solution de filtrage:**

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

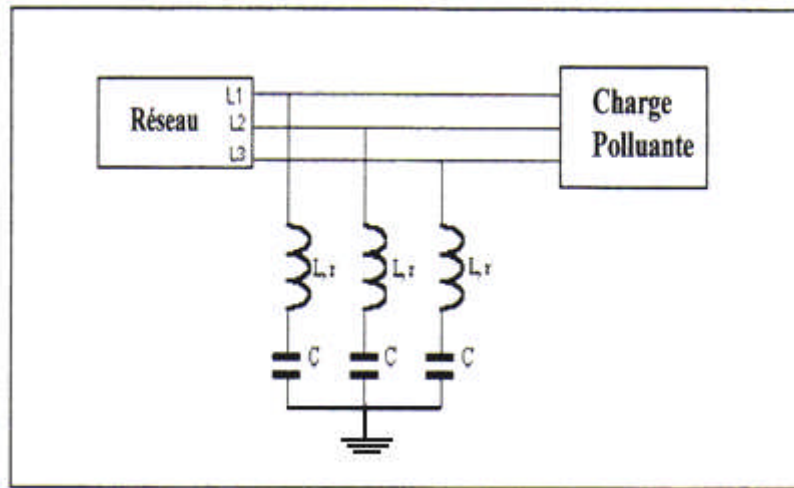
Deux types de solutions sont envisageables. La première consiste à utiliser des convertisseurs statiques peu ou moins polluants, tandis que la seconde réalise un filtrage des composantes harmoniques. [2]

### **II -5-1. Filtrage passif:**

Il consiste à placer en parallèle sur le réseau un circuit résonant composé de condensateur et d'inductance accordé sur la fréquence. Les modèles des filtres passifs sont:

#### **II -5-1-1. Filtre résonant :**

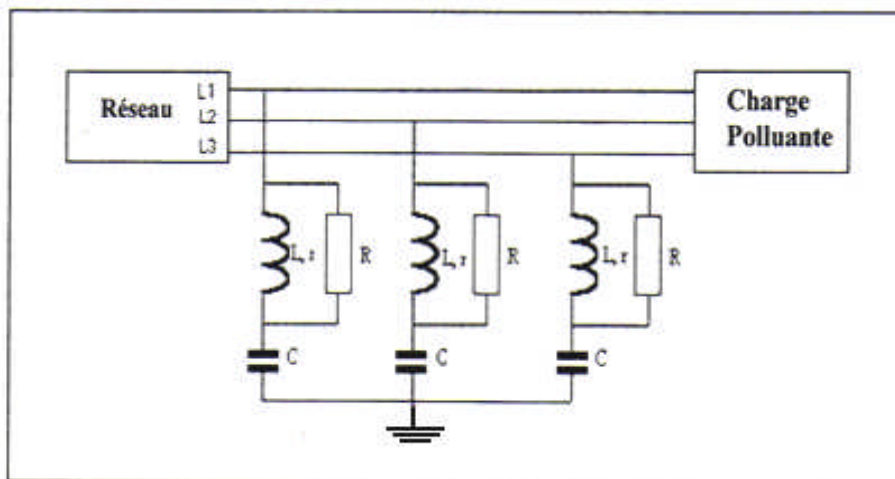
Il est constitué par la mise en série d'une inductance, d'une résistance, et d'un condensateur. La figure (II-2) montre clairement le montage de ce dernier ainsi que leurs impédances en fonction de la fréquence. Ce type de filtre est caractérisé par l'emplacement de trois filtres, deux pour les harmoniques d'ordre inférieurs et un filtre pour les harmoniques d'ordre supérieurs, c'est-à-dire pour un pont triphasé nous avons besoin d'un filtre passe bas pour le cinquième et l'autre pour le septième harmonique et d'un filtre passe haut pour tous les harmoniques au-delà de 11ème.



(Fig. II-2):branchement d' un filtre résonant.

### II -5-1-2. Filtre amorti :

La figure (II-3) montre le montage de ce type de filtre, ainsi que son impédance en fonction de la fréquence. En plus de difficulté de dimensionnement des filtres et à coût globale donné, ce type n'est efficace que si le rond d'harmonique à éliminer est suffisamment élevé (à partir de  $h=13$ ). [1]



(Fig. II-3):branchement d' un filtre amorti.

## II -5-2. Inconvénients des filtres passifs:

Ces dispositifs sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive .

Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénients:

- ✓ manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- ✓ équipements volumineux.
- ✓ problèmes de résonance avec l'impédance du réseau . [3].

## II -5-3. Filtrage actif:

### II -5-3-1. Principe:

En plus des éléments (R, L, C) propres aux filtres passifs, les filtres actifs comprennent des convertisseurs de puissance. Ce sont des sources de courant ou de tension qui éliminent les perturbations harmoniques en injectant en série ou en parallèle sur le réseau des courants, des tensions, ou les deux à la fois, en opposition par rapport aux perturbations existences : courants harmoniques créés par la charge ( $I_{ch-h}$ ), ou tensions harmoniques présentes sur le réseau ( $V_{s-h}$ ) (figure(II- 4)) [2].

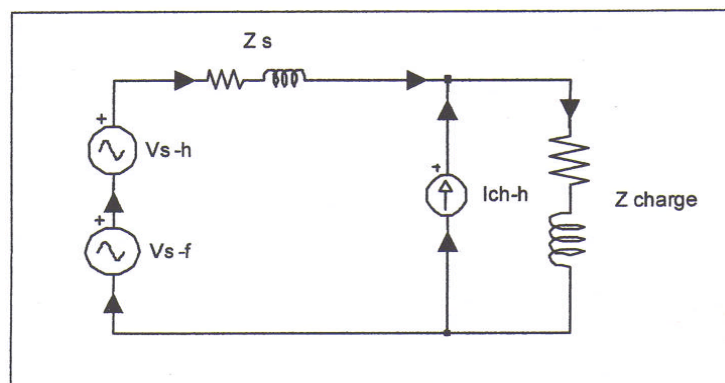


Figure (II -4):sources des harmoniques de tension et de courant .

$V_{s-f}$ : composante fondamentale de la tension d'alimentation.

$V_{s-h}$  : composante harmonique de la tension d'alimentation.

$Z_s$  : impédance de la source.

$Z_{charge}$ : impédance de la charge.

### II -5-3-2. Le filtre actif parallèle (F.A.P):

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau, comme le montre la Fig. (II -5), est le plus souvent commandé comme un générateur de courant. Il injecte dans le réseau des courants perturbateurs égaux à ceux absorbés par la charge polluante, mais en opposition de phase avec ceux-ci. Le courant côté réseau est alors sinusoïdal. Ainsi l'objectif du filtre actif parallèle (F.A.P) consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés), produits par des charges polluantes, de circuler à travers l'impédance du réseau, située en amont du point de connexion du filtre actif. [3]

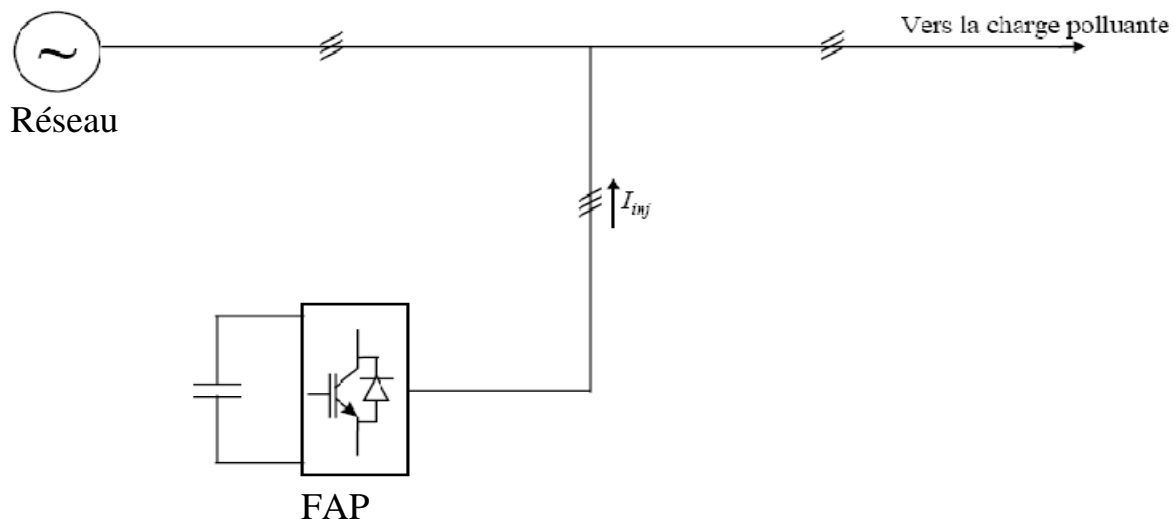


Fig. (II-5): Filtre actif parallèle.

### II -5-3-3. Le filtre actif série (F.A.S):

Le filtre actif série se comporte dans ce cas, comme le montre la Fig. (II -6), comme une source de tension qui s'oppose aux tensions perturbatrices (creux, déséquilibre, harmonique) venant de la source et également à celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Ainsi la tension aux bornes de la charge à protéger est purement sinusoïdale [5].

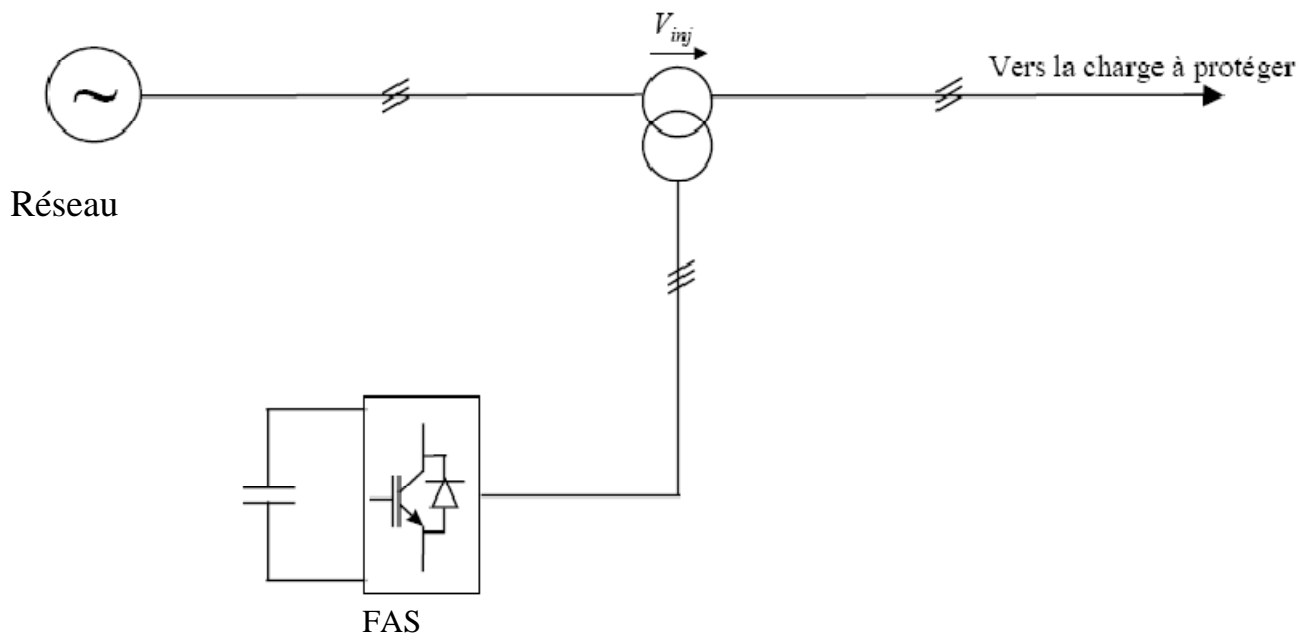


Fig.(II -6) : Filtre actif série .

#### II -5-4. Les avantages du filtre actif :

Le filtre actif offre de nombreux avantages :

- ✓ Il s'adapte automatiquement à l'évolution des charges et du réseau.
- ✓ Peut compenser plusieurs rangs harmoniques.
- ✓ Le risque de résonance entre filtre et impédance du réseau qui existe avec le filtre passif est supprimé. [2]

	<b>Filtre passif</b>	<b>Filtre actif</b>
<b>Action sur les courants harmoniques</b>	Nécessite un filtre pour chaque fréquence (encombrant)	Agit simultanément sur plusieurs fréquences
<b>Influence d'une variation de fréquence</b>	Efficacité réduit	Aucune conséquence
<b>Influence d'une modification de l'impédance</b>	Risque de résonance	Aucune conséquence
<b>Ajout de matériel (augmentation de charge)</b>	Nécessite des modifications sur le filtre, dans certains cas	Aucun problème
<b>Modification de la fréquence fondamentale</b>	Modification impossible	Possible, grâce à la reconfiguration
<b>Encombrement</b>	Important	Faible
<b>Poids</b>	Important	Faible

Tableau (II-1): Comparaison entre le filtre actif et le filtre passif [2].

## **II -5-5. La combinaison parallèle-série actifs (UPQC):**

La combinaison parallèle-série actifs, aussi appelée Unified Power Quality Conditioner (UPQC), résulte de l'association des deux filtres actifs parallèle et série, comme le montre .

La Fig.(II-7). Profitant des avantages des deux filtres actifs ,l'UPQC assure un courant et une tension Sinusoïdaux du réseau électrique à partir d'un courant et d'une tension perturbés de celui-ci [4].

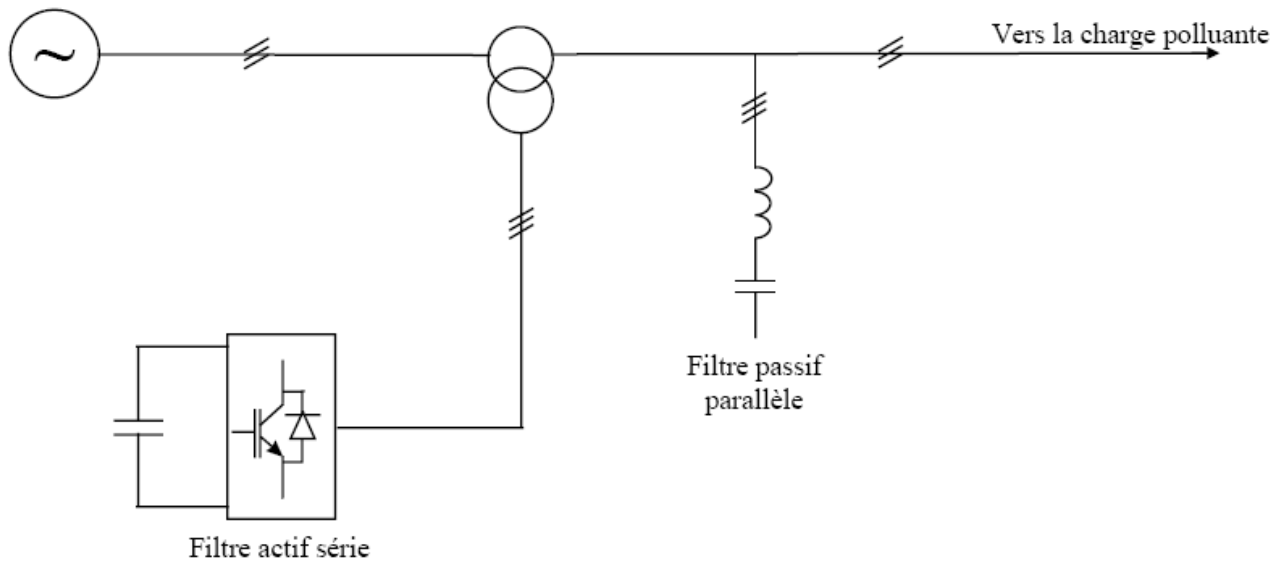


Fig. (II -7): Combinaison parallèle-série actifs (UPQC)

## II -5-6. Combinaison hybride active et passive:

Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent, le prix des filtres actifs, l'association de filtres actifs de faible puissance à des filtres passifs peut être une solution.

Dans ce cas, les filtres passifs ont pour rôle d'éliminer les harmoniques prépondérants permettant de réduire le dimensionnement des filtres actifs qui ne compensent que le reste des perturbations. Plusieurs configurations ont été présentées dans la littérature, les plus étudiées étant :

- 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. [4]

### II -5-6 -1. Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles:

Le rôle du filtre actif série dans ce cas est d'empêcher les courants harmoniques de circuler vers le réseau et de les obliger à passer par les filtres passifs raccordés à leurs fréquences comme le montre la Fig (II -8).

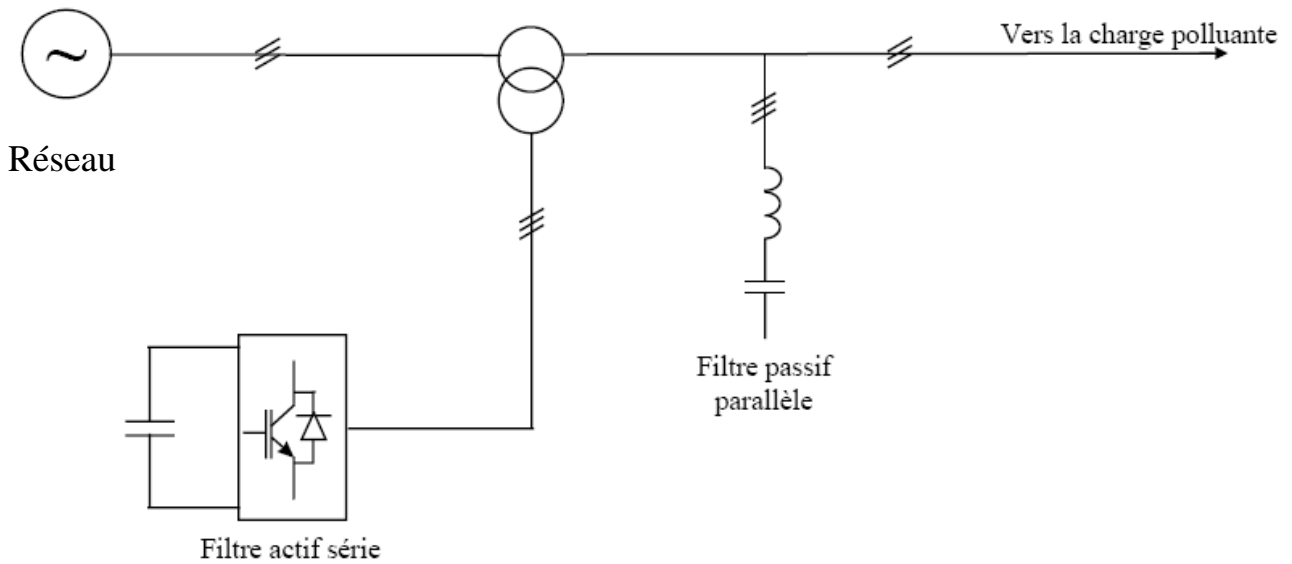


Fig.( II -8) : Filtre actif série et filtre passif parallèle.

### II -5-6 -2. Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles:

Le principe de fonctionnement de cette configuration, présentée en Fig (II-9)., est la même que la précédente avec l'avantage de réduire encore le dimensionnement du filtre actif série car le courant qui le traverse est plus faible. De plus, le filtre actif série est à l'abri d'un éventuel court circuit de la charge. [3]

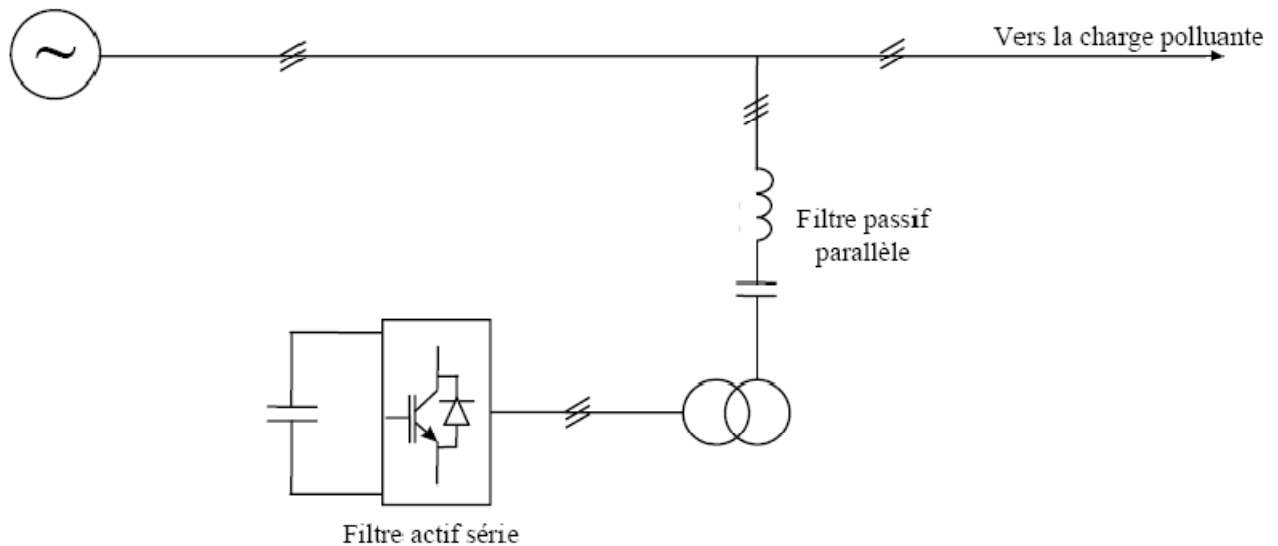


Fig. (II -9) : Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle

### II -5-6 -3. Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle:

Le rôle du filtre actif parallèle dans cette configuration, montrée en Fig. (II -10), est la compensation des courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante. Le filtre passif accordé sur une fréquence élevée, élimine les harmoniques hautes fréquences y compris ceux créés par le filtre actif parallèle. Ce type de filtrage a déjà été appliqué à la compensation des courants harmoniques émis par un cyclo-convertisseur de forte puissance. [3]

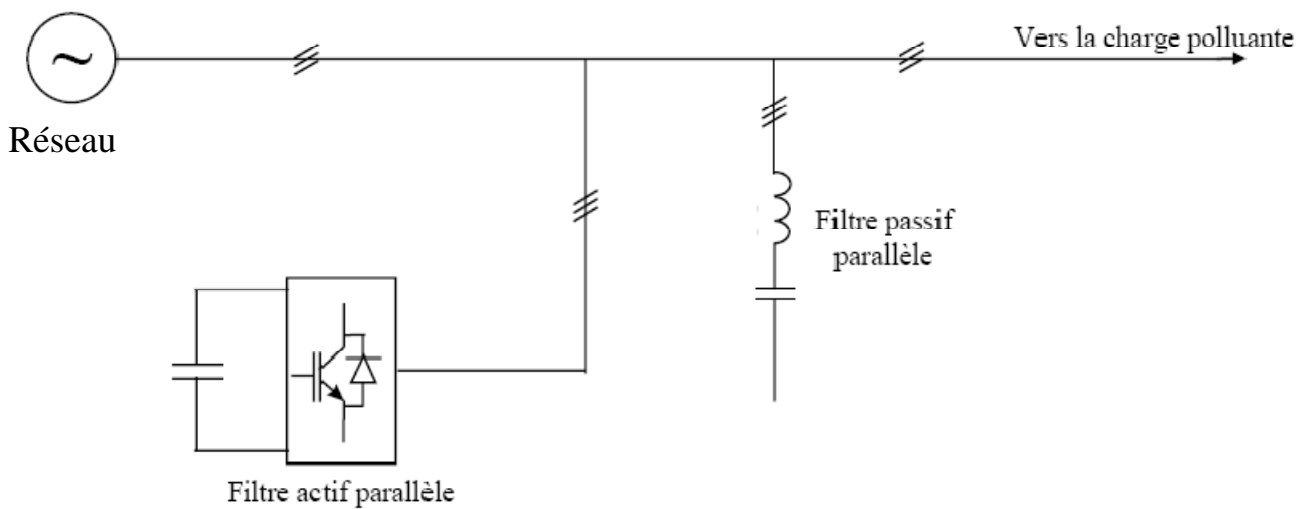


Fig. (II -10) : Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.

## **II-6. Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons présenté plusieurs solutions traditionnelles et modernes de dépollution ont été présentées. La solution classique à base de filtres passifs est souvent pénalisée en terme d'encombrement et de résonance. De plus, les filtres passifs ne peuvent pas s'adapter à l'évolution du réseau et aux charges polluantes. Aujourd'hui les filtres actifs sont non seulement utilisées pour la compensation d'harmoniques, mai aussi pour la compensation du desequilibre de charges sur les réseaux.

Dans ce mémoire, nous intéressons aux filtres actifs parallèles pour compenser les harmoniques de courant générés par des charges non-linéaires (redresseurs à diodes).

# Chapitre III

Le filtre actif parallèle .

### III-1. Introduction:

Pour réduire les harmoniques au niveau de la source nous proposons dans ce travail le filtrage actif parallèle, vu ses avantages, tel que l'adaptation aux variations de la charge.

Le filtre actif est un onduleur de tension à MLI qui traité l'élimination des harmoniques. Il doit donc, absorber des courants éliminant les harmoniques crée par le pont redresseur. Cette structure à pour vocation d'éliminer de façon active tout ou une partie des harmoniques de courant l'utilisation des onduleurs pour filtrage actif, suppose l'emploi des fréquences de découpages très supérieure aux fréquences harmoniques que l'on veut éliminer.

### III-2. Principe du filtre actif parallèle:

Le compensateur actif est connecté en parallèle avec le réseau, et injecte en permanence de courants qui correspondent à tout moment aux composantes harmoniques des courants absorbés par la charge. De cette manière, le courant fourni par la source d'énergie reste sinusoïdal [7].

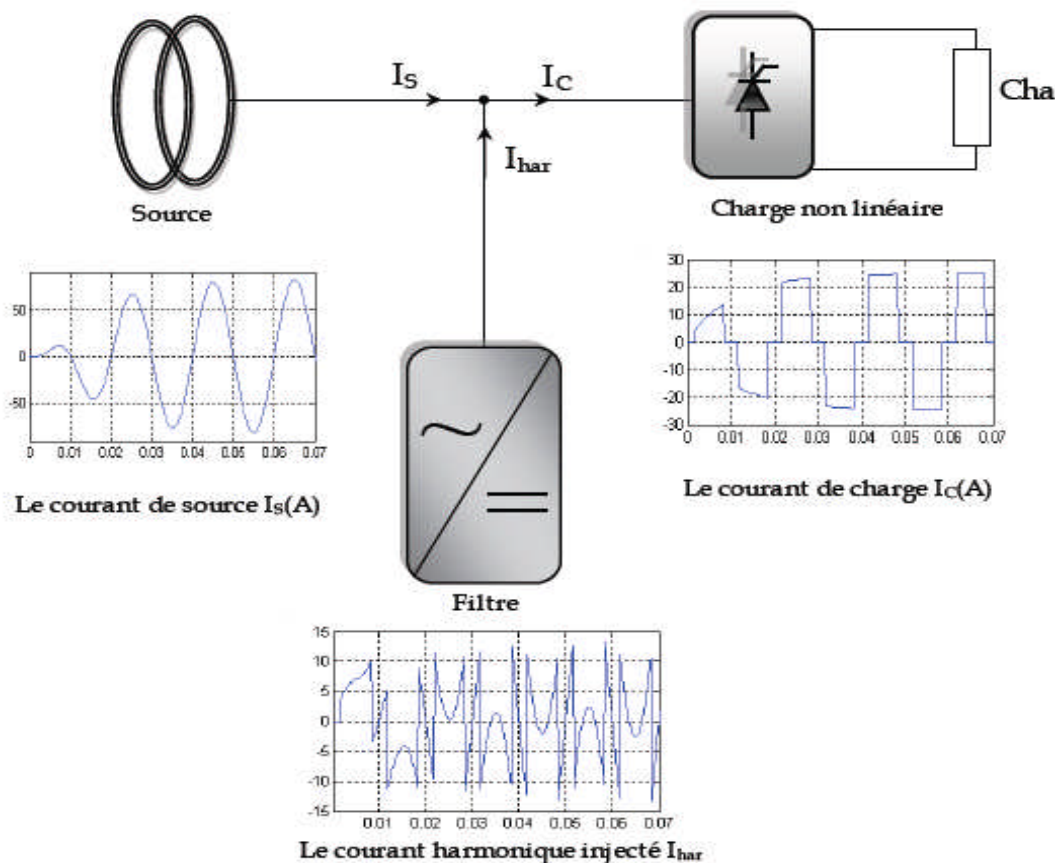
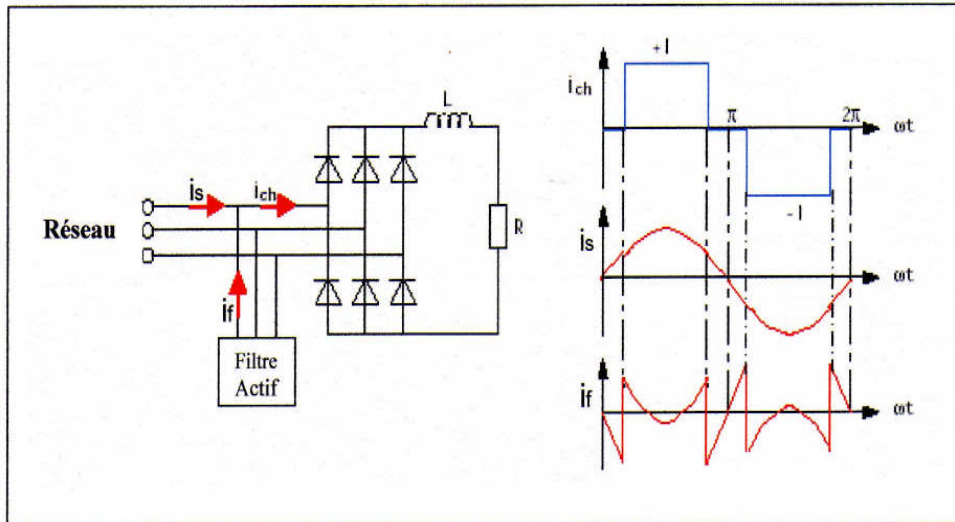


Fig (III-1) - Principe du filtrage actif parallèle

### • Exemple Formes d'ondes avec

Charge constituée d'un pont de diodes débitant sur un circuit RL.



Figure(III-2): Exemple de formes d'ondes

Alors que le courant absorbé par la charge polluante est non sinusoïdal, le courant fourni par le filtre actif est tel que le courant absorbé du réseau soit sinusoïdal. [6].

### III -3. Structure d'un filtre actif parallèle:

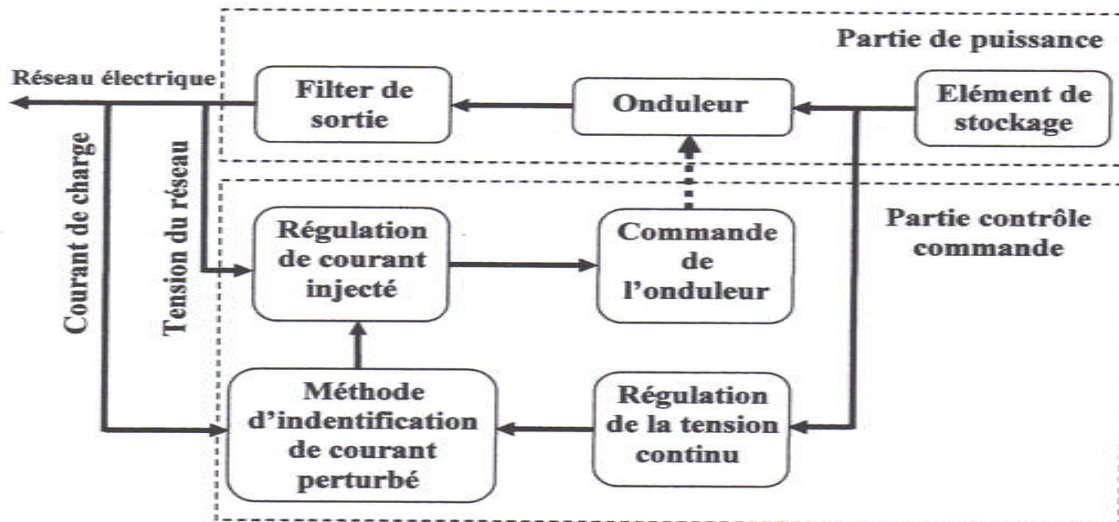
La structure générale du filtre actif parallèle, est présentée dans la figure (III-3) sous la forme de deux blocs: la partie puissance et la partie contrôle-commande.

#### ➤ La partie puissance est constituée

- D'un onduleur 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.
- D'un filtre de sortie.

➤ **La partie contrôle-commande est constituée**

- La méthode d'identification des courants perturbés.
- La régulation de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie.
- La régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.
- La commande de l'onduleur de tension [2].



Figure(III-3): Structure générale d'un filtre actif parallèle.

### III-4. Généralité sur les onduleurs :

C'est un convertisseur statique, qui permet des échanges d'énergie entre une entrée continue et une sortie alternative.

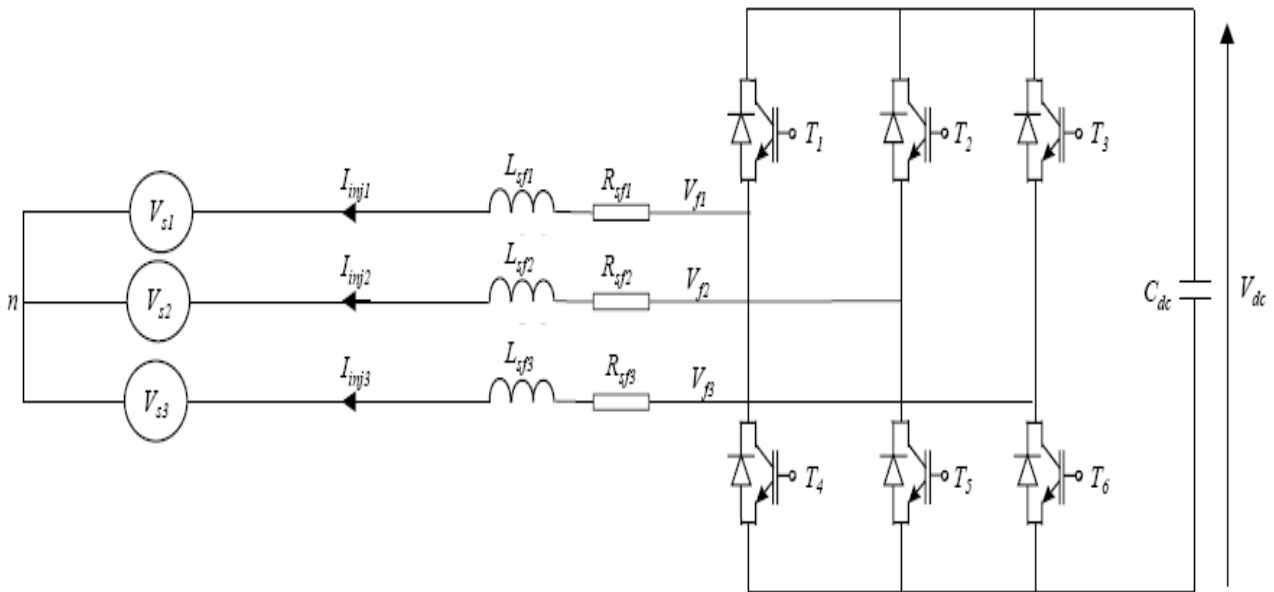
Symbole:



Si la source continue est une source de tension, l'onduleur est appelé onduleur de tension, si c'est une source de courant, on parle de commutateur de courant.

### III-4-1. Onduleur de tension triphasé:

La Fig.(III-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 cont 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. [7].



Figure(III-4): Onduleur de tension triphasé.

### III-4-2. La commande de l'onduleur:

Principe de la stratégie de commande de l'onduleur est basé sur le réglage des durées d'ouverture et de fermeture des interrupteurs. Si les commandes sont des tensions, l'onduleur est commandé par la technique triangulo-sinusoidale. Si n'est pas le cas, les commandes sont les courants, on utilise un comparateur à hystérésis. [8].

### III-4-2 -1. Commande des courants par hystérésis:

Dans cette stratégie, le contrôle des courants par hystérésis se fait par la commande des interrupteurs de l'onduleur de sorte que les variations du courant dans chaque phase du moteur soit limité dans une bande d'hystérésis c'est à dire une comparaison permanente entre les courants réels et les courants de référence figure (III-5). [8].

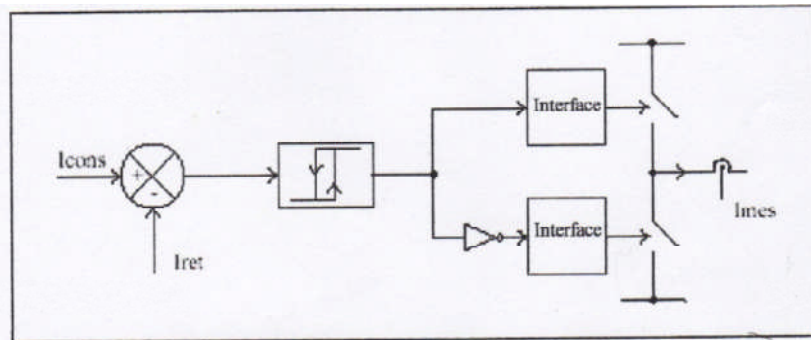


Figure (III-5): Principe de la commande des courants par hystérésis

### III-4-2-2. Commande en tension MLI:

Dans cette stratégie, les instants de commande des interrupteurs sont déterminés par l'intersection d'une onde porteuse avec une onde de référence. la fréquence de commutation des interrupteurs est fixée par la porteuse. Celle-ci représente la tension sinusoïdale désirée de fréquence  $f$ . [8]

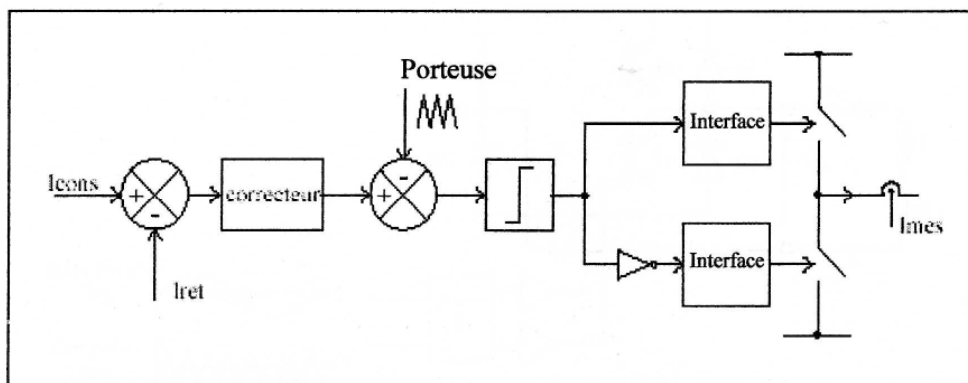


Figure (III-6): Principe de commande par MLI

### III-4-2 -3. Principe de MLI sinus-triangle:

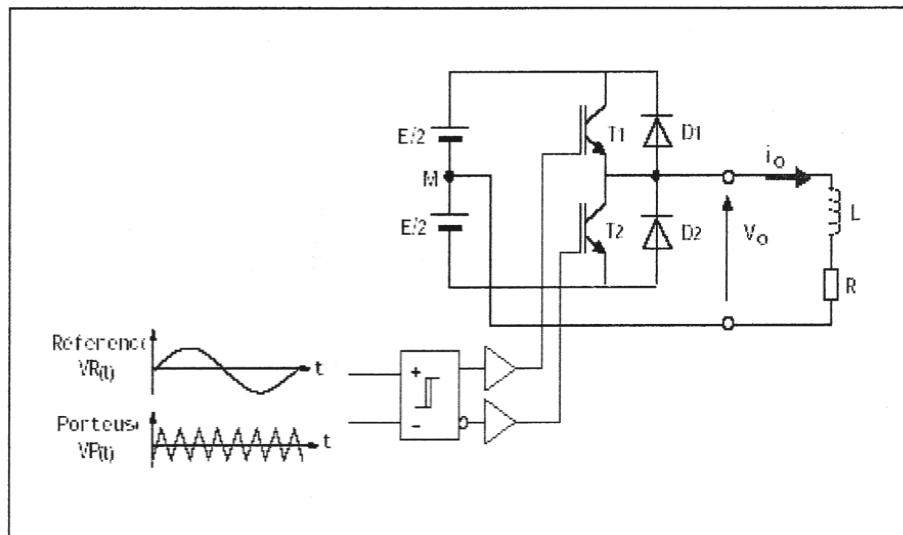
Le signal de commande des interrupteurs est généré à partir de la comparaison du signal de référence sinusoïdale, (de fréquence  $f_0 = 1/T_0$ ) et du signal de modulation triangulaire ou porteuse (de fréquence  $f_d = 1/T_d$ ) [1].

#### Caractéristique

Deux paramètres caractérisent la commande :

– L'indice de modulation :  $m = f_d/f_0$ , avec  $m \gg 1$ .

Le coefficient de réglage :  $r = V_{Rmax} / V_{Pmax}$ , Généralement  $r$  est compris entre 0 et 1 .



Figure(III-7): Schéma de principe d'onduleur monophasé commandé par MLI sinus -triangle.

### **III-5. Conclusion**

Nous avons présenté et défini, dans ce chapitre, la plupart des éléments constituant la structure du filtre actif parallèle. Cette structure a été partagée en deux parties à savoir la partie puissance et la partie contrôle-commande.

Nous avons présente aussi les deux stratégies de commande de l'onduleur, hystérésis et MLI couramment utilisés dans les applications des filtres actifs. La commande hystérésis est très simple et très rapide.

# Chapitre IV

## Identification des courants harmoniques .

## **IV-1. INTRODUCTION :**

La stratégie de commande se base sur la détection des courants perturbateurs dans le domaine temporel. Trois possibilités d'identification des courants perturbateurs ont déjà été proposées [2].

- 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 appropriée au filtre actif parallèle installé par le consommateur pour compenser les courants perturbateurs causés par ses charges polluantes. C'est pourquoi cette méthode de détection sera employée dans ce travail [9].

## **IV-2. La méthode d'identification des courants perturbés:**

### **IV-2-1. Généralités sur les méthodes d'identification:**

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

La première utilise la transformée de Fourier rapide dans le domaine fréquentiel, pour extraire les harmoniques du courant. Cette méthode est Bien adaptée aux charges où le contenu harmonique varie lentement. Elle donne aussi l'avantage de sélectionner les harmoniques individuellement. Il est à noter que cette méthode nécessite une grande puissance de calcul.

La deuxième famille 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.

Récemment, des nouvelles méthodes d'identification ont été présentées pour donner le choix de compenser un, plusieurs ou voire même tous les types de courants perturbateurs. En effet, en se basant sur la régulation de la tension continue et sur celles du réseau électrique aux points de raccordement, nous pouvons compenser à la fois tous les courants perturbateurs, tout en offrant la possibilité de réguler la tension de la charge. Cette méthode, qui ne peut être implantée que numériquement, ne garantit pas une compensation parfaite de la puissance réactive, de même que la régulation de tension n'assure pas toujours une bonne qualité à la tension de la charge [7], [2].

Enfin, la méthode d'identification la plus utilisée est celle appelée méthode des puissances réelles et imaginaires instantanées. Cette méthode offre l'avantage de choisir la perturbation à compenser avec précision, rapidité et facilite d'implantation. Pour toutes ces raisons nous avons retenu cette méthode d'identification pour le reste de notre étude.

## IV-2-2. Principe du fonctionnement de la méthode des puissances instantanées:

### IV-2-2-1. Généralités sur les puissances instantanées:

En présence des harmoniques, la puissance apparente est composée de trois parties : active ( $P$ ), réactive ( $Q$ ) et déformante ( $D$ ) comme le montre la relation (IV-1).

$$S = \overline{P + Q + D} \quad (IV-1).$$

Cette méthode exploite la transformation  $\alpha\text{-}\beta$  pour obtenir les puissances réelles et imaginaires. Notons par  $(V_\alpha - V_\beta)$  et  $(I_\alpha - I_\beta)$  les composantes orthogonales du repère  $(\alpha\text{-}\beta)$  associées respectivement aux tensions de raccordement du *filtre actif parallèle* ( $V_s$ ) et aux courants absorbés par les charges polluantes ( $I_s$ ). La transformation  $(\alpha\text{-}\beta\text{-}0)$  triphasée permet d'écrire, la relation des tensions suivante :

$$= - \begin{bmatrix} \sqrt{3} & \sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 1 & - & - \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{matrix} V \\ V \\ V \end{matrix} \quad (IV-2).$$

Et la relation des courants ci-dessous :

$$= - \begin{bmatrix} \sqrt{3} & \sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 1 & - & - \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{matrix} I \\ I \\ I \end{matrix} \quad (IV-3).$$

Si on fait coïncider les axes  $\alpha$  et  $\beta$  avec les axes réels et imaginaires du plan complexe, les systèmes triphasés des tensions et des courants s'écrivent :

$$V = V_\alpha + jV_\beta \text{ et } I = I_\alpha + jI_\beta$$

On déduit que la puissance apparente complexe :

$$S = V I^* \text{ ou le vecteur transposé de } i \text{ donc :}$$

$$S = (V_\alpha + jV_\beta)(I_\alpha - jI_\beta)$$

$$S = (V_\alpha I_\alpha + V_\beta I_\beta) + j(V_\beta I_\alpha - V_\alpha I_\beta)$$

Par identification avec l'expression :

$$S = P + j q$$

La puissance active instantanée :

$$P = (V_\alpha I_\alpha + V_\beta I_\beta) \quad (\text{IV-4}).$$

La puissance réactive instantanée :

$$q = j(V_\beta I_\alpha - V_\alpha I_\beta) \quad (\text{IV-5}).$$

A partir des relations (IV -4) et (IV-5), nous pouvons établir la relation matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & V \\ -V & V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{IV-6}).$$

Dans le cas général, chacune des puissances  $p$  et  $q$  comporte une partie continue et une partie alternative, ce qui nous permet d'écrire l'expression ci-dessous :

$$\begin{cases} p = \bar{p} + \tilde{p} \\ q = \bar{q} + \tilde{q} \end{cases} \quad (\text{IV-7}).$$

avec :

- $p$  une puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant et de la tension,
- $q$  une puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant et de la tension,
- et des puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices du courant et de la tension. [4]

#### IV-2-2-2 . Séparation des puissances perturbatrices

Après avoir identifié les pulsations des puissances instantanées, le filtre de puissance chargé d'isoler les puissances active et réactive conventionnelles peut être dimensionné. Un circuit constitué d'un filtre passe bas avec un soustracteur peut être employé, comme le présente la Fig. (IV-1). [9]

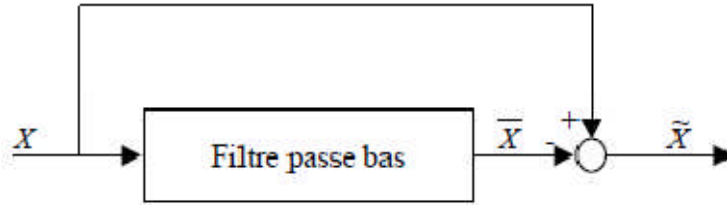


Fig.( IV-1) : Schéma représentant le principe de séparation des puissances

### IV-2-2-3. Calcul des courants perturbateurs:

En inversant la relation (IV-6), nous pouvons recalculer les courants dans le repère  $\alpha\text{-}\beta$  comme le montre l'équation (IV-8):

$$= \frac{\dots}{\dots} \quad (IV-8)$$

En considérant les équations (IV-7) et (IV-8), nous pouvons séparer le courant dans le repère ( $\alpha\text{-}\beta$ ) en trois composantes, active et réactive à la fréquence fondamentale et les harmoniques. Ceci conduit à:

$$= \frac{\dots}{\Delta} + \frac{\dots}{\Delta} + \frac{\dots}{\Delta} \quad (IV-9)$$

Courant actif
Courant réactif
courants harmoniques

Avec  $\Delta = V + V$  supposé constant dans l'hypothèse d'une tension sinusoïdale équilibrée du réseau électrique.

Cette expression montre donc que l'identification des différentes composantes du courant dans le repère ( $\alpha\text{-}\beta$ ) revient à séparer des termes continus des puissances réelle et imaginaire instantanées. Les courants perturbateurs triphasés qui représentent les courants identifiés, dits

courants de référence ( $I_{\text{réf}}$ ), sont calculés à partir de la transformation ( $\alpha\text{-}\beta$ ) inverse donnée par la relation (IV-10), [3].

$$= \begin{bmatrix} - & \sqrt{\phantom{x}} \\ - & -\sqrt{\phantom{x}} \\ - & -\sqrt{\phantom{x}} \end{bmatrix} \quad (\text{IV-10})$$

avec  $I_\alpha$ ,  $I_\beta$  courants perturbateurs calculés dans le repère  $(\alpha-\beta)$  à partir des courants réactifs et harmoniques de la relation (IV-9), [2].

#### IV-2-2-4. Algorithme d'identification:

Finalement, l'algorithme d'identification que nous avons défini peut être représenté par le synopsis de la figure (IV-1). Par souci de simplification, nous décrirons les matrices des relations (IV-2 et IV-3), après avoir enlevé les composantes homopolaires.

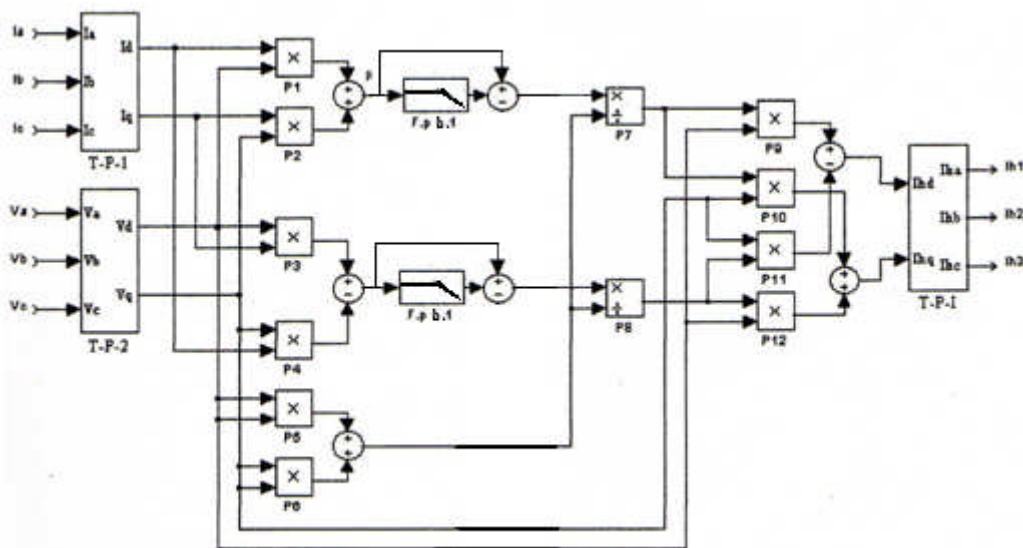


Figure (IV-2): Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées.

Dans cette figure, nous avons présenté le schéma de l'algorithme d'identification des courants harmoniques, qui est constitués essentiellement, par des blocs de la matrice de transformation  $(\alpha-\beta)$ , des filtres passe bas afin d'enlever les composantes continue des puissances, et les différents blocs de calcul du courant harmonique

### IV-3. Conclusion

La méthode d'identification des courants harmoniques par l'intermédiaire des calculs des

puissances réelle et imaginaire instantanées est la plus performante, la facile à réaliser et surtout la plus adaptée à identifier d'autres types de perturbation (déséquilibre du courant, puissance réactive).

# Chapitre V

## Modélisation et simulation

## **V-1. Introduction**

Un système d'électronique de puissance est un ensemble de conversion d'énergie qui contient les organes suivants :

- Source d'énergie.
- Convertisseur statique.
- Charge réceptrice.
- Dispositif de commande du convertisseur.

Dans ce chapitre nous avons utilisé le simulink comme outil de simulation, le schéma de simulation qui représente, la charge non linéaire, l'onduleur, et bloc d'identification de courant harmonique.

## V-2. Schéma synoptique de l'association filtre actif-réseau-charge polluante

La figure (V -1) donne le schéma synoptique de l'association filtre actif-réseau-charge polluante.

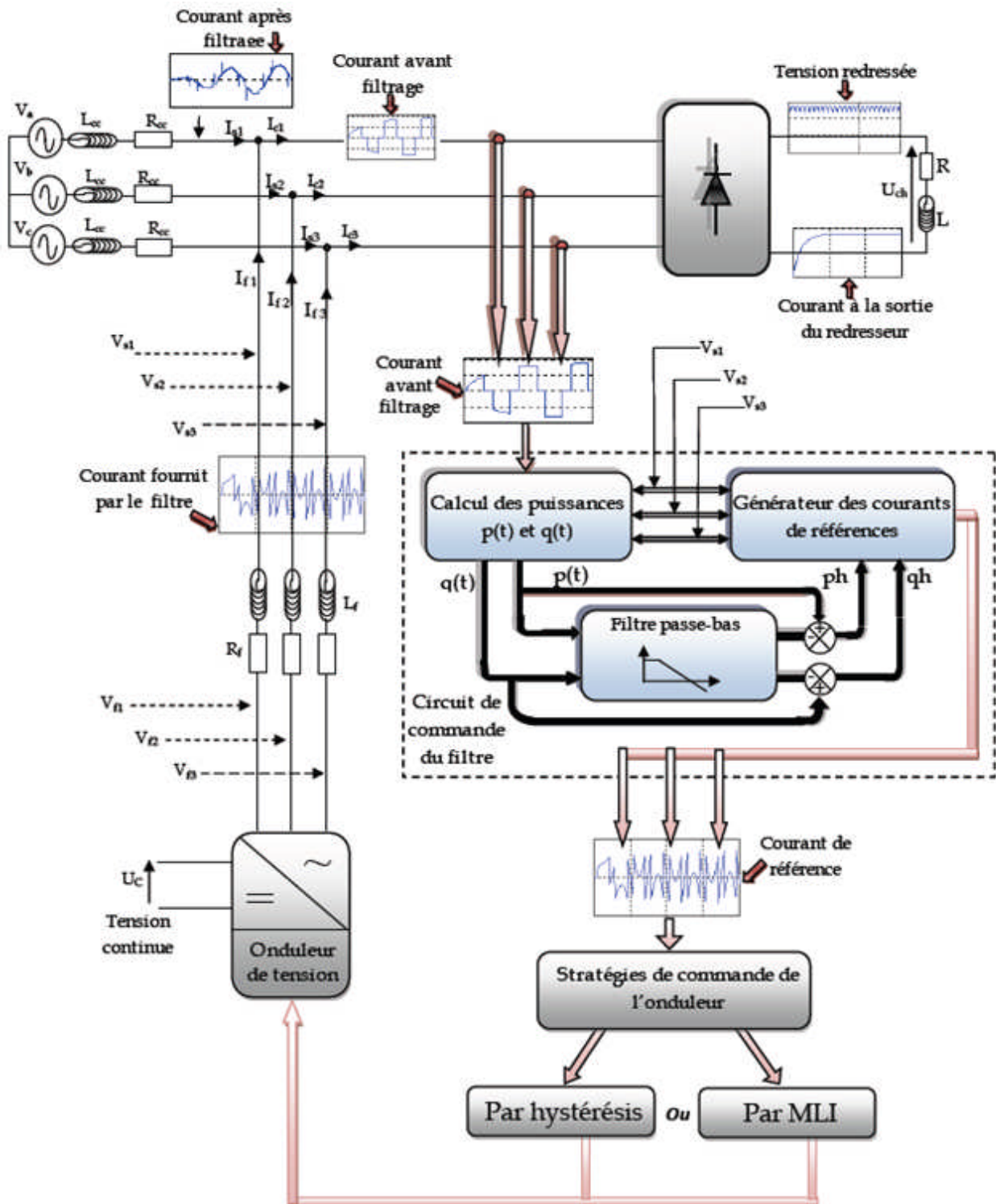


Figure (V -1) : Schéma synoptique de l'association filtre actif-réseau-charge polluante.

## V-3.modélisation de l'association réseau- filtre actif- charge polluante:

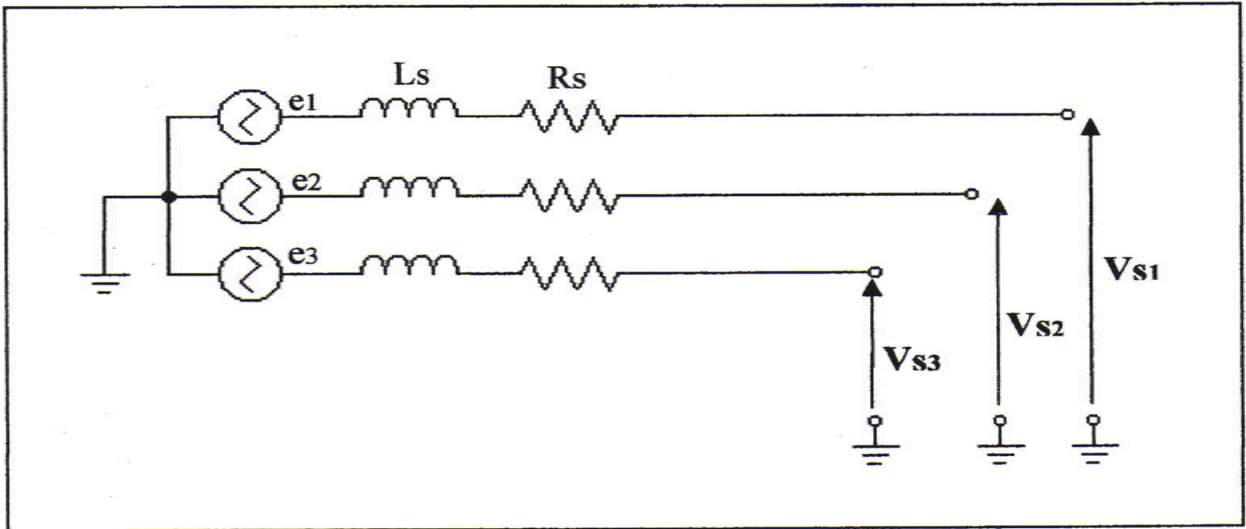
La modélisation d'un système revient à trouver les équations mathématiques qui décrivent son fonctionnement. [4]

**V-3-1. Modélisation du réseau:**

Le réseau est assimilable à une source de tension sinusoïdale en série avec une impédance, dite de court circuit, d'où la représentation du réseau par un système de F.E.M triphasé en série avec une impédance (figure(V-2)) [4].

$$= \sqrt{2} \cdot \begin{pmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega t - 4\pi/3) \end{pmatrix} \quad (V-1)$$

$$= \dots + \dots \quad (V-2)$$



Figure(V -2): Schéma synoptique d'un réseau triphasé.

**V-3-2 .Modélisation de la charge polluante (Redresseur triphasé):**

Pour tester le filtre actif on a opté pour une charge polluante qui est un pont redresseur triphasé , représenté sur la figure(V-3), ce dernier génère des harmoniques de courants de l'ordre  $6k \pm 1$ , [8]

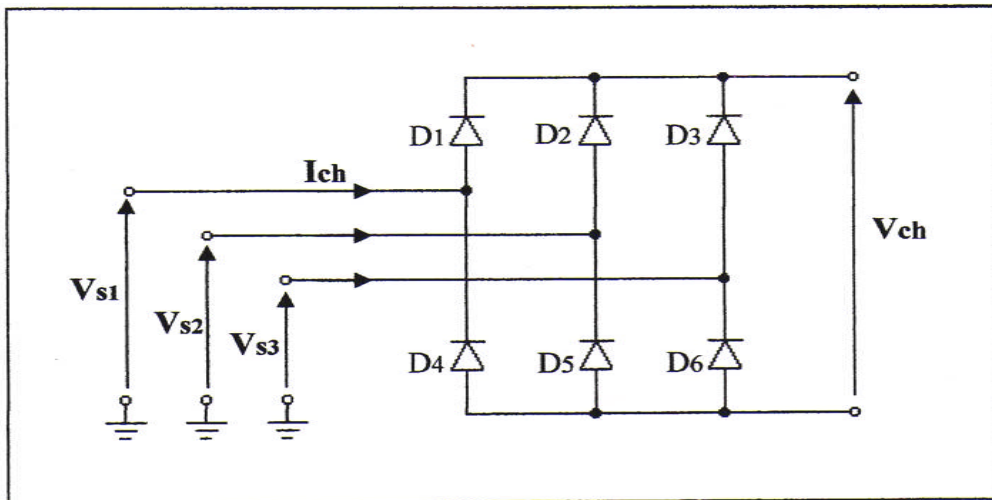


Figure (V-3): Schéma synoptique d'un pont redresseur.

### V-3-3. Modelisation du filtre actif (ou de l'onduleur):

On peut réaliser un onduleur de tension triphasé en groupant trois demi ponts monophasés la fig(V-4) représente un onduleur triphasé de tension. Il se compose de trois bras à interrupteurs réversible en courant, commandé à la fermeture et à l'ouverture, réalisé à partir d'un (GTO ou IGBT) et une diode en anti-parallèle. [8]

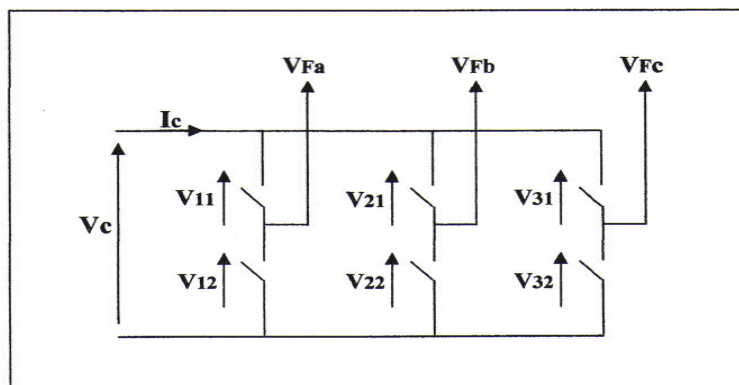


Figure (V-4): Présentation hématisque d'un onduleur triphasé

- **Fonction de conversions**

Soit  $i=1, 2, 3$

$J=1, 2$

On associe à chaque interrupteur une fonction

$$F = \begin{cases} 1 & \text{si l'interrupteur est fermé} \\ 0 & \text{si l'interrupteur est ouvert} \end{cases}$$

D'où

$$\begin{aligned} I &= F \cdot I \\ V &= (1 - F) \cdot V \end{aligned} \tag{V-3}$$

Tel que  $I_{ij}$  représente le courant qui traverse l'interrupteur  $kij$  et  $V_{ij}$  la tension aux bornes de ce dernier.

- **Fonctions de conversions composées**

Soit  $V_{Fab}, V_{Fbc}, V_{Fca}$  les tensions composées délivrées par l'onduleur

$$\begin{aligned} &= \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix} \longrightarrow &= \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix}. \\ &= \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix}. \\ &= \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix}. \end{aligned} \tag{V-4}$$

D'où

$$\begin{aligned} V &= \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot F = \begin{pmatrix} F \\ F \\ F \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{V-5}$$

Les fonctions de conversions composées sont :

$$\begin{aligned} F &= F - F \\ F &= F - F \\ F &= F - F \end{aligned} \tag{V-6}$$

- **Fonctions de conversions simples**

Dans l'hypothèse que les tensions simples  $V_{Fa}, V_{Fb}, V_{Fc}$  forment un système triphasé

équilibré nous avons :

$$\begin{matrix} V \\ \\ V \end{matrix} = - \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \quad (V-7)$$

D'où

$$\begin{matrix} V \\ \\ V \end{matrix} = - \cdot \begin{matrix} V \\ \\ V \end{matrix} \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{matrix} F \\ F \\ F \end{matrix} \quad (V-8)$$

Les fonctions de conversion simples s'écrivent alors :

$$\left\{ \begin{matrix} = - \cdot ( \quad - \quad - \quad ) \\ = - \cdot ( - \quad + \quad - \quad ) \\ = - \cdot ( - \quad - \quad + \quad ) \end{matrix} \right. \quad (V-9)$$

Les valeurs des éléments caractérisant l'ensemble réseau filtre actif et charge polluante sont regroupées dans le tableau (V-1).

<b>Réseau électrique</b>
= 220 V, f = 50 Hz, (Rs = 31.1 mΩ, Ls = 21.3 μH)
<b>Charge polluante</b>
(Rd = 14.6 Ω, Ld = 155.6 mH)
<b>Filtre parallèle</b>
Rf = 0.2 Ω, Lf = 0.0004 H, Vdc = 600 V
<b>Commande hystérésis</b>
ΔI = ±1

Tableau (V-1) Les valeurs des éléments caractérisant la structure étudiée

#### V-4. Introduction au Simulink :

Simulink outil additionnel à MATLAB, il est conçu pour résoudre numériquement les équations différentielles, linéaires ou non, qui régissent le comportement des systèmes physiques dynamiques représentés par leurs modèles mathématiques, ces systèmes peuvent être analogique, discrets ou hybrides.

Les principaux intérêts résident dans la possibilité de travailler directement sur le schéma bloc au lieu et à la place des équations mathématiques des systèmes. Cette façon de procéder, très visuelle, est parfaitement adaptée aux habitudes de travail des ingénieurs. [1]

Simulink permet de paramétrer tous les blocs et de les organiser sous forme hiérarchisée. L'expérimentateur peut, de ce fait passer de la description de son système par grandes fonctions, à l'étude de plus en plus détaillée de chacune d'entre elles. En cela simulink respecte les principes de la programmation descendante/ ascendante.

Le logiciel fournit des sources variées pour exciter les systèmes mis en place ainsi que les instructions d'observations pour visualiser les signaux présents en dans le système.

#### **V-4-1. Schémas de simulation :**

Les schémas de simulations sont représentés par les figures suivantes.

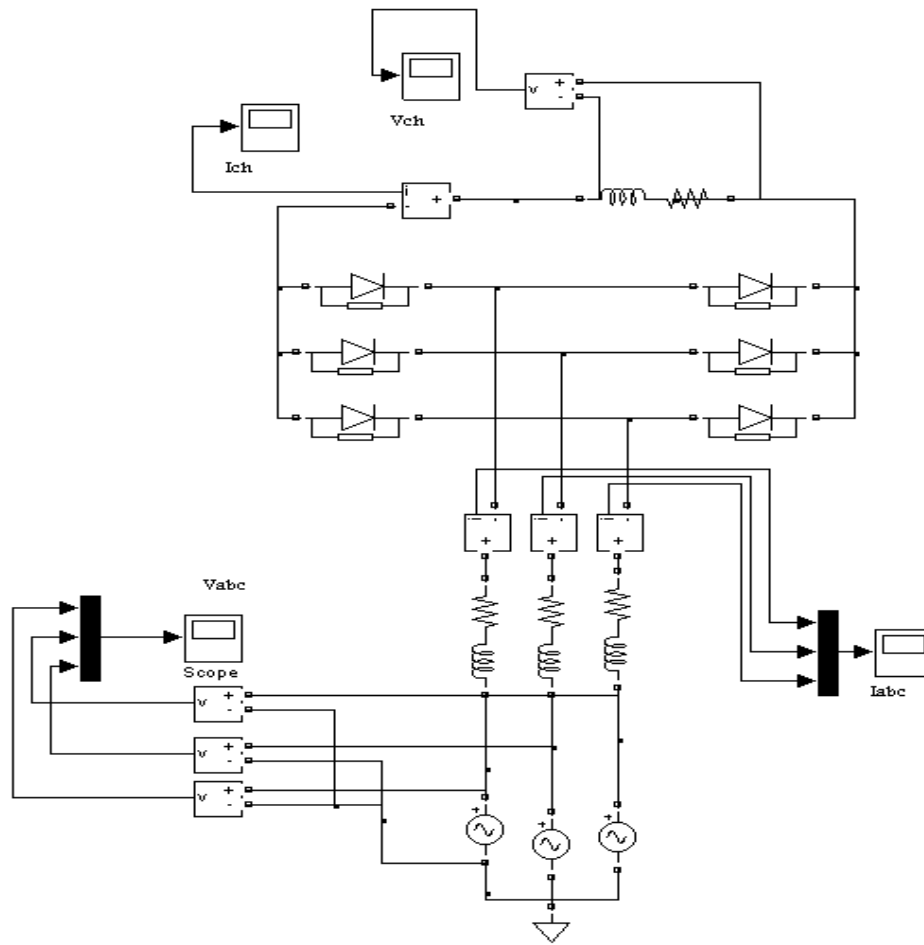


Figure (V-5):Schéma de redresseur non commandé.

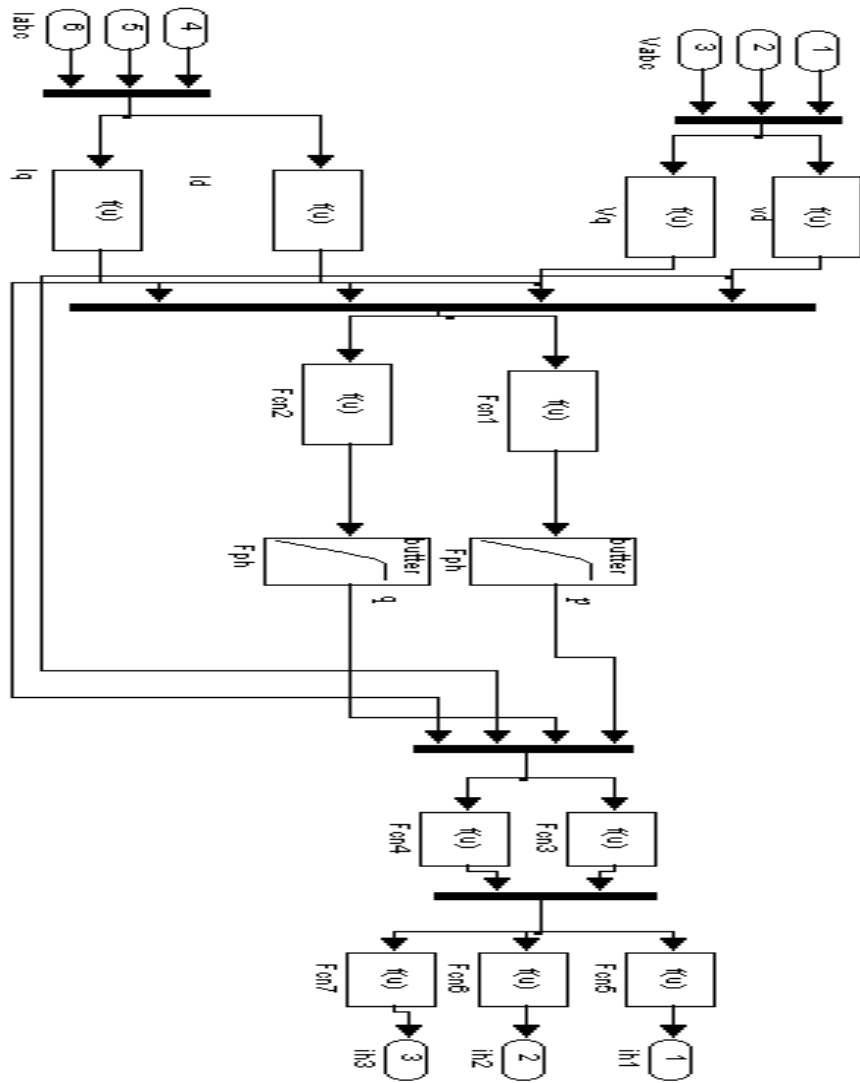


Figure (V-6):Schéma bloc de la méthode d'identification du courant harmonique

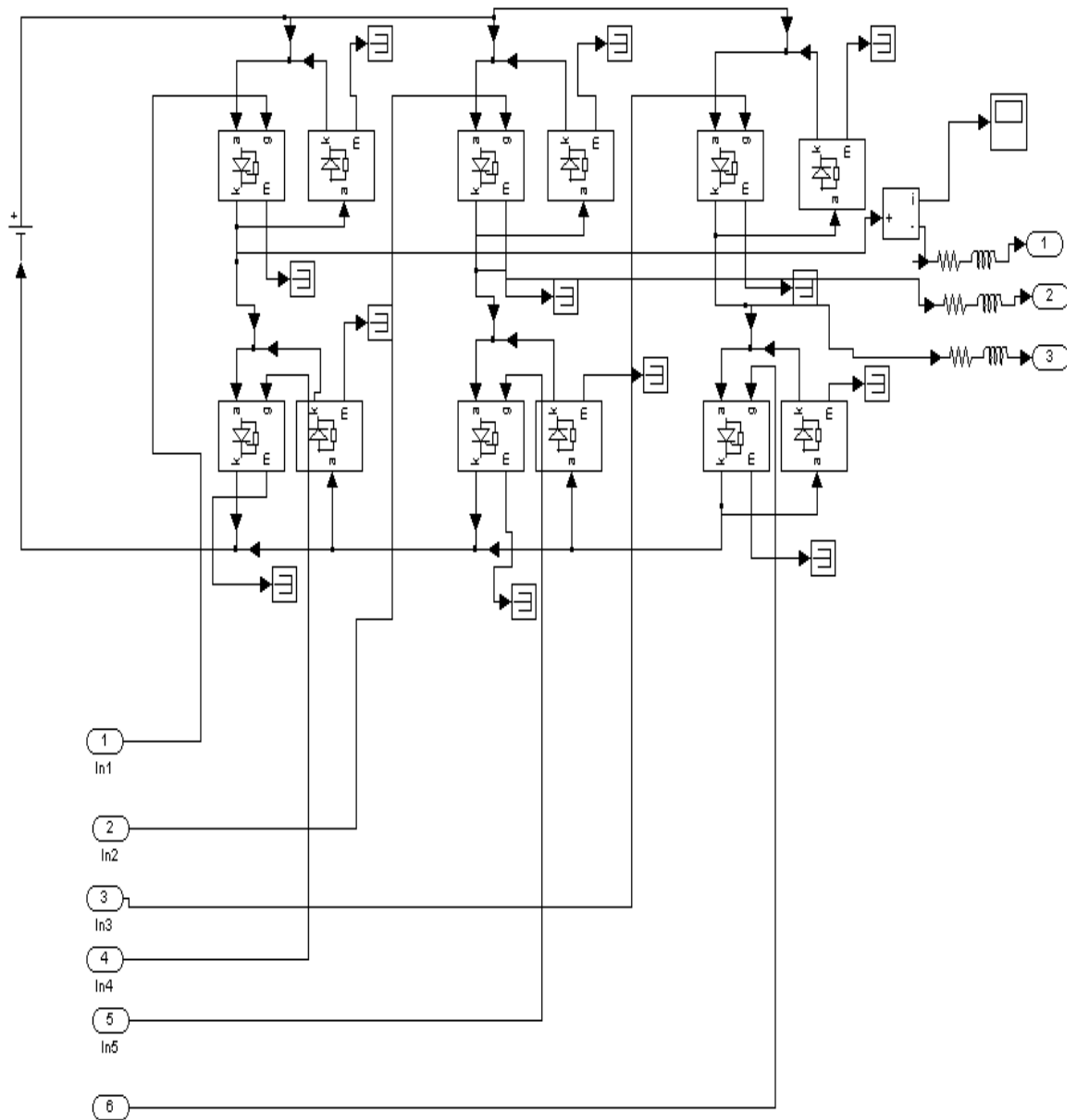


Figure (V-7): Onduleur de tension.

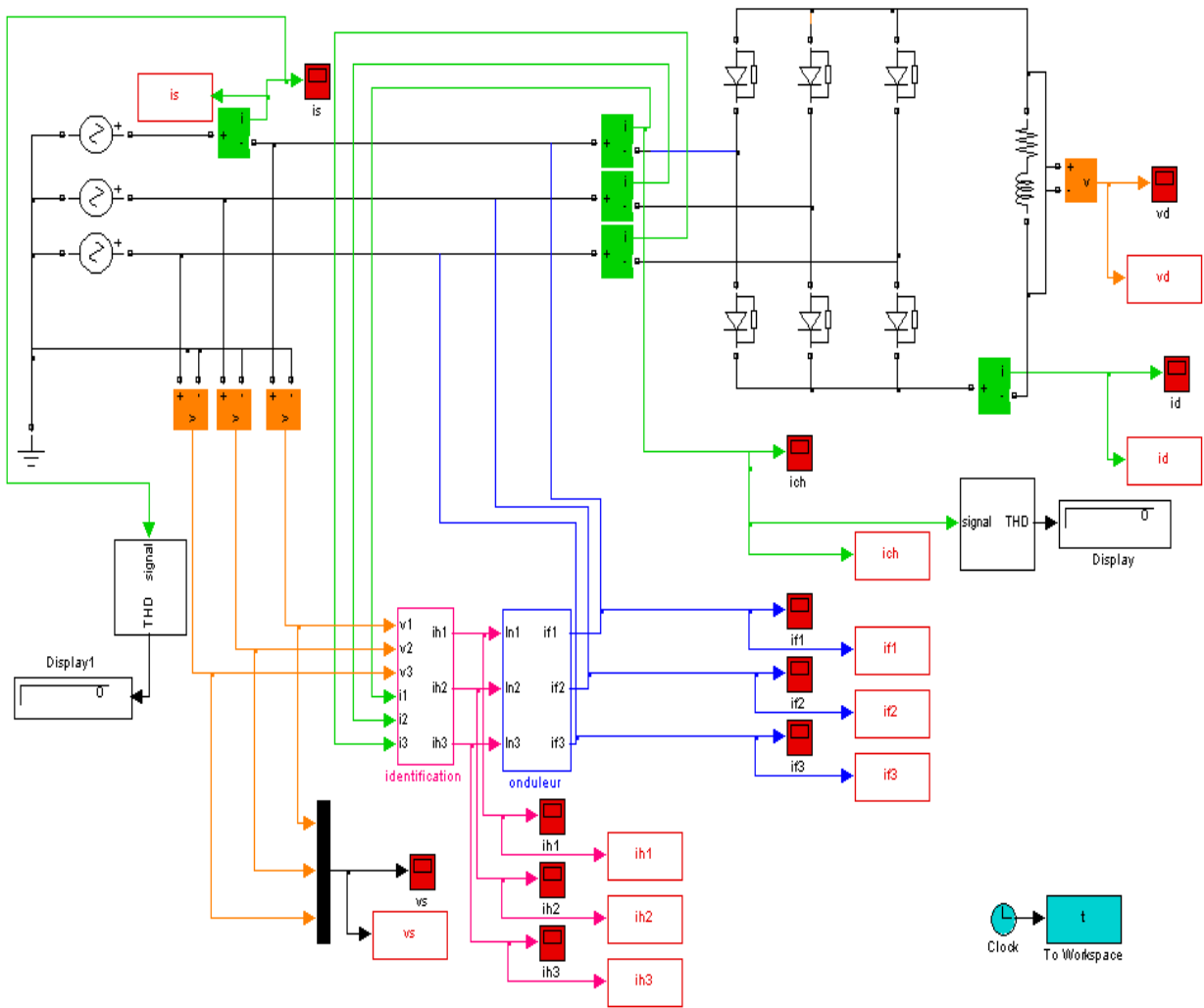


Figure (V-8):Schéma global d'un filtre actif parallèle.

#### V-4-2. Résultat de Simulation :

Les figures suivantes montrent les résultats obtenus avec la commande hystérésis dans le cas où le pont à diodes alimente une charge de type RL.

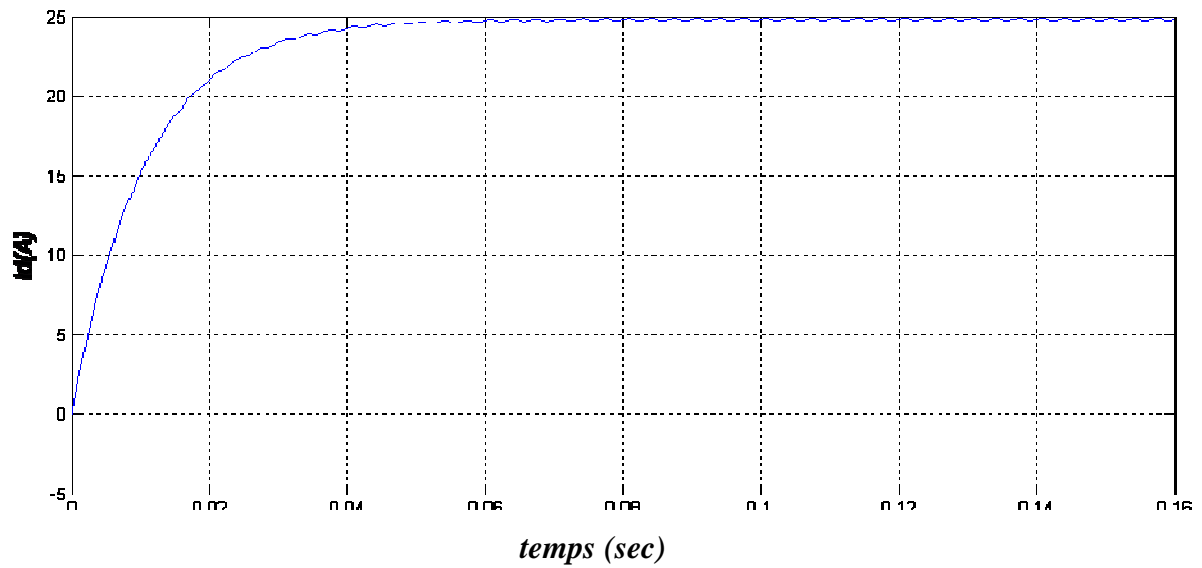


Figure (V-9) Courant redressé.

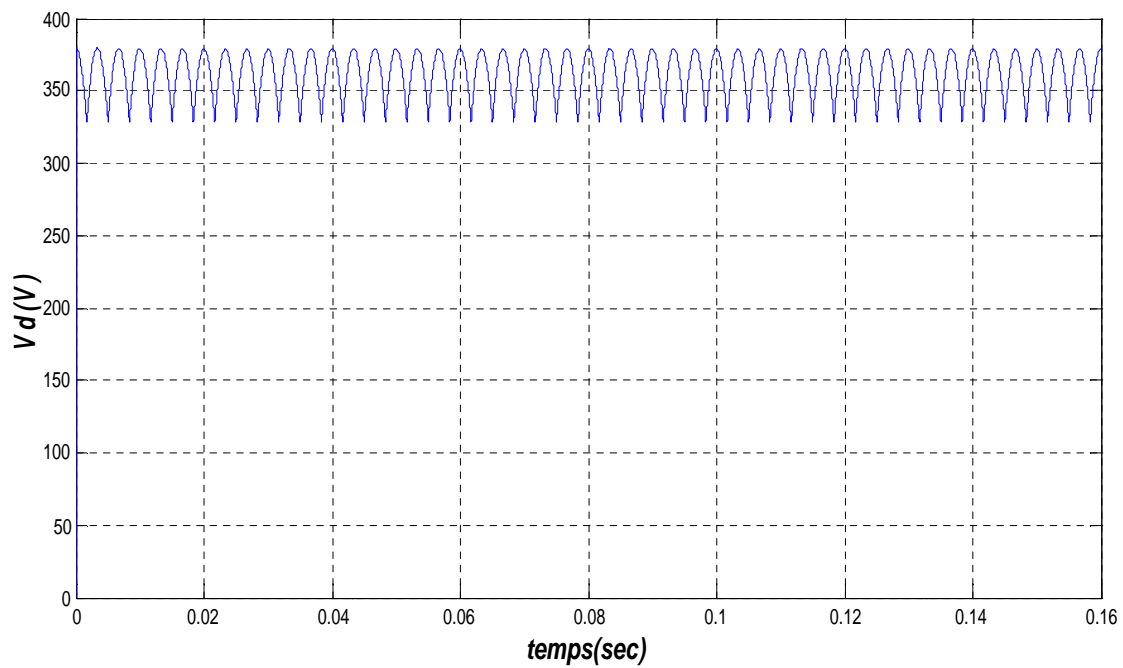


Figure (V-10) Tension redressée.

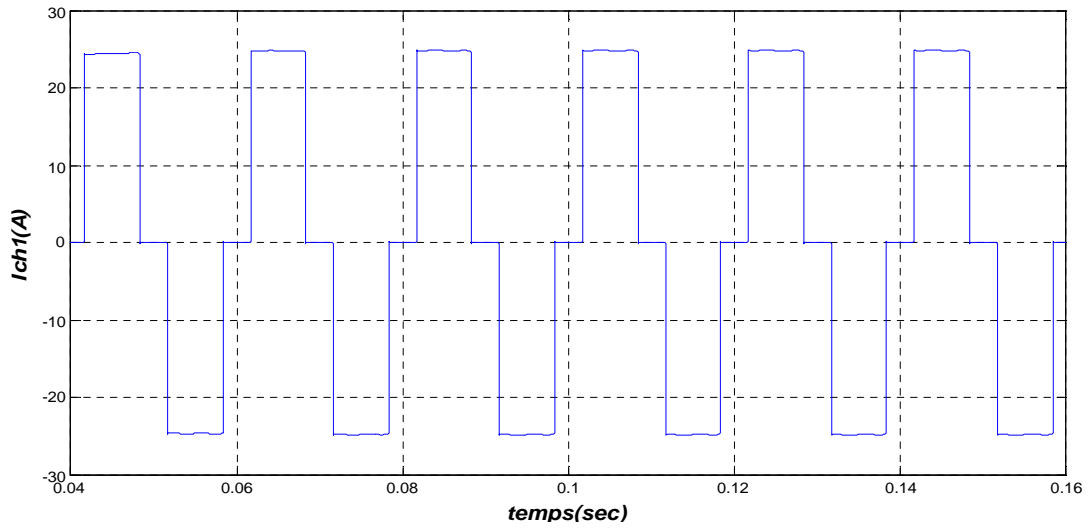


Figure (V-11) Courant de charge.

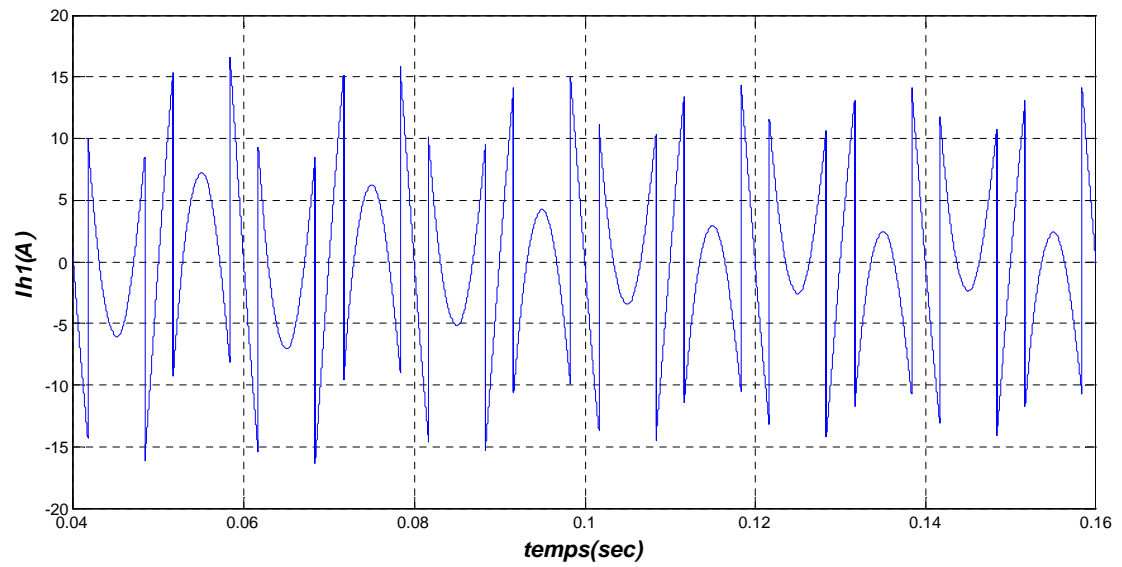


Figure (V-12) Courant harmonique.

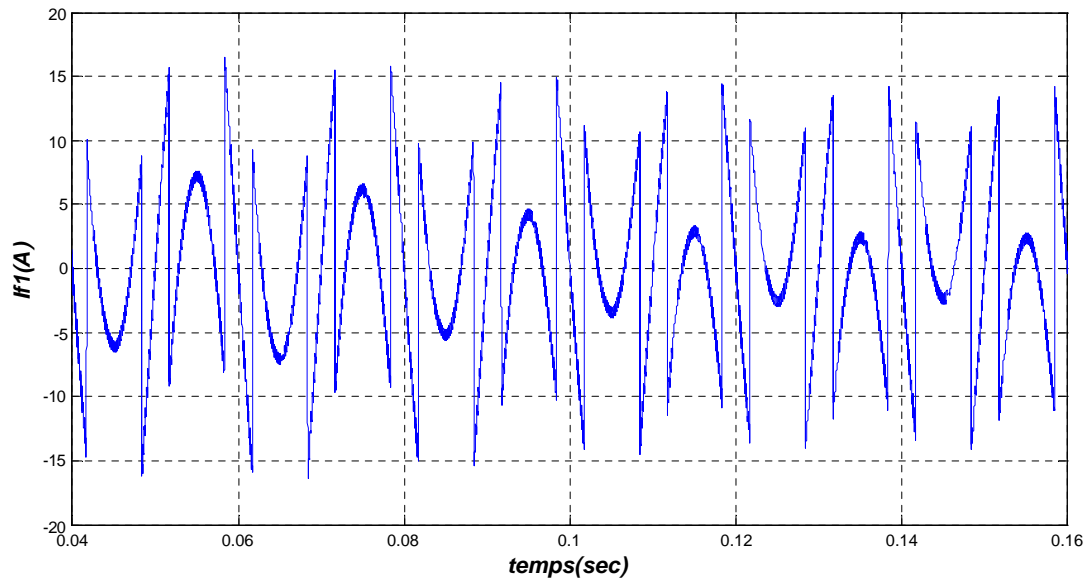


Figure (V-13). Courant harmonique injecté par le filtre.

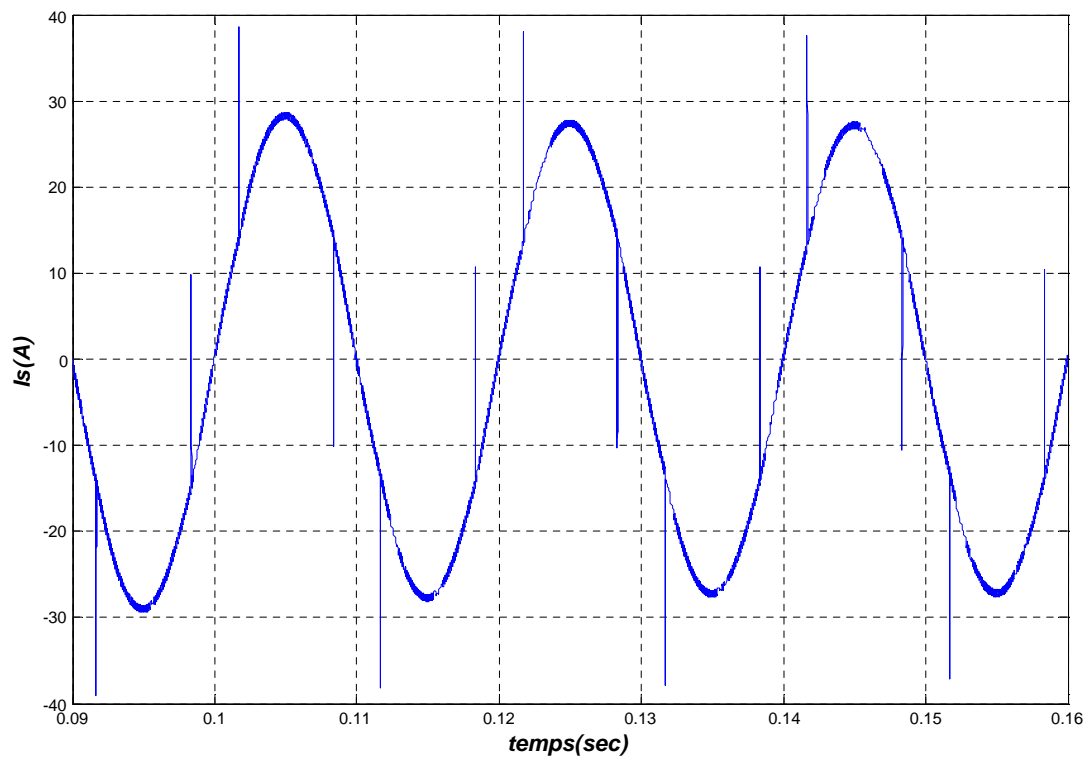


Figure (V-14). Courant de source.

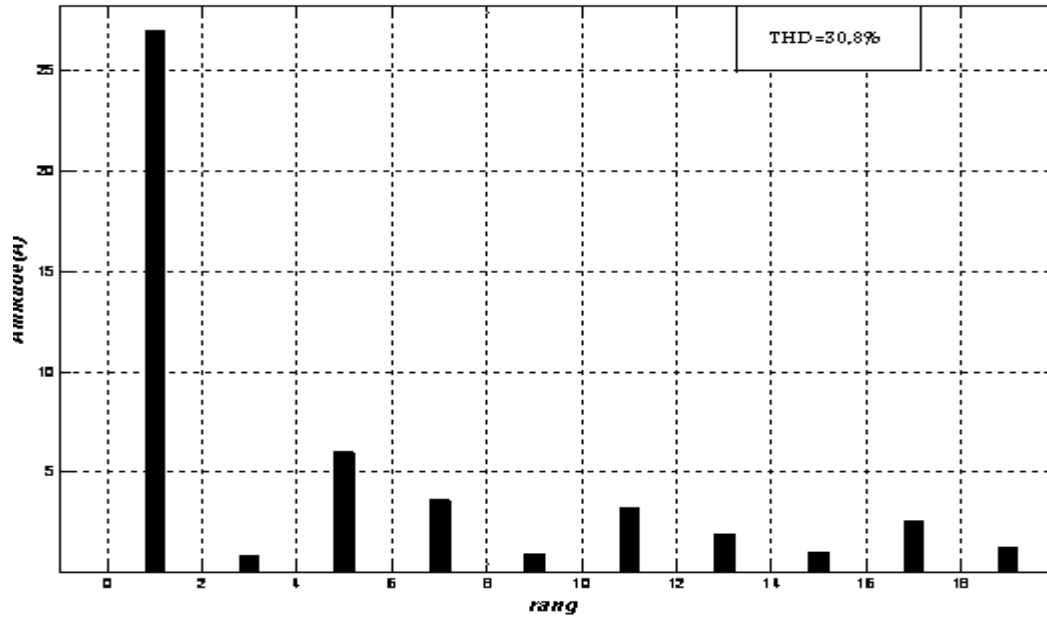


Figure (V-15) : Spectre de la courante source avant filtre.

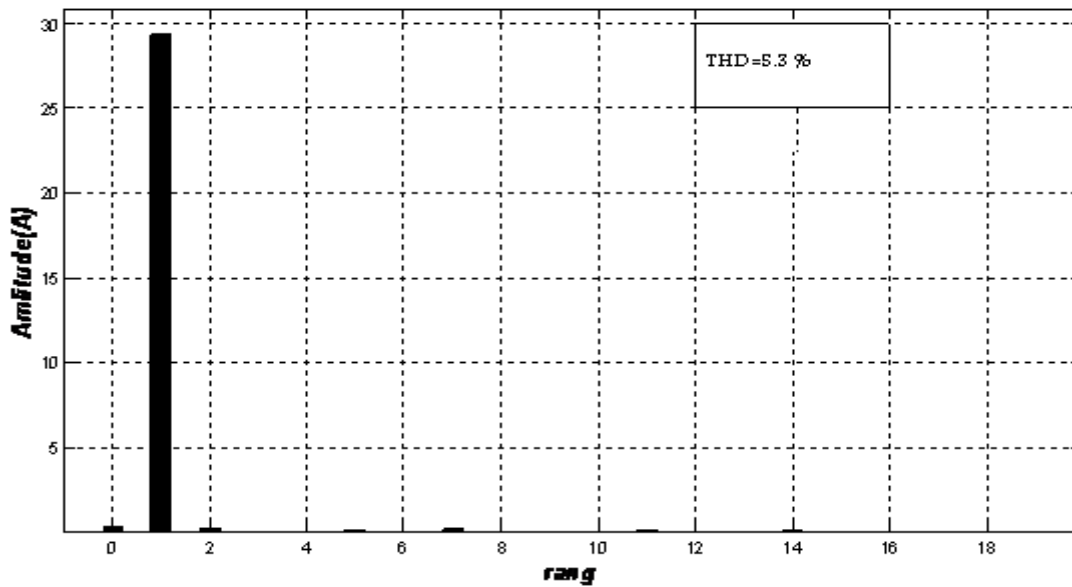


Figure (V-16) : Spectre de la courante source après filtre.

#### V-4-3. Changement de la charge :(R1L1→R2L2)

Dans ce cas, on étudie la compensation du courant harmonique et de la puissance réactive consommés par la charge non linéaire, La rapidité de compensation du filtre actif est étudiée lors d'un changement de la charge non linéaire.

Les figures présente l'analyse temporelle de la phase (1) du courant de la charge ( $I_{ch}$ ), des courants identifié ( $I_{ref}$ ) et injecté ( $I_{inj}$ ) superposés, du courant du réseau après filtrage ( $I_s$ ) et courant redressé ( $I_d$ ).

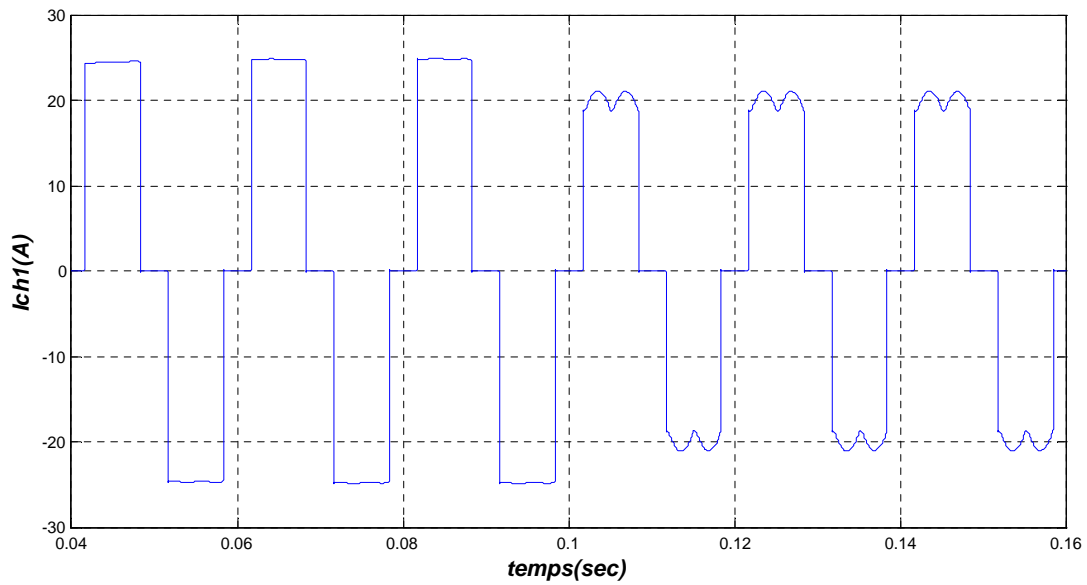


Figure (V-17). Courant de charge.

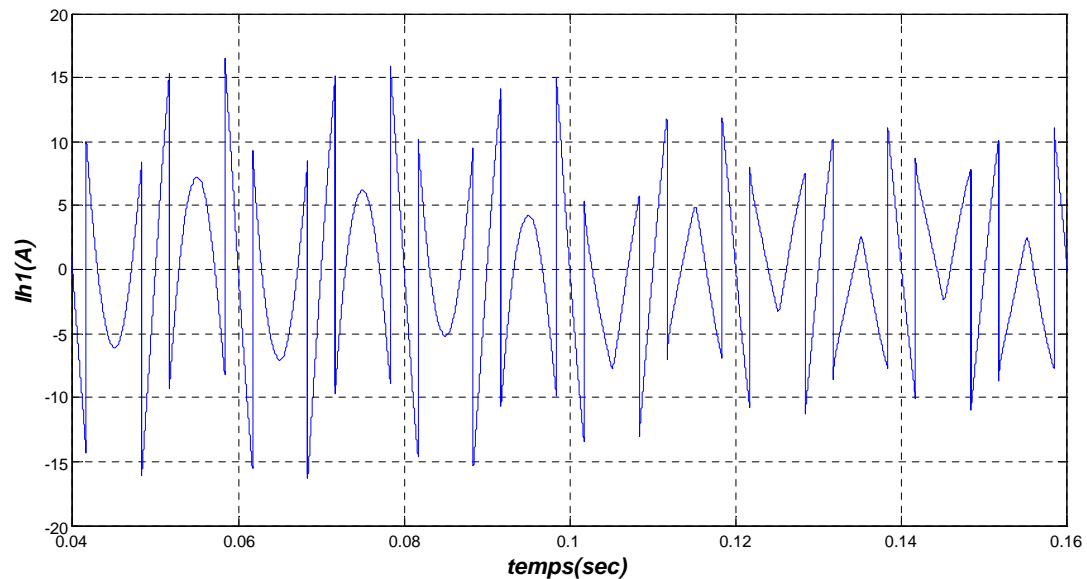


Figure (V-18). Courant harmonique.

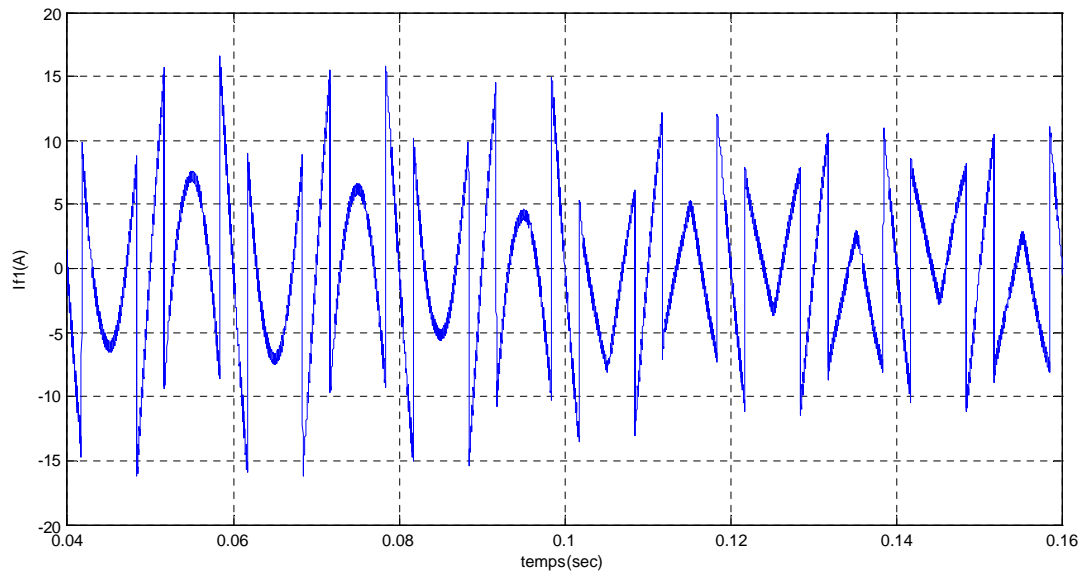


Figure (V-19). Courant de filtre actif.

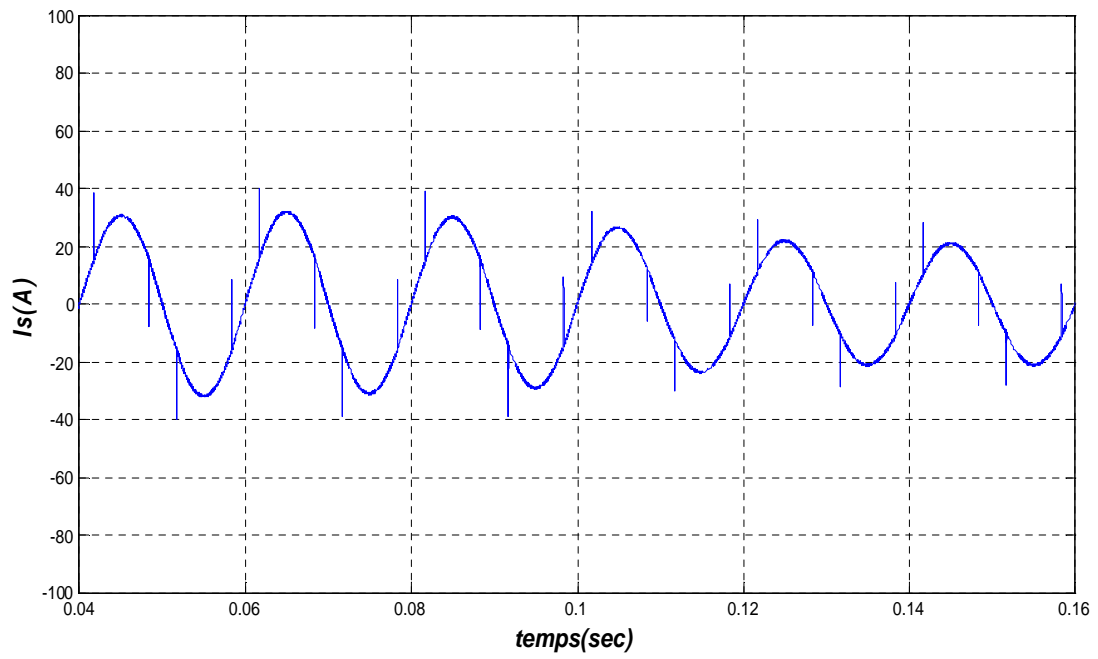


Figure (V-20). Courant de source.



Figure (V-21) Courant redressé

Le tableau (V-2) complète et regroupe les résultats de simulations.

Commande	Charge	THD% avant filtrage	THD% après filtrage
Commande hystérésis	Charge (R-L)	30.8%	5.3%

Tableau (V-2) : les résultats des simulations.

Les résultats obtenus montrent l'efficacité et les bonnes performances du filtre actif parallèle de puissance qui réduit la THD.

## **V-5. Conclusion**

Finalement nous concluons d'après les résultats obtenus que le filtre actif parallèle réduit d'une manière efficace les harmoniques du réseau alternatif.

Ce type de filtre va connaître une grande évolution avec le développement des lois de commandes tel que MLI et hystérésis permettant ainsi de réduire les harmoniques à une valeur tolérable.

# CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire on s'est intéressé à l'étude des différentes possibilités de filtrage actif des harmoniques des réseaux électriques.

Dans un premier temps, après l'analyse des perturbations harmoniques et leurs effets sur le réseau électrique, on a présenté les solutions traditionnelles pour les réduire, notamment le filtrage passif. Le filtrage actif est une nouvelle solution pour la dépollution harmonique.

Un filtre actif peut être connecté sur le réseau en série ou en parallèle et avoir deux structures électrotechniques différentes : tension ou courant. En raison de simplicité de sa commande, presque la totalité des filtres dans le monde sont de structure tension, c'est la raison principale pour laquelle on a retenu cette structure.

On a ensuite étudié le contrôle de ce filtre actif. Pour identifier les courants harmoniques, on a choisi la méthode des puissances réelles et imaginaire instantanées que donne de bon résultats en statique , Les deux principes de commande pour contrôler le courant du filtre, MLI et hystérésis , On a étudié seulement la commande hystérésis qui est très simple à mettre en œuvre mais dans ce type de commande la fréquence instantanée de commutations n'est pas contrôlable.

En dernier en à utilise le Matlab simulink, on à optimisé les paramètres filtre actif associé à une charge polluante. Avec ce filtre, le THD des courants dans la source réduit, pour un point de fonctionnement considéré comme étant typique, de 30.8 % à 5.3 % avec la commande hystérésis (pour une charge RL).

# Bibliographie et web graphie

[1] Benkechida Nouruedine, **Mémoire de fin d'étude** de diplôme d'ingénieur d'état en électromécanique «Identification d'un courant harmonique généré par une charge non linéaire» **2005-2006 Université Mohamed Boudiaf.**

[2] Zellouma Laid Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Magister «Filtrage actif parallèle des harmonique du courant généré par un redresseur triphasé non commandé » **.2006 2007 Université Badji Mokhtar Annaba**

[4] BOUFASSA Rabah, MEKARNIA Omar, Mémoire de fin d'étude de diplôme d'ingénieur d'état en électromécanique «Modélisation et commande d'un UPFC utilisé en filtrage des courants harmoniques d'un réseau électrique » **E.N.P, 2007 -2008.**

[9] Bougrra Samir, Bourennane Ibrahim, Mémoire de fin d'étude de diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique «Filtrage actif parallèle des réseaux électriques avec compensation de l'énergie réactif » **2006-2007 Université Mohamed Boudiaf.**

## Quelque site intéressant :

- [3] [www.green.uhp-nancy.fr/data/theses/alali\\_2002.pdf](http://www.green.uhp-nancy.fr/data/theses/alali_2002.pdf)
- [5] <http://sysdoc.doors.ch/MGE/0128-f.pdf>
- [6] [www.intersections.schneider-electric.fr](http://www.intersections.schneider-electric.fr)
- [7] [www.green.uhp-nancy.fr/data/theses/abdusalam\\_2008.pdf](http://www.green.uhp-nancy.fr/data/theses/abdusalam_2008.pdf)
- [8] [http://theses.univ-batna.dz/index.php?option=com\\_docman&task=doc](http://theses.univ-batna.dz/index.php?option=com_docman&task=doc)
- [10] <http://www.trop.uha.fr/pdf/RIGE-2006.pdf>