الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Projet de Fin d'Etudes

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Spécialité : *Réseaux Electriques*

THEME

Modélisation et commande d'un filtre actif combiné sérié parallèle (upqc)

Proposé et dirigé par,

Dr. HENINI Noureddine

Préparé et présenté par,

Melle. Dib sassia

Melle. Mengar naima


بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص

العمل المقدم هنا هو جزء من البحث عن حلول جديدة لتحسين جودة الطاقة الكهربائية في الشبكة الكهربائية

وقد (UPQC) ويعرض هذا العمل تصميم ونمذجة ومراقبة سلسلة موازية الجمع بين مرشح النشط موحدة مكيف نوعية الطاقة نتائج المحاكاة .كحل علم للتعويض عن أي اضطرابات في الجهد الحالي و (UPQC) .اقترح الجمع بين سلسلة موازية التصفية النشط يسمح التعويض اضطراب التيار والجهد في وقت واحد مع الأداء الجيد UPQCالتي تم الحصول عليها تشير إلى أن

Résume

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de la recherche des nouvelles solutions pour l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique dans le réseau électrique. Ce travail présente l'étude , la modélisation et la commande d'un filtre actif combiné série-parallèle (UPQC). le filtre actif combiné série-parallèle (UPQC) a été proposé comme une solution générale de la compensation de toutes les perturbations en courant et en tension. Les résultats de simulations obtenus montrent que l'UPQC permet la compensation simultanée des perturbations en courant et en tension avec de bonnes performances.

Mots clés :filtre actif parallèle, filtre actif série, UPQC, harmoniques, déséquilibre, puissance PQ ,commande MLI hystérésis

Abstract

The work presented here is part of the search for new solutions to improve the quality of the electrical energy in the electrical network. This work presents the design, modeling and control of a series-parallel combined active filter (UPQC). the combined series-parallel active filter (UPQC) has been proposed as a general solution to compensate for any disturbances in current and voltage. The simulation results obtained show that the UPQC allows simultaneous disturbance compensation current and voltage with good performance.

Remerciements

Tout d’abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d’accomplir ce travail modeste.

Nous adressons le grand remerciement à notre promoteurr M ,hanini qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l’honneur qu’ils nos ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Sans oublier tout le personnel des facultés des sciences et technologie qui a sans doute été d’une aide considérable durant tout ce parcours universitaire.

A toute personne qui a participé de près ou de loin pour L’accomplissement de ce modeste travail.

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire. Ainsi que l’ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi ***mon père****.*

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, ***maman*** *que j'adore.*

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour,

Atous mes ***frères unique Abdelkader***

Et Mes ***sœur wahiba fatiha noura et petit rose doaae rawenaket son marie hamid***

A toute ma famille, je dédie cetravail

dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour

leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon Chemind'études,mes aimables amis, collègues d'étude,HAKIM

RIMA, HANAN, CHAHRA, LILA,IMEN

NAIMA

Dédicaces

Avec l'aide Dieu,tout piuissant ,j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie

A ceux qui m'ont tout donné sans rien me demander et à qui je dois énormément et qui je ne remerrcierais

pour aimer et la personne la plus proche dans ma vie et ma mère est Algal ahrahmh Allah (Lord Mark Lamy des femmes du Paradis).

Mes très chars pére ,dans le sacrice, la tendresse ,l'amour,la patience ,le soutien ,l'aide et les encouragement sont l'essence de ma réussite.sans eus, femme serais par ce que je suis aujourd'hui .

A mes très chér frérés : Nadir Nuoreddine Abdelhamid Milode Et à leurs épouses pour son Suotien aux moment difficiles de mon travai et surtuot pour sa patience.

Ames che seours : Souad, Hanane, Warda , Hayat, Samra , pour leur soutien Morale et leurs sacrifices le de ma formation, ainsi qu'à leurs époux : Sufyan , said, milode, hassane.

A ma très cher Famille :rawia ,lamya , jama.

A ma cher sœur chandelle de vie :khdija, layla , amina ,lamya ,nawale.

A toutes mes niéces .

A mes tantes et à mes oncles.

A chaque cousins et cousines.

A tuos mas meilleurs amis qui m'a encouragé et soutenue .

A personnes que j'ai tant aimé qu'elles assistent assistent à ma soutenance :naima

A tous que j'aime et à tuos qui m'aime.

Allier Sedkaúa cher de ma ville natale, "Nafla Hidosahi Batna " City Université de Médée

sissia

Somiare

LISTE DES FUGURE……..I
LISTE DES TABLEAUX…….……II
LISTE DES NOMENCLATURE……III
INTRODUCTION GENERALE……..IV

Chapitre (I) : Synthèse Sur La Qualité D'énergie Et Les Méthodes De Leur Amélioration

1. Introduction ……..…….….(4)
2. Définition des harmoniques ……..…….….(4)
3. Caractéristiques de perturbations électriques ……..……...(4)
4. Perturbations harmoniques en courant et en tension ……...(5)
   4. 1. Origines des harmoniques ……(5)
   4. 2. Conséquences des harmoniques …… .(5)
      4. 2. 1. L'échauffement ……..(5)
      4. 2. 2. L'interférence avec les réseaux de télécommunication ……..(6)
      4. 2. 3. Les défauts de fonctionnements de certains équipements électriques .(6)
      4. 2. 4. Le risque d'excitation de résonance …….(6)
      4. 2. 5.Evulation des perturbation harmoniques …….….(6)
   4. 3. Réglementation ……..…(8)
5. La propagation des harmoniques sur les réseaux ……...(10)
6. Solutions De Dépollution Harmoniques Des Réseaux Electriques ……..…(11)
   6. 1. Solutions traditionnelles (Filtre passif résonnant et Filtre passif amorti) ……...(11)
   6. 2. Solutions moderne ……(12)
7. Filtres passifs ……..…. (12)
   7.1. Filtre passif parallèle..... ……..…..(12)
   7. 2. Filtre résonant ……..(13)
   7. 3. Filtre amorti ……..(14)
8. Filtres actifs ……(15)
   8. 1. Structure générale d'un filtre actif ……..…(16)
   8. 2. Rôle du filtre actif ……...(16)
   8 .3. Les différents types des filtres actifs ……. ……...(17)
      8. 3. 1. Filtre actif série (FAS) ……..(17)
      8. 3. 2 : Filtre actif parallèle (FAP) ……....(17)
      8. 3. 3. Filtrage hybride ……...(18)
9. Combinaison hybride active et passive .....(19)
   9..1 Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.....(19)
   9..2 Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles .....(20)
   9..3 Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle…….…..(20)
10. Filtre actif hybride……..(21)
      10.1. Filtre actif série avec un filtre passif parallèle.....(21)
      10.2. La combinaison parallèle-série actifs (UPQC).....(21)
11. Conclusion …….....(22)

Chapitre (II) : Les Méthode de régulation appliquées aux filtres actifs

1. Introduction ……..……..(25)
2. Méthode de Puissances instantanées active et réactive ……..…..…(25)
3. Méthode des composantes fondamentales Cf …….(29)
4. Commande par régulateur PI……....(31)
   4. *1.* Structure de la boucle de régulation ……. …….….(31)

5. Conclusion ……..(33)

Chapitre (III) :Filtre actif paralléle série **(**UPQC)

1. Introduction …….(35)
2.Structure Générale De L'UPQC……(35)
3. Partie puissance de l'upqc contient…….. (36)
3.1. *Filtre de liaison.*…….*(36)*
3. 2 *Transformateurs d'injection.*……*(36)*
3. 3 . *Circuit de stockage d'énergie.*……..*(36)*
3.4. *Convertisseur DC-AC(onduleurs**)*** ……..(36)
4. Structure générale de l'onduleur de tension deux niveaux……..(37)
5. Expression des tensions de sortie ……(37)
6**.** Commande de l'onduleur ……..…(38)
6.1.Commande par hystérésis……(39)
6. 2. Commande par modulation de largeur d'impulsion ……(39)
6. 3. MLI à échantillonnage périodique ……(40)
6.4. MLI à porteuse triangulaire.……..*(41)*
7.Commande de l'UPQC…….(42)
7. 1. Boucle de contrôle du filtre parallèle……..(42)
7. 2. Boucle de contrôle du filtre série…….(42)
7. 3. Boucles de contrôle du bus continu de l'onduleur……(43)
8. Régulation De La Tension Continue ……. . ….(43)
9. Discussion Des Résulta …….. ..(44)
10. Conclusions ……..…(44)

Chapitre (IV) :

1. Introduction……(46)
2. Caractéristiques du courant de source avant filtrage actif……(47)
2.1. Filtrage acif parallèle par un onduleur de tension deux niveaux……..(48)
2.1.1. Circuit de puissance……(48)
2.1.2. Circuit de commande…….(49)
2.1.3. Dimensionnement des condensateurs……..(49)
2. 1.4. Dimensionnement du filtre de sortie…….(50)
3. Résultats de simulation sous Matlab-Simulink……(51)
3.1. Paramètres de la simulation …….(51)
3. 2. Résultats de simulation……(51)
A. Courant de source après filtrage actif parallèle sans insertion de LF…(51)
4.Résultats de simulation UPQC……(53)
5.Résultats de simulation UPQC……(61)
5. 1. Courant de UPQC.……*(61)*
6 .Discussion des résulta…….(61)
7. Conclusion……(62)
Conclusion générale……(63)

Chapitre (II) : Les Méthode de régulation appliquées aux filtres actifs

1. Introduction ……..……...(25)
2. Méthode de Puissances instantanées active et réactive ……..…..(25)
3. Méthode des composantes fondamentales Cf ……..(29)
4. Commande par régulateur PI……...(31)
4. *1.* Structure de la boucle de régulation ……. ……(31)
5. Conclusion ……...(33)

Chapitre (III) :Filtre actif paralléle série **(**UPQC)

1. Introduction ……(35)
2.Structure Générale De L'UPQC……..….(35)
3. Partie puissance de l'upqc contient…….. (36)
3.1. *Filtre de liaison.*……..*(36)*
3. 2 *Transformateurs d'injection.*……..*(36)*
3. 3 . *Circuit de stockage d'énergie.*……..*(36)*
3.4. *Convertisseur DC-AC(onduleurs)* ……..…(36)
4. Structure générale de l'onduleur de tension deux niveaux…….…(37)
5. Expression des tensions de sortie ……..(37)
6**.** Commande de l'onduleur ……...(38)
6.1.Commande par hystérésis……..…(39)
6. 2. Commande par modulation de largeur d'impulsion ……L…(39)
6. 3. MLI à échantillonnage périodique ……...(40)
6.4. MLI à porteuse triangulaire.……..*(41)*
7.Commande de l'UPQC…….…...(42)
7. 1. Boucle de contrôle du filtre parallèle……..(42)
7. 2. Boucle de contrôle du filtre série…….(42)
7. 3. Boucles de contrôle du bus continu de l'onduleur……(43)
8. Régulation De La Tension Continue ……. . … .(43)
9. Discussion Des Résulta …… ..(44)
10. Conclusions ……...…(44)

Chapitre (IV) :

1. Introduction……(46)
2. Caractéristiques du courant de source avant filtrage actif……(47)
2.1. Filtrage acif parallèle par un onduleur de tension deux niveaux……..(48)
2.1.1. Circuit de puissance…….(48)
2.1.2. Circuit de commande……(49)
2.1.3. Dimensionnement des condensateurs……..(49)
2. 1.4. Dimensionnement du filtre de sortie…….(50)
3. Résultats de simulation sous Matlab-Simulink……..(51)
3.1. Paramètres de la simulation ……...(51)
3. 2. Résultats de simulation……(51)
A. Courant de source après filtrage actif parallèle sans insertion de LF……(51)
4.Résultats de simulation UPQC……(53)

5.Résultats de simulation UPQC……...(61)
5. 1. Courant de UPQC.…..…….(61)
6 .Discussion des résulta…….(61)
7. Conclusion……..….(62)
Conclusion générale……..…(63)

Liste des figures

Liste des figures

Figure. I.1 : Diagramme de Fresnel des puissances……..(8)
Figure I. 2 : La propagation des harmoniques sur les réseaux…….(11)
Figure I. 3 : Schéma bloc monophasé de plusieurs filtres passifs…… …(13)
Figure I. 4 : Filtres résonants agissant sur plusieurs rangs……..…(14)
Figure I. 5 : Filtre passif amorti……(14)
Figure I. 6 : Evolution de l'impédance en fonction de la fréquence……...…(15)
Figure I. 7: Structure générale d'un filtre actif……..….(16)
Figure I. 8 : Schéma bloc d'un filtre actif série…….....(17)
Figure I. 9 : schéma bloc d'un filtre actif parallèle ……(18)
Figure I. 10 : Filtrage hybride…….....(19)
Figure I. 11 : Combinaison de filtres actifs séries et de filtres passifs parallèles……..…..…(19)
Figure I. 12 .Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles….....(20)
Figure I. 13. Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle……(21)
Figure I. 14.Filtre actif série avec un filtre passif parallèle…….....(21)
Figure I.15 : Combinaison parallèle-série actifs(UPQC)…….(22)
Figure. II.1 *: Schéma de principe du filtre utilisé pour l'extraction des composantes alternatives de p et q.……..(28)*
Figure. II.2 : *Schéma-bloc de l'algorithme des composantes fondamentales* ……....…(30)
Figure. II.3 : *Algorithme "p-q" d'extraction des courants harmoniques* ……..(30)
Figure. II. 4: *Schéma de la régulation des courants du FAP* …….....(32)
Figure. III.1: *générale configuration de l'UPQC* …….....(36)
Figure. III. 2 : . *Onduleur de tension deux nivea*……..(«37)
Figure III. 3 *Principe de commande par hystérésis* ……(39)
Figure. III. 4 : *Principe de command* ……(40)
Figure. III. 5: *Modulateur MLI à échantillonnage périodique* …….....(41)
Figure III6 : *Modulateur MLI à porteuse triangulaire* …… …(42)
Figure III.7 : *.général configuration du UPQC* ……...…(42)
Figure III .8 : *général configuration du UPQC* …… ……..….(42)
Figure III .9 : *.général configuration du UPQC* ……...…(43)
Figure III .10 : *Schéma-bloc de l'algorithme de la puissance réactive instantanée.……...…(43)*
Figure. III . 11 : *Boucle de régulation de la tension continue.……..(44)*
Figure. IV.1. *blocs diagramme sans filtrage.……...(47)*
Figure. IV.2. *Allure de i avant filtrage actif*……(47)
Figure. IV.3. *Spectre harmonique de i.……...(48)*
Figure. IV.4. *Courant i déphasé de la tension v.……...(48)*
Figure. IV.5. *Circuit de puissance du filtre actif parallèle deux niveaux proposé..(49)*
Figure. IV.**6.** *Allure de i après filtrage actif deux niveaux.……..(52)*
Figure. IV.7. *Spectre harmonique de i.……...(52)*
Figure. IV.8. *blocs diagramme shunt active harmonic filter.……..(53)*
Figure. IV.9 . *blocs diagramme de la source.……...(54)*
Figure. IV.10**.** *Formes de tension et courant de source (trois phase).……..(55)*
Figure .IV . 11.*Formes de tension de AF(trois phase) ……..(56)*
Figure .IV. 12.*Formes de tension de la charge(trois phase).……..(57)*
Figure .IV. 13.*Formes de tension* ……..(57
Figure .V .14.*Formes de courant.……..(58)*
Figure .V .15.*Variation de tonsion de source (trois phase)* …… …….(58)
Figure .V .16.*Variation de courant de source (trois phase)* ……(59)
Figure .V .17.*Variation de tension AF de ligne (trois phase) ……..(59)*
Figure .V .18.*Variation de tourant AF de ligne (trois phase.……...(60)*
Figure .V .19. *Variation de tension de la charge (trois phase).……..(60)*
Figure .V .20. *Variation de courant de la charge (trois phase).……..(61)*
Figure. IV .21 . *Régulateur :isourc.……..(61)*
Figure.IV.22**.** *THD de régulateur isource.……..(62)*

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I. 1 *:Engagement EMERAUDE sur les harmoniques de tension (Réseaux HTA)* .

Tableau I. 2 : *Engagement EMERAUDE sur les harmoniques de tension (Réseaux HTB)* .

Tableau I. 3 *: Limitation EMERAUDE des courants harmoniques.*

Tableau III.1 **:** *Tension En fonction Des Etats des interrupteurs*

Tableau III. 2 :*Tension pour toutes Les combinaisons possibles*

Nomenclature

Nomenclature

I_h : Le courant harmonique de rang(A)

R : la résistance traversée par le courant

THD : Taux de distorsion harmonique

v_{ab}: tension entre phase a et b(V)

v_{bc} tension entre phase b et c(V)

v_{ca} tension entre phase b et c(V)

v_{an}:tension entre phase aetle neutre (V)

v_{bn}:tension entre phase b et le neutre(V)

v_{cn}:tension entre phase c et le neutre(V)

K_p : coefficients du correcteur *PI*

K_i : coefficients du correcteur *PI*

L : inductance totale série vue par le filtre actif(H)

ω_c:fréquence de la porteuse triangulaire (H)

Vdc: est l'avaleur moyen de la tension du bus continu du filtre actif (v)

Vs : tension de source(V)

v_{sa} : tension simple de phase a (V)

v_{sb} :tension simple de phase b (V)

v_{sc} :tension simple de phase c (V)

$v_{s\alpha}$: tension dans le repère $\alpha - \beta$(V)

i_{sa} : courant de phase(A)

i_α : courant dans le repère $\alpha - \beta$(A)

P : Puissance active instantané (W)

q : Puissance réactive instantané(VAR)

$p_{s\alpha}$: puissances instantanées selon les axes α

$p_{s\beta}$: puissances instantanées selon les axes β

$\bar{p}$: Puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant(W)

$\bar{q}$: Puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant(VAR)

$\tilde{p}$**et**$\tilde{q}$: Puissance alternatives liées à la somme des composantes harmoniques du courant

i_{ha} : courant harmonique de phase a(A)

$i_{h\alpha}$:courant harmonique dans repère α(A)

$i_{h\beta}$:courant harmonique dans repère α (A)

S:Puissance apparente (VA)

P :Puissance active (W)

Q :Puissance réactive (VAR)

v :la tension instantanée (V)

i:le courant instantané (A)

F_p : Facteur de puissance

F_{dis} : Facteur de distorsion

$F_{dép}$: Facteur de déplacement

C_f:capacité de filtre(F)

L_f : inductance de filtre(H)

$\Delta\vec{I}_f$: ladifférenceentrelecourantderéférenceetlecourantmesuré

$\vec{V}_{f-ref}$: tension de référence

V_{dc}:tensioncôtécontinudel'onduleur(V)

V_p :l'amplitudedelaporteusetriangulaire

τ :le retard causé par lecalcul des courants perturbateurs

a:la largeur du domaine

μ_{Ci} :facteur d'appartenance liée à la condition *i*

c_i : le centre de gravité

Cosφ : Facteur de puissance

Introduction Générale

Introduction Générale

Ces dernières années, l'utilisation croissante des dispositifs d'électronique de puissance dans les systèmes électriques a entraîné de plus en plus des problèmes liés aux perturbations ou distorsions harmoniques des réseaux électriques.

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.

Pour diminuer ou supprimer ces perturbations et ainsi améliorer la qualité de l'énergie distribuée, plusieurs solutions existent, Celles qui répondent le mieux aux contraintes industrielles d'aujourd'hui sont les compensateurs actifs parallèle, série et combinaison parallèle-série actifs (aussi appelés UPQC).

Le compensateur actif parallèle peut être utilisé pour compenser les courants harmoniques et déséquilibrés de même que la puissance réactive. Le compensateur série peut compenser à la fois les tensions harmoniques et déséquilibrées, et les creux de tension. L'UPQC correspond à une solution universelle de compensation pour un, plusieurs ou tous les types de perturbation de courant et de tension que l'on observe sur le réseau.

Progressivement, et de manière à endiguer l'augmentation des problèmes de perturbation sur les réseaux électriques, des normes de qualité électrique de plus en plus contraignantes seront imposées aux fournisseurs et aux consommateurs industriels. Face à ces nouvelles réglementations mais aussi face à la demande de plus en plus spécifique des utilisateurs d'énergie électrique, les compensateurs actifs doivent s'adapter en rendant plus complexe leurs structures et leurs méthodes de régulation. D'autant plus que ces solutions doivent se soumettre aux limites physiques et technologiques inhérentes aux dispositifs de filtrage actif.

Le travail présenté dans ce mémoire est divisé en trois chapitre :

Dans le premier chapitre, nous présentons les perturbations des réseaux électriques connectés à des charges dites polluantes. Les origines de cette pollution harmonique, les conséquences et les normes inhérentes à ces perturbations sont examinées. Ensuite, les différentes solutions de filtrage possibles sont présentés : filtrage passif, actif et hybride, on se focalisera ensuite sur le filtrage actif parallèle, état da l'art, stratégie de commande de l'onduleur de ce filtre, et enfin les avantages et les inconvénients.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenté les stratégies de commande de l'onduleur de ce filtre, et enfin les avantages et les inconvénients.

Dans le troisième chapitre, nous allons présenté les résultats de simulation avec logiciel MATLAB/SIMULINK du fonctionnement de l' UPQC avant puis après l'application du filtrage.

Chapitre I

Les perturbation harmonique et les méthode de leur amélioration

1. Introduction

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'il maintient à leurs bornes. Il apparaît évident que la qualité de cette énergie dépend de celle de la tension au point de livraison. Cette tension subit généralement beaucoup de perturbations de deux origines distinctes

- les perturbations de courant causées par le passage, dans les réseaux électriques, des courants perturbateurs comme les courants harmoniques, déséquilibrés et réactifs,
- les perturbations de tension causées par des tensions perturbatrices comme les tensions harmoniques et déséquilibrées et les creux de tension.

Dans la première partie de ce chapitre, nous étudierons les caractéristiques générales des perturbations électriques. Ainsi, nous détaillerons les origines, les conséquences matérielles et les limites tolérées et imposées par les normes internationales de ces perturbations.

Dans une deuxième partie, nous présenterons et comparerons des solutions de compensation de ces perturbations généralement proposées dans la littérature. Nous pourrons ainsi adopter la compensation active la plus adéquate.

La dernière partie de ce chapitre sera consacrée à la présentation des différents montages des filtres actifs. Nous évoquerons ainsi les principes et la mise en œuvre de ces structures modernes de compensation.

2. Définition des harmoniques

Les harmoniques de courant, une fois injectés par des charges non-linéaires, se propagent à travers le réseau électrique en affectant la forme d'onde des tensions aux différents points du réseau. Cette propagation n'est limitée que par les bifurcations (points de division des courants) et les impédances du réseau qui dépendent généralement de la fréquence des courants harmoniques. La présence des harmoniques de courant se révèle essentiellement à travers leurs effets sur la tension du réseau.[1]

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.[2]

3. Caractéristiques de perturbations électriques

Sauf exception, les tensions d'un réseau électrique constituent un système alternatif triphasé, dont la fréquence de base est de 50Hz ou de 60Hz. Les paramètres caractéristiques d'un tel système sont les suivants :

- La fréquence ;
- L'amplitude des trois tensions ;
- La forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde ;
- La symétrie du système triphasé, caractérisée par l'égalité des modules des trois tensions et de leur déphasage relatif.[3]

4. Perturbations harmoniques en courant et en tension

4. 1. Origines des harmoniques

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

Les différents secteurs industriels concernés sont aussi bien du type secondaire (utilisation des gradateurs, des redresseurs, des variateurs de vitesse….), que du type tertiaire (informatique ou éclairage dans les bureaux, commerces,…) ou domestique (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre).[4]

4. 2. Conséquences des harmoniques

De nombreux effets des harmoniques sur les installations et les équipements électriques Peuvent être cités. Les effets les plus importants sont l'échauffement, l'interférence avec les réseaux de télécommunication, les défauts de fonctionnement de certains équipements électriques et le risque d'excitation de résonance :

***4.2.1 L'échauffement* :** Les pertes totales par effet Joule sont la somme de celles du fondamental et des harmoniques :

$$I^2.R = \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 . R \qquad (I.1)$$

Avec :

I : le courant total, I_h le courant harmonique de rang h qui représente le fondamental pour : h=1, et R la résistance traversée par le courant I.

Les harmoniques augmentent aussi les pertes fer (pertes par courants de Foucault). Ils prennent de l'importance dans les matériels utilisant les circuits magnétiques (moteurs, transformateurs...).

Le vieillissement des isolants est souvent dû à une contrainte en tension consécutive à la présence de la tension harmonique, et donc à une augmentation locale du courant de fuite, ou encore à l'échauffement exagéré dans les conducteurs

4. 2. 2. L'interférence avec les réseaux de télécommunication

Le couplage électromagnétique entre les réseaux électriques et de télécommunication peut induire dans ces derniers des bruits importants. Dans le cas de résonances, une partie des réseaux de télécommunication peut être rendue inutilisable.

4. 2. 3. Les défauts de fonctionnements de certains équipements électriques

En présence des harmoniques, la tension (ou le courant) peut changer plusieurs fois de signe dans une demi-période.

Par conséquent, tout appareil dont le fonctionnement est basé sur le passage par zéro des grandeurs électriques (appareils utilisant la tension comme référence) peut être perturbé.

4. 2. 4. Le risque d'excitation de résonance

Les fréquences de résonance des circuits formés par des inductances du transformateur et des câbles sont normalement élevées. Ce n'est pas le cas lorsque des batteries de capacité sont raccordées au réseau pour relever le facteur de puissance; les fréquences de résonance peuvent devenir assez faibles, et coïncider ainsi avec celles des harmoniques engendrés par les convertisseurs statiques. Dans ce cas, il y aura des phénomènes d'amplification d'harmoniques.

4.2.5.Evalusation des perturbation harmoniques

Différentes grandeurs sont définies pour chiffrer ces perturbations. Parmi celles-ci les plus utilisées sont :

- Le taux harmonique de rang h

$$S_h = C_h / C_1 \qquad \textbf{(I.2)}$$

où C_h. représente la composante harmonique de rang h, C_1 représente la composante fondamentale.

- Le taux global de distorsion harmonique

$$THD = \sqrt{\sum_2^{\infty} \frac{C_h^2}{c_1^2}} \qquad \textbf{(I.3)}$$

En général, les harmoniques pris en compte dans un réseau électrique sont inférieurs à 2500 Hz, ce qui correspond au domaine des perturbations basses fréquences au sens de la normalisation. Les harmoniques de fréquence plus élevée sont fortement atténués par l'effet de peau et par la présence des inductances de lignes. De plus, les appareils générant des harmoniques ont, en grande majorité, un spectre d'émission inférieur à 2500 Hz, c'est la raison pour laquelle le domaine d'étude des harmoniques s'étend généralement de 100 à 2500 Hz, c'est-à-dire des rangs 2 à 50

- Le facteur de puissance

Normalement, pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S. Les générateurs, les transformateurs, les lignes de transport et les appareils de contrôle et de mesure sont dimensionnés pour la tension et le courant nominaux. Une faible valeur du facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation de ces équipements.

Dans le cas où il y a des harmoniques, une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante (D), donnée par la relation, apparaît comme le montre le diagramme de Fresnel de la Figure (I.1).

$$D = 3.V_1 \sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2} \qquad \textbf{(I.4)}$$

Le facteur de puissance (F.P.) devient :

$$F.p = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2+D^2}} = \cos\varphi_1 \cdot \cos\gamma \qquad \textbf{(I.5)}$$

On voit bien que les harmoniques affectent aussi le facteur de puissance

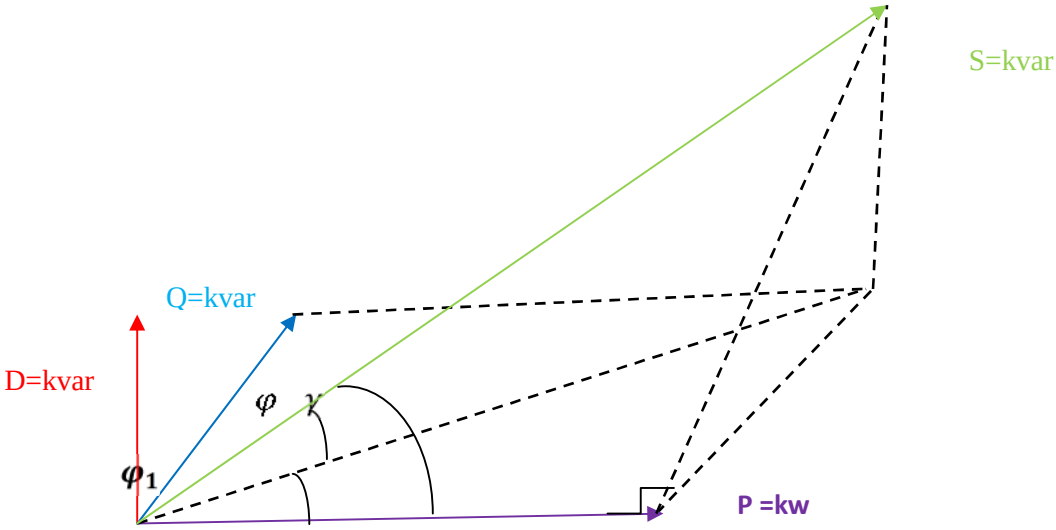


Figure. I.1 : *Diagramme de Fresnel des puissances.[5]*

4. 3. Réglementation

D'après le contrat de SONELGAZ, les deux parties (fournisseur et récepteur) doivent s'engager à respecter les normes limitant les perturbations harmoniques.

De son côté, SONELGAZ s'engage à ce que les taux individuels de tension harmonique, exprimés en pourcentage de la tension fondamentale V_1 pour les réseaux HTA (1 à 50 kV), ne dépassent pas les seuils donnés dans le tableau ci-dessous .[5]

Tableau I. 1 *:Engagement EMERAUDE sur les harmoniques de tension (Réseaux HTA)* .

Harmoniques impairs				Harmoniques pairs	
non multiple de 3		*multiple de 3*			
Rang	V_h/V_1 (%)	Rang	V_h/V_1 (%)	Rang	V_h/V_1 (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3 ,5	15 et 21	0,5	6 à 24	0,5
13	3	Le THD global de tension ne dépassant pas 8 %.			
17	2				
19,23 et 25	1,5				

Concernant les réseaux HTB (plus de 50 kV), SONELGAZ s'engage à ne pas dépasser les seuils donnés dans le tableau suivant :

Tableau I. 2 : *Engagement EMERAUDE sur les harmoniques de tension (Réseaux HTB)* .

Harmoniques impairs				Harmoniques impairs	
non multiple de 3		*multiple de 3*			
Rang	V_h/V_1 (%)	Rang	V_h/V_1 (%)	Rang	V_h/V_1 (%)
5 et 7	2	3	2	2	1,5
11 et 13	1,5	9	1	4	1
17 et 19	1	15 et 21	0,5	6 à 24	0,5
23 et 25	0,7	Le THD global de tension ne dépassant pas 3 %.			

Les règles de limitation des courants harmoniques recommandées aux clients par SONELGAZ à travers le contrat EMERAUDE sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau I. 3 *: Limitation EMERAUDE des courants harmoniques.*

Rangs impaires	*Ih/I1 (%)*	*Rangs paires*	*Ih/I1 (%)*
3	4	2	2
5 et 7	5	4	1
9	2	>4	0,5
11 et 13	3		
>13	2		

Les limitations en tension harmonique que les clients de SONELGAZ doivent respecter sont :

- Pour un harmonique pair :

$$\frac{V_h}{V_1} \leq 0,6\% \qquad \textbf{(I.6)}$$

- Pour un harmonique impair :

$$\frac{V_h}{V_1} \leq 1\% \qquad \textbf{(I.7)}$$

- Pour le taux de distorsion global de tension :

$$\textbf{THD} \leq 1,6\% \qquad \textbf{(I.8)}$$

Il est d'usage de dire que, dans les installations industrielles, les tensions harmoniques dont le THD est inférieur à 5% ne produisent pas d'effet notable. Entre 5% et 7% on commence à observer des effets, et pour plus de 10% les effets sont quasi certains. [3]

Concernant la puissance réactive, SONELGAZ autorise ses clients à en consommer, sans être facturés, jusqu'à 40% de la puissance active absorbée. Cela se traduit, pour des charges linéaires, par un facteur puissance $\cos\alpha = 0,928$, ou par un angle de phase $\alpha \leq 21,8^0$.

5. La propagation des harmoniques sur les réseaux

Soient un transformateur HTB/HTA alimentant deux départs moyens tension. L'un de ces départs comporte une source harmonique. Le réseau de distribution est composé par des lignes et des transformateurs. Comme l'impédance des charge est nettement grande que celle des lignes, une part importante du courant harmonique tend à circuler en direction des postes

sources (les courants harmoniques remontent à la source car ils suivent le parcours le moins impudent). Aussi, le problème de propagation des harmoniques de courant se ramène à l'étude d'un simple diviseur de tension étant donné que le jeu de barre HTA vu de départ propre apparaît comme une source de tension . [4]

La propagation des harmoniques sur le réseau est schématisée dans la (figure I.2).

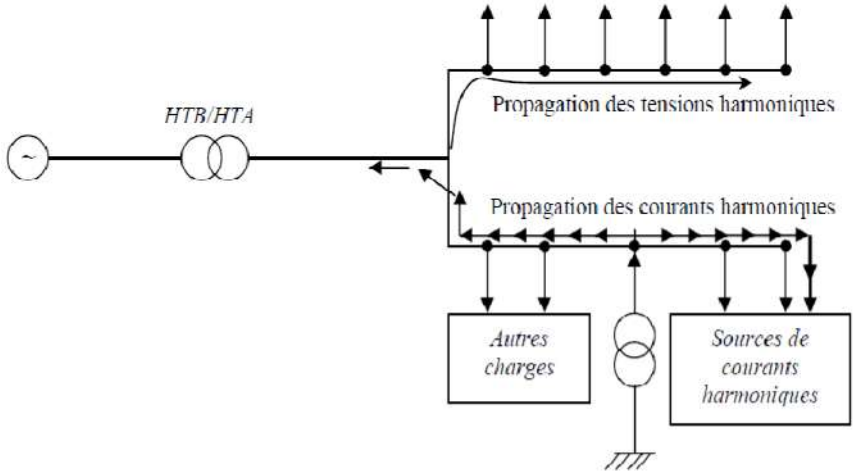


Figure I. 2 : *La propagation des harmoniques sur les réseaux.[4]*

6. Solutions de dépollution harmoniques des réseaux électriques

On peut regrouper les solutions visant à réduire les perturbations harmoniques en deux groupes: les solutions traditionnelles et les solutions modernes . [6]

6. 1. Solutions traditionnelles (Filtre passif résonnant et Filtre passif amorti)

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

- ♣ L'augmentation de la puissance de court-circuit du réseau et l'utilisation de convertisseurs peu polluants qui ont pour effet de diminuer la distorsion harmonique ;
- ♣ L'utilisation de dispositifs de filtrage pour réduire la propagation des harmoniques produits par des charges non linéaires.

Le filtrage consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence

fondamentale du réseau. Parmi les dispositifs de filtrage les plus répandus, on distingue le filtre passif résonnant et le filtre passif amorti ou passe-haut.

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. [6]

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

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

6. 2. Solutions moderne

Les solutions de dépollution traditionnelle ne répondant plus à l'évolution des réseaux électriques et des charges à protéger, comme nous venons de le décrire précédemment, d'autres solutions modernes ont été proposées. La première solution de dépollution consiste à fabriquer la charge la moins polluante possible, comme le pont redresseur do déca phase, de manière à réduire le taux d'émission d'harmoniques.

Pour fournir aux consommateurs une bonne qualité de l'énergie électrique, même dans les conditions de fonctionnement les plus perturbées, les filtres actifs sont proposés comme des solutions avancées de dépollution des réseaux électriques. En effet, ces solutions peuvent s'adapter aux évolutions de la charge et du réseau électrique et ceci sans toucher aux installations du fournisseur d'énergie et du consommateur.

Cependant, ces solutions entraînent un coût supplémentaire et demandent plus que le savoir-faire habituel pour les mettre en œuvre. De plus, ces solutions ne résolvent pas les problèmes causés par les charges polluantes qui existent sur le marché. [6]

7. Filtres passifs

7.1. Filtre passif parallèle

Il s'agit des premiers dispositifs utilisés pour l'élimination d'harmoniques. Ils sont composés Par des éléments passifs comme des inductances, des condensateurs et des résistances. En général, les filtres d'harmoniques sont connectés en parallèle avec les charges génératrices d'harmoniques (les redresseurs à diodes ou à thyristors, fours à arcs électriques, etc.). On différencie quatre types de filtres passifs : les filtres réglés à des fréquences déterminées, les filtres passe-haut, les filtres passe-bas et les filtres passe-bande. Le choix le plus commun

pour le redresseur à thyristors de haute puissance consiste à utiliser une combinaison de plusieurs filtres réglés à une seule fréquence (sur les harmoniques 5, 7, 11 et 13) et un filtre passe haut du deuxième ordre réglé autour de la fréquence de l'harmonique 17 comme le montre la Figure (I.3).[7]

La fonction de transfert de ces filtres passifs est donnée ci-dessous.

$$G(s) = \frac{\frac{1}{L_5}S}{S^2+\frac{1}{C_5L_5}} + \frac{\frac{1}{L_7}S}{S^2+\frac{1}{C_7L_7}} + \frac{\frac{1}{L_{11}}S}{S^2+\frac{1}{C_{11}L_{11}}} + \frac{\frac{1}{13}S}{S^2+\frac{1}{C_{13}L_{13}}} + \frac{\frac{1}{R_{17}}S^2+\frac{1}{L_{17}}S}{S^2+\frac{1}{R_{17}C_{17}}S+\frac{1}{L_{17}}} \qquad \textbf{(I.9)}$$

Où L, R et C représentent les différents paramètres du filtre de connexion.

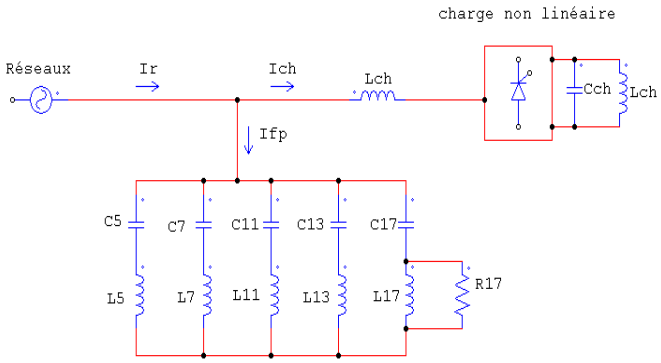


Figure I. 3 : *Schéma bloc monophasé de plusieurs filtres passifs connectés en parallèle sur un réseau pollué.[3]*

7. 2. Filtre résonant

Le filtre résonant (ou filtre shunt) est composé d'une inductance L en série avec un condensateur C.

Les valeurs d'inductance L et de capacité C sont calculées à la fréquence de résonance correspondant à la fréquence de l'harmonique à éliminer.

Lorsque l'on souhaite réaliser le filtrage d'un signal déformé entaché par plusieurs courants harmoniques, il est nécessaire de prévoir un ensemble de filtres où chacun d'entre eux agit sur le rang harmonique à éliminer (Figure I.4).

Un filtre shunt efficace doit posséder un grand facteur de qualité Q. Celui-ci s'exprime par la relation suivante :

Q = Z/r, avec r << x soit : Q= x/r puisque Z = $\sqrt{r^2 + x^2}$. **(I.10)**

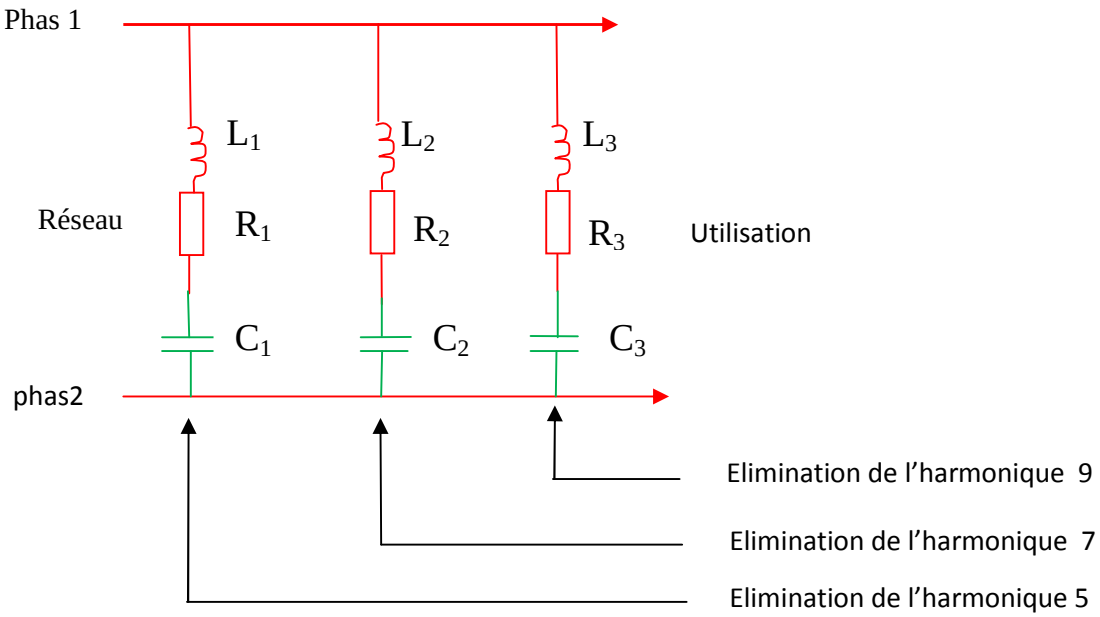


Figure I. 4: *Filtres résonants agissant sur plusieurs rangs .*

7.3. Filtre amorti

Le filtre amorti est constitué d'une structure identique au filtre résonant, avec en supplément, une résistance R branchée en parallèle sur l'inductance (Figure I.5) . [3]

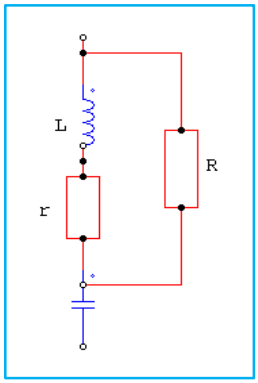


Figure I. 5 : *Filtre passif amorti.*

Il est moins sélectif, atténuant les harmoniques supérieurs ou voisins de son rang d'accord. La figure (I.6) représente l'évolution de leur impédance en fonction de la fréquence.

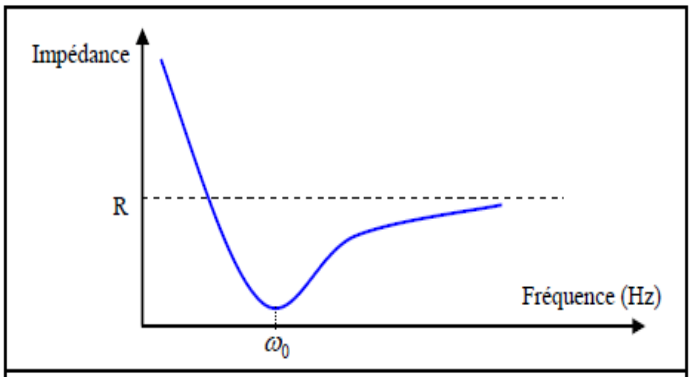


Figure I. 6 *: Evolution de l'impédance en fonction de la fréquence .[4]*

Ce filtre assure l'atténuation des harmoniques dans une plus large bande de fréquence que le filtre résonant mais sans éliminer concrètement ces perturbations. Il ne réalise donc pas la suppression de ces harmoniques, mais contribue à améliorer sensiblement le taux de distorsion harmonique global d'une installation polluée.

Pour des installations utilisant le filtrage harmonique, on peut concevoir de mettre en œuvre un filtre résonant pour les rangs 5 et 7, associé à un filtre amortie accordé pour h égale à 13.

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

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

- ♣ Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge ;
- ♣ Equipements volumineux ;
- ♣ Problème de résonances avec l'impédance du réseau ;
- ♣ Leur efficacité dépend de l'impédance du réseau, mal connue et susceptible de varier ;
- ♣ Leur incapacité de couvrir une large bande de fréquence, d'où l'utilisation de plusieurs filtres de rang d'accord différents.

Ces inconvénients et l'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les transistors IGBT, ont permis d'envisager de nouvelles solutions aux perturbations du réseaux électrique .[4]

8. Filtres actifs

Les filtres actifs de puissance sont composés d'un onduleur connecté au réseau par l'intermédiaire d'un filtre passif. Les avantages les plus importants de ces filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants:[7]

- ♣ Le volume physique du filtre est plus réduit ;
- ♣ La capacité de filtrage est supérieure ;
- ♣ La flexibilité et adaptabilité sont très supérieures.

Pourtant, ils ont aussi quelques inconvénients :

- ♣ Leur coût élevé a limité leur implantation dans l'industrie ;
- ♣ Les pertes sont plus élevées.

8. 1. Structure générale d'un filtre actif

Un filtre actif est composé de quatre parties comme le montre la Figure (I.7). La partie puissance est constituée d'un circuit de stockage d'énergie, d'un onduleur destiné à répartir le courant dans les différentes phases et un filtre d'entrer destiné à réaliser l'interface entre le réseau et l'onduleur. La partie contrôle tien compte du circuit de stockage d'énergie, du filtre d'entrée et des harmonique sur le réseau est permet d'actionner le circuit onduleur.[2]

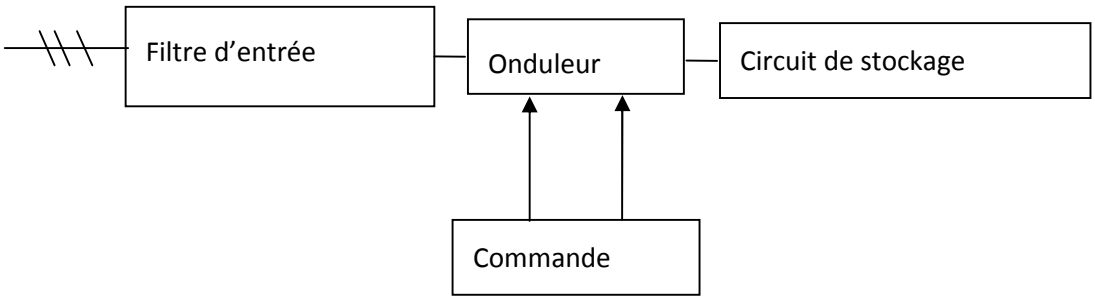


Figure I. 7*: Structure générale d'un filtre actif.[2]*

8. 2. Rôle du filtre actif

L'utilisation du filtre actif conduit à :

- ♣ Compenser les harmoniques dans les circuits en électronique de puissance ;
- ♣ Fournir de l'énergie réactive à la charge, donc la source ne produite que de la puissance active ;
- ♣ Compenser touts types des charges ;

- ♣ L'auto adaptation pour les variations de la charge.

Par conséquent, le facteur de puissance s'améliore (le courant de la source devient sinusoïdale et en phase avec la tension) .[7]

8. 3. Les différents types des filtres actifs

Il y à plusieurs. Type de filtre actif :

- ♣ Filtre actif parallèle ;
- ♣ Filtre actif série ;
- ♣ Filtre actif hybride.

8. 3. 1. Filtre actif série (FAS)

Ce filtre sert à filtrer les perturbations de tension provenant du réseau. Ce filtre se comporte comme une source de tension qui s'oppose aux perturbations de la tension (harmoniques, déséquilibres, creux) venant du réseau en protégeant la charge des imperfections de la tension du réseau (Figure I.8) .[7]

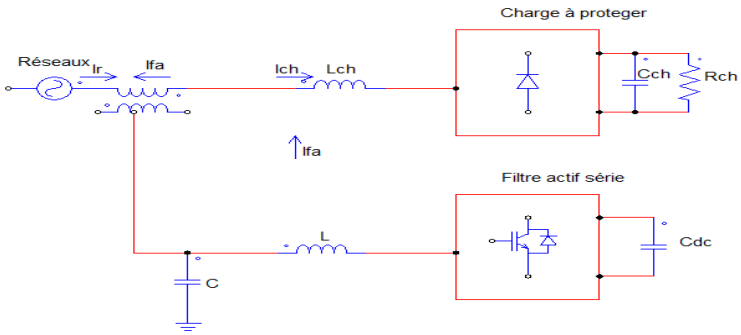


Figure I. 8 : *Schéma bloc d'un filtre actif série .[3]*

8. 3. 2 : Filtre actif parallèle (FAP)

Ce filtre se comporte comme une source de courant qui compense les courants harmoniques des charges non linéaires, mais aussi les déséquilibres ou encore les courants réactifs (figure I.9).

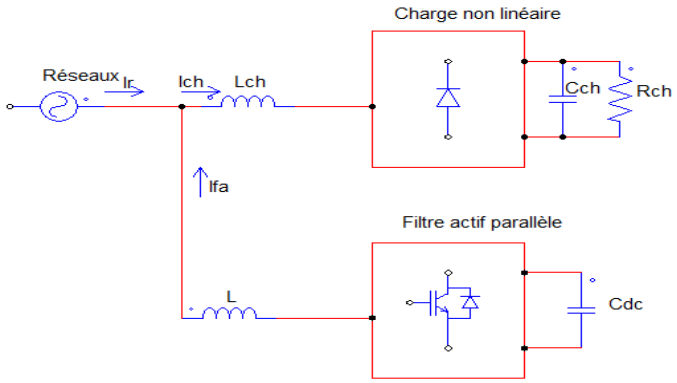


Figure I. 9 : *schéma bloc d'un filtre actif parallèle . [3]*

8. 3. 3. Filtrage hybride

Le filtrage mixte ou hybride résulte de l'association d'un filtre passif et d'un filtre actif l'intérêt de filtre passif prend en charge la composition d'un grand parti des harmoniques.

Le filtre active maintient performances de filtrage de l'évolution de la charge de réseau ainsi la puissance de convertisseur qui constitue le filtre active est fortement diminuée grâce aux est éléments passif .ces structures permettent donc d'optimiser le rapporte performance coût et d'avoir un meilleure tenue en tension.

De nombreuses variantes sont possibles, mais peu ont été réalisé industriellement, des performances élevées sont possible, même avec un filtre active de puissance réduite .[.[2]

Il y'a plusieurs type de filtre hybride :

- ♣ La combinaison parallèle-série actifs ;
- ♣ Combinaison hybride active et passive ;
- ♣ Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles ;
- ♣ Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.

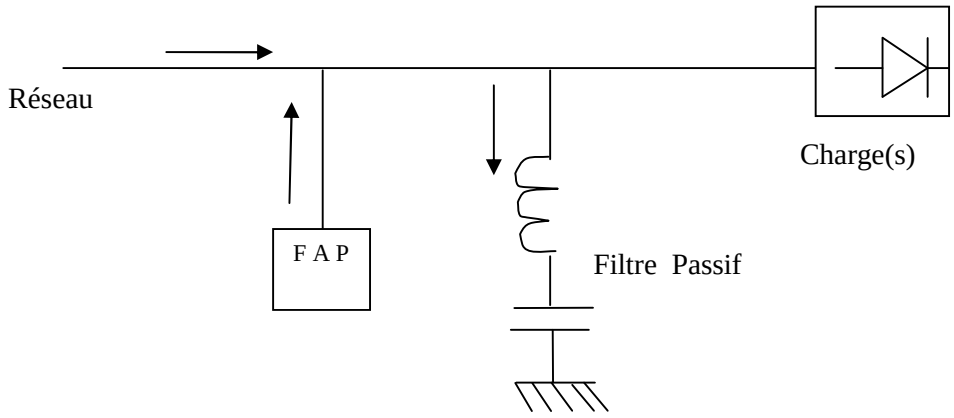


Figure I. 10 : *Filtrage hybride.*

9. Combinaison hybride active et passive

9.1 Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles

Pour réduire la complexité de la combinaison de filtres présentée précédemment, le filtre actif série, qui constitue une haute impédance pour les harmoniques de hautes fréquences, est accompagné par un filtre passif parallèle. Cette combinaison, représentée par la (figure I.11), permet une amélioration sur les caractéristiques d'un ensemble de filtres actifs et l'extension de leurs capacités à inclure la réduction des harmoniques de courant et l'élimination des harmoniques de tension.

Cette configuration n'a cependant pas encore été étudiée profondément du fait d'un manque d'intérêt pour les filtres actifs séries .

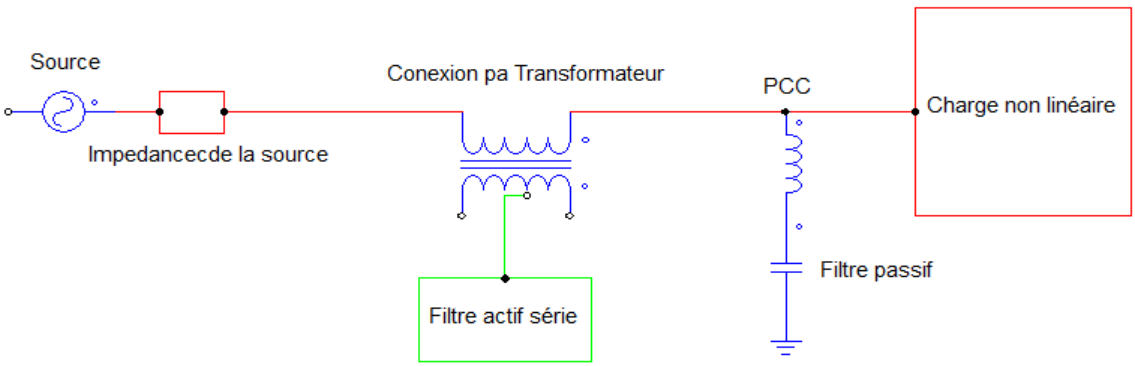


Figure I.11: *Combinaison de filtres actifs séries et de filtres passifs parallèles.*

9.2. Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles

Il a le même principe que la combinaison d'avant avec l'avantage de réduire encore le dimensionnement du FAS car le courant qui le travers est plus faible. De plus, le FAS est à l'abri d'un éventuel court-circuit de la charge. [4]

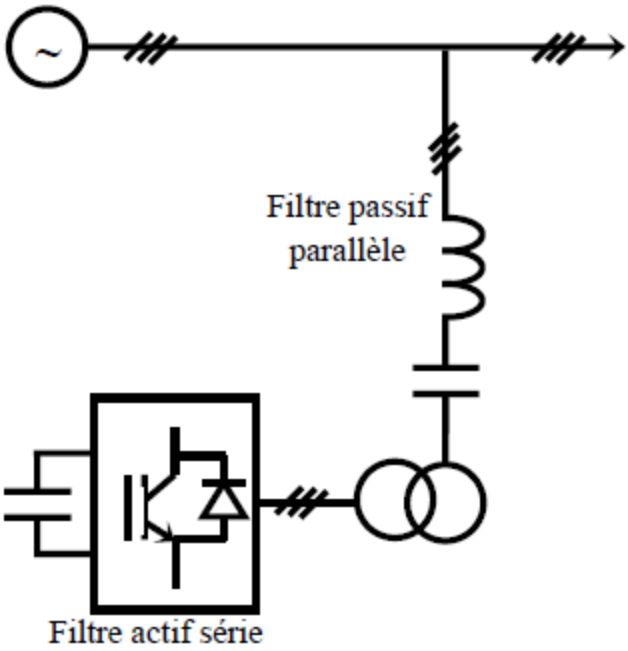


Figure I. 12 .*Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles*

9.3. Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle

Il a le rôle de compenser des courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante. Le filtre passif accordé sur une fréquence élevée, élimine les harmoniques hautes y compris ceux crées par le filtre actif parallèle. Ce type déjà été appliqué à la compensation des courants harmonique émis par un cycloconvertisseur de forte puissance.

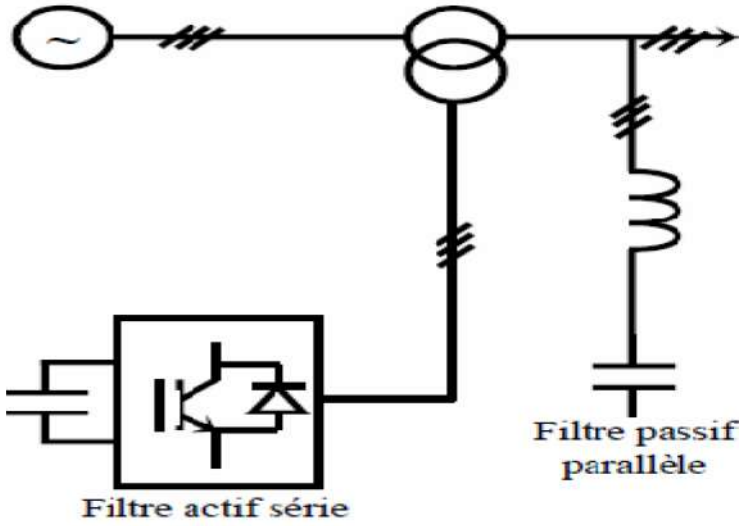
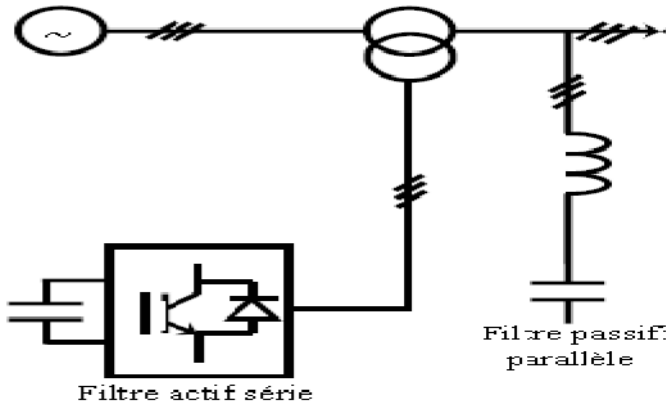


Figure I. 13. *Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle[4]*

10. Filtre actif hybride

10.1. Filtre actif série avec un filtre passif parallèle

Il empêche les courants harmoniques de circuler vers le réseau et les oblige à passer par les filtres Passifs raccordés à leurs fréquences.



.

Figure I. 14.*Filtre actif série avec un filtre passif parallèle[4]*

10.2. La combinaison parallèle-série actifs (UPQC)

Cette 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(I.10). 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 .

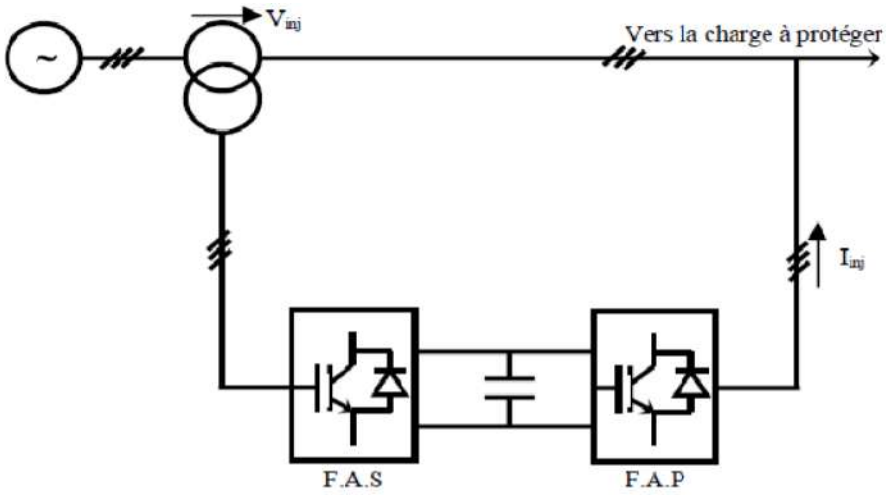


Figure I.15 : *Combinaison parallèle-série actifs (UPQC)*

12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté différents types de perturbations affectant l'onde de tension du réseau électrique. Comme nous avons pu le constater, les harmoniques et les déséquilibres de courant et de tension, la puissance réactive et les creux de tension ont des effets néfastes sur les équipements électriques. Ces effets peuvent aller des échauffements et de la dégradation du fonctionnement jusqu'à la destruction totale de ces équipements. Plusieurs solutions traditionnelles et modernes de dépollution ont été présentées. La solution classique à base de filtres passifs est souvent pénalisée en termes d'encombrement et de résonance. De plus, les filtres passifs ne peuvent pas s'adapter à l'évolution du réseau et aux charges polluantes.

Récemment, en plus du filtrage des harmoniques, les filtres actifs parallèles et séries, et leur combinaison, sont étudiés pour la compensation de tous les types de perturbation susceptible d'apparaître dans un réseau électrique basse tension. En effet, profitant des progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance, ces solutions peu encombrantes n'occasionnent aucune résonance avec les éléments passifs du réseau et font preuve d'une grande flexibilité face àl'évolution du réseau électrique et de la charge polluante. Le filtre actif parallèle peut être installé pour compenser toutes les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et la puissance réactive.

Le filtre actif série peut être installé pour compenser toutes les perturbations de tension comme les harmoniques, les déséquilibres et les creux de tension.

La combinaison parallèle-série actifs est la solution universelle pour compenser toutes les perturbations en courant et en tension. D'autres solutions de dépollution consistent à associer des filtres actifs et passifs pour trouver un compromis entre l'efficacité de compensation et le coût. Ces solutions peuvent être des solutions futures très prometteuses Les filtres hybrides étant conçus essentiellement pour dépolluer les réseaux électriques des courants harmoniques, notre objectif de recherche portant sur la dépollution de toutes sortes de perturbations, seules les solutions actives de filtrage seront analysées dans ce mémoire.

C'est ainsi que dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'énergie électrique qui doit être conforme aux nouvelles contraintes normatives, nous étudierons, des méthodes de régulation que nous appliquerons dans le cas des structures de filtres actifs parallèle, série et combiné

Chapitre II

Les Méthode d e régulation appliquées aux filtres actifs

1. Introduction

La théorie des puissances active et réactive (p-q), pour un circuit électrique avec une source sinusoïdale, est largement présentée dans la littérature. Deux cas proposés, avec la méthode proposée des composantes fondamentales CF et la méthode PQ connue dans ce domaine, nous avons constaté que dans le premier dont la partie shunt est commandée par la méthode CF a donné des résultats satisfaisants et légèrement mieux que ceux de la méthode PQ .Et pour le 2ème cas les deux méthodes donnent les même résultats.

2. Méthode de Puissances instantanées active et réactive

Cette méthode d'identification des courants harmoniques, plus simple, consiste à éliminer la composante continue des puissances active et réactive instantanées ce qui est relativement facile à réaliser. On exploite la transformation de Concordia pour obtenir les puissances active et réactive et nécessite un système triphasé de tensions sinusoïdales à la fréquence fondamentale.[9]On exploite la transformation de Concordia pour obtenir les puissances active et réactive et nécessite de tensions sinusoïdales à la fréquence fondamentale. On note respectivement les vecteurs des tensions simples au point de raccordement [V] et des courants de charge [i] d'un système triphasé et équilibré par [10] :

$$[V_s]=\begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad \textbf{et} \quad [i_c]=\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} \tag{II.11}$$

La transformation des valeurs triphasées instantanées de la tension et du courant dans le repère des cordonnées $\alpha-\beta$ est donnée par les expressions suivantes :

$$\begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix}=[C_{32}]\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad , \quad \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix}=[C_{32}]\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{cc} \end{bmatrix} \tag{II.12}$$

Avec C_{32} la matrice de transformation développée par Concordia [3] et dont l'expression est donnée par:

$$[C_{32}]=\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \tag{II.13}$$

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

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & v_{s\beta} \\ -v_{s\beta} & v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.14)}$$

En remplaçant les tensions et les courants diphasés par leurs homologues triphasés, on obtient :

$$p = v_{s\alpha} i_{c\alpha} + v_{s\beta} i_{c\beta} = v_{sa} i_{ca} + v_{sb} i_{cb} + v_{sc} i_{cc} \quad \textbf{(II.15)}$$

De même, pour la puissance imaginaire on a :

$$q = v_{s\alpha} i_{c\beta} - v_{s\beta} i_{c\alpha} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \left[(v_{sa} - v_{sb}) \cdot i_{cc} + (v_{sb} - v_{sc}) \cdot i_{ca} + (v_{sc} - v_{sa}) \cdot i_{cb} \right] \quad \textbf{(II.16)}$$

A partir de l'expression (II.4), En posant :

$\Delta = v_{s\alpha}^2 + v_{s\beta}^2$, on a :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & \cdot v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \right\} \quad \textbf{(II.17)}$$

Ou alors:

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & \cdot v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & \cdot v_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} i_{c\alpha p} \\ i_{c\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{c\alpha q} \\ i_{c\beta q} \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.18)}$$

Avec:

$$\boldsymbol{i_{c\alpha p} = \frac{v_{s\alpha}}{\Delta} p} \qquad \boldsymbol{i_{c\alpha q} = \frac{v_{s\beta}}{\Delta} q} \quad \textbf{(II.19)}$$

$$\boldsymbol{i_{c\beta p} = \frac{v_{s\beta}}{\Delta}} \qquad \boldsymbol{i_{c\beta q} = \frac{v_{s\alpha}}{\Delta} q} \quad \textbf{(II. 20)}$$

Les puissances instantanées selon les axes α et β peuvent s'écrire :

$$\begin{bmatrix} p_\alpha \\ p_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} i_{c\alpha} \\ v_{s\beta} i_{c\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} i_{c\alpha p} \\ v_{s\beta} i_{c\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} i_{c\alpha q} \\ v_{s\beta} i_{c\beta q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{\alpha p} \\ p_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_{\alpha q} \\ p_{\beta q} \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.21)}$$

$$\begin{cases} p_{\alpha p} = \frac{v_{s\alpha}^2}{\Delta} p & p_{\alpha q} = -\frac{v_{s\alpha} v_{s\beta}}{\Delta} q \\ p_{\beta p} = \frac{v_{s\beta}^2}{\Delta} p & p_{\beta q} = \frac{v_{s\alpha} v_{s\beta}}{\Delta} q \end{cases} \quad \textbf{(II.22)}$$

Avec :

$p_{\alpha p}$: Puissance instantanée selon l'axe α .

$p_{\beta p}$: Puissance instantanée selon l'axe β .

$p_{\alpha q}$: Puissance instantanée selon l'axe α .

$p_{\beta q}$: Puissance instantanée selon l'axe β .

D'après les expressions (II.12), on peut écrive :

$$p = p_{\alpha p} + p_{\beta p} + p_{\alpha q} + p_{\beta q} = p_{\alpha p} + p_{\beta p} \quad \textbf{(II.23)}$$

L'analyse de l'équation (II.13) nous ramène aux conclusions suivantes :

La somme des puissances instantanées $p_{\alpha p}$ et $p_{\beta p}$ coïncide avec la puissance instantanée dans un circuit triphasé.

La puissance réactive correspond à la partie de la puissance instantanée qui dépend de *q*. Ces puissances $p_{\alpha q}$ et $p_{\beta q}$ s'annulent entre elles et elles n'apportent aucune contribution au transfert de puissance instantanée entre la source et la charge.

Dans le cas où les tensions sont sinusoïdales et alimentent une charge non linéaire, les puissances instantanées *p* et *q* ont pour expression :

$$\begin{aligned} p &= \bar{p} + \tilde{p} \\ q &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned} \quad \textbf{(II.24)}$$

Avec :

$\bar{p}$: Puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant.

$\bar{q}$: Puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant.

$\tilde{p}$ et $\tilde{q}$: Puissance alternatives liées à la somme des composantes harmoniques du courant.

En considérant les équations (II.8) et (II.14), nous pouvons séparer le courant dans le repère (α-β) en trois composantes active et réactive à la fréquence fondamentale et la somme des harmoniques. Ceci conduit à :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & \cdot v_{s\alpha} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \overline{p} \\ 0 \end{bmatrix}}_{Courant\ \ Actif} + \underbrace{\frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & \cdot v_{s\alpha} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ \overline{q} \end{bmatrix}}_{Courant\ \ Réactif} + \underbrace{\frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} v_{s\alpha} & -v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & \cdot v_{s\alpha} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{Courants\ \ Harmonique\ s} \quad \textbf{(II.25)}$$

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 figure (II.1).

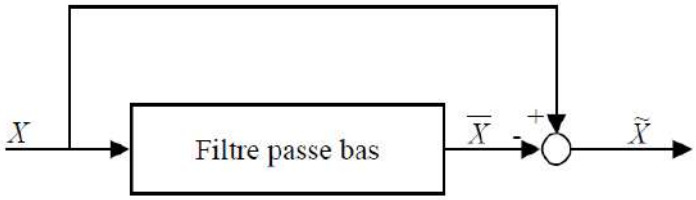


Figure. II. 1 *: Schéma de principe du filtre utilisé pour l'extraction des composantes alternatives de p et q.*

Les courant harmoniques triphasés i_{hk}^{*} (k=a,b,c) sont obtenues à partir des courants diphasés $i_{h\alpha}^{*}$ et $i_{h\beta}^{*}$ par la transformation inverse de Concordia soit :

$$\begin{bmatrix} i_{ha}^{*} \\ i_{hb}^{*} \\ i_{hc}^{*} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \sqrt{\frac{3}{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\sqrt{\frac{3}{2}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{h\alpha}^{*} \\ i_{h\beta}^{*} \end{bmatrix} \quad \textbf{(II.26)}$$

Si V et I_a représentent respectivement les valeurs efficaces de la tension et du courant fondamental et Φ_a, le déphasage entre eux, alors on peut écrire :

$$\begin{cases} \overline{p} = 3VI_{ca}\cos\Phi_a \\ \overline{q} = -3VI_{ca}\sin\Phi_a \end{cases} \quad \textbf{(II.27)}$$

Les termes $\overline{p}$ et $\overline{q}$ sont respectivement équivalents à la puissance active conventionnelle et à la puissance réactive conventionnelle.

De cette manière, éliminer les courants harmoniques revient à compenser les composantes alternatives $\tilde{p}$ et $\tilde{q}$. La suppression des courants réactifs revient à compenser la composante continue $\overline{q}$. [11]

3 .Méthode des composantes fondamentales Cf

Cette méthode proposée d'identification des courants perturbateurs se base sur le calcul de ceux de référence à partir des composantes fondamentales du courant de charge. On effet nous avons : [12]

$$I_{ch} = I_{cha} + I_{chr} + \sum I_{chh} \qquad \textbf{(II.28)}$$

avec :

- I_{ch} : le courant de la charge
- I_{cha} : le courant actif de la charge
- I_{chr} : le courant réactif de la charge
- $\sum I_{chh}$ les courants harmoniques actifs et réactifs de la charge.

Puisque on veut compenser le courant réactif et les courants harmoniques, il est nécessaire de conserver le courant actif de la charge lié à la puissance active donnée par la relation :

$$p_a = 3U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos\varphi \qquad \textbf{(II.29)}$$

avec un facteur de puissance cosφ =1.

Cette relation est vraie dans le cas où la tension au point de raccordement est sinusoïdale et équilibrée.

Dans ce cas le courant de source est donné par :

$$I_s = I_{cha} \qquad \textbf{(II.30)}$$

et les courants de référence sont donnés par :

$$I_{réf} = I_{ch} - I_s = I_{chr} + \sum I_{chh} - I_{rég} \qquad \textbf{(II.31)}$$

$I_{rég}$: le courant de régulation obtenue de la puissance p_{av}à la sortie du régulateur de la tension continue des onduleurs.[11]

La tension de source et la composante fondamentale du courant de charge sont en phase puisque cosφ=1, ils ont donc la même fréquence et la même séquence.

Les tensions sinusoïdales équilibrées $v_{a,b,c}$, mesurées en aval du FAS de l'UPQC sont divisées par leur amplitude Um , il reste donc que les parties sinusoïdales sans unité. En les multipliant par l'amplitude Im de la composante fondamentale nous obtenons I_{cha}

Im est définie par la décomposition du courant de charge en série de Fourier.

Le schéma global est représenté sur la figure(II.2):

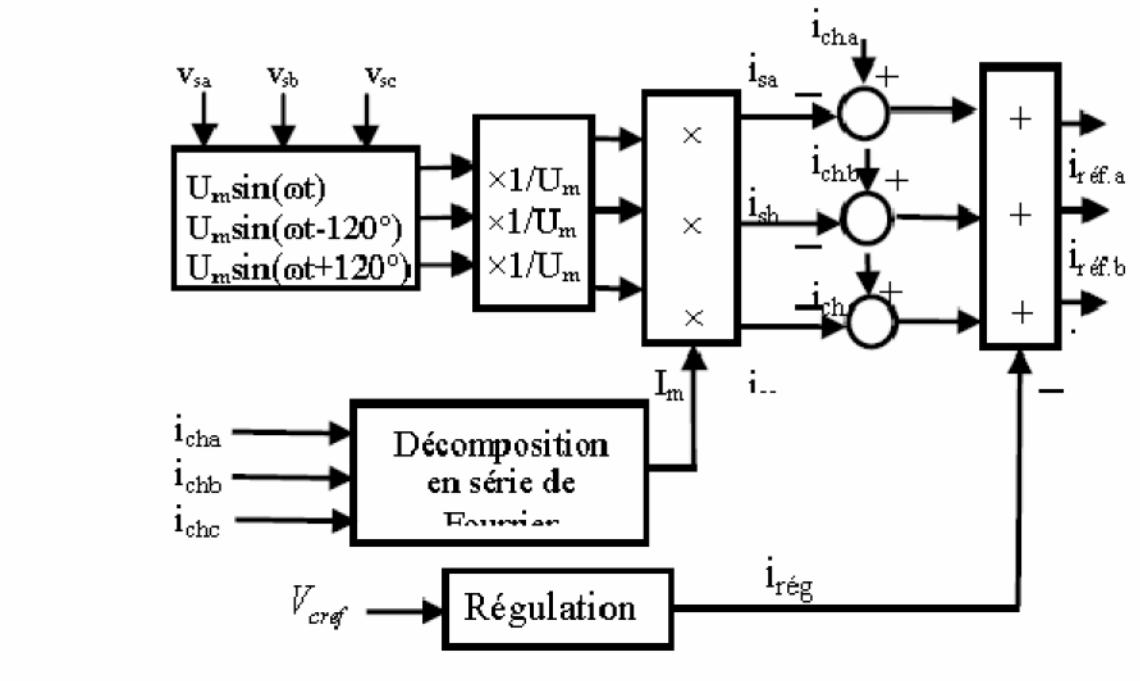


Figure II .2. *Schéma-bloc de l'algorithme des composantes fondamentales[12]*

Le schéma de la figure (II.3) illustre les différentes étapes permettant l'obtention des composantes harmoniques du courant d'une charge non linéaire[13].

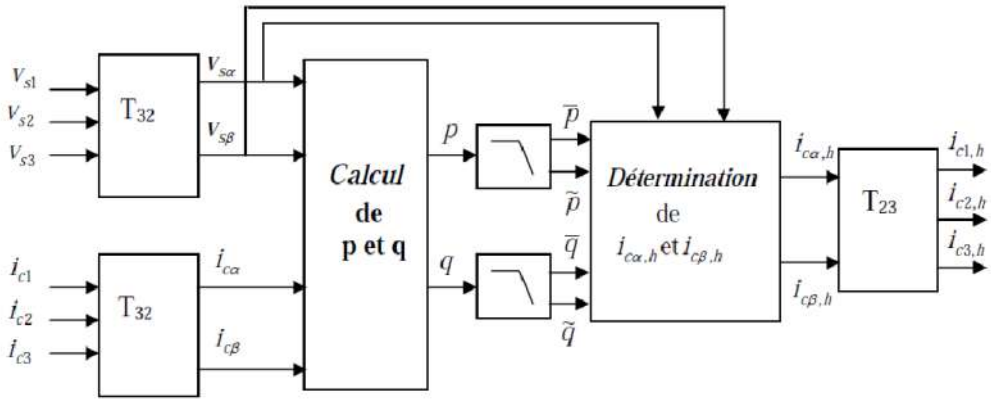


Figure. II. 3 *: Algorithme "p-q" d'extraction des courants harmoniques***.**

Le schéma de la figure (II.3) illustre les différentes étapes .La théorie P-Q présentée auparavant est valable

uniquement pour les systèmes triphasés dépourvus de composante homopolaire. L'extraction des courants des harmoniques dans des applications monophasée ne peut pas être réalisée par cette

méthode. Elle est applicable dans le cas où les tensions Vs1,2,3 sont déformées, à condition de filtrer les ondulations présentées sur le module du vecteur. $v_{s\alpha\beta}$; $\left(\sqrt{v_{s\alpha}^2 + v_{s\beta}^2}\right)$. *[9]*

4. Commande par régulateur PI

Le choix du régulateur du courant du filtre actif se fait en fonction des objectifs de régulation et de l'ordre du filtre de sortie. Deux régulateurs *PI* et *RST*, correspondant respectivement aux filtres de sortie du premier et du troisième ordre, ont été déjà proposés pour réguler le courant du filtre actif parallèle [14].

Dans ce chapitre et afin de réaliser les objectifs de régulation, que nous détaillerons plus loin, nous analyserons les problèmes, ainsi que les limites, de ces deux types de régulateurs : le régulateur *PI* et le régulateur *RST*.

4. 1. Structure de la boucle de régulation

De la figure (II.4), en négligeant les effets de la capacité Cf et des résistances du filtre de sortie sur le courant de référence I_{inj} (pour les harmoniques basses fréquences qui sont loin de la fréquence de commutation), nous pouvons écrire la relation suivante caractérisant le courant du filtre actif I_{inj} [14] :

$$L_f \frac{d}{dt}\vec{I}_{inj} = \vec{V}_f - \vec{V}_s \qquad \textbf{(II.32)}$$

Avec: $L_f = L_{f1} + L_{f2}$

Notons par $\Delta\vec{I}_f$ la différence entre le courant de référence et le courant mesuré à partir de la relation suivante :

$$\Delta\vec{I}_f = \vec{I}_{ref} - \vec{I}_{inj} \qquad \textbf{(II.33)}$$

Des équations (II.33), nous obtenons l'expression ci-dessous :

$$L_f \frac{d}{dt}\Delta\vec{I}_f = (\vec{V}_s + L_f \frac{d}{dt}\vec{I}_{ref}) - \vec{V}_f \qquad \textbf{(II.34)}$$

Le premier terme de la partie droite de la relation (II.34) peut être défini comme tension de référence ($V_{f\text{-}ref}$), ce qui nous donne l'expression suivante :

$$\vec{V}_{f-ref} = \vec{V}_s + L_f \frac{d}{dt}\vec{I}_{ref} \qquad \textbf{(II.35)}$$

L'écart entre $\vec{V}_{f-ref}$ et $\vec{V}_f$ produit alors une erreur sur le courant. Selon la relation (II. 24), la tension de référence est composée de deux termes à fréquences différentes. Le premier représente la tension du réseau V_S directement mesurable. Le second est égal à la chute de tension aux bornes de l'inductance L_f, lorsque celle-ci est traversée par un courant égal à celui de la référence. Ce terme doit être élaboré par un régulateur de courant, comme le montre la figure (II.4)[14].

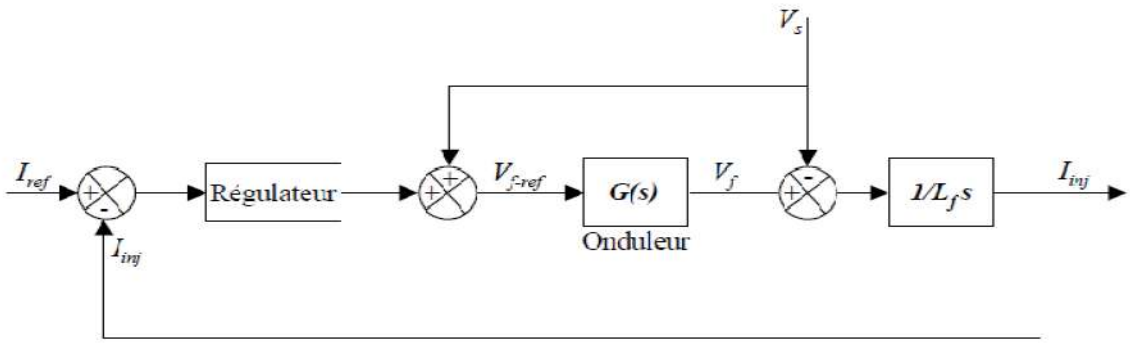


Figure .II. 4 *: Schéma de la régulation des courants du FAP*.

Dans ce schéma, *G(s)* représente l'onduleur qui peut être modélisé par la relation suivante [13]:

$$\mathbf{P}=\begin{cases} G(s) = K\frac{1}{1+\tau s} \\ K = \frac{V_{dc}}{2V_P} \end{cases} \qquad \textbf{(II.36)}$$

Avec V_{dc} la tension côté continu de l'onduleur, V_p l'amplitude de la porteuse triangulaire et (τ) représentant le retard causé par le calcul des courants perturbateurs.

Dans un premier temps, nous pourrons considérer le gain *K* comme étant égal à *1* dans le cas où $V_{dc} = 2V_p$. De plus, nous introduirons, dans la boucle de régulation du courant, un retard (τ) correspon dans à une période d'échantillonnage (T_e) : $\tau = T_e$ Ce retard correspond au temps de calcul, dû à une implantation numérique de la partie contrôle-commande du filtre actif parallèle. En effet, lors d'une implantation numérique, les ordres de commande envoyés sur l'onduleur ne peuvent être pris en compte qu'après une première période d'échantillonnage nécessaire à l'élaboration de ces derniers[14].

5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe d'identification des courants harmoniques par la méthode despuissances instantanés. La méthode de la théorie P Q à l'avantage d'être assez simple pour mettre en application sous forme analogique puisqu'elle a besoin seulement des opérations de multiplication, division et de filtrage simple. L'inconvénient le plus évident de la méthode P-Q est qu'elle s'exécute mal dans des conditions non équilibrés de tension d'alimentation, parce que l'algorithme suppose que les tensions d'alimentation sont équilibrées et sinusoïdales.

Chapitre III

Filtre actif parallèle série (UPQC)

1. Introduction

Afin d'améliorer la qualité de l'énergie électrique dans le réseau en as surant la disponibilité et la qualité de l'onde de tension et de courant, plusieurs solutions de dépollution des tension et de courant, plusieurs solutions de dépollution des réseaux électriques ont étés proposées dans la littérature. Celles qui répondent le mieux aux contraintes industrielles sont les compensateurs actifs shunts, série et la combinaison série shunt appelé conditionneur unifiée du réseau électrique (UPQC). Le compensateur actif shunt permet la compensation des courants harmoniques, réactifs et déséquilibrés. Le compensateur série peut compenser les tensions harmoniques, déséquilibrées, et les creux de tension...l'UPQC quant à lui, peut accomplir les fonctions des deux filtres actifs série et shunt, permettant ainsi la compensation de toutes les perturbations de courant et de tension existant sur le réseau.[15]

2. Structure Générale De L'UPQC

La structure générale de l'UPQC est composée de deux parties: filtre actif parallèle et filtre actif série comme le montre la Figure(I .1) Le filtre actif parallèle (FAP) est connecté en parallèle avec la charge non linéaire à travers une inductance Lf qui présente une valeur bien choisie car sa surdimensionnement peut provoquer une réponse lente du courant et le contraire peut provoquer des ondulations hautes fréquence qui affectent le réseau de distribution. Le but du FAP est d'éliminer les courants harmoniques absorbés par la charge et de compenser l'énergie réactive. Le filtre actif série (FAS) est connecté en série avec le réseau électrique via un filtre passe bas et un transformateur d'injection de tension. Le FAS compense les perturbations de la tension du réseau d'alimentation de façon que la tension aux bornes de la charge y reste insensible. L'élément de stockage est un condensateur C qui fournit la tension aux bornes des deux onduleurs du FAP et du FAS. Idéalement une fois chargée la tension continue au bus de couplage ne doit pas diminuer mais être limitée en raison de pertes de l'onduleur (la charge du condensateur se fait à travers le FAP). Le choix de la référence de la tension continue dépend de la quantité de la puissance réactive à injecter.[16]

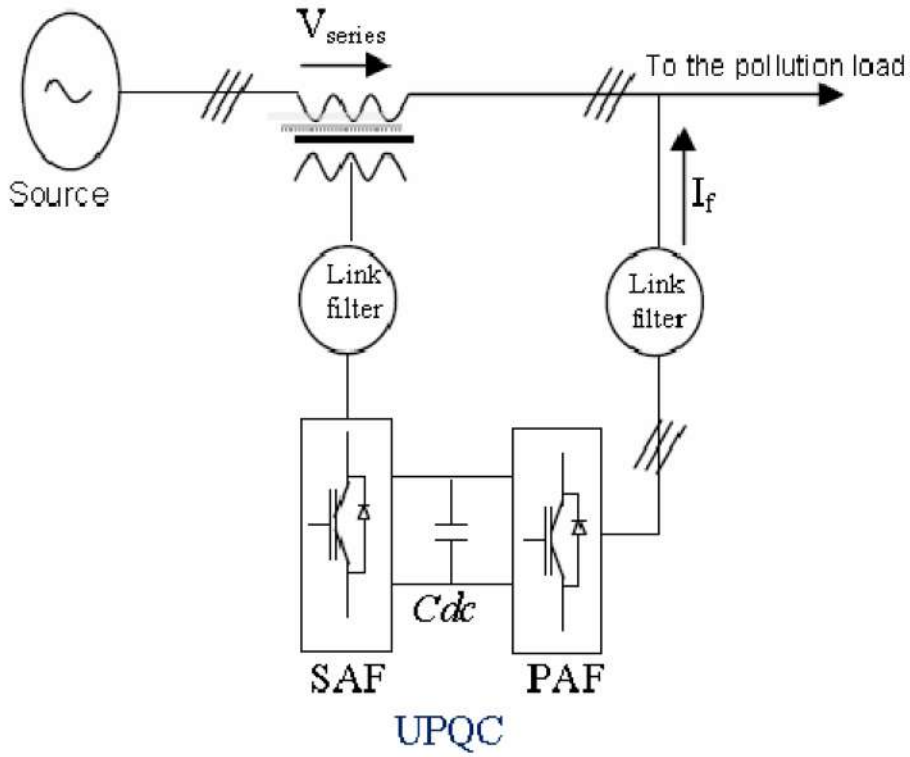


Figure III.1 . *générale configuration de l'UPQC[15]*

3 Partie puissance de l'upqc contient :.

3. 1 . Filtre de liaison:

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

***3. 2 . Transformateurs d'injection*:**

Permettre d'injection une tension en série avec la tension de réseau électrique en introduisant le taux de transformation souhaité à la tension produite par l'onduleur.

3. 3 . Circuit de stockage d'énergie:

Le stockage de l'énergie du côté continu se fait par un système de stockage capacitif représenté par un condensateur qui joue le rôle d'une source de tension continue.[15]

3. 4 .Convertisseur DC-AC(onduleurs)

L'onduleur de tension à deux niveaux, est constitué de trois bras indépendants, comprenant chacun deux interrupteurs. Chaque interrupteur comprend un transistor IGBT et d' une diode montée en antiparallèle. La tension fournie par un convertisseur DC-AC, varie instantanément de zéro à la valeur de la tension du bus continu et vice-versa, ce qui rend le convertisseur statique non linéaire du point de vue instantané.[17]

4. Structure générale de l'onduleur de tension deux niveaux

La structure générale d'un onduleur de tension deux niveaux est représentée sur la figure II.1. L'onduleur triphasé de tension deux niveaux est constitué de deux interrupteurs par bras. Ces derniers ont la particularité d'être bidirectionnels et entièrement commanda blés à l'ouverture et à la fermeture. Ils peuvent être soit des MOSFET pour les faibles puissances et fréquences très élevées, des IGBT pour les grandes puissances et fréquences élevées, ou des GTO pour les très grandes puissances et fréquences faibles.

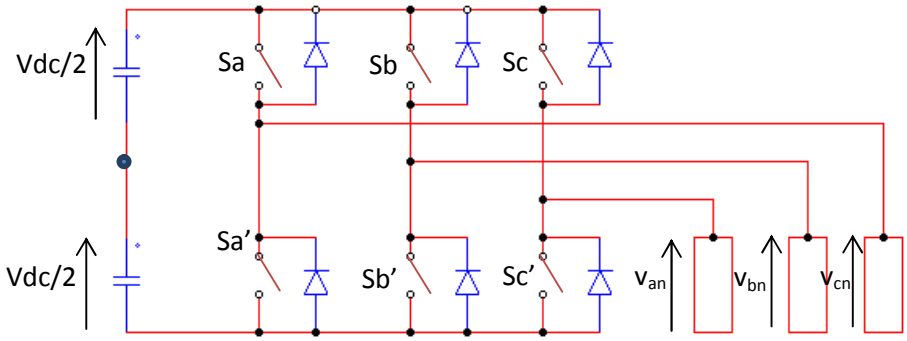


Figure.III.2. *Onduleur de tension deux niveaux*.**[3]**

5. Expression des tensions de sortie

L'onduleur de tension deux niveaux délivre, en sortie, deux niveaux de tensions $-v_{dc}/2$ et $+v_{dc}/2$, en fonction des états des interrupteurs comme expliqué dans le tableau (III.1).

Tableau III.1 : *Tension En fonction Des Etats des interrupteurs*

C_i	S_i	S'_i	V_i
-1	**0**	**1**	**-Vdc /2**
1	**1**	**0**	**+Vdc/2**

Avec:$i=a,b,c,C_i$ est la variable d'état de l'interrupteur prenant comme valeurs-1ou1.

On considère que tous les interrupteurs, toutes les phases (3), et tous les états possibles (2), on obtient 2^3combinaisons lesquelles sont présentées dans le Tableau III.2.

Les tensions entre phases sont données par :

$$\begin{cases} v_{ab} = v_{a0} - v_{b0} \\ v_{bc} = v_{a0} - v_{c0} \\ v_{ca} = v_{c0} - v_{a0} \end{cases} \quad \textbf{(III.37)}$$

Tableau III. 2 :*Tension pour toutes Les combinaisons possibles*

N°	Ca	Ca	Cc	Sa	Sa’	Sb	Sb’	Sc	Sc’	va0	Vb0	Vc0
1	-1	-1	-1	0	1	0	1	0	1	-Vdc/2	-Vdc/2	-Vdc/2
2	-1	-1	1	0	1	0	1	1	0	-Vdc/2	-Vdc/2	Vdc/2
3	-1	1	-1	0	1	1	0	0	1	-Vdc/2	Vdc/2	-Vdc/2
4	-1	1	1	0	1	1	0	1	0	-Vdc/2	Vdc/2	Vdc/2
5	1	-1	-1	1	0	0	1	0	1	Vdc/2	-Vdc/2	-Vdc/2
6	1	-1	1	1	0	0	1	1	0	Vdc/2	-Vdc/2	Vdc/2
7	1	1	-1	1	0	1	0	0	1	Vdc/2	Vdc/2	-Vdc/2
1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	Vdc/2	Vdc/2	Vdc/2

Si le système est équilibré, on a une somme nulle des tensions phase-neutre

$$v_{an}+v_{bn} = 0 \quad \textbf{(III.38)}$$

Les tensions phase-neutre seront données, en fonction des tensions entre phases, par:

$$\begin{cases} v_{an} = \left(\frac{1}{3}\right).(v_{ab} - v_{ca}) \\ v_{bn} = \left(\frac{1}{3}\right).(v_{bc} - v_{ab}) \\ v_{cn} = \left(\frac{1}{3}\right).(v_{ca} - v_{bc}) \end{cases} \quad \textbf{(III.39)}$$

6. Commande de l’onduleur

Le but de la commande de l’onduleur est de permettre la meilleure reproduction des courants perturbés de référence, à travers les ordres de commande appliqués aux drivers interrupteurs de puissance. Les deux principales familles de commande des convertisseurs statiques sont :

- la commande par hystérésis,

- la commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).

6.1.Commande par hystérésis

La commande par hystérésis, appelée aussi commande en tout ou rien, est une commande non linéaire qui utilise l'erreur existant entre le courant de référence et le courant produit par l'onduleur. L'erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis. Dès que l'erreur atteint la bande inférieure ou supérieure, un ordre de commande est envoyé de manière à rester à l'intérieur de la bande. La simplicité de la mise en œuvre, comme le montre la figure (II.2), est le principal atout de cette technique. En revanche, les commutations évoluant librement à l'intérieur de bande d'hystérésis, on ne peut maîtriser correctement le spectre haute fréquence dû aux fréquences de commutations. [12]

Afin de maîtrise des fréquences de commutation et de sa répercussion sur les interrupteurs, une autre stratégie de commande peut être proposée à savoir la commande par hystérésis modulée. Mais dans cette stratégie de commande résoudre ce fonctionnement avec une fréquence de commutation quasi fixe nous empêche de conserver l'avantage d'une rapidité illimitée obtenue par la commande par hystérésis. Problème de la, il est difficile de définir la largeur de la bande de l'hystérésis. De plus, le fonctionnement avec une fréquence de commutation quasi fixe nous empêche de conserver l'avantage d'une rapidité illimitée obtenue par la commande par hystérésis.[12]

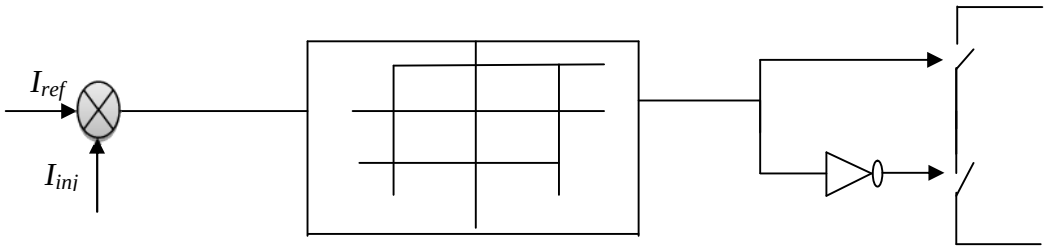


Figure. III.3 *: Principe de commande par hystérésis.*

6. 2. *Commande par modulation de largeur d'impulsion*

A fin de contourner les problèmes précédents, nous introduirons une deuxième famille de commande de l'onduleur: la commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI). La technique de commande par MLI résout le problème de la maîtrise de la

fréquence de commutation en fonctionnant avec une fréquence fixe facile à filtrer en aval de l'onduleur.

La plus simple et la plus connue des modulations de largeur d'impulsion est sans doute la MLI à échantillonnage naturel, dite MLI intersective. Cette technique de commandement en œuvre d'abord un régulateur qui détermine la tension de référence de l'onduleur (modulatrice) à partir de l'écart entre le courant mesuré et sa référence. Cette dernière est ensuite comparée avec un signal triangulaire (porteuse à fréquence élevée fixant la fréquence de commutation). La sortie du comparateur fournit l'ordre de commande des interrupteurs. Le schéma de principe est donné par la figure (III.4). [12]

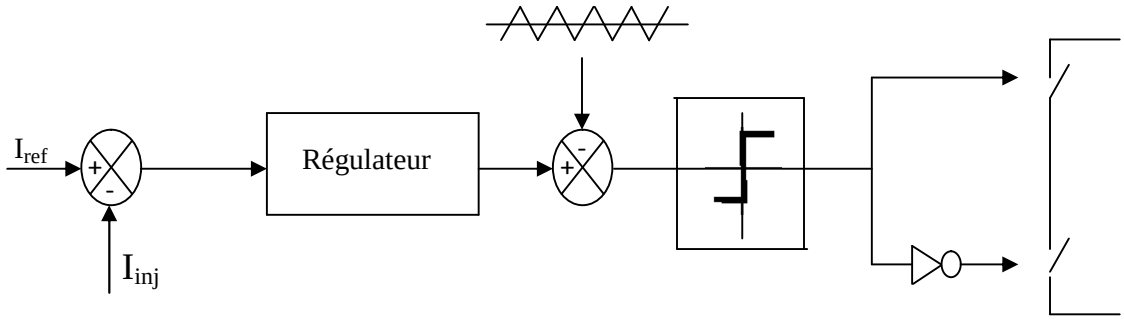


Figure. III.4 : *Principe de command*

6.3. *MLI à échantillonnage périodique*

La méthode d'échantillonnage périodique permet aux semi-conducteurs constituant le filtre actif de commuter durant les transitions d'une horloge à onde carrée et à fréquence fixe (fréquence d'échantillonnage). Comme illustré la figure (III.4), ce type de commande est très simple à implanter dans la mesure où il ne nécessite qu'un comparateur et une bascule D type flip-flop par phase. L'avantage principal de cette méthode est que le temps minimal entre les commutations est limité par la période d'échantillonnage de l'horloge. Cependant, la fréquence de commutation actuelle n'est pas clairement définie.[11]

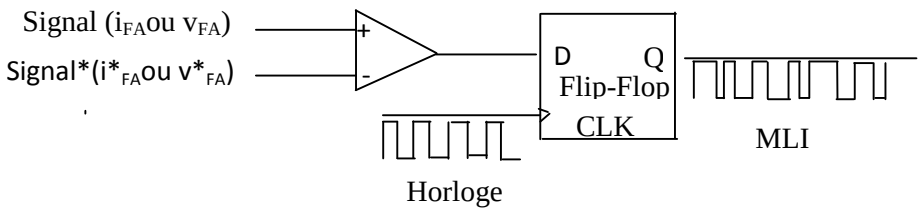


Figure.III. 5: *Modulateur MLI à échantillonnage périodique***.**

6.4. MLI à porteuse triangulaire

La méthode de la MLI à porteuse triangulaire, montrée dans la figure (I I I.6), compare l'erreur entre le signal (courant ou tension) et sa consigne avec une onde triangulaire (porteuse) d'une amplitude et d'une fréquence fixées. L'erreur passe par un correcteur Proportionnel-Intégral *PI* avant d'être comparée avec la porteuse triangulaire. En réalité, cette technique est un peu plus complexe que les deux précédentes. En effet, ce sont les deux coefficients k_p et k_i du correcteur *PI* qui permettent de déterminer la réponse transitoire et l'erreur du régime permanent de cette méthode à porteuse triangulaire. Il a été empiriquement montré que les k_p et k_i calculés par les équations (III.5) et (III.6) donnent une bonne Performance dynamique indifféremment sous des conditions transitoires ou permanentes [13].

$$k_p=\frac{L.\omega_c}{2Vdc} \qquad \textbf{(III.40)}$$

$$k_i=\omega_c.k_p \qquad \textbf{(III.41)}$$

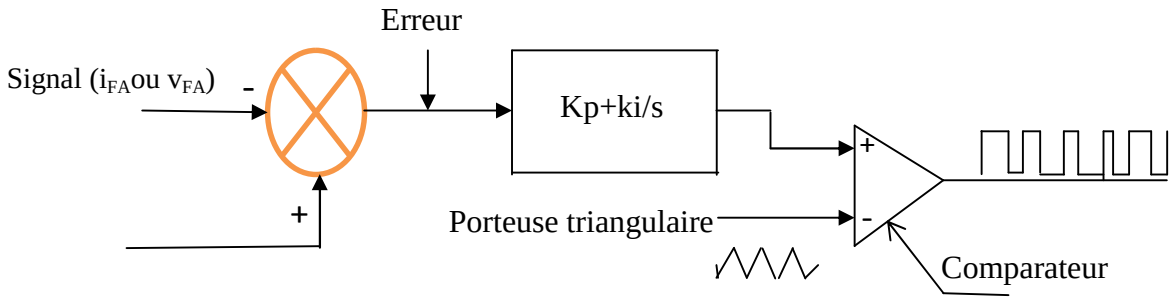


Figure.III.6: *Modulateur MLI à porteuse triangulaire.*

Avec:

L : inductance totale série vue par le filtre actif.

ω_C: fréquence de la porteuse triangulaire ayant une amplitude de 1V crête à crête .

V_{dc}: est la valeur moyenne de la tension du bus continu du filtre actif.

7.Commande de l'UPQC

.7. 1. Boucle de contrôle du filtre parallèle :

Si la grandeur asservie est le courant If fourni par le filtre actif parallèle, le schéma de contrôle représenté comme suit : [15]

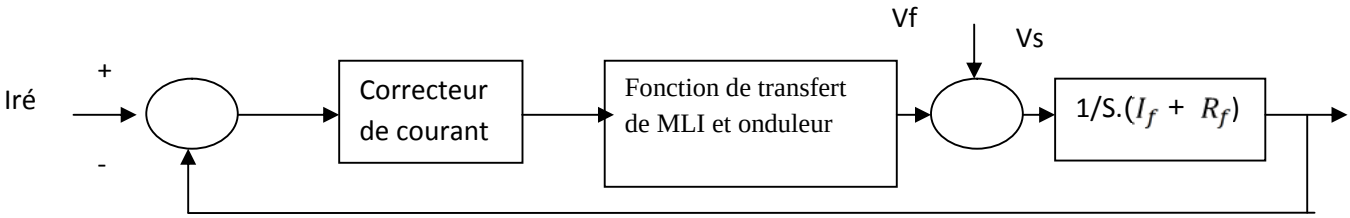


Figure III.7*.général configuration du UPQC*

7. *2. Boucle de contrôle du filtre série*:

Le filtre série est considéré comme étant un générateur de tension de compensation représenté comme suit : [15]

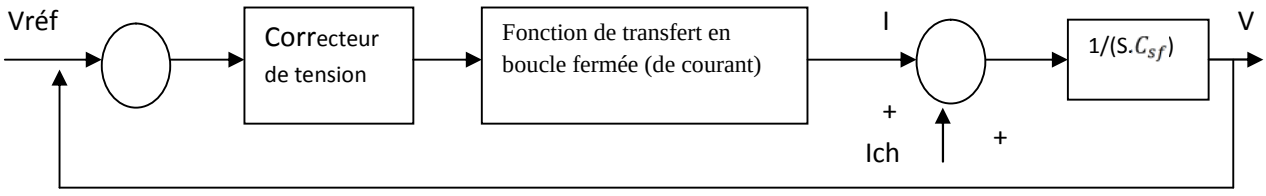


Figure III.8.*général configuration du UPQC*

***7.3. Boucles de contrôle du bus continu de l'onduleur**:*

Suite à un écart entre V²dcréf et V²dc comme montreur la Figure, la puissance à la sortie du régulateurs 'ajoute à la puissance active fluctuante et donne lieu à un courant fondamental actif corrigeant ainsi la tension.[15]

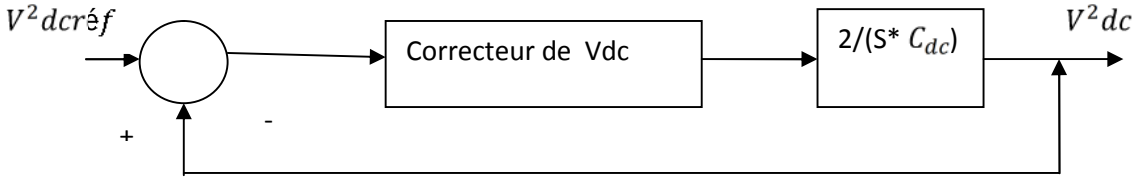


Figure III.9.*général configuration du UPQC*

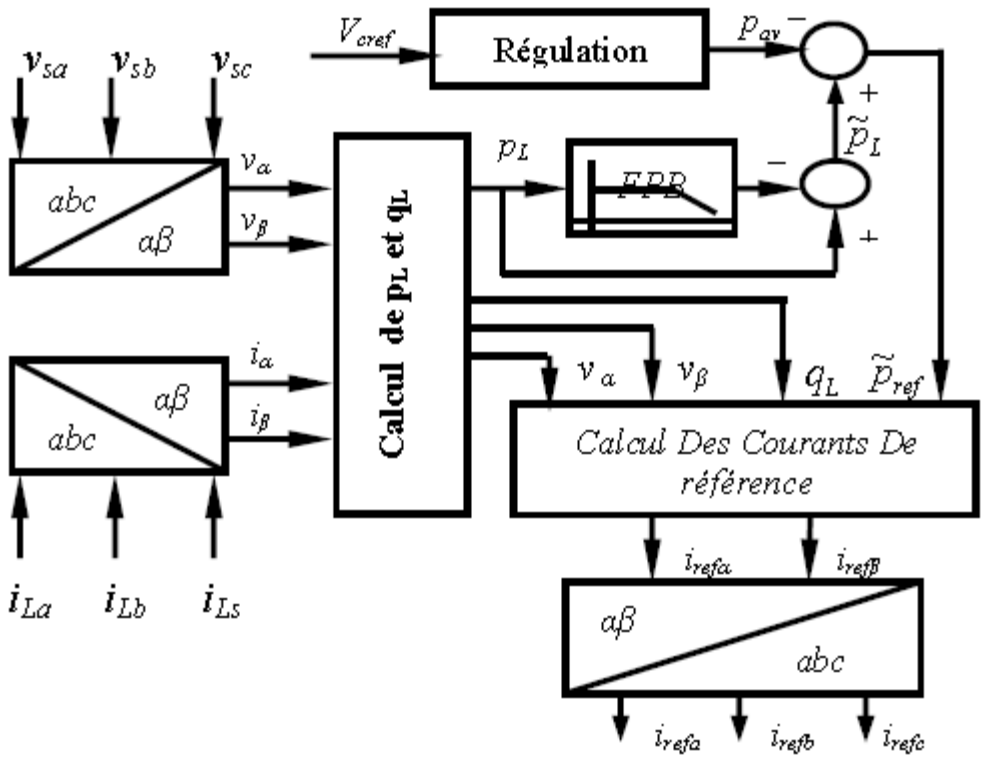


Figure III .10. *Schéma-bloc de l'algorithme de la puissance réactive instantanée[16]*

8. Régulation De La Tension Continue

Le schéma de régulation de la tension continue par un correcteur de type PI classique est illustré par la figure suivante :

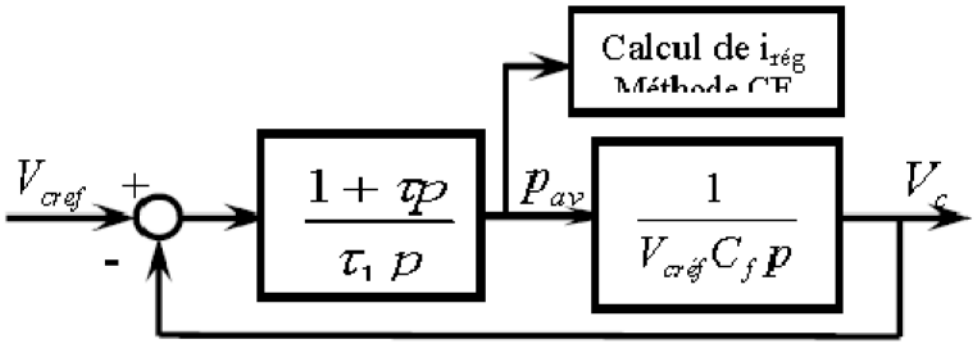


Figure III .11.*Boucle de régulation de la tension continue[16]*

9. Discussion Des Résulta

D'après les résultats obtenus par la simulation faite sous les mêmes conditions de l'UPQC suivant les deux cas proposés , avec la méthode proposée des composantes fondamentales CF et la méthode PQ connue dans ce domaine, nous avons constaté que dans le premier cas l'UPQC dont la partie shunt est commandée par la méthode CF a donné des résultats satisfaisants et légèrement mieux que ceux de la méthode PQ comme nous montre la Table 1. Et pour le 2ème cas les deux méthodes donnent les même résultats.[16]

10. Conclusions

Dans ce papier nous avons étudié l'UPQC dont la partie shunt commandée par une nouvelle méthode d'identification des courants perturbateurs CF comparée avec la méthode PQ. Cette étude a montrée que l'UPQC dans le cas général a donné des résultats satisfaisants et a pu améliorer la qualité d'énergie électrique. En particulier la méthode des composantes fondamentales CF proposée a donné des résultats très satisfaisants et est adaptable et faisable. Il reste à signaler que cette méthode est simple et parait d'un point de vue pratique facile à réaliser et moins couteuse. Seulement, elle exige la compensation des courants réactifs, puisqu'elle se base sur la supposition que le facteur de puissance doit être égal à l'unité. Cette hypothèse est un avantage pour dépolluer les réseaux électriques, puisque la consommation de la puissance réactive dégrade la qualité de l'énergie électrique. En plus cette méthode d'identification des courants perturbateurs n'utilise pas des filtres passifs.

Chapitre IV

Simulation

1. Introduction

Après avoir étudié les différentes topologies, algorithmes de détection des grandeurs harmoniques de référence, les stratégies de commande et de régulation des filtres actifs dans les trois chapitres précédents, nous allons présenter ici quelques unes de leurs application ainsi que leur simulation sous Matlab-Simulink, selon les étapes:

♣ étape 1: où on montrera l'allure du courant dans la source avant application detoute opération de filtrage, son spectre harmonique contenant les informations sur le THDi et sa position angulaire par rapport à la tension de source .

♣ étape 2: consacrée à l'étude de la configuration parallèle, pour deux topologies d'onduleurs de tension (deux niveaux) ; on y exposera les circuits de puissance et de commande ainsi que le dimensionnement des condensateurs et du filtre de sortie ;

♣ Étape 3: idem mais pour la configuration série ;

♣ Étape 4: synthétise les résultats précédents par une étude comparative entre les différents

♣ Étape 4 : synthétise les résultats précédents d'UPQC de filtre parallèle et série de simulation.

Mais auparavant, nous allons rassembler les paramètres communs aux différents modèles dans le Tableau IV.1 ci-dessous.

Tableau IV.1. *Paramètres de simulation du 1^{er} modèle*

Paramètres	Valeurs numériques
Tension efficace Es	230V
Fréquence f	50Hz
Resistance de ligene Rs	0,25 mΩ
Inductance de la ligene Ls	19,4mH
Angele de retard à l'amorçage α	0
Resistance de charge Dc R	6,7Ω
Inductance de charge Dc L	25mH

2. Caractéristiques du courant de source avant filtrage actif

Les graphes du courant de source avant application du filtrage actif sont représentés Fig. IV.2, IV.3 et IV.4. On constate une distorsion symétrique du courant *i* par rapport au point de demi période (Fig. IV.1), ce qui signifie que les harmoniques multiples de 2 et 3 sont inexistants dans le spectre de *i* et que seuls ceux de rang ($6h \pm 1$) sont présents; ceci est Confirmé par le spectre de *i* (Fig. IV.3) représentant les 25 premiers harmoniques les plus Significatifs, avec un THDi de 14 .87 % pour une durée d'observation de 0.1 s.

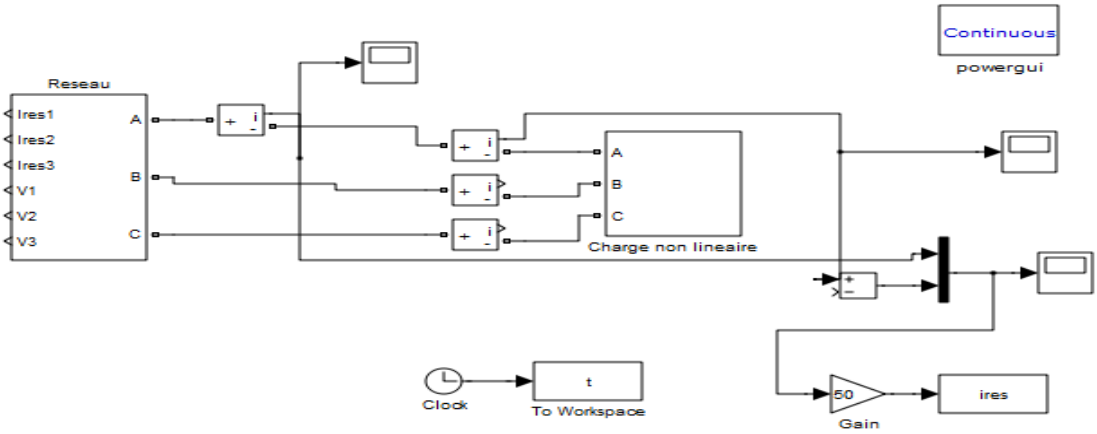


Figure IV .1 *: blocs diagramme sans filtrage*

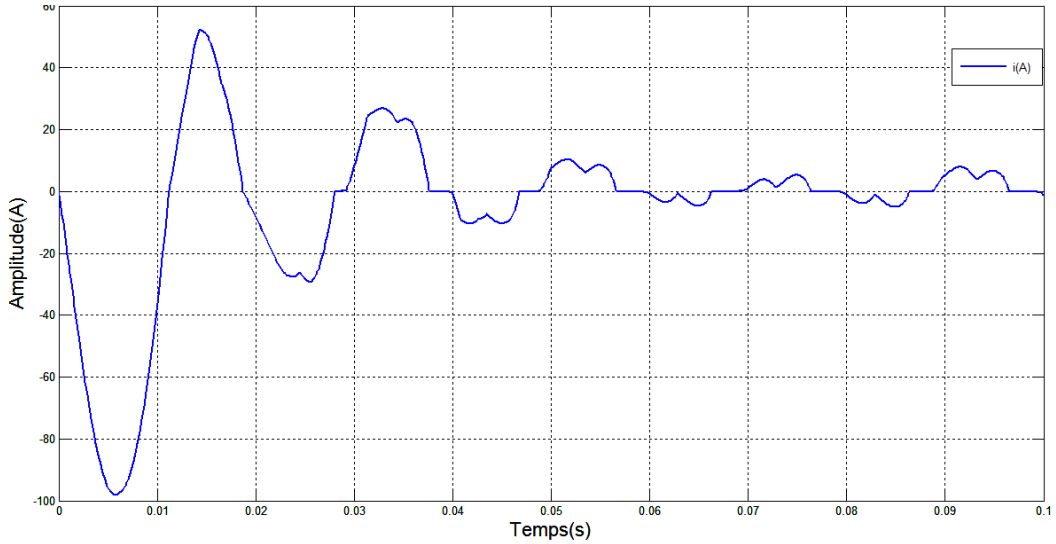


Figure. IV.2. *Allure de i avant filtrage actif.*

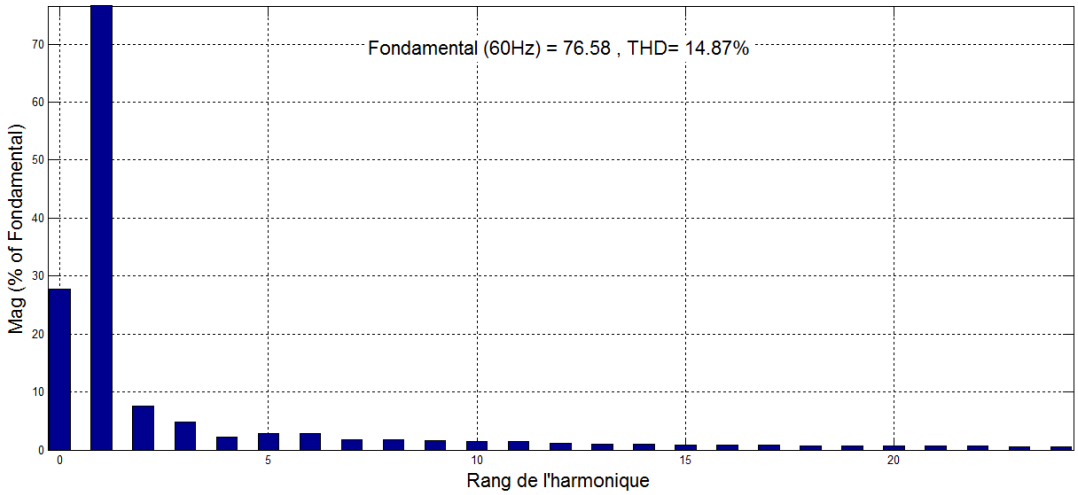


Figure. IV.3. *Spectre harmonique de i.*

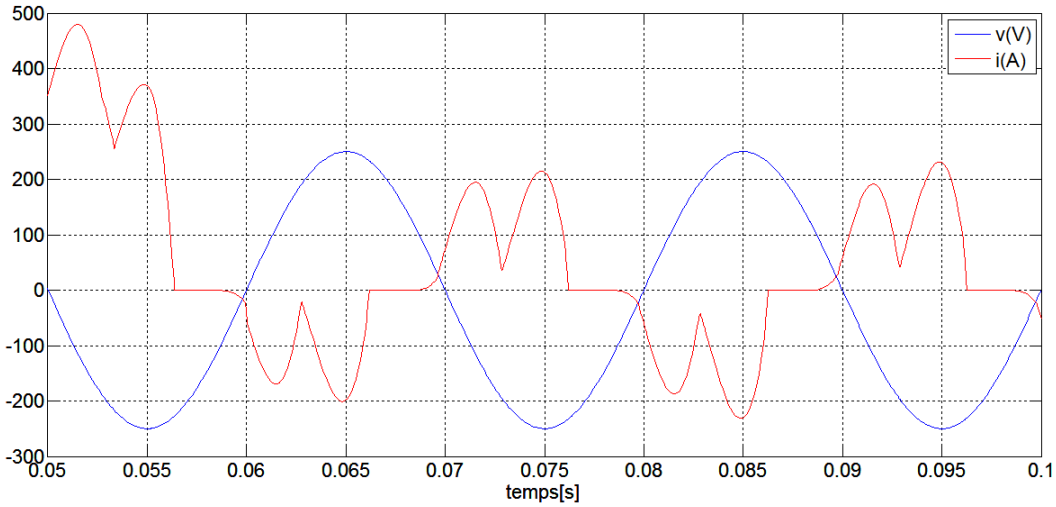


Figure. IV.4. *Courant i déphasé de la tension v*

2.1. Filtrage actif parallèle par un onduleur de tension deux niveaux

2.1.1. Circuit de puissance

Le circuit de puissance d'un filtre actif parallèle, à base d'un onduleur de tension deux Niveaux à IGBT, placé entre un réseau triphasé et une charge non-linéaire polluante en pont de Graëtz à 6 thyristors, est représenté ci-dessous Fig. IV.6

Avec:

i, courant de la source d'alimentation

v, tension au point de raccordement commun

vFA, *iFA*, *LFA*, tension, courant et inductance du filtre actif

ic, L_F, i_{dc}, courant, inductance amont et courant aval au pont de Graëtz constituant la charge polluante.

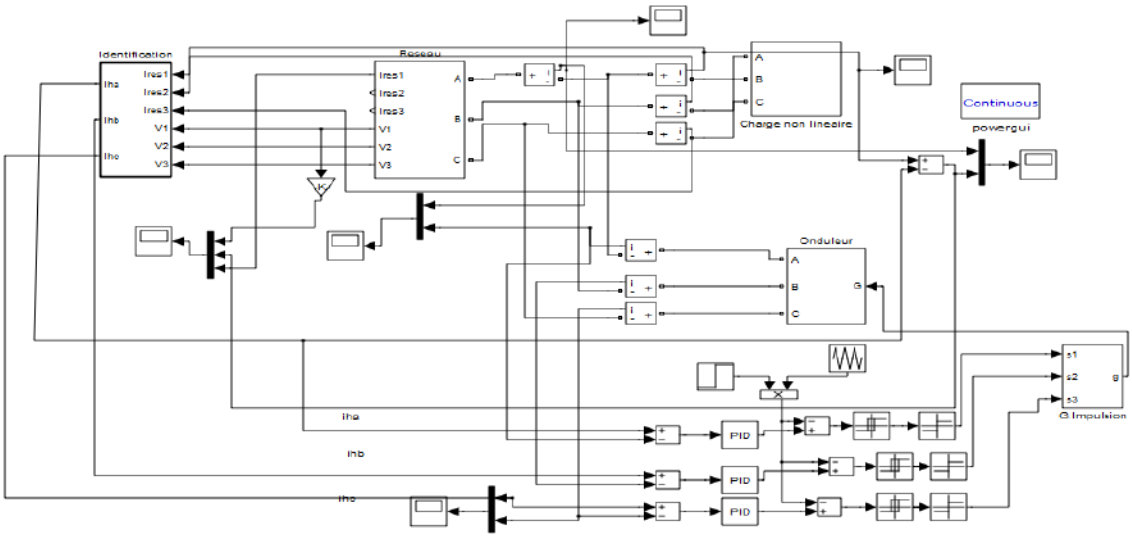


Figure. IV.5. *Circuit de puissance du filtre actif parallèle deux niveaux proposé.*

2.1.2. Circuit de commande

Le circuit de commande est, en général, réparti en trois blocs distincts:

♣ Bloc de détection des courants de référence ;

♣ Bloc de génération des impulsions (commande proprement dite),

♣ Bloc de régulation de la tension continue v_{dc}.

Cette application est dépourvue du 3ème bloc dans la mesure où l'on a considéré une source de tension continue produisant v_{dc}.

2.1.3. Dimensionnement des condensateurs

Afin de dimensionner le(s) condensateur(s) alimentant le filtre actif, différentes approches ont été proposées . En réalité, les changements transitoires dans la puissance instantanée absorbée par la charge provoquent des fluctuations dans la tension v_{dc} aux bornes du (des) condensateur(s). L'amplitude de cette fluctuation peut être contrôlée par un choix judicieux de la valeur du condensateur. La surtension maximale que peut subir le condensateur est donnée par :

$$vdc_{max} = \frac{1}{c} \cdot \int_{\left(\frac{\theta 1}{\omega}\right)}^{\left(\frac{\theta 2}{\omega}\right)} idc(t)\, d(t) + vdc \qquad \textbf{(IV.42)}$$

Avec: $\theta 1$, $\theta 2$ étant deux angles appartenant à l'intervalle [0,2π], et ω étant la pulsation du réseau (ω = 2.π.*f*, par ex. *f* = 50 Hz).

La capacité du condensateur *C* s'exprimera ainsi:

$$C=\frac{1}{\Delta vdc}.\int_{\left(\frac{\theta 1}{\omega}\right)}^{\left(\frac{\theta 2}{\omega}\right)} idc(t)\, d(t) \qquad \textbf{(IV.43)}$$

La valeur moyenne du courant *idc* absorbé par le condensateur est donnée par [61]:

$$\int_{\left(\frac{\theta 1}{\omega}\right)}^{\left(\frac{\theta 2}{\omega}\right)} idc(t)\, d(t) = \int_{\left(\frac{\theta 1}{\omega}\right)}^{\left(\frac{\theta 2}{\omega}\right)} [\sin(\omega t) + \sin(\omega t + 2\pi/3)]\, dt \qquad \textbf{(IV.44)}$$

I_{FAm} étant l'amplitude max du courant i_{FA}. Si on prend $\theta 1 = 0$ et $\theta 2 = \pi/6$ rad, la capacité du condensateur sera alors formulée par:

$$C=\frac{I_{FA}}{2.\Delta vdc.\omega} \qquad \textbf{(IV.45)}$$

A titre indicatif, avec une fluctuation Δv_{dc} de 5 %. *Vdc*, telle que *Vdc* = 840 V, et un courant maximal I_{FA} de 40 A, la valeur numérique de *C* est 1520 µF.

L'approche de considère la fréquence de commutation au niveau de la capacité d'expression :

$$C=\frac{12I_{FA}}{2.\Delta vdc.\pi.\omega s} \qquad \textbf{(IV.46)}$$

fs étant la fréquence de commutation ($\omega s = 2.\pi.fs$).

Dans ce cas, avec I_{FA} = 40 A, V_{dc} = 840 V, Δv_{dc} = 5 %.V_{dc}, *fs* = 23.5 kHz, *C* sera égale à 24.66 µF:

Une autre approche, exposée dans la référence détermine la valeur du condensateur à partir de l'ondulation de la tension continue à ses bornes:

$$\Delta vdc_{ondulation}=\frac{Idc_{ondulation}}{C.\omega} \qquad \textbf{(IV.47)}$$

2.1.4. Dimensionnement du filtre de sortie

A la sortie du filtre actif, et en vue d'absorber les harmoniques hautes fréquences dues aux commutations de l'onduleur, on insère un filtre passif. Dans la Fig. IV.4, on a utilisé une Inductance L_{FA}. Le dimensionnement de L_{FA} est réalisé avec la contrainte que pour une Fréquence de commutation donnée, la pente du courant *i* est plus petite que celle d'une Porteuse triangulaire (dans le cas d'une commande intersective) définissant cette fréquence de Commutation. La pente de la porteuse triangulaire 'χ' est définie par

$$\chi = 4.\varepsilon.fs \qquad \textbf{(IV.48)}$$

Telle que: ε est l'amplitude de l'onde triangulaire, *fs*, est la fréquence de commutation des interrupteurs du filtre actif.

La pente maximale de i_{FA}, conformément à la Figure. IV.4, dans le cas d'un filtre actif à point milieu, est donnée par:

$$\frac{di_{FA}}{dt} = \frac{0.5Vdc+V_{sm}}{L_{FA}} \qquad \textbf{(IV.48)}$$

D'où une valeur de L_{FA} estimée à:

$$L_{FA} = \frac{0.5Vdc+V_{sm}}{4.\varepsilon.fs} \qquad \textbf{(IV.49)}$$

Dans ce cas, avec V_{dc} = 840 V, *Vsm* = 2 .230 V, ε = 1 et *fs* = 23.5 kHz, *LFA* = 1.26 mH:

Une autre approche est celle proposée dans la référence, *LFA* peut être dimensionnée en fonction de l'harmonique dominant de v_{FA}, le but étant de limiter l'amplitude de l'harmonique dominant de i_{FA}. Ainsi, l'expression de L_{FA} est définie comme suit:

- on détermine d'abord les valeurs de base de l'impédance Z_{FA} en [Ω] et celle de l'inductance en [H] ;

- on recalcule ensuite la valeur de l'inductance en pu comme suit:

$$L_{FA} = \frac{V_{hd}}{hd.I_{hd}} \quad \textbf{[Pu]} \qquad \textbf{(IV.50)}$$

telle que:

V_{hd} et I_{hd} représentent respectivement le rang, l'amplitude de tension et l'amplitude du courant de l'harmonique dominant.

- on convertie enfin la valeur en pu de L_{FA} en [H].

3. Résultats de simulation sous Matlab-Simulink

***3.1.* Paramètres de la simulation**

Pour la simulation du modèle de la Fig IV.5 sous *Matlab-Simulink* . On va se contenter de l'étude du courant et de la tensionSeulement dans la phase *a*, sachant que ceux des deux autres phases sont retardés par rapport à la phase *a* de 120° et 240 ° respectivement.

3. 2. Résultats de simulation

A. Courant de source après filtrage actif parallèle sans insertion de LF

Après application du filtre actif parallèle proposé, on enregistre une nette amélioration dans L'allure de *i*, comme illustré Fig. IV.7. Donc, *i* a été dépollué à un niveau assez satisfaisant, ceci est conforté par le spectre harmonique de la Fig. IV.7, avec un THDi de 4,91

% durant 0.1 s.

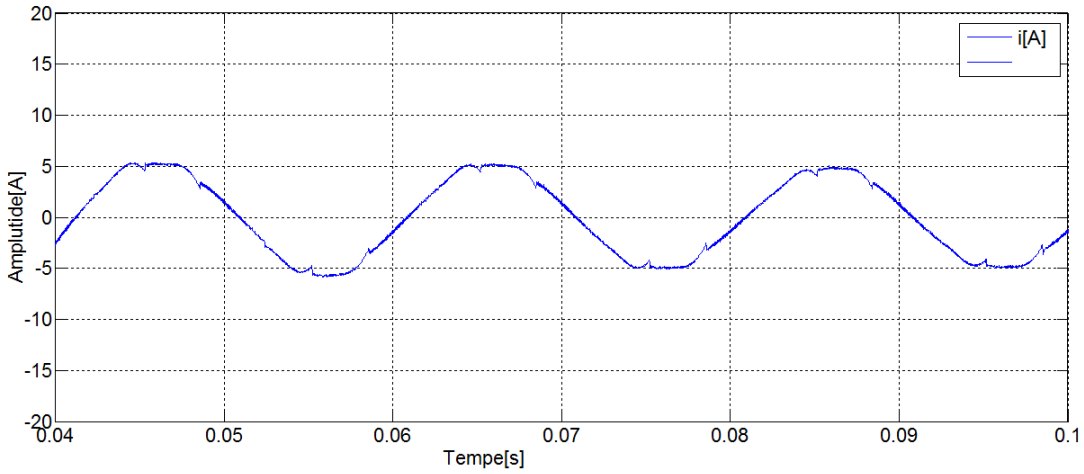


Figure. IV.6. *Allure de i après filtrage actif deux niveaux.*

Cependant, un THDi > 5 % reste inacceptable conformément aux normes internationales. En effet, on constate des déformations dans l'onde du courant de source. Ces dernières se situent spécialement au niveau des intersections de *i* (courant absorbé par la charge nonlinéaire) avec i_{FA} pour des valeurs non nulles de ces deux courants (Fig. IV.8), *c.-à-d.* lorsque i_{FA} change de sens de progression (montée → descente ou descente → montée), plus

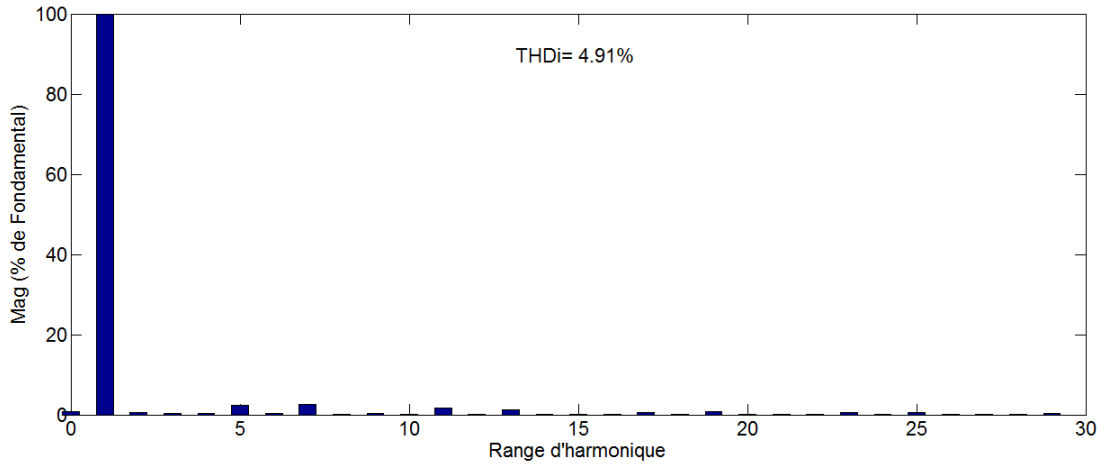


Figure. IV.7. *Spectre harmonique de i*

4.Résultats de simulation UPQC

Les différentes parties de l'UPQC sont modélisées et simulées sous MATLAB-SIMULINK avec les caractéristiques suivantes :

- La Tension continue et de valeur Vc=230V

- La charge est non linéaire équilibrée: un convertisseur AC/DC PD3 à diodes alimentant une charge de résistance R=10/3 Ω et d'inductance L= 60.10-3H. L'intervalle de temps considéré est pris en seconde. Nous avons fait la simulation suivant deux cas de perturbations afin de bien évaluer les résultats et de pouvoir comparer les performances des deux méthodes de

1. Méthode de Puissances instantanées active et réactive .
2 .Méthode des composantes fondamentales Cf .

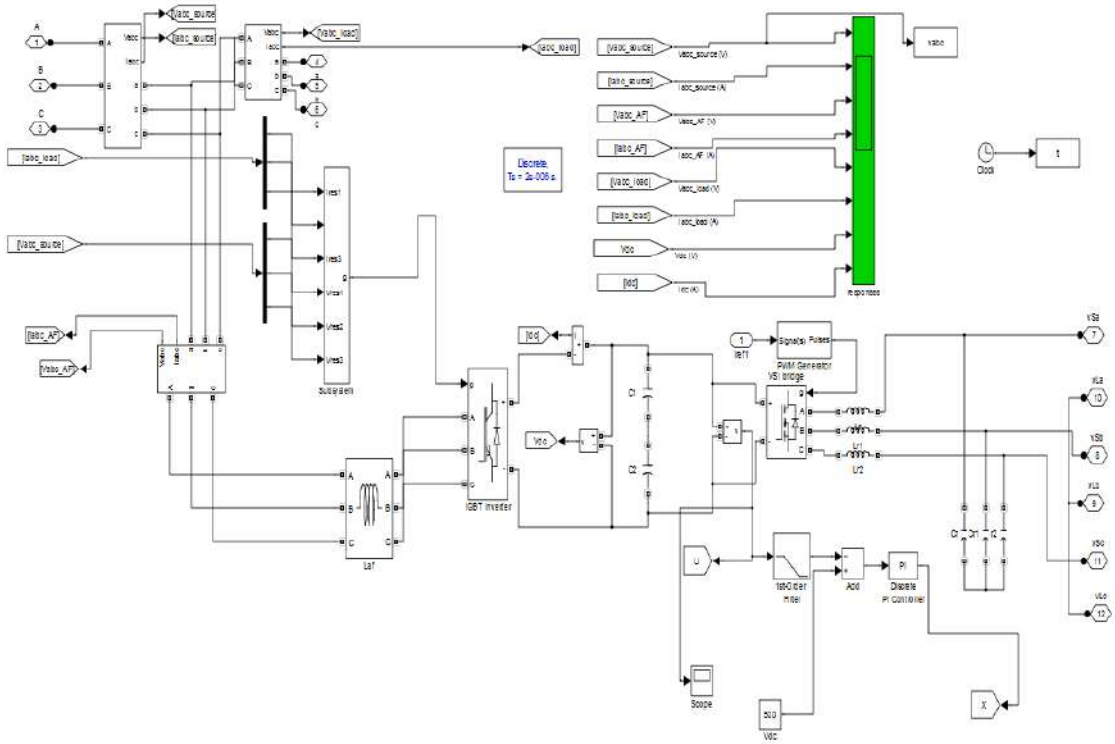


Figure IV . 8 *: blocs diagramme shunt active harmonic filter*

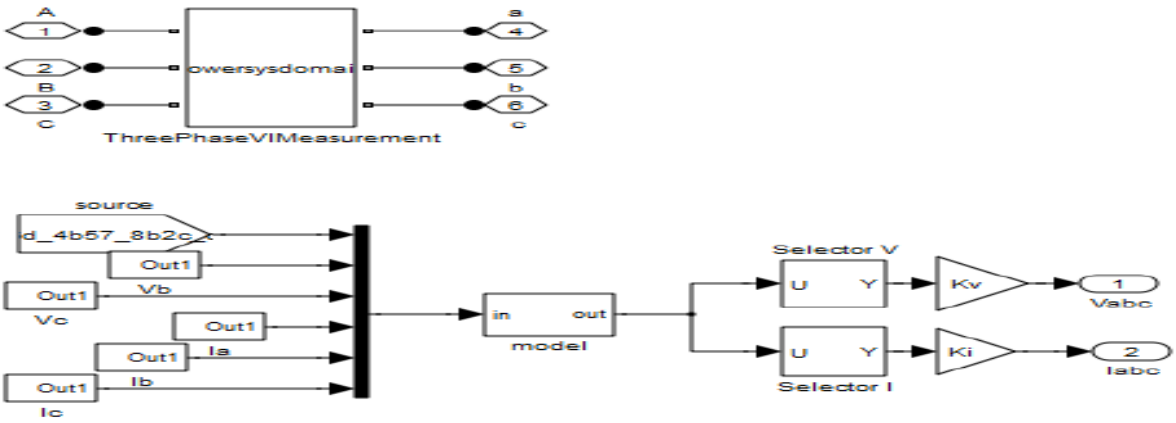
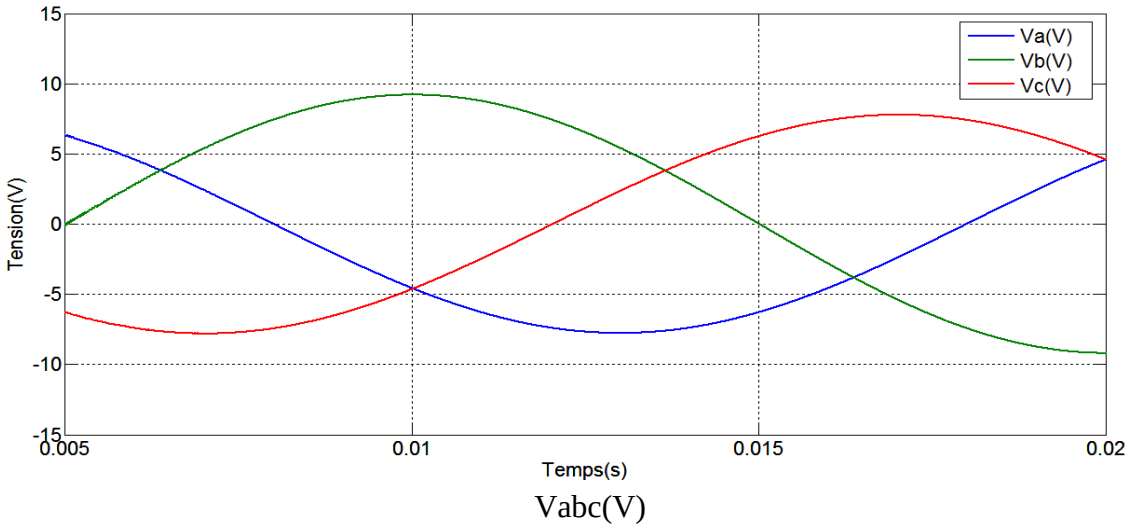
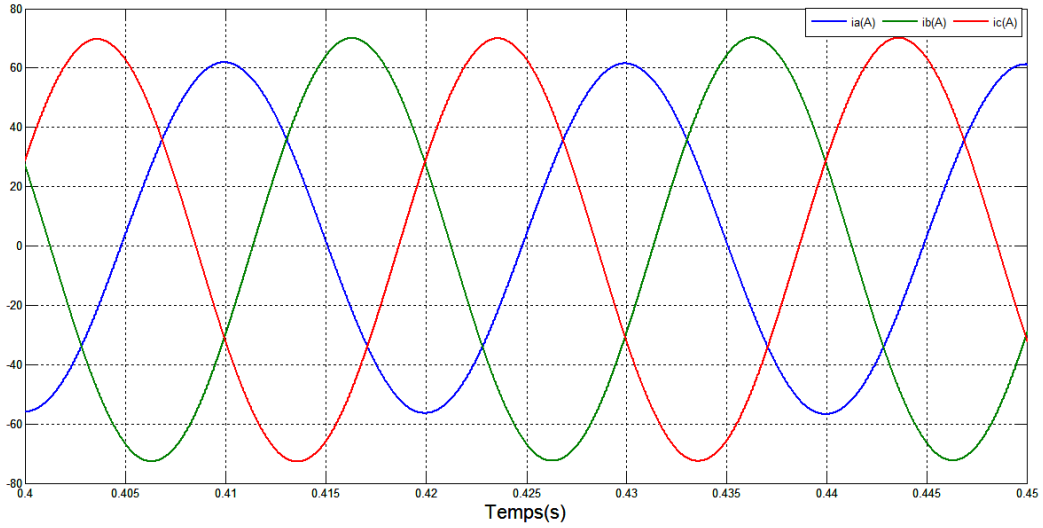


Figure IV. 9 *: blocs diagramme de la source*



Vabc(V)

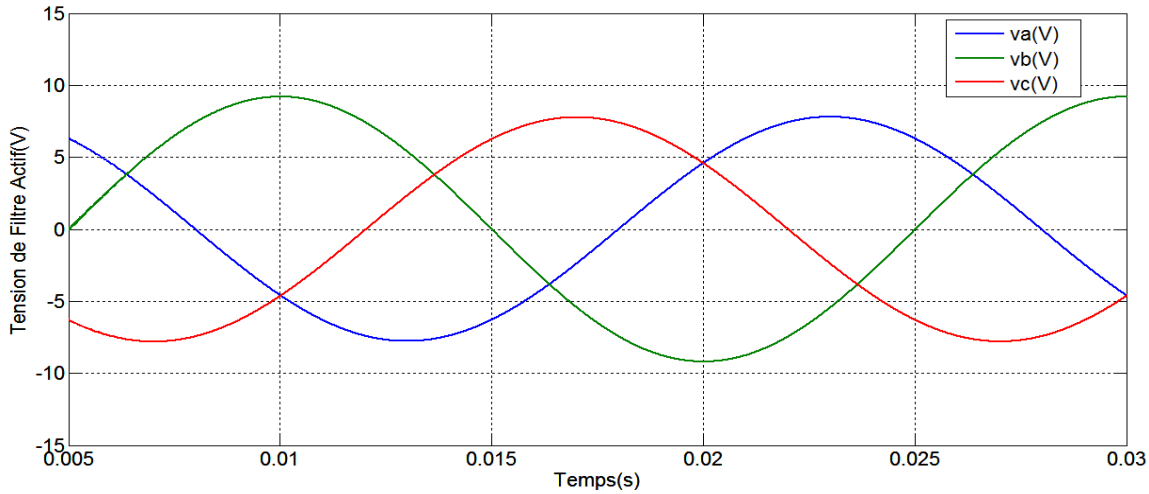
Figure .IV 10.*Formes de tension* Vabc(V) *de source (trois phase)*



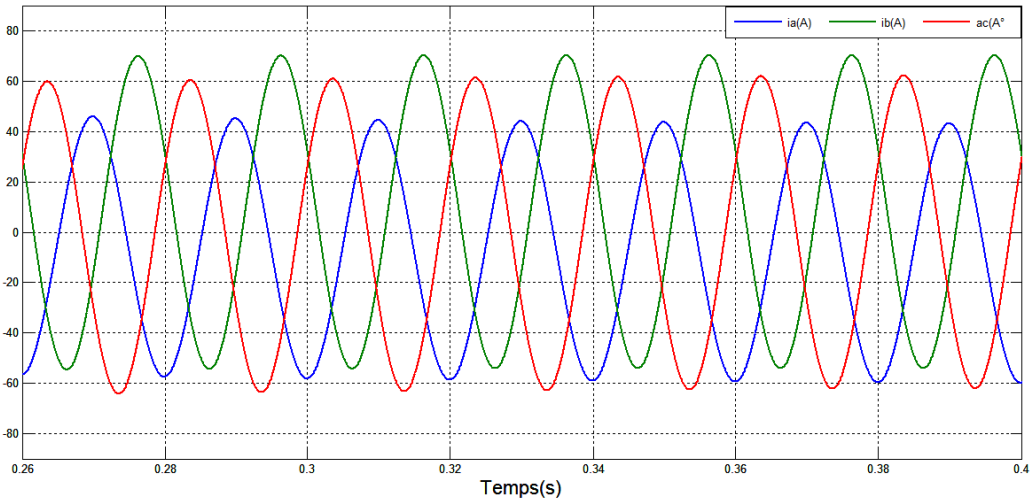
iabc

Figu

re .IV 10.*Formes de courant* iabc *de source (trois phase)*

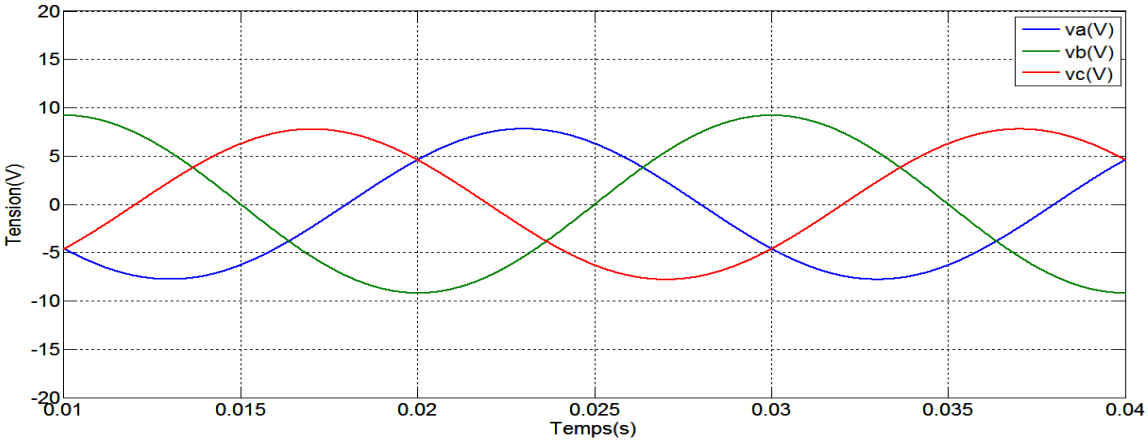


Vabc AF(V)

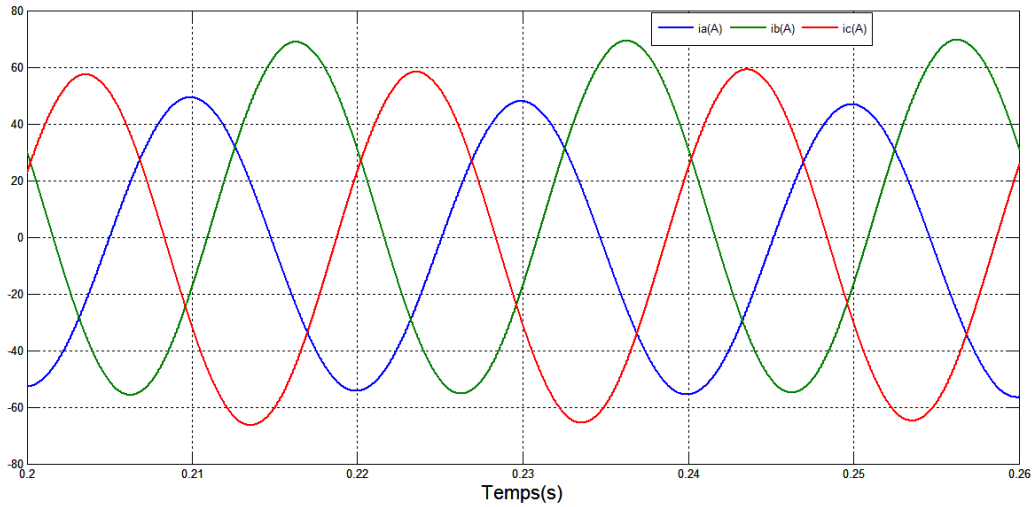


iabc AF

Figure .IV . 11.*Formes de tension de AF(trois phase)*

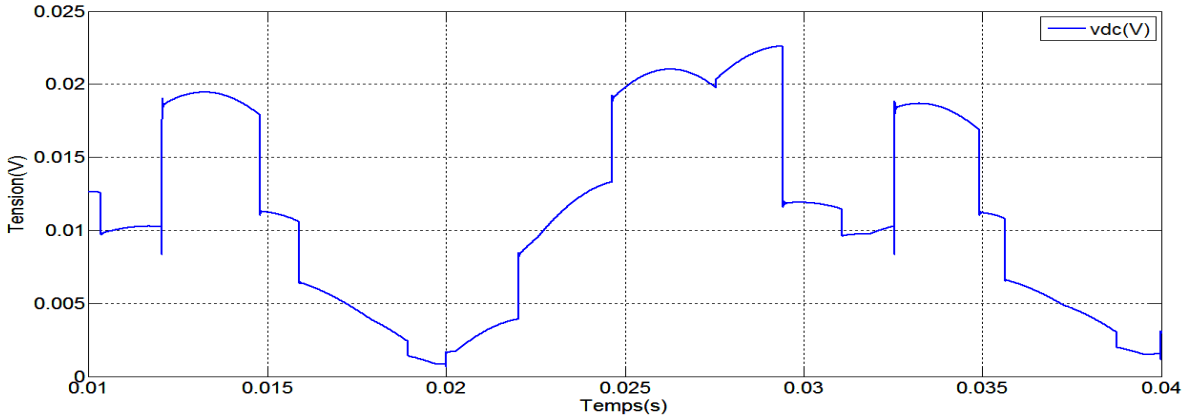


Vabc



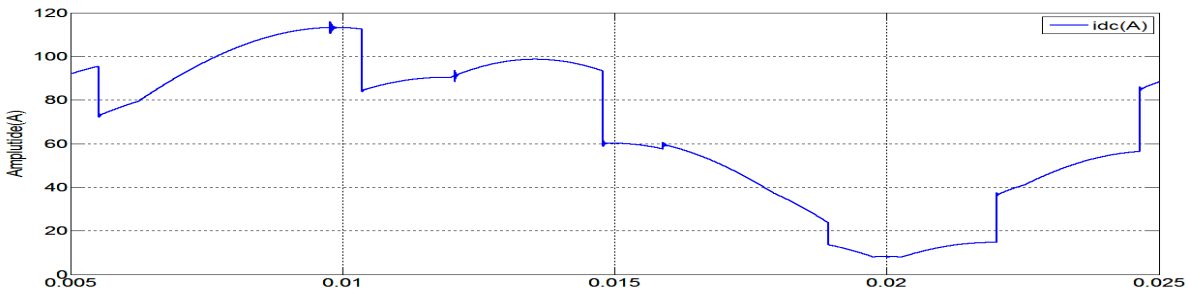
iabc

Figure .IV. 12.*Formes de tension de la charge(trois phase)*



Vdc

Figure .IV. 13.*Formes de tension*



Idc

Figure .V .14.*Formes de courant*

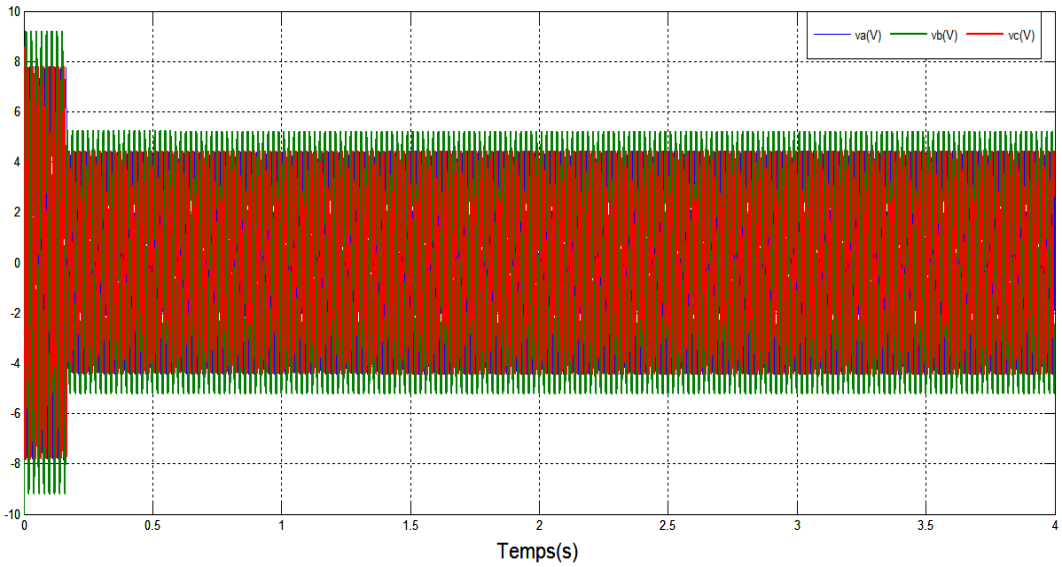


Figure .V. 15.*Variation de tonsion de source (trois phase)*

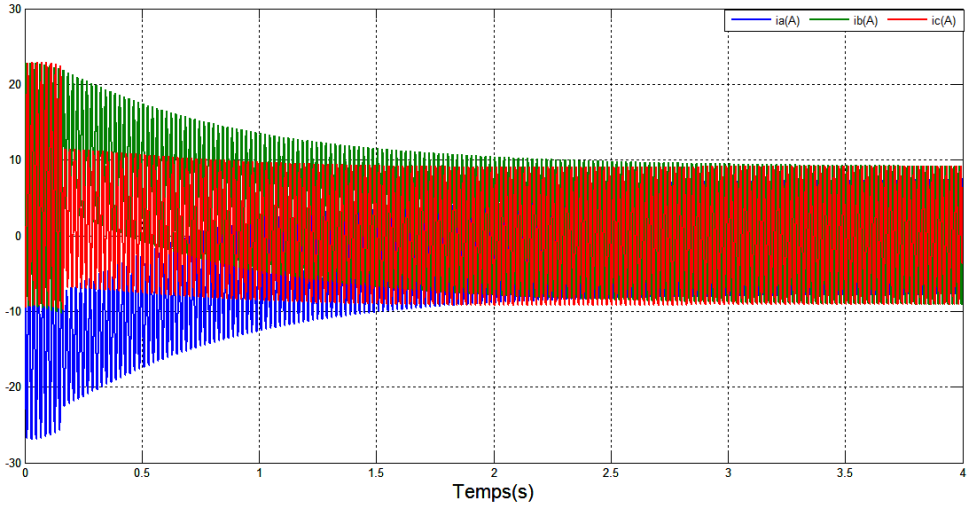


Figure .V .16.*Variation de courant de source (trois phase)*

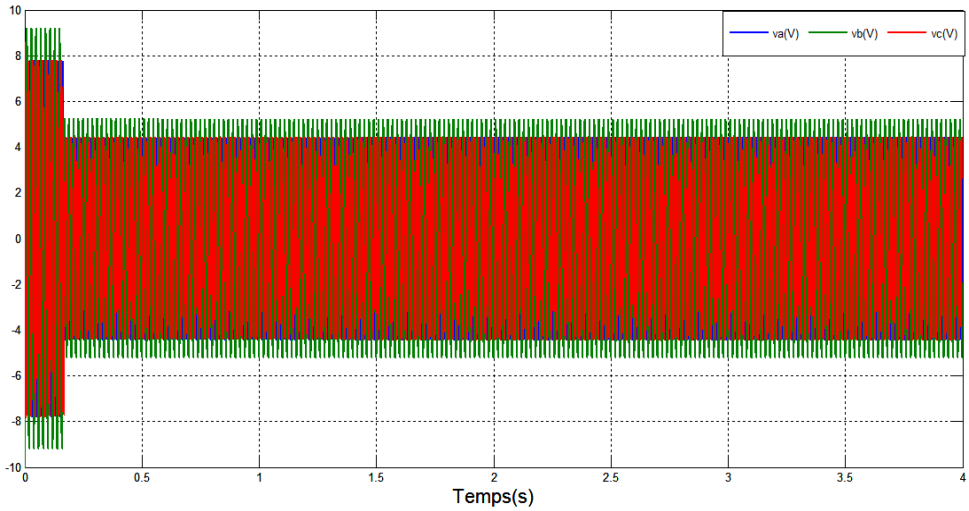


Figure .V . 17.*Variation de tension AF de ligne (trois phase)*

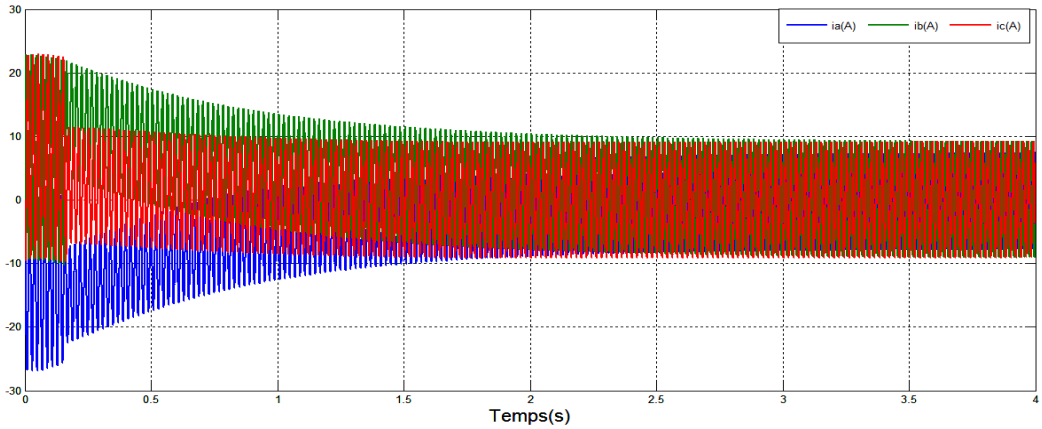


Figure .V. 18.*Variation de courant AF de ligne (trois phase)*

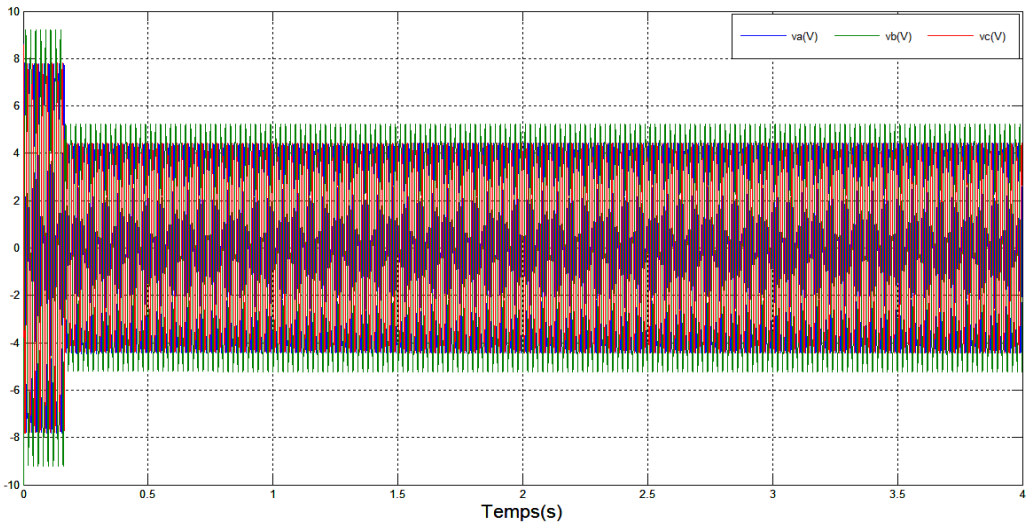


Figure .V . 19.*Variation de tension de la charge (trois phase)*

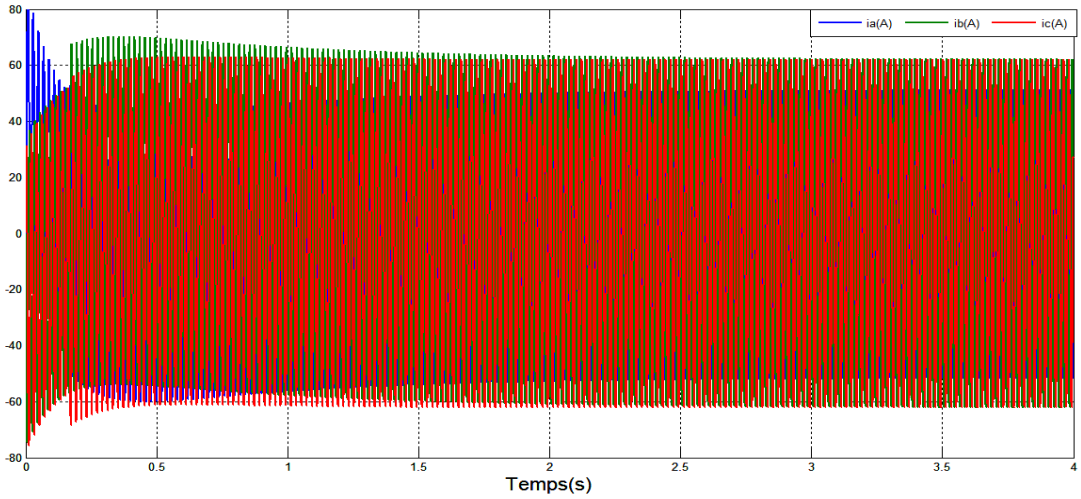


Figure .V . 20. Variation de courant de la charge (trois phase)

5. Résultats de simulation UPQC

5.1. Courant de UPQC

Après application du filtre actif parallèle proposé, on enregistre une nette amélioration dans L'allure de *i*, comme illustré Fig. IV.6. Donc, *i* a été dépollué à un niveau assez Satisfaisant, ceci est conforté par le spectre harmonique de la Fig. IV.7, avec un THDi de 0,1 % durant 2 s.

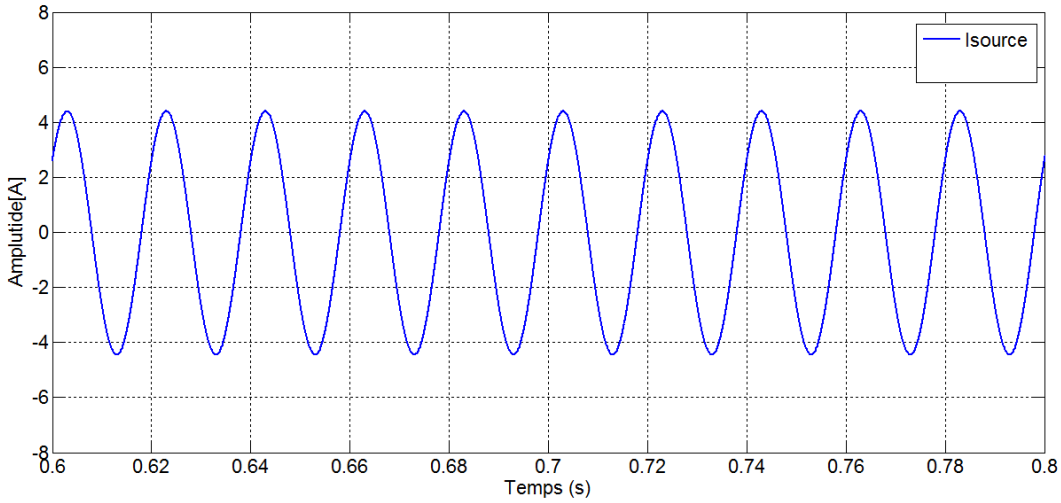


Figure. IV .21 . *Régulateur :i source*

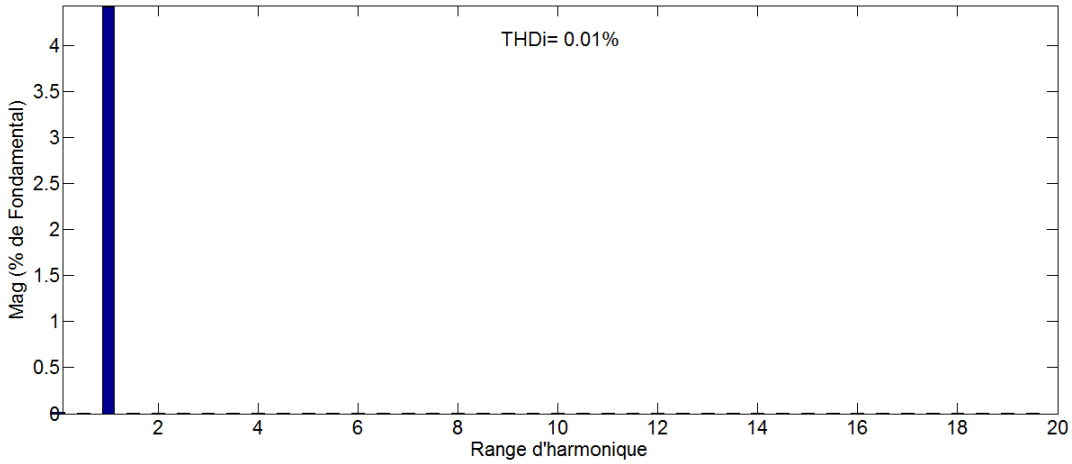


Figure.IV.22. *THD de régulateur isource*

5 .Discussion des resultas

D'après les résultats obtenus par la simulation faite sous les mêmes conditions de l'UPQC suivant les deux cas proposés , avec la méthode proposée des composantes fondamentales CF et la méthode PQ connue dans ce domaine, nous avons constaté que dans le premier cas l'UPQC dont la partie shunt est commandée par la méthode CF a donné des résultats satisfaisants et légèrement mieux que ceux de la méthode PQ

6. Conclusion

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de la recherche desnouvelles solutions pour l'amélioration de la qualité del'énergie électrique dans le réseau électrique.Le filtre actif parallèle avait pour objectif de compenser les courants perturbateurs harmoniques et déséquilibrés, le filtre actif série dont l'objectif était la compensation des tensions perturbatrices harmoniques, et des creux de tension….Finalement, le filtre actif combiné série-parallèle (UPQC) a été proposé comme une solution générale de la compensation de toutes les perturbations en courant et en tension .Les résultats de simulations obtenus montrent que l'UPQC permet la compensation simultanée des perturbations encourant et en tension avec de bonnes performances, par ailleurs des résultats meilleur par rapport le régulateur classique PI.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Le travail présenté s'inscrit dans le cadre de la recherche des nouvelles solutions pour l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique dans le réseau électrique. Ce travail présente l'étude , la modélisation et la commande d'un filtre actif combiné série-parallèle (UPQC). le filtre actif combiné série-parallèle (UPQC) a été proposé comme une solution générale de la compensation de toutes les perturbations en courant et en tension. Les résultats de simulations obtenus montrent que l'UPQC permet la compensation simultanée des perturbations en courant et en tension avec de bonnes performances. Le filtre actif parallèle avait pour objectif de compenser les courants perturbateurs harmoniques et déséquilibrés, le filtre actif série dont l'objectif était la compensation des tensions perturbatrices harmoniques, et des creux de tension….

Dans une première partie, Plusieurs solutions de dépollution ont été présentées le filtre passif, filtre hybride. Particulièrement, le filtre actif combiné série-parallèle (UPQC) qui présente la meilleure solution pour la compensation de tous les types de perturbations susceptibles d'apparaître dans un réseau.

Dans une deuxième partie ; on a exposé l'état de l'art des filtres actifs de puissance. Modélisation de l'onduleur de ce filtre et quelque technique de commandeCette méthode exige une tension de réseau sans perturbation, pour pouvoir fournir uniquement les perturbations en courant émises, par la charge polluante. Cette méthode est très efficace, simple et facile à implanter.

nous avons étudié plusieurs cas de simulation du système de compensation des harmoniques par filtre actif parallèle commandé par les trois méthodes de commande avec une charge non linéair

Dans la troisiéme partie, on a exposé quelques techniques de commande (génération des impulsions): MLI à échantillonnage régulier, MLI à bande d'hystérésis, MLI à porteuse triangulaire ou plus communément appelée MLI intersective, et la MLI vectorielle. Pour le cas de MLI vectorielle, on a d'abord détaillé l'étude de son applicabilité à l'onduleur deux niveaux.Dans cette mémoir, nous avons abordé les structures de filtres actifs parallèles, séries et Combinées (UPQC) en vue d'étudier la compensation de tous les types de perturbations Susceptibles d'apparaître dans le réseau électrique.

Bibliographie

Bibliographie

[1]:Belhaouchet Nouri « Fonctionement De Commutation Constant Des Convertisseurs De Puissanse en Utilisant Des Techcniques De Commande Avanceé » Thése de Doctorat . Universit Ferhat Abbas-Setif ,06 /07/2011 .

[2] : M.A.E. Allali « Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électrique Basse tension». Thèse de Doctorat, ULP Strasbourg I. 12 sept 2002

[3]:Hamraoui Farid,Mekati Abdelaziz, **«Commande d'un filter actif paralléle**»,mémoire de Master . Université Dr Yahia de Médéa, 2011 /2012 .

[4] :**TADJER SID-AHMED** « Etude d'un système de compensation d'harmonique en utilisant un générateur photovoltaïque '' GPV''». Mémoire de Magister, Université . M'Hamed Bougara de Boumerdes. 2008

[5] :Abdelmalek Boulahia , « Etude des Convertisseurs Statiques destinés à la Qualité de l'Energie Electrique»mémoire de magistére Université de Constantine le .28/04/2009 .

[6]: Amaia Lopez de Heredia Bermeo « Commande avancée des systèmes dédies à l'amélioration de la qualité de l'énergie. Mémoire de l'ingénieur, Institut Nationale Polytechnique de Grenoble, le 14 novembre 2006.

[7] :D Ould Abdeslam,D Flieller ,P Wira& J Mercklé, «Adaline neural networks for online extracting the direct,inverse and homopolar voltage components from a composite voltage».31ST Annual Conference of the IEEE Industrial Society (IECON05),Raleigh,North Carolina ,USA,Nov.6-10,2005.

[8]:Mustapha Sarra «Contribution A L'Etude Des Filtres Actifs Hybrides»,Thése de Doctorat,Université Ferhat Abbas-Setif1 UFAS(Algerie) .

[9] : ***Mr. T adjer Sid-Ahmed*** « Problematiques et Identification Des Perturbations Harmoniques Dans Un Reseau Basse Tension », *Université M'Hamed Bougara* .

[10] : **S. Beaulieu**, « Etude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique ». Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en ingénierie. Université du Québec à Chicoutimi. MAI 2007.

[11] : H. Akagi, « Control strategy and site selection of a shunt active filter for damping of harmonic propagation in power distribution systems », IEEE Trans. on power delivery, vol. 12, No. 1, pp. 354-363, January,1997.

[12] : Mohamad Alaa Eddin Alali, « Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension », thèse de doctorat, Université Louis Pasteur – Strasbourg, le 12 Septembre 2002.

[13]:Hansruedi BUHLER , « Réglage par logique floue » (première édition), presses polytechniques et universitaires romandes, 1994

[14] : **Hind Djeghloud,** «Filtrage actif de puissance », thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, le 12.12.2007.

[**15]:M.Habab,M.Haidas,C.Benaichiba,O.Abedkhalek,C.Benoudjafer** «Etude Comparative De La Commande D'un UPQC PI Classique /Intelligente Logique Floue»,Université De Becher,Algerie Le 03-04Nouvembre 2010

[16]: A. Rahmouni, C. Benachaiba« Compensation De La Puissance Réactive Active Déformante Par L'UPQC Ompensation De La Puissance Réactive Déformante Par L'UPQC Avec Une NouvelleO Methode D'identification Des Courants Perturbateurs» Université de Bechar ,*O7/10/2012.*

[17]:Toufouti Riad , «Contribution a la commande direct du couple de la machine asynchrone»,these Doctorat,Université Mentouri,Constantine,02/06/2008 .