

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT: GENIE ELECTRIQUE
N° d'ordre : ER-07



DOMAINE: SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : ELECTROTECHNIQUE
OPTION : ENERGI RENOUVELABLE

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

Par:

Harhouz Mariya

Nebbache Haroun

Intitulé

Amélioration de la qualité d'énergie par filtrage actif
utilisant la commande ZDPC

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BEDBOUDI Mohamed

Université de M'sila

Président

Dr. DJAZIA Kamel

Université de M'sila.

Rapporteur

Dr. ROUBACHE Toufik

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2020 / 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

-En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.

*-En second lieu, et Au terme de cette étude, nous tenons à remercier chaleureusement nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur **Dr. Kamel Djazia** pour ses encouragements, ses orientations et ses précieux conseils, merci beaucoup pour sa grande disponibilité.*

-Nous remercions tous les professeurs du département de Génie électrique.

-Nous voudrions enfin remercier chaleureusement et respectivement tous ceux qu'ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude accepte nos grands et sincères remerciements.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, qui ne cessent de me soutenir et d'implorer en moi la force de continuer malgré les entraves. Aucun mot ne saurait exprimer l'amour, le dévouement et le respect que je porte pour vous. Que Allah vous protège et vous accorde de la santé.

À tout ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé.

*À ma chère sœur **Yassmin**, qui je souhaite plein succès dans sa carrière universitaire
À ma petite sœur **Hanine***

*À mes petits frères **Rafik** et **Yazid***

*À tous mes amis et mes camarades exceptionnellement ma proche ami **Chaima** où nous avons appris ensemble à s'entraider et se soutenir*

*À mes amis **Abir** et **soumia***

À tous qui m'aiment



H.Mariya

Dédicaces

Je t dédié ce modeste travail :

À mes chers parents, pour tous leur sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leur prières tout au long de mes études.

À mes chers sœurs pour leurs encouragements permanents, et leurs soutien morale.

*À mes chères frères **Ghanou, Hani, Bilel**, pour leurs appui et leurs encouragements.*

À tout ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tout allégués, et le fruit de votre soutien infaillible.

Merci d'être toujours là pour moi.



N. Haroun

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur la Qualité d'énergie électrique	
I. INTRODUCTION	4
I.1 La qualité de l'énergie électrique	4
I.1.1 Qualité de la tension.....	4
I.1.2 Qualité du courant	5
I.1.3 les normes de la qualité d'énergie électrique	5
I.2 Les perturbations électriques et leurs origines	6
I.2.1 Creux ou coupures de tension	6
I.2.2 Déséquilibre du Système Triphasé.....	7
I.2.3 Fluctuations de Tension (Flicker)	7
I.2.4. Variation de la fréquence	8
I.3 Les perturbations harmoniques en courant et en tension.....	9
I.4 Caractéristiques des perturbations harmoniques.....	10
I.4.1 Le taux de distorsion harmoniques (TDH).....	10
I.4.2 Facteur de puissance.....	11
I.4.3 Le facteur de distorsion	11
I.4.4 Facteur de crête	11
I.5 Solutions de dépollution des réseaux électriques	12
I.5.1 Solutions traditionnelles	12
I.5.2 Solutions modernes (le filtrage actif).....	15
I.5.2.1 Principe de fonctionnement du filtre actif.....	16
I.5.2.2 Filtre actif série (FAS).....	16
I.5.2.3 Filtre actif série (FAP).....	17
I.5.2.4 La combinaison parallèle-série actifs	18
I.6 Comparaison des différents filtrages	18
I.7 Conclusion	19

CHAPITRE II: Structure du filtre actif parallèle et stratégies de Commande

I. INTRODUCTION	21
II.2 Principe de filtrage actif	22
II.2.1 Filtre actif.....	22
II.2.2 Objectif du filtre actif.....	22
II.3. Le filtre actif parallèle.....	22
II.3.1 Principe de fonctionnement	22
II.3.2 Structure générale d'un filtre actif parallèle	24
II.3.2.1 Partie puissance	24
II.3.2.1.1 Filtre actif à structure tension.....	25
II.3.2.1.2 Filtre actif parallèle à structure de courant.....	26
II.3.2.2 Partie commande	28
II.3.2.3 La poursuite des courants de référence	29
II.3.2.4 Détermination des courants harmonique de référence	30
II.3.2.5 identification des courants perturbateurs par la méthode des puissances instantanées	31
II.4. Stratégie de commande de l'onduleur du filtre actif.....	33
II.4.1 Commande par hystérésis des courants prélevés	34
II.4.2 Commande par hystérésis modulée.....	35
II.4.3 Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).....	36
II.4.4 Commande par MLI vectorielle	16
II.5 Régulation de la tension continue	37
II.5.1 Principe de la régulation	37
II.5.2. Synthèse du régulateur de tension.....	38
I.6 Conclusion	39

CHAPITRE III: Commande directe de puissance du filtre actif parallèle et résultats de simulation

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	42
III.1 Etat de l'art du contrôle direct de puissance.....	42
III.2. Principe du DPC classique.....	43
III.3 Commande directe de puissance DPC	43
III.3.1 Principe de la commande directe de puissance	44
III.3.2 Calcul des puissances instantanées	45
III.3.2.1 Calcul des puissances instantanées de référence	45
III.3.3 Régulateur à hystérésis	46
III.3.4 Détection du secteur.....	47
III.3.5 Table de commutation	48
III.4 Résultats de simulation de la commande direct de puissance DPC appliquée au FAP	49
III.5. COMMANDE DIRECTE DE PUISSANCE ZDPC (Zéro DPC)	55
III.5.1 Principe de la commande ZDPC	56
III.6 Résultats de simulation de la Commande proposé ZDPC.....	57
III.7 Interprétation des resultats.....	61
III.8 Conclusion	62

Liste des figures

Chapitre I: Généralité sur la Qualité d'énergie électrique

Figure I.1 : Creux de tension.....	7
Figure I.2 : Déséquilibre du système triphasé de tension.....	7
Figure I.3 : Fluctuations de tension.....	8
Figure I.4 : variation de fréquence	8
Figure I.5 : Fondamentale et harmoniques dans un signal distordu.....	10
Figure I.6 : Différentes solutions utilisées dans le filtrage du courant	12
Figure I.7 : Raccordement d'un filtre passif	13
Figure I.8 : Filtre passif série	13
Figure I.9 : Filtre passif parallèle	14
Figure I.10 : Filtre amorti.....	14
Figure I.11 : Filtres résonants agissant sur plusieurs rangs harmoniques	15
Figure I.12 : Schéma de principe d'un filtre actif	16
Figure I.13 : Schéma de principe d'un filtre actif série.....	17
Figure I.14 : Filtre actif parallèle.....	17
Figure I.15 : Combinaison parallèle-série actifs (UPQC).....	18

Chapitre II : Structure du filtre actif parallèle et stratégies de Commande

Figure II.1 : Structure générale d'un filtre actif parallèle FAP.....	21
Figure II.2 : Schéma de principe du filtre actif parallèle	23
Figure II.3 : Formes des courants de : A- la charge non linéaire, B- la source et C- de la référence injectée.....	23
Figure II. 4 : Structure générale d'un filtre actif parallèle	24
Figure II.5 : Filtre actif à structure tension.....	25
Figure II.6 : Filtre actif à structure courant	26
Figure II.7 : Semi-conducteurs servant d'interrupteur au filtre actif en courant : a) transistor bipolaire, b) transistor IGBT	27
Figure II.8 : Commande du FAP.....	28
Figure II.9 : Schéma représentant le principe de séparation des puissances	32
Figure II.10 : Principe de contrôle du courant par hystérésis.....	14
Figure II.11 : Commande des interrupteurs par hystérésis	34

Liste des figures

Figure II.12: Commande par hystérésis modulée	35
Figure II.13: Principe de commande des courants par MLI.....	36
Figure II.14: Hexagones des tensions et courants définis dans le plan α - β	36
Figure II.15: Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées	37
Figure II.16: Boucle de régulation de la tension continue	38

Chapitre III: Commande directe de puissance du filtre actif parallèle et résultats de simulation.

Figure III.1: Configuration générale de la commande directe de puissance	43
Figure III.2: schéma synoptique de contrôle du FAP avec la commande DPC	44
Figure III.3 : Schéma de principe de génération des puissances de référence pour DPC classique.....	46
Figure III.4 : Plant (α , β) divisé en 12 secteurs.....	47
Figure III.5: Représentation des 12 secteurs des tensions triphasées	48
Figure III.6 : performances des déferents courants et tensions du FAP	50
Figure III.7: forme d'onde des puissances instantanées active (p) et réactive (q).....	51
Figure III.8: tension et courant de source	51
Figure III.9: performances du FAP avec la commande DPC.....	52
Figure III.10: forme d'onde de la tension continue V_{dc} de la commande DPC.....	53
Figure III.11: Analyse spectrale des signaux.....	53
Figure III.12: performance de FAP avec la commande DPC apres changement de la charge	54
Figure III.13: schema synoptique du FAP avec la commande ZDPC	55
Figure III.14: Calcul des puissances \tilde{p} et q_s	56
Figure III.15: forme d'onde de la tension continue V_{dc} de la commande ZDPC	57
Figure III.16: performance de FAP avec la commande ZDPC	58
Figure III.17: performance FAP avec la commande ZDPC apres changement de la charge	59
Figure III.18: Analyse spectrale des signaux	60
Figure III.19: forme d'onde de la tension continue V_{dc} de la commande ZDPC apres changement de la charge	61

Liste des Tableaux

Tableaux du Chapitre I

Tableau I.1: la Comparaison des différents types de filtrages..... 19

Tableaux du Chapitre II

Tableau II.1: Les tensions en sortie de l'onduleur.....26

Tableau II.2: Courants générés par l'onduleur à structure de courant27

Tableau II.3: Les modes de compensation..... 33

Tableaux du Chapitre III

Tableau III.1: Table de commutation de la commande DPC49

Tableau III.2: THD des courants de source des deux stratégies61

Liste des notations

PWM	Pulse Width Modulation.
DPC	Direct Power Control.
ZDPC	Zero Direct Power Control.
THD	Taux de distorsion Harmonique.
FAP	Filtre Actif Parallèle.
FAS	Filtre Actif Série.
PLL	Boucle de verrouillage de phase (En anglais: Phase locked loop)..
PI	Régulateur Proportionnel intégral.
UPQC	Unified Power Quality Conditioner.
IGBT	Insolated Gate Bipolar Transistor (transistor bipolaire à grille isolée).
GTO	Gate Turn Off thyristor.
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion.

Liste des symboles

V_s	Tension de source.
i_s	Courant de source.
R_s	Résistance de court circuit de réseau.
L_s	Inductance de court circuit de réseau.
R_c	Résistance de ligne.
L_c	Inductance de ligne.
V_{dc}	Tension continue de l'onduleur.
V_{dref}	Tension de référence.
P	Puissance instantané active.
q	Puissance instantané réactive.
\overline{pq}	Puissance continue liée à la composante fondamentale active et réactive du courant.
\tilde{pq}	Puissance alternative liées à la somme des composantes harmonique du courant.
$\alpha\text{-}\beta$	Repère stationnaire.
i_α, i_β	Composantes du vecteur courant dans le repère stationnaire.
i_d, i_q	Composantes du vecteur courant dans le repère synchrone.
S_a, S_b, S_c	Signaux de commande des interrupteurs de puissance.
dP, dq	Sortie digitale des comparateurs à hystérésis des puissances P et q .
S	Puissance apparente.

Notations et symboles

P	Puissance active.
Q	Puissance réactive.
F_p	Facteur de puissance.
ξ	Coefficient d'amortissement.



INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE :

La demande d'énergie électrique augmente avec un rythme exponentiel, et en même temps la qualité d'énergie est devenue la question la plus importante dans le secteur de l'électricité. Au cours des dernières années, la prolifération des charges non linéaires dans le système d'alimentation a augmenté à un rythme sans précédent. Les charges non linéaires typiques, telles que les lampes fluorescentes, les convertisseurs de l'électronique de puissance, les moteurs, les divers appareils électroménagers, etc..., tirent une quantité importante de courants harmoniques de la source, réduisant l'efficacité et le facteur de puissance.

La pollution harmonique affecte tous les réseaux domestiques et industriels. Aucun environnement moderne tels que les ordinateurs, les serveurs, les climatiseurs, les contrôleurs de vitesse, etc. est à l'abri de cette pollution. Tous ces derniers appelés "non-linéaires" affectent gravement la qualité du courant du réseau et de la tension.

Les différentes méthodes actuelles d'identification des perturbations peuvent être classées en deux familles. La première famille concerne le domaine des fréquences elle se base sur l'utilisation d'une transformée de Fourier rapide (FFT) pour extraire les harmoniques de courant. Cette méthode est bien adaptée pour des charges lorsque le contenu harmonique varie lentement.

La deuxième famille étudie le domaine temporel, elle est basée sur le calcul de la puissance instantanée. La méthode de l'activation et la réactivation instantanée de l'énergie a été développée dans de nombreuses applications. Mais l'inconvénient est que cela donne des résultats corrects seulement pour une grille en bon état, dont la tension est équilibrée et non faussée.

Pour diminuer ou supprimer ces perturbations et ainsi améliorer la qualité de l'énergie distribuée, plusieurs solutions existent :

- la réduction de l'impédance de court-circuit.
- la modification du convertisseur statique polluant en termes de la topologie et/ou de la commande afin d'intervenir directement à la source des perturbations harmoniques.
- les dispositifs de filtrage.

Introduction générale

Les performances du filtre actif, et notamment la diminution du THD du courant de source et l'amélioration du facteur de puissance, sont liées aux performances de l'identification des courants de références, mais dépendent également de la stratégie de commande adoptée. Plusieurs stratégies de contrôle ont été proposées dans littérature. Malgré des principes différents, l'objectif principal de ces techniques est d'aboutir à un facteur de puissance presque quasiment unitaire et un courant de forme très proche de celle d'une sinusoïde

Le principe de la DPC pour Pulse Width Modulation (PWM) convertisseurs a été proposé pour la première fois en 1986 et développé plus tard pour d'autres nombreuses applications.

Le but DPC était essentiellement de supprimer le modulateur PWM et les boucles de régulation internes en les remplaçant par une table de commutation prédéterminée. La première configuration type de commande DPC a, pour le contrôle direct l'activation et la réactivation instantanée de l'énergie des redresseurs PWM triphasés sans capteurs de tension de réseau. Sur la base de cette approche, de nombreuses études ont été développées pour différentes topologies de puissance. L'objectif commun de ces études était d'assurer des courants sinusoïdaux et un facteur de puissance de l'unité avec un contrôle découplé de la puissance active et réactive .

La norme DPC nécessite une référence de puissance égale à zéro, tandis que la référence de puissance active est calculée à partir du courant continu (CC) Sortie de contrôleur de bus direct.

Dans ce projet nous traiterons la stratégie de la commande directe de puissance (Contrôle Direct de la Puissance DPC classique). Dans un deuxième temps, nous présenterons la commande proposée dite ZDPC.

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

CHAPITRE I

Chapitre I : Généralité sur la Qualité d'énergie électrique

I. INTRODUCTION

Ces dernières années, l'augmentation de l'utilisation des équipements électriques a fortement participé à la réduction de la qualité d'énergie dans les réseaux électriques. En effet, les convertisseurs statiques (semi-conducteurs, micro-ordinateur, variateurs de vitesse, etc...) sont en progression tant à l'usage industriel que domestique. L'insertion de ces convertisseurs dans les installations de conversion d'énergie électrique donne naissance à nombreuses applications qui offrent aux clients un meilleur service.

Une bonne qualité d'énergie est caractérisée par une onde de courant parfaitement sinusoïdale avec une amplitude et une fréquence constante. Par contre, ces convertisseurs affectent la qualité des courants et tensions des réseaux de distribution qui deviennent non sinusoïdaux. Ces systèmes sont des charges non-linéaires et consomment des courants non-sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une source de tension sinusoïdale.

Les perturbations peuvent générer des nuisances, pannes ou des dégâts par l'affectation d'un ou plusieurs paramètres de la tension du réseau électrique suivants: la fréquence, l'amplitude, la symétrie des tensions triphasées et la forme de l'onde.

Dans ce chapitre nous allons présenter les principales perturbations affectant la qualité de l'onde électrique, notamment les harmoniques.

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. A la fin de ce chapitre, nous présentons les solutions mises en œuvre pour dépolluer le réseau électrique.

I.1 La qualité de l'énergie électrique

La qualité de l'énergie désigne plus concrètement la qualité de la fourniture électrique. Celle-ci dépend de trois facteurs que sont la continuité d'alimentation, la qualité de l'onde de tension et la qualité de courant. Donc nous allons définir ces dernières notions dans les paragraphes suivantes.

I.1.1 Qualité de la tension

La qualité d'énergie ou de la tension est le concept d'efficacité de classer les équipements sensibles d'une manière qui convient à l'opération de l'équipement. Pour rappel, la tension possède quatre caractéristiques principales :

- Fréquence.
- amplitude.
- forme d'onde.
- symétrie.

Pour le réseau synchrone algérien, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale, mesurée, doit se trouver dans l'intervalle de 50 Hz \pm 1 %. Le maintien de ce niveau de qualité est la responsabilité commune de tous les gestionnaires de réseaux concernés (zones de réglage), qui doivent participer aux réglages primaire et secondaire de la fréquence. Le gestionnaire de réseau doit maintenir l'amplitude de la tension dans un intervalle de l'ordre de \pm 10 % autour de sa valeur nominale. Cependant, même avec une régulation parfaite, plusieurs types de perturbations peuvent dégrader la qualité de la tension :

- les creux de tension et coupures brèves.
- les variations rapides de tension (flicker).
- les surtensions temporaires ou transitoires.[1]

I.1.2 Qualité du courant

La qualité du courant est relative à une dérive des courants de leur forme idéale, et se caractérise de la même manière que pour les tensions par quatre paramètres : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie. Dans le cas idéal, les trois courants sont d'amplitude et de fréquence constante déphasés $\frac{2\pi}{3}$ radians entre eux, et de forme purement sinusoïdale.

Le terme « qualité du courant » est rarement utilisé, car la qualité du courant est étroitement liée à la qualité de la tension et la nature des charges. Pour cette raison, « la qualité de l'énergie électrique » est souvent réduite à « la qualité de la tension ». C'est l'hypothèse que nous ferons dans la suite de ce document, où le terme de « qualité de l'énergie » s'applique uniquement à celle de la tension. [2].

I.1.3 les normes de la qualité d'énergie électrique

Afin de limiter les effets des perturbations électromagnétiques sur les réseaux électriques, des normes ont été mises en place. Les deux principaux organismes qui ont établi de telles normes sont la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) et l'IEEE. Les normes qu'ils ont établies sont, de façon respective, la série CEI 61000 et l'IEEE Standard 519.

De façon générale ces normes, identifiant les principales sources de perturbations électromagnétiques, décrivent les effets de ces perturbations sur les réseaux, et donnent des méthodes d'analyse et de mesure pour les harmoniques. [2]

I.2 Les perturbations électriques et leurs origines

La qualité de l'énergie électrique est étroitement liée à différents paramètres, principalement la qualité de l'onde de tension, laquelle est caractérisée par les paramètres suivants :

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

Les réseaux électriques sont très pollués et soumis à de multiples agressions a cause des perturbations électriques, qu'on peut définir en cinq catégories :

- Creux de tension
- Variation de la tension
- Court-circuit
- Déséquilibre de système triphasé
- Variation de fréquence

I.2.1 Creux ou coupures de tension

Un creux de tension est une brusque réduction de tension en un point du réseau, à une valeur entre 10% et 90% de la tension nominale, suivi de son rétablissement après une courte durée allant d'une demi-période jusqu'à quelques secondes.

Une coupure de tension quant à elle est une diminution brutale de la tension à une valeur supérieure à 90% de la tension nominale ou disparition totale pendant une durée comprise entre 10 ms et une minute pour les brèves et supérieure à une minute pour les longues.

Ils peuvent être produits par des manœuvres d'enclenchement mettant en jeu des courants de fortes intensités ou par le fonctionnement consécutif des protections suite à l'apparition de défauts dans le réseau.[4]

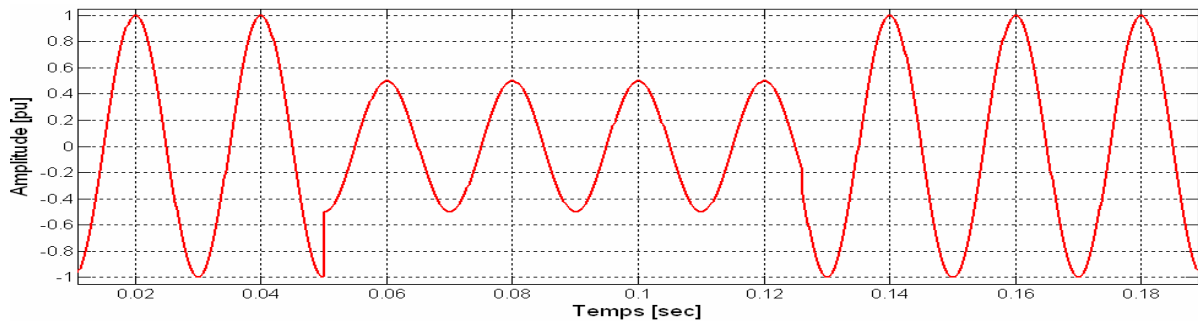


Figure I.1 : Creux de tension

Conséquences : perturbation ou arrêt du procédé, pertes de données, données erronées, ouverture de contacteurs, verrouillage de variateurs de vitesse, ralentissement ou décrochage des moteurs et extinction de lampes à décharge

I.2.2 Déséquilibre du Système Triphasé

Lorsque les trois tensions ne sont pas identiques en amplitude et/ou ne sont pas décalés d'un angle 120° les unes par rapport aux autres, on parlera de déséquilibre du système triphasé comme le montre la figure I.2. Un réseau électrique triphasé équilibré alimentant un récepteur électrique triphasé non équilibré conduit à des déséquilibres de tension dus à la circulation de courants non équilibrés dans les impédances du réseau.[5]

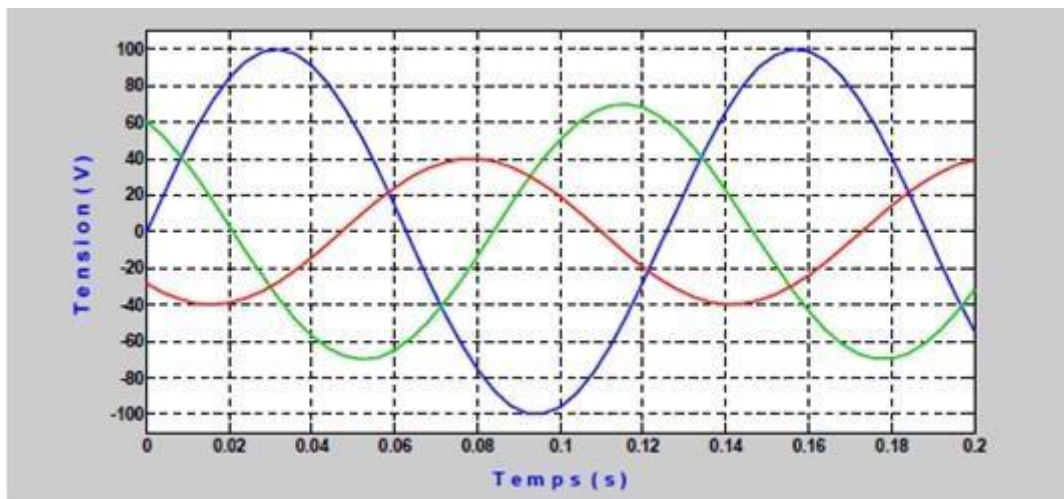


Figure I.2: Déséquilibre du système triphasé de tension

Conséquences: couples moteurs inverses (vibrations) et sur-échauffement des machines asynchrones

I.2.3 Fluctuations de Tension (Flicker)

Les variations de tension sont des variations de la valeur efficace ou de la valeur crête d'amplitude inférieure à 10 de la tension nominale et les fluctuations de tension sont une suite

de variations de tension ou des variations cycliques ou aléatoires de l'enveloppe d'une tension dont les caractéristiques sont la fréquence de la variation et l'amplitude. Le terme Flicker est dérivé de l'impact visible sur les lampes (papillotement de la lumière) dû à la fluctuation de la tension. Parmi les causes les plus fréquentes de la fluctuation de la tension dans les réseaux de transmission et distribution sont les fours à arc.[6]

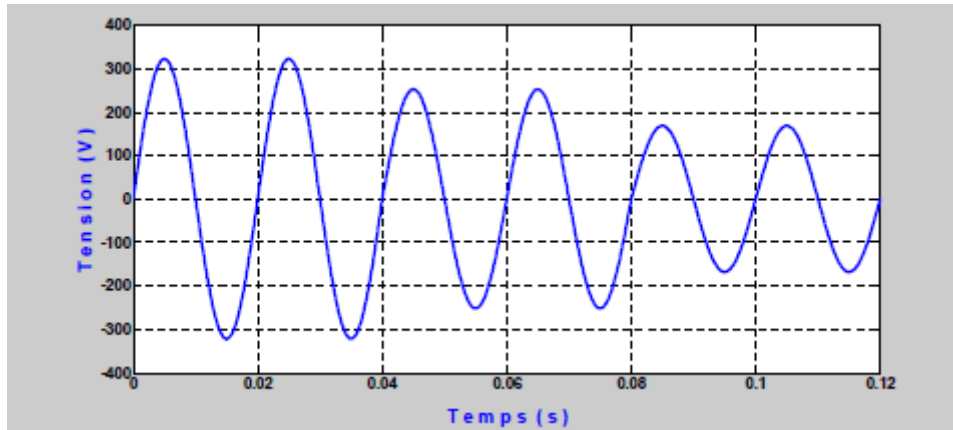


Figure I.3: Fluctuations de tension

Conséquences : Fluctuation de la luminosité des lampes (papillotement ou flicker).

I.2.4. Variation de la fréquence

Les fluctuations de fréquence sont caractérisées par des variations de la valeur nominale de cette dernière (50/60 Hz), résultant des variations de vitesses des alternateurs suite à un déséquilibre entre charges et puissances mises en jeu par les centrales. Elles se manifestent par des variations de vitesses et couples dans les machines synchrones et asynchrones, et parfois par l'arrêt entier du système.

A noter que ce type de perturbation concerne en premier lieu le réseau de transport et de distribution de l'énergie électrique.[4]

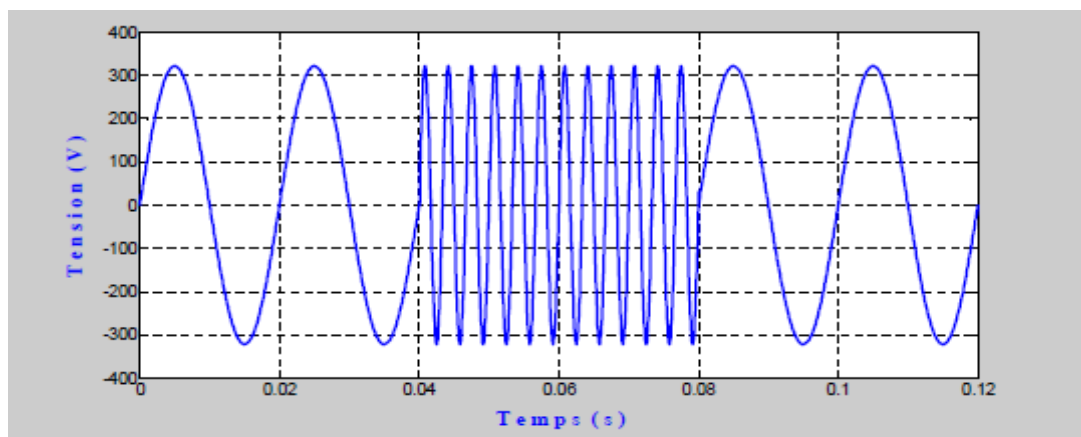


Figure I.4 : variation de fréquence.

I.3 Les perturbations harmoniques en courant et en tension

Les courants harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'un courant électrique périodique décomposé en série de Fourier. Les harmoniques ont une fréquence multiple de la fréquence fondamentale, généralement de 50 ou 60 Hertz, dans les réseaux électriques. Autrement dit, les harmoniques sont une description mathématique de la distorsion d'un signal a priori sinusoïdal. De même, les tensions harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'une tension électrique périodique décomposée en série Fourier, Les courants harmoniques sont dus à la présence de charges électriques non linéaires dans un réseau électrique. Du fait des impédances du réseau, ces courants harmoniques sont la cause de l'apparition d'harmoniques de tensions qui affectent alors les autres clients du réseau de distribution.

I.3.1 Origine des harmoniques

Les harmoniques sont des perturbations permanentes affectant la forme d'onde de la tension du réseau. Ces perturbations résultent de la superposition, sur l'onde fondamentale, d'ondes également sinusoïdales mais de fréquences multiples de celle du fondamental.

En général, les harmoniques pairs sont négligeables et seuls les harmoniques impairs existent . Nous pouvons également observer des sous-harmoniques ou des interharmoniques à des fréquences non multiples de la fréquence fondamentale.

La cause principale de l'existence des harmoniques de tension, comme on le montrera ultérieurement, est l'injection dans le réseau des courants non sinusoïdaux par des charges non linéaires. Il s'agit alors de sources génératrices de courants harmoniques.[7]

Entre les harmoniques de courant et de tension, on peut observer d'autres fréquences qui sont des multiples non entiers de celle du fondamental.

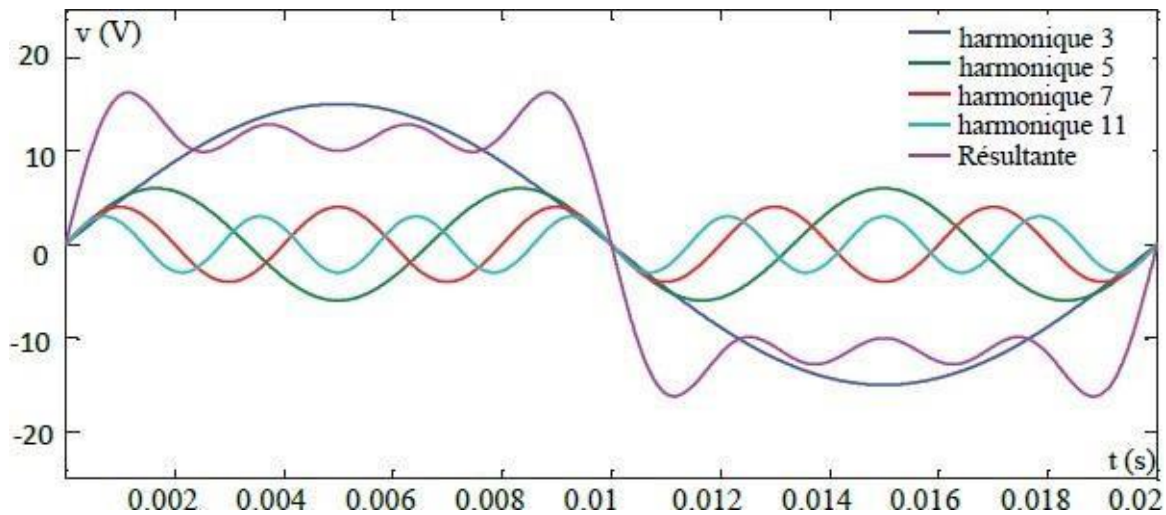


Figure I.5: Fondamentale et harmoniques dans un signal distordu

Dans la plupart des cas, les harmoniques présents sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation de charges non linéaires, une charge non linéaire appelle un courant non sinusoïdal, même si elle alimenté par une tension sinusoïdal. Ces charges se comportent approximativement comme des sources de courant harmonique dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale c'est-à-dire que le courant harmonique est quasiment fixé par la charge non linéaire et non pas par l'impédance de court-circuit du réseau à laquelle elle est raccordée.[8]

1.4 Caractéristiques des perturbations harmoniques

Différentes grandeurs sont définies pour caractériser la distorsion en régime déformé. Le taux global de distorsion harmonique (THD) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.[9]

1.4.1 Le taux de distorsion harmoniques (TDH)

L'étude se limite au cas où la source de tension est sinusoïdale et le courant absorbé par la charge est entaché de composantes harmoniques. Dans ces conditions, le taux global de distorsion harmonique est bien adapté pour quantifier le degré de pollution harmonique sur les réseaux électriques. Le THD s'exprime par rapport à la fréquence fondamentale et caractérise l'influence des harmoniques sur l'onde de courant déformé. Il est donné par l'expression suivante :[2]

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} x_h^2}{x_1^2}} \times 100\% \quad (\text{I.1})$$

Avec X_1 la valeur efficace du courant/tension fondamental et X_h les valeurs efficaces des différentes harmoniques du courant/tension.

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 la présence des inductances de lignes.[10]

I.4.2 Facteur de puissance

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, le facteur de puissance est dégradé, une puissance supplémentaire appelée : « Puissance Déformante (D) » est ajoutée :[3]

$$D = 3V_1 \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \quad (I.2)$$

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

$$F.P. = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (I.3)$$

I.4.3 Le facteur de distorsion

Le facteur de distorsion F_d est défini comme étant le rapport entre la fondamentale et le signal en valeurs efficaces. Il est donné par l'expression suivante :

$$F_d = \frac{I_1}{I_{eff}} \quad (I.4)$$

Il est alors égal à l'unité lorsque le courant est purement sinusoïdal et diminue lorsque la distorsion apparaît.[11]

I.4.4 Facteur de crête

Le facteur de crête F_c d'un signal est défini par ainsi :

I.5 Solutions de dépollution des réseaux électriques

Les systèmes d'électronique de puissance utilisée pour l'amélioration de la qualité de l'énergie sont essentiellement des systèmes de compensation. Ils travaillent en combinaison avec le réseau, en superposant leur énergie à celle de ce dernier, Deux types de solutions sont envisageables. La première consiste à utiliser des convertisseurs statiques peu ou moins polluants, tandis que la seconde réalise un filtrage des composantes harmoniques, Deux groupes de solutions de dépollution pour compenser toutes les perturbations peuvent être distingués: les solutions traditionnelles et les solutions modernes.[12]

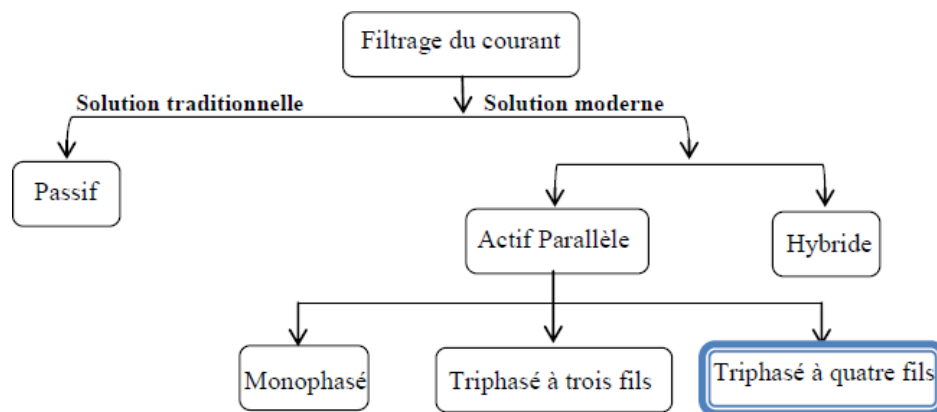


Figure I.6 : Différentes solutions utilisées dans le filtrage du courant.

I.5.1 Solutions traditionnelles

Il s'agit notamment de mettre en œuvre les moyens suivants :

a/ Compensateur statique : Il s'agit d'une méthode de compensation utilisée pour relever le facteur de puissance.

b/Filtrage passif : Le filtrage passif est basé sur l'utilisation de circuits électriques RLC (résistance, inductance, capacité) dit filtre passif, dont le principe est de modifier localement l'impédance du réseau, de façon à dériver les courants et à éliminer les tensions harmoniques. On associe des éléments capacitifs et inductifs de manière à obtenir une résonance série accordée à une fréquence choisie. Donc avant le choix des éléments constituant le filtre passif et leur dimensionnement, une connaissance précise des rangs harmoniques qui devront être filtrés et des atténuations requises est nécessaire, car plusieurs types de filtres passifs sont utilisés pour différentes dépollutions à réaliser.[13]

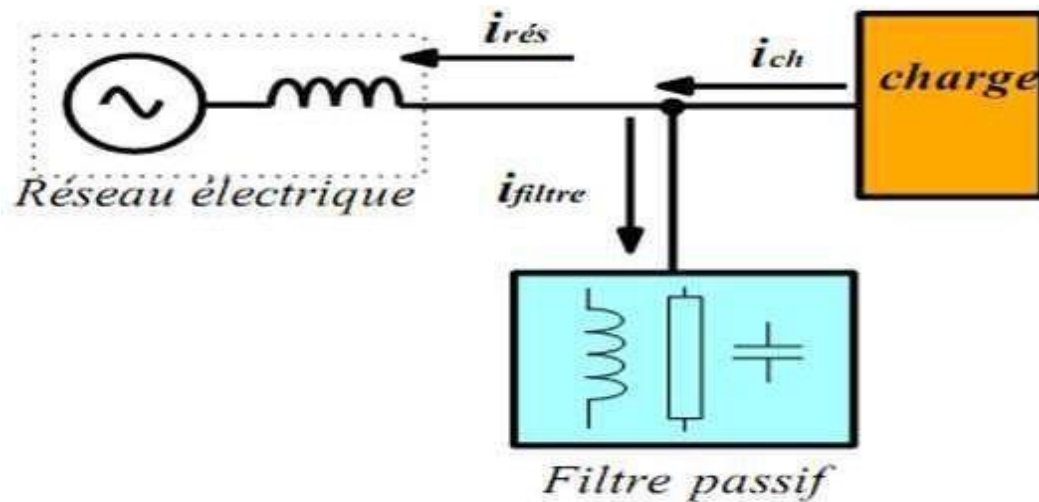


Figure I.7 : Raccordement d'un filtre passif.

b.1 Filtrage passif série : Une façon d'atténuer les harmoniques générées par les charges non linéaires est d'introduire un filtre passif série, dans l'alimentation d'entrée ligne de sorte que le filtre offre une impédance élevée à la circulation des harmoniques à partir de la source à la charge non-linéaire. Depuis le filtre passif série est accordé sur une fréquence particulière, il offre une impédance élevée à sa seule fréquence d'accord. Selon la propriété physique de L et C choisie, il existe généralement une bande étroite autour de la fréquence d'accord lorsque l'impédance reste élevée.

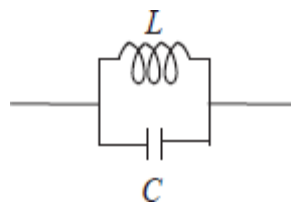


Figure I.8: Filtre passif série

b.2 Filtrage parallèle : Le filtre passif parallèle est montré sur la Figure I.9. Il est constitué d'une inductance en parallèle avec un condensateur. Il présente une impédance faible pour tous les harmoniques et une impédance suffisamment importante par rapport au fondamental, ce qui empêche les courants harmoniques de se propager vers le réseau. Le filtre passif parallèle a un comportement inductif pour les fréquences inférieures à la fréquence fondamentale et un comportement capacitif pour les fréquences supérieures à la fréquence fondamentale, ce qui est un avantage majeur pour le contrôle du courant dans l'inductance

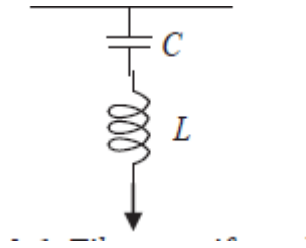


Figure I.9: Filtre passif parallèle

En général dans l'usage, on rencontre deux types de filtres passifs parallèles : le filtre passif amorti et le filtre passif résonant.

b.2.1 Filtre passif amorti:

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

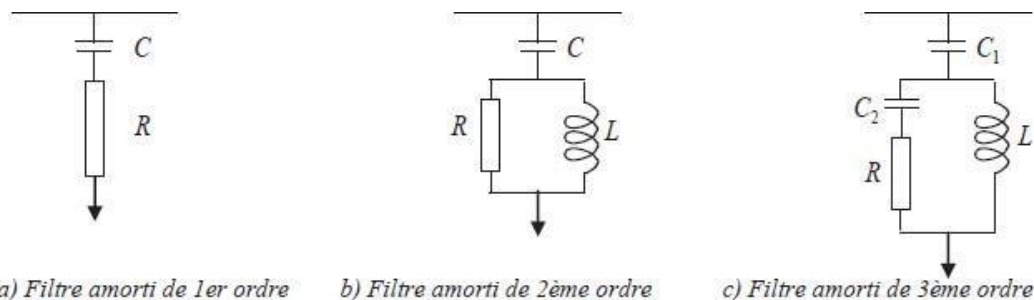


Figure I.10: Filtre amorti

b.2.2 Filtre résonant :

Le filtre passif résonnant est constitué d'un circuit résonnant composé d'un condensateur et d'une inductance en série accordés sur la fréquence de l'harmonique que l'on veut éliminer. Ce filtre possède une impédance faible pour l'harmonique concerné et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau. 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 ou chacun d'entre eux agit sur le rang harmonique à éliminer voir la figure I.11.[6]

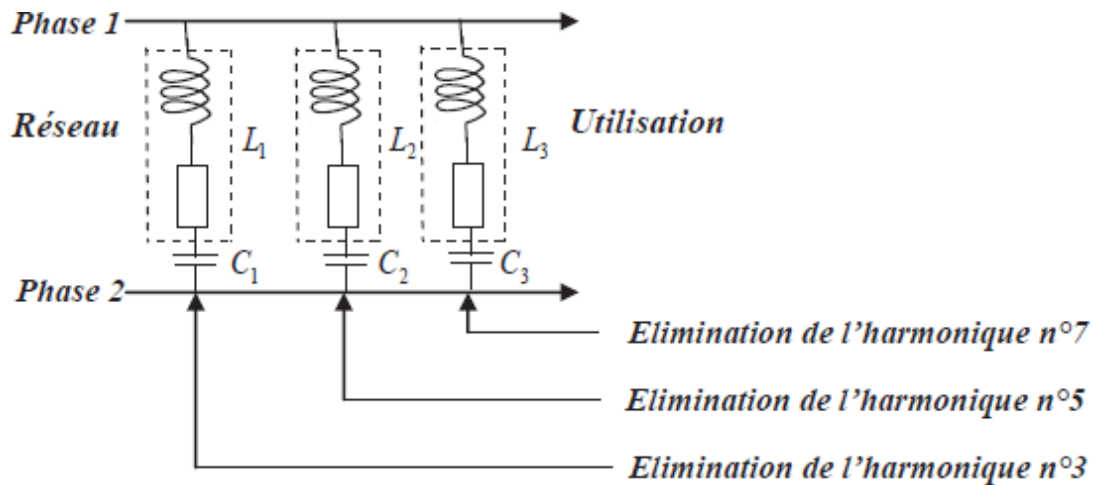


Figure I.11: Filtrés résonants agissant sur plusieurs rangs harmoniques.

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

- une connaissance approfondie de la configuration du réseau électrique est nécessaire.
- les variations de l'impédance du réseau peuvent détériorer les performances du filtre.
- le réseau peut former un système résonnant avec le filtre et les fréquences voisines de la fréquence de résonance sont amplifiées.
- Equipement volumineux.
- Inadaptabilité et perte d'efficacité lorsque les caractéristiques du réseau électrique évoluent.

Les filtres passifs ne constituent pas un moyen fiable et efficace pour la compensation d'harmoniques de charges industrielles, surtout dans le cas des systèmes de distribution. En revanche, ils sont parfaitement adaptés pour les systèmes de transmission de hautes tensions pour lesquelles les études de systèmes détaillés sont faites une fois pour toutes et dont l'effort d'ingénierie est seulement une petite fraction du coût total du système.[2]

I.5.2 Solutions modernes (le filtrage actif)

Les solutions de dépollution traditionnelle ne répondant plus à l'évolution des réseaux électriques et des charges à protéger, on opte alors à des solutions plus bien qui sont les filtres actifs. Ces solutions sont proposées comme des solutions efficaces de dépollution des réseaux

Electricques, Les filtres actifs sont maintenant utilisés dans d'autres domaines que la compensation d'harmoniques. On les utilise dans la régulation de tension, pour supprimer le papillotement de la tension et pour améliorer l'équilibre des phases des systèmes de distribution triphasés.

I.5.2.1 Principe de fonctionnement du filtre actif

Le principe de base des filtres actifs a été proposé dans les années 70s. Les filtres actifs sont souvent conçus pour la compensation des courants harmoniques et de la puissance réactive.

Ces filtres sont des onduleurs mono/triphasés agissant comme source de courant ou de tension en injectant en série ou en parallèle sur le réseau électrique des composantes harmoniques en opposition de phase à ceux du réseau, par conséquent, les composantes harmoniques de la charge polluante s'éliminent et le courant de la source va acquérir une forme quasi sinusoïdale, Le schéma relatif à ce principe est montré dans la figure Figure I.12 [14]

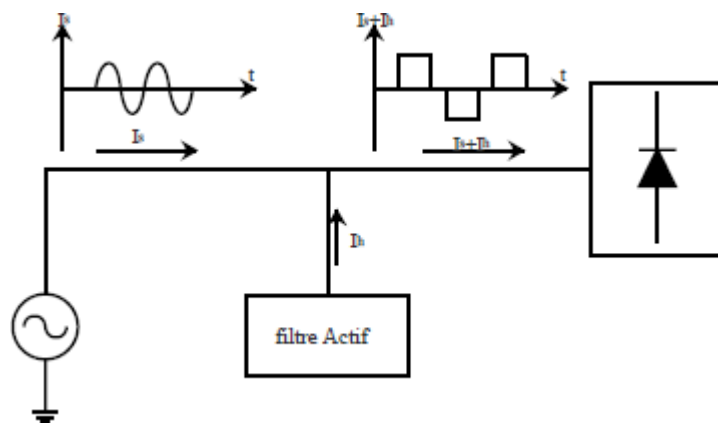


Figure I.12: Schéma de principe d'un filtre actif.

I.5.2.2 Filtre actif série (FAS)

Le filtre actif série est connecté en série sur le réseau s'insère entre le réseau perturbé et la charge à protéger par l'intermédiaire d'un transformateur d'injection de tension.

Il compense les tensions harmoniques en fournissant une tension qui s'oppose à la tension harmonique venant du côté source et du côté charge non linéaire et fait ainsi protéger les charges sensibles contre les perturbations de tension du réseau électrique.

Le filtre actif série est placé en série entre la source et la charge non linéaire, il injecte une composante de tension en série à la tension d'alimentation et peut donc être considéré comme une source de tension, Cette configuration permet aussi d'éviter tout risque de

résonance entre les éléments du filtre passif et l'impédance du réseau, mais il présente une difficulté à protéger le filtre actif contre les surintensités

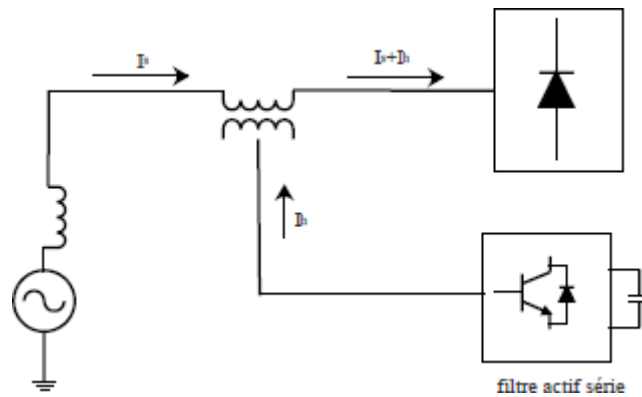


Figure I.13 : Schéma de principe d'un filtre actif série.

I.5.2.3 Filtre actif Parallèle (FAP)

Le FAP se connecte en parallèle avec le réseau et injecte en temps réel les composantes harmoniques inverses des courants harmoniques générés par les charges non linéaires connectées au réseau. Ainsi, le courant fourni par la source d'énergie devient sinusoïdal.

En général, le filtre actif parallèle est utilisé pour la dépollution des réseaux BT et MT. son impédance totale, vis-à-vis de la source et de la charge, lui confère une bonne auto adaptabilité avec des performances appréciables. [2]

Alors, l'ensemble charge/filtre se présente comme une charge propre, on obtient alors des courants sinusoïdaux au niveau du réseau. Par conséquent, il améliore le taux de distorsion en courant et en tension.[13]

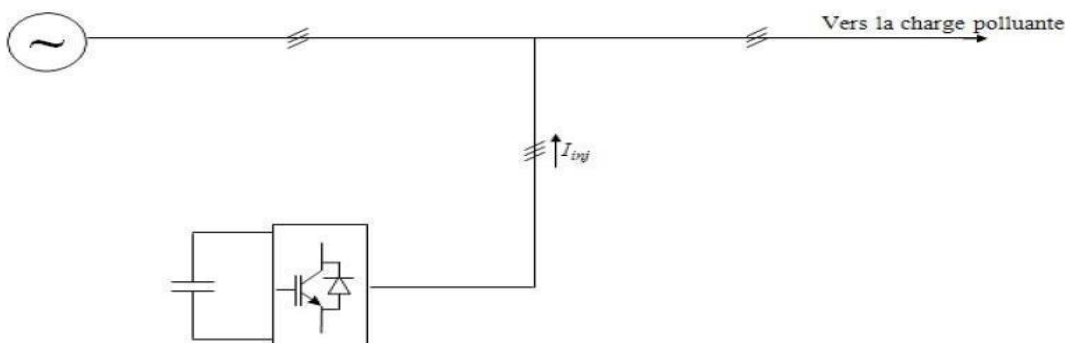


Figure I.14 : Filtre actif parallèle

I.5.2.4 La combinaison parallèle-série actifs

C'est une solution de compensation universelle basée sur le fonctionnement simultané des filtres actifs parallèle et série figure (I.15). Donc, elle possède les avantages cumulés des filtres actifs parallèles et série. Cette nouvelle topologie est appelée combinaison parallèle série actif ou en anglais Unified Power Quality Conditioner (UPQC).[2]

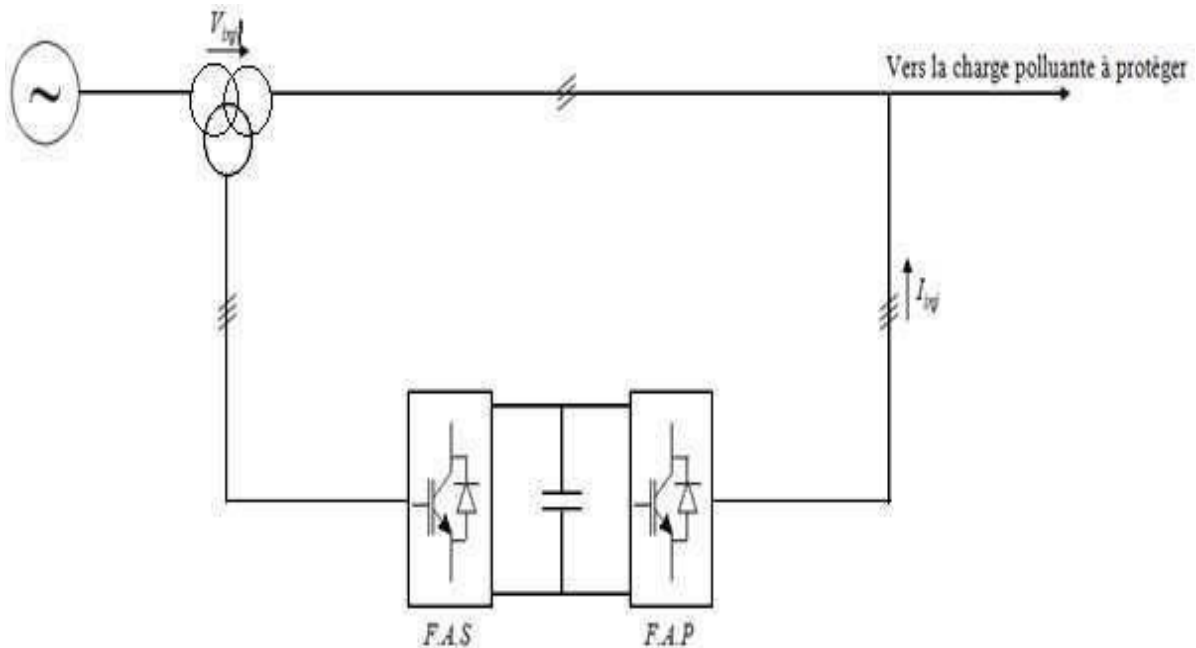


Figure I.15: Combinaison parallèle-série actifs (UPQC)

Donc Pour fournir aux consommateurs une énergie électrique de bonne qualité, même dans les conditions de fonctionnement les plus perturbées, les filtres actifs sont proposés comme des solutions efficaces de dépollution des réseaux électriques.

I.6 Comparaison des différents filtrages

Le tableau (I.1) montre un récapitulatif des avantages et inconvénients du filtrage passif, filtrage actif série, filtrage actif parallèle et du filtrage actif parallèle-série.

Principe	Avantages	Inconvénients
Filtrage passif	Amélioration de la forme du courant	Risque de résonance, pas d'adaptabilité, encombrant.
Filtrage actif parallèle	Amélioration de la forme du courant, adaptabilité aux variations de la charge et du réseau.	Amélioration de la forme de la tension pas toujours évidente
Filtrage actif série	Amélioration de la forme de la tension adaptabilité aux variations de la charge et du réseau	Pas d'amélioration de la forme du courant.
La combinaison parallèle-série actifs	Amélioration de la forme du courant, amélioration de la forme de la tension, adaptabilité aux variations de charge et du réseau	Réalisation difficile.

Tableau I.1: la Comparaison des différents types de filtrages

I.7 Conclusion

Ce chapitre, a été consacré à l'étude des problèmes de la qualité d'énergie électrique, On a exposé les effets, les causes et les conséquences des harmoniques sur le réseau électrique., nous avons présenté les différentes origines des perturbations harmoniques affectant la qualité d'onde des tensions et/ou courants du réseau électrique, Ensuite, pour réduire ces effets, différentes solutions traditionnelles et modernes ont été exposées. L'utilisation des filtres actifs se présente comme une meilleure solution pour tous types de perturbations qui apparaissent dans le réseau électrique. L'étude détaillé théorique du filtre actif parallèle (solution moderne), fera l'objet du prochain chapitre.

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

CHAPITRE II

Chapitre II : Structure du filtre actif parallèle et stratégies de Commande.

II INTRODUCTION

La dépollution du réseau électrique et le maintien d'une tension désirée au point de raccordement indépendamment du courant absorbé par la charge non-linéaire, sont assurés grâce aux différentes structures de contrôle du filtrage actif, la structure de filtrage par onduleur de tension en parallèle avec la charge non-linéaire est la solution la plus répandue dans les installations industrielles, connu par le nom du filtre actif parallèle FAP. La bonne exploitation d'un filtre actif parallèle est liée de façon significative aux choix des techniques de contrôle applique. Afin d'avoir la capacité de suivre les variations de courant de référence et la réalisation d'un niveau de performance satisfaisant de filtrage.

La figure II.1 rappelle la structure générale d'un filtre actif parallèle. Ce filtre peut être décomposé en deux parties: la partie puissance et la partie commande. La première comporte un onduleur, un filtre de découplage et une source de stockage d'énergie. Ces deux derniers éléments déterminent la nature du filtre actif (structure tension ou courant), suivant qu'il est réalisé à l'aide d'un onduleur de tension ou de courant.

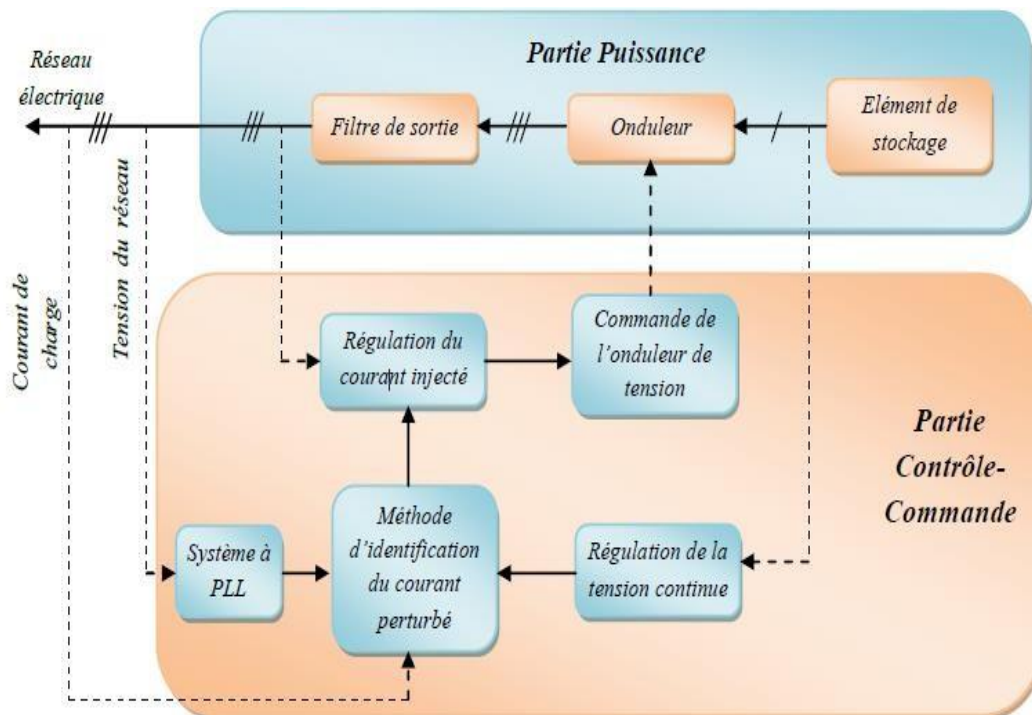


Figure II.1: Structure générale d'un filtre actif parallèle FAP.

II.2 Principe de filtrage actif

II.2.1 Filtre actif

Dans le cas idéal le rôle du filtre actif consiste à éliminer tous les harmoniques produits par la charge non linéaire en fournissant à tout instant des harmoniques égaux en amplitude et en opposition de phase à ceux produits par la charge, et ceci afin que le courant dans la ligne reste purement sinusoïdal et égal au fondamental du courant de charge.[15]

II.2.2 Objectif du filtre actif

Un filtre actif est un dispositif qui exploite au moins un convertisseur statique pour satisfaire la fonction de dépollution harmonique. Les besoins en termes de dépollution harmonique sont divers, parce qu'on espère toujours garantir:

- La non pollution d'un réseau propre alimentant une charge sensible.
- Le bon fonctionnement d'une charge sensible dans un environnement pollué.

II.3. Le filtre actif parallèle

II.3.1 Principe de fonctionnement

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau, est le plus souvent commandé comme un générateur de courant. Il injecte dans le réseau des courants perturbateurs égaux à ceux absorbés par la charge polluante, mais en opposition de phase avec ceux-ci. Le courant côté réseau est alors sinusoïdal. Ainsi l'objectif du filtre actif parallèle consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés), produits par des charges polluantes, de circuler à travers l'impédance du réseau, située en amont du point de connexion du filtre actif[16].

La Figure II.2 présente le principe du filtre actif parallèle, il est conçu pour fournir le courant de compensation i_c afin d'annuler les composantes harmoniques du courant de la charge non-linéaire, de telle sorte que le courant fourni par le réseau soit sinusoïdal. Figure

II.3 montre le courant de la charge non linéaire, le courant compensé de la source et le courant de référence injecté par le filtre actif.[14]

En général, le courant absorbé par la charge comporte une composante active i_{ca} , une

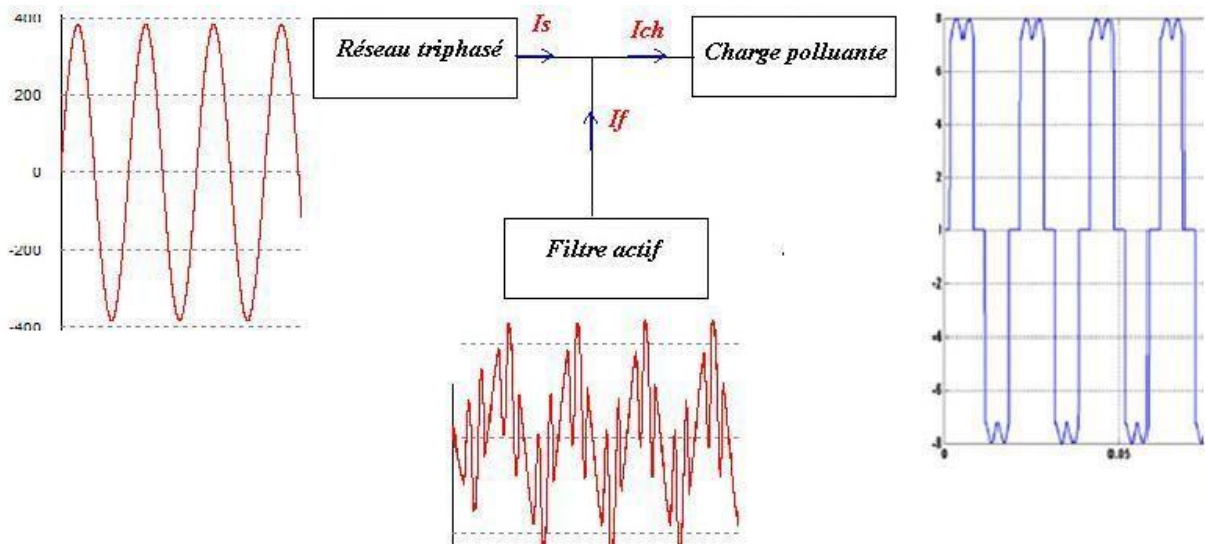


Figure II.2: Schéma de principe du filtre actif parallèle.

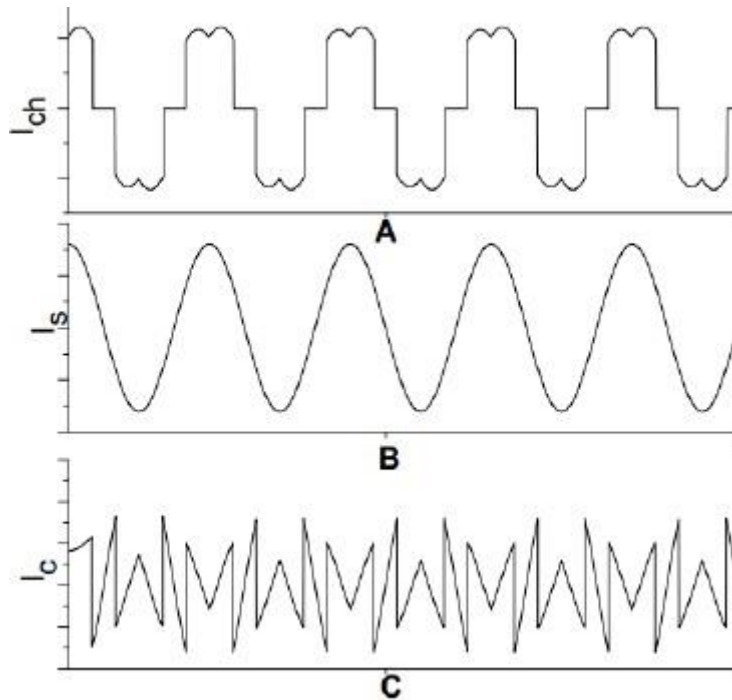


Figure II.3: Formes des courants de : A- la charge non linéaire, B- la source et C- de la référence injectée.

composante réactive i_{cR} et des composantes harmoniques $\sum_{n=2}^{\infty} i_{c/n}$

$$i_{ch} = i_{c/n} + i_{cR} + \sum_{n=2}^{\infty} i_{c/n} \tag{II.1}$$

En appliquant la loi de Kirchhoff sur la Figure II.2 le courant fournit par la source est égale à :

$$i_s = i_{cR} - i_f \tag{II.2}$$

Le filtre actif parallèle fournit la puissance déformante:

$$i_f = \sum_{n=2}^{\infty} i_{c/n} \quad (\text{II.3})$$

et fournit en plus la puissance réactive, si il est désigné pour le faire:

$$i_f = i_{c/r} + \sum_{n=2}^{\infty} i_{c/n} \quad (\text{II.4})$$

II.3.2 Structure générale d'un filtre actif parallèle

La figure (II.4) montre la structure d'un filtre actif composé en deux parties:

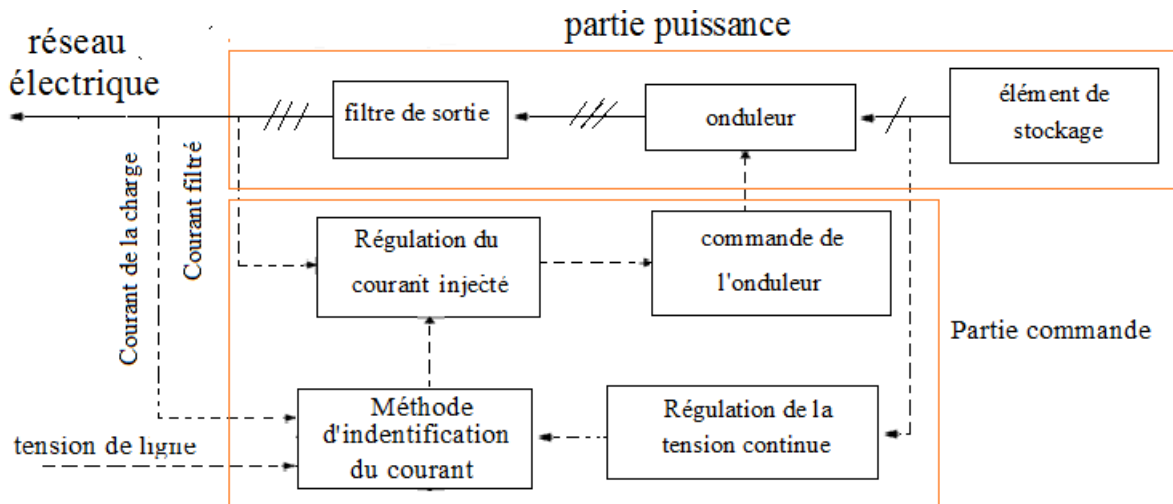


Figure II. 4: Structure générale d'un filtre actif parallèle

La partie puissance qui est constituée:

- D'un onduleur de tension.
- D'un circuit de stockage d'énergie, souvent capacitif.
- D'un filtre de sortie.

La partie commande qui est constituée:

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

II.3.2.1 Partie puissance

La partie puissance est constituée essentiellement d'un convertisseur statique qui représente la source du courant de compensation, contenant un onduleur de tension ou de courant à base

antiparallèle, un filtre de sortie et un circuit de stockage d'énergie capacitif dans le cas de l'onduleur de tension ou inductif dans le cas d'onduleur de courant.

II.3.2.1.1 Filtre actif à structure tension.

La Figure II.5 présente un onduleur triphasé à structure de tension. Le filtre actif est connecté au réseau par l'intermédiaire d'un filtre de sortie inductif L_f .

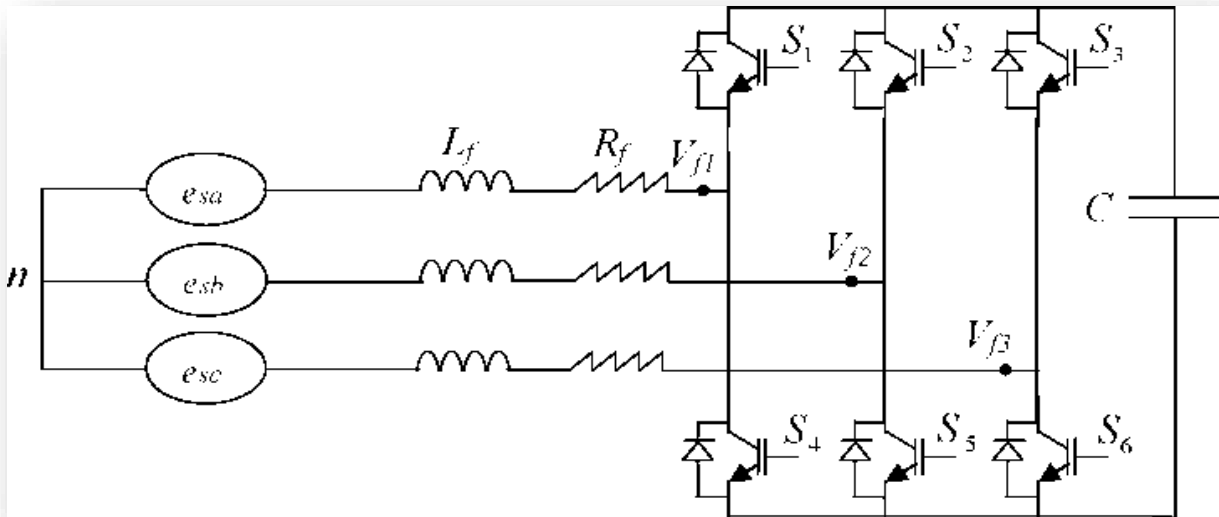


Figure II.5: Filtre actif à structure tension.

En théorie, nous commandons les deux semi-conducteurs d'un même bras de façon complémentaire :

la conduction de l'un entraîne le blocage de l'autre. Avec cette hypothèse, l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur de la figure. II.2 dépendent de l'état de trois signaux de commande (T1, T2, T3), définis ci-dessous :

$S1$ fermé et $S4$ ouvert

$S4$ fermé et $S1$ ouvert

$S2$ fermé et $S5$ ouvert

$S5$ fermé et $S2$ ouvert

$S3$ fermé et $S6$ ouvert

$S6$ fermé et $S3$ ouvert

En pratique, les deux semi-conducteurs d'un même bras ne doivent jamais conduire en même temps afin d'éviter de court-circuiter la source de tension ; il faut donc générer un temps d'attente, également appelé temps mort, entre la commande au blocage d'un interrupteur et la commande à l'amorçage de l'autre interrupteur du même bras. Ainsi, à partir des états des

interrupteurs présentés par les variables T_1 , T_2 et T_3 , on obtient huit cas possibles pour les 3 tensions de sortie du filtre actif V_{fi} (référéncées par rapport au point de mi-tension continue), comme le montre le Tableau II.1

Etat N°	T_3	T_2	T_1	V_{f3}	V_{f2}	V_{fi}
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	$-v_{dc}/3$	$-v_{dc}/3$	$2v_{dc}/3$
2	0	1	0	$-v_{dc}/3$	$2v_{dc}/3$	$-v_{dc}/3$
3	0	1	1	$-2v_{dc}/3$	$v_{dc}/3$	$v_{dc}/3$
4	1	0	0	$2v_{dc}/3$	$-v_{dc}/3$	$-v_{dc}/3$
5	1	0	1	$v_{dc}/3$	$-2v_{dc}/3$	$v_{dc}/3$
6	1	1	0	$v_{dc}/3$	$v_{dc}/3$	$-2v_{dc}/3$
7	1	1	1	0	0	0

Tableau II.1: Les tensions en sortie de l'onduleur

II.3.2.1.2 Filtre actif parallèle à structure de courant

Sur la figure suivante est illustrée le filtre actif parallèle à structure de courant. L'inductance et le filtre passe-bas de deuxième ordre de sortie caractérisent cette structure. L'élément servant de source d'énergie est l'inductance (L_{df}) qui doit délivrer un courant continu de valeur quasi constante. Tout comme le filtre à structure de tension, la présence du filtre de couplage sert à filtrer les tensions harmoniques générées par les courants de l'onduleur. Les harmoniques près de la fréquence de résonance du filtre passe-bas $L_f C_f$ sont amplifiés et peuvent causer de graves dommages au montage. Dans le but de prévenir ce phénomène indésirable, des résistances peuvent être insérées dans le filtre passe-bas ou un contrôle approprié du courant, qui tient en compte la dérivée du courant instantané du filtre actif, peut être adopté [17]

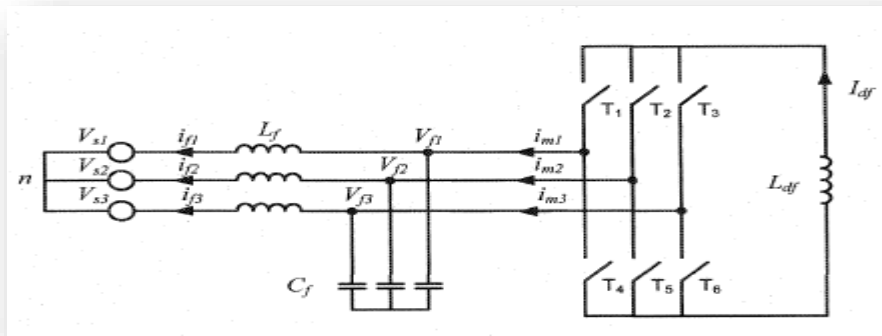


Figure II.6: Filtre actif à structure courant

Les semi-conducteurs servant d'interrupteur à l'onduleur sont unidirectionnels en courant, mais bidirectionnels en tension. Ces semi-conducteurs se commandent en fermeture et en ouverture.

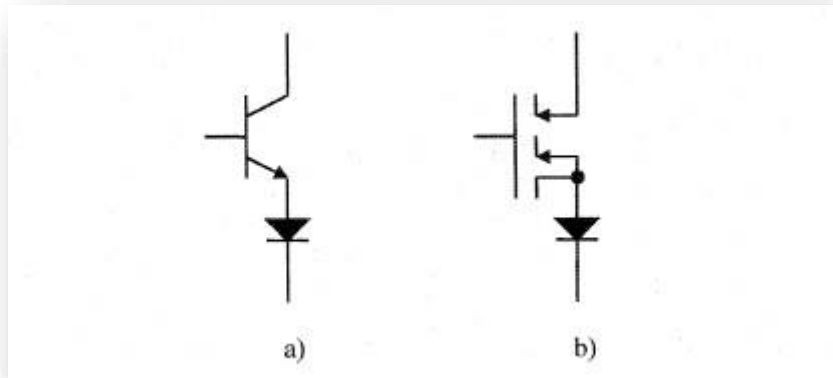


Figure II.7: Semi-conducteurs servant d'interrupteur au filtre actif en courant : a) transistor bipolaire, b) transistor IGBT

Pour que les états des interrupteurs ne dépendent que des signaux de contrôle, il faut commander un seul composant par demi-pont. Le mode où il y a deux composants d'un demi-pont simultanément conducteurs existe uniquement lors des passages de courant d'une phase à l'autre. Des trois interrupteurs reliés à la même borne de la source de courant continu, il faut qu'il y en ait toujours un fermé pour que cette source de courant ne soit jamais en circuit ouvert. Le tableau II.2 montre les combinaisons possibles des courants i_{m1} , i_{m2} et i_{m3} .

Etat N°	Interrupteurs fermés	i_{m1}	i_{m2}	i_{m3}
1	T_1, T_5	I_{df}	$-I_{df}$	0
2	T_1, T_6	I_{df}	0	$-I_{df}$
3	T_2, T_6	0	I_{df}	$-I_{df}$
4	T_2, T_4	$-I_{df}$	I_{df}	0
5	T_3, T_4	$-I_{df}$	0	I_{df}
6	T_3, T_5	0	$-I_{df}$	I_{df}
7	T_1, T_4	0	0	0
8	T_2, T_5	0	0	0
9	T_3, T_6	0	0	0

Tableau II.2: Courants générés par l'onduleur à structure de courant

II.3.2.2 Partie commande

La commande est mise en œuvre en trois étapes. Dans la première étape, la tension de réseau et le courant de la charge sont détectés à l'aide de transformateurs de mesures (le TC et le TP). Dans la deuxième étape, on détermine le courant de référence à partir des méthodes d'identifications approuvées. Dans la troisième étape de commande, les signaux de commutation de semi-conducteur de l'onduleur de l'FAP sont générés en utilisant, l'hystérésis, MLI classique ou vectorielle, en mode glissant, ou des techniques de contrôle à base de logique floue [18]. Donc la commande d'un filtre actif parallèle triphasé est basée sur la division du système en deux boucles [19]. Le premier sert à générer les courants de références, que l'onduleur doit injecter dans le point de raccordement, quant au deuxième, il sert à contrôler les courants injectés par l'onduleur de sorte qu'ils suivent le plus fidèlement possible ceux de la référence comme présenté dans la Figure II.6[20].

La commande est mise en œuvre en deux étapes. Dans la première étape, on détermine le courant de référence à partir des méthodes d'identifications approuvées. Dans la deuxième étape de commande, les signaux de commutation de semi-conducteur de l'onduleur de l'FAP sont générés en utilisant l'hystérésis ou par MLI.[13]

La partie commande est constituée principalement des éléments suivants :

- l'identification des courants de référence (qui fera l'objet du prochain chapitre),
- la poursuite des courants de référence,
- la régulation de la tension du bus continu,

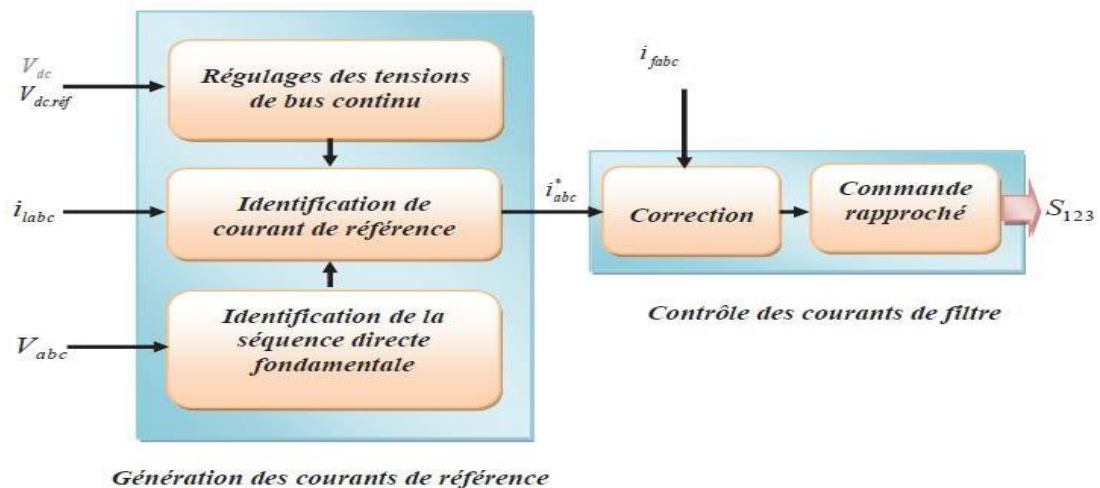


Figure II.8: Commande du FAP

II.3.2.3 La poursuite des courants de référence

La structure du filtre actif parallèle de tension ne permet pas la fermeture simultanée des semi-conducteurs d'un même bras sous peine de court-circuiter le condensateur de stockage. Par contre, il faut insérer sur un même bras, un temps d'attente, également appelé temps mort, entre la commande de blocage d'un interrupteur et la commande d'amorçage de l'autre. Avec l'hypothèse des commutations instantanées, ce mode de fonctionnement ne sera pas pris en compte et par conséquent, aucun risque de court-circuiter le condensateur.

La commande des deux semi-conducteurs d'un même bras se fait d'une manière complémentaire, c'est-à-dire, si le premier est ouvert l'autre est fermé. Avec ce principe, l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur dépendent de l'état des signaux de commande (S1, S2, S3), tel que montré ci-après :

$$S_1 \begin{cases} 1 & T_1 \text{ ferme } T_4 \text{ ouvert } 0 & T_4 \text{ ferme} \\ & T_1 \text{ ouvert} \end{cases} \tag{II.1}$$

$$S_2 \begin{cases} 1 & T_2 \text{ ferme } T_5 \text{ ouvert } 0 & T_5 \text{ ferme} \\ & T_2 \text{ ouvert} \end{cases} \tag{II.2}$$

$$S_3 \begin{cases} 1 & T_3 \text{ ferme } T_6 \text{ ouvert } 0 & T_6 \text{ ferme} \\ & T_3 \text{ ouvert} \end{cases} \tag{II.3}$$

Les tensions entre phases, imposées par l'onduleur, sont alors définies par :

$$\begin{bmatrix} V_{f1} \\ v_{f2} \\ V_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} - & v_{f2} \\ - & V_{f3} \\ \dots & V_{f1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 & - & s_2 \\ s_2 & - & s_3 \\ s_3 & \dots & s_1 \end{bmatrix} V_{dc} \tag{II.4}$$

Les tensions de sortie de l'onduleur, notées V_{f1}, v_{f2}, V_{f3} , sont référencées par rapport au neutre du réseau et vérifient les équations suivantes :

$$\begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{s1} \\ V_{s2} \\ V_{s3} \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{f1} \\ i_{f2} \\ i_{f3} \end{bmatrix} \quad (II.5)$$

Les tensions du réseau étant supposées équilibrées, et sachant que la somme des courants injectés par l'onduleur est nulle, nous permet d'écrire :

$$\begin{cases} v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} = 0 \\ i_{f1} + i_{f2} + i_{f3} = 0 \end{cases} \quad (II.6)$$

On peut déduire des équations ((II.5) et (II.6) la relation suivante :

$$v_{s1} + v_{s2} + v_{s3} = 0 \quad (II.7)$$

Les équations (II.4) et (II.7) peuvent être résolues et nous obtenons :

$$\begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2S_1 & -S_2 & -S_3 \\ -S_1 & 2S_2 & -S_3 \\ -S_1 & -S_2 & 2S_3 \end{bmatrix} V_{dc}/3 \quad (II.8)$$

Puisque les grandeurs S_1, S_2 et S_3 peuvent prendre chacune deux valeurs (0 ou 1), il en résulte huit commandes possibles, présentées dans le tableau II.1

Le filtre de sortie a pour rôle d'assurer la liaison entre le réseau et l'onduleur de tension. Le dimensionnement de ce filtre doit tenir compte les deux points important suivants:

- Il doit fournir une atténuation suffisante des rebondissements causés par la commutation des semi-conducteurs de l'onduleur du filtre actif,
- Il doit préserver les performances du filtre actif, définie par :

$$\frac{d_i f}{dt} = \frac{d_{ref}}{dt} \quad (II.9)$$

Un filtre de sortie du premier ordre est le plus souvent utilisé dans la littérature, il est composé d'une inductance L_f et de résistance interne R_f . Une valeur relativement faible de L_f permet d'obtenir une bonne dynamique du FAP en satisfaisant l'égalité [21.22].

II.3.2.4 Détermination des courants harmonique de référence

La charge polluante absorbe un courant constitué d'une composante fondamentale et de composantes harmoniques. Le but du filtrage actif est la génération de courants harmoniques de même amplitude mais en opposition de phase avec ceux absorbés par la charge. Ainsi, le

courant absorbé au réseau sera sinusoïdal. Il est donc nécessaire d'identifier avec précision les courants harmoniques de la charge polluante.

Le choix de la méthode utilisée pour isoler la composante harmonique du courant de charge est un facteur déterminant quant aux performances obtenues par le filtre actif (précision, dynamique, ...), Parmi toutes les méthodes présentées dans la littérature, nous avons choisi de mettre en œuvre une variante de la méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées, développée au sein de notre laboratoire. Elle utilise des filtres FMV au lieu des filtres classiques (FPB et FPH). La méthode classique des puissances instantanées est devenue aujourd'hui très courante dans les applications comme le filtrage actif car elle réalise le meilleur compromis entre performances statique et dynamique.[23]

II.3.2.5 identification des courants perturbateurs par la méthode des puissances instantanées

Cette méthode introduit par H.Akagi qui est une méthode temporelle. Elle était utilisée afin d'éviter les difficultés dues au nombre élevé de calcul lors de la mise en œuvre de méthodes fréquentielles telle que la transformée de Fourier (Transformées de Fourier rapide ou discrète), exploite la transformation de Concordia de tensions simples et courants de ligne, afin de calculer les puissances réelle, imaginaire et homopolaire instantanées. Elle permet de transformer la composante fondamentale en une composante continue et les composantes harmoniques en composantes alternatives. Cette transformation est nécessaire si nous voulons éliminer facilement la composante continue.[24.25]

On note respectivement les vecteurs des tensions simples au point de raccordement [Vs] et des courants de charge [ic] d'un système triphasé et équilibré par :

$$[V_s] = \begin{bmatrix} V_{s1} \\ V_{s2} \\ V_{s3} \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [i_c] = \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \tag{II.10}$$

La transformation des valeurs triphasées instantanées de la tension et du courant dans le repère des coordonnées α-β est donnée par les expressions suivantes:

$$[V_{s\alpha\beta}] = \sqrt{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s1} \\ V_{s2} \\ V_{s3} \end{bmatrix} \tag{II.11}$$

Et pour les courants :

$$[i_{c\alpha\beta}] = \sqrt{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \tag{II.12}$$

Cette transformation n'est valide que si les tensions sont équilibrées et sinusoïdales. Dans le repère de Concordia, la puissance réelle et la puissance imaginaire sont données par la matrice suivante:

$$\begin{cases} P = V_\alpha i_\alpha + V_\beta i_\beta \\ q = -V_\beta i_\alpha + V_\alpha i_\beta \end{cases} \quad (II.13)$$

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

$$\begin{cases} P = p + \bar{p} \\ q = q + \bar{q} \end{cases} \quad (II.14)$$

Avec :

- \bar{p} : une puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant et de la tension.
- \bar{q} une puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant et de la tension.
- p et q des puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices du courant et de la tension.

➤ **Calcul des courants perturbateurs**

On posant :

$$\Delta = V_{s\alpha}^2 + V_{s\beta}^2 \quad \text{On a:} \quad \begin{cases} i_\alpha \\ i_\beta \end{cases} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} \quad (II.15)$$

En considérant les équations (II.5) et (II.6), nous pouvons séparer le courant dans le repère $(\alpha-\beta)$ en trois composantes, active et réactive à la fréquence fondamentale et les harmoniques. Ceci conduit à:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} + \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & -V_{s\beta} \\ V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{q} \end{bmatrix} \quad (II.16)$$

Cette expression montre donc que l'identification des différentes composantes du courant dans le repère $(\alpha-\beta)$ revient à séparer des termes continus des puissances réelle et imaginaire

courants de référence (i_{ref}), sont calculés à partir de la transformation (α - β) inverse donnée par la relation (II.8):

- - -

$$\begin{bmatrix} i_{ref1} \\ i_{ref2} \\ i_{ref3} \end{bmatrix} = \sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \tag{II.17}$$

Il est évident, d’après la relation (II.16), que pour identifier une des trois composantes, par exemple les courants harmoniques, les parties alternatives des puissances réelle et imaginaire doivent être séparées des parties continues. Cette séparation peut être réalisée en utilisant deux filtres, le premier pour isoler la partie P de la puissance active instantanée, le second pour isoler la partie q de la puissance réactive instantanée, comme le présente la Figure II.9.

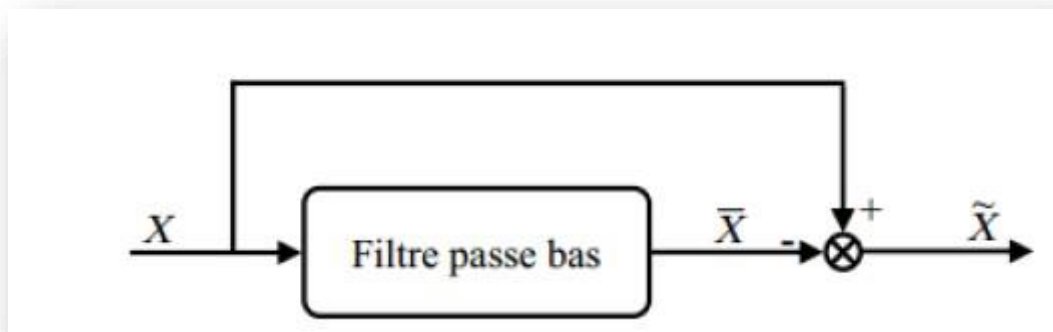


Figure II.9: Schéma représentant le principe de séparation des puissances.

Suivant la fonction que nous donnons au filtre actif de puissance, nous pouvons compenser soit les harmoniques de courant et l’énergie réactive ou uniquement l’un des deux. Le Tableau (II.3) résume les modes de compensations possibles

Paramètres de contrôle	
Compensation des harmoniques de courant	$p_f = p$ et $q_f = \bar{q}$
Compensation de l’énergie Réactive	$p_f = 0$ et $q_f = \bar{q}$
Compensation des harmoniques de courant et de l’énergie réactive	$p_f = p$ et $q_f = q$

Tableau II.3: Les modes de compensation

II.4. Stratégie de commande de l’onduleur du filtre actif :

La commande du filtre actif parallèle est basée sur la nature de l’onduleur qui produit le courant à injecter dans le réseau et la commande choisi pour contrôler cet onduleur.[6]

Le but de la commande de l'onduleur est le contrôle des courants à la sortie du filtre afin qu'ils suivent leurs références. Le principe est basé sur la comparaison entre les courants à la sortie du filtre actif et leurs références calculées à partir des différentes méthodes d'extraction et de régulation des courants harmoniques et de la tension du condensateur de stockage d'énergie.[26]

II.4.1 Commande par hystérésis des courants prélevés

Cette commande est très adaptée pour les organes ayant une action à deux positions comme c'est le cas ici, l'IGBT peut être soit ouvert ou bloqué, cette commande consiste à changer la polarisation de la tension de sortie de l'onduleur de telle sorte à maintenir le courant dans une bande centrée autour de la référence, la dimension de ce filtre se résume à fixer la largeur de cette bande. Une règle pratique consiste à la prendre à 5% du courant nominal. Cependant elle ne garantit pas d'une manière systématique le respect de la fréquence de commutation maximale des semi-conducteurs..[27]

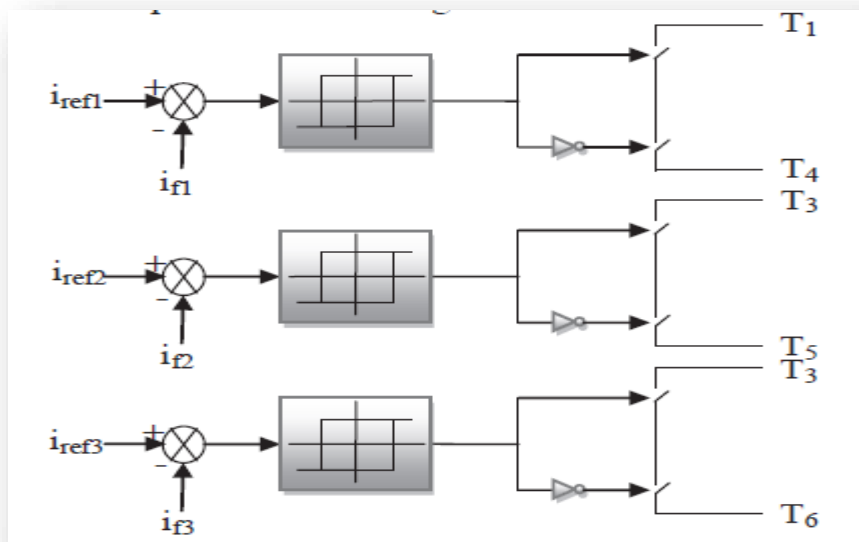


Figure II.10: Principe de contrôle du courant par hystérésis

Les courants de charge réels sont détectés et comparés avec leurs composantes non actifs. Cette technique peut être caractérisée par une bande d'hystérésis qui est le seul paramètre de contrôle de courant de chaque bras de l'onduleur. Les signaux de sortie des comparateurs à hystérésis sont utilisés pour commander l'ordre de commutation des interrupteurs de chaque bras de l'onduleur. Le courant de compensation va rester dans une bande autour du signal de référence,[6].

La simplicité de la mise en œuvre, est le principal atout de cette technique. En revanche, les commutations évoluent librement à l'intérieur de bande d'hystérésis, on ne peut maîtriser correctement le spectre de haute fréquence dû aux fréquences de commutations.

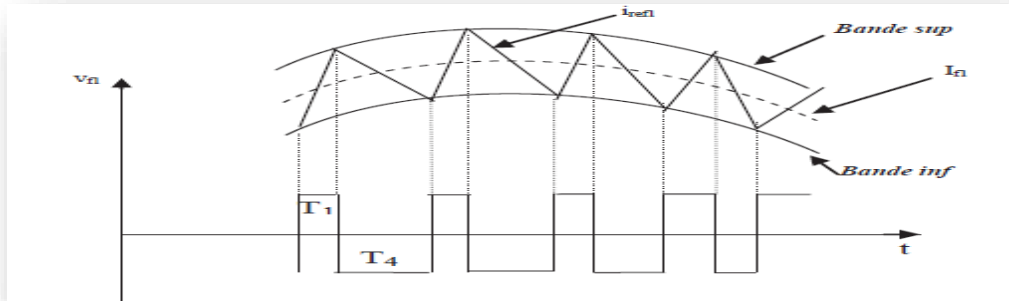


Figure II.11: Commande des interrupteurs par hystérésis.

II.4.2 Commande par hystérésis modulée

La commande par hystérésis modulée a pour objectif d'apporter une amélioration en résolvant l'inconvénient majeur de la commande par hystérésis conventionnelle par la fixation de la fréquence de commutation des semi-conducteurs. Cette amélioration consiste à ajouter au signal d'erreur ($\epsilon = i_{ref} - i_c$) un signal triangulaire à la fréquence de commutation.

La fréquence doit être choisie égale à la fréquence de commutation que l'on souhaite imposer aux composants de puissance. Le signal ainsi obtenu attaque alors l'entrée d'un régulateur à hystérésis de largeur de bande 2BH (Bande Hystérésis) dont la sortie permet de commander les interrupteurs de puissance. Le schéma de cette commande est décrit à la Figure II.12.[8]

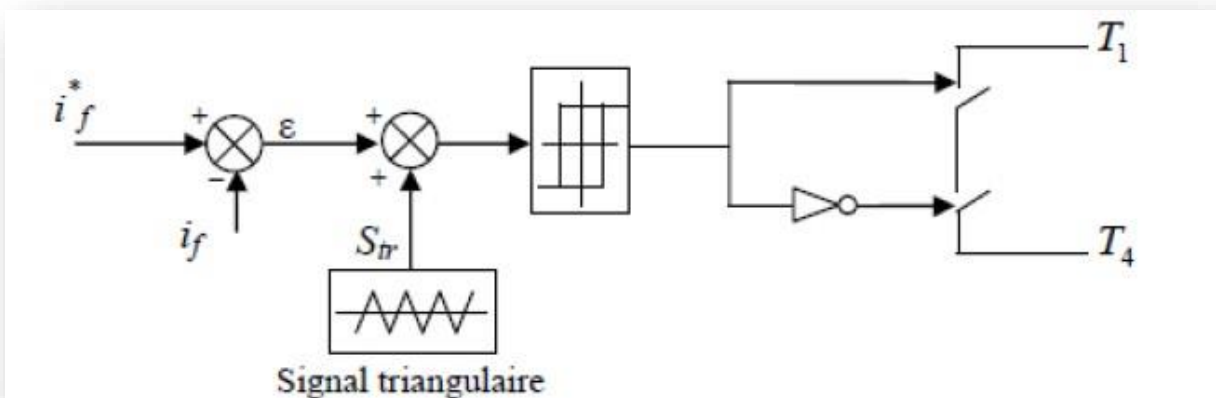


Figure II.12: Commande par hystérésis modulée

II.4.3 Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Le principe du contrôle par MLI est décrit à la figure II.13. Dans ce cas, la différence entre le courant référence i_f^* et le courant réel i_f est appliquée à l'entrée d'un régulateur. Les signal de sortie du régulateur, appelé modulatrice, est ensuite comparé à un signal triangulaire de fréquence fixe (porteuse) afin de déterminer les ordres de commutations des interrupteurs. La fréquence de la porteuse triangulaire fixe donc la fréquence de découpage des semi conducteurs de puissance.[28]

Le contrôle par MLI est d'une complexité réduite; il garantit un fonctionnement à fréquence fixe et conduit à un contenu harmonique parfaitement identifié. Cependant, cette technique a des propriétés dynamiques qui peuvent être limitatives et la réponse du système lors d'un changement brutal des courants de référence est plus lente que celle d'une commande par hystérésis.

Cette technique de commande met 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

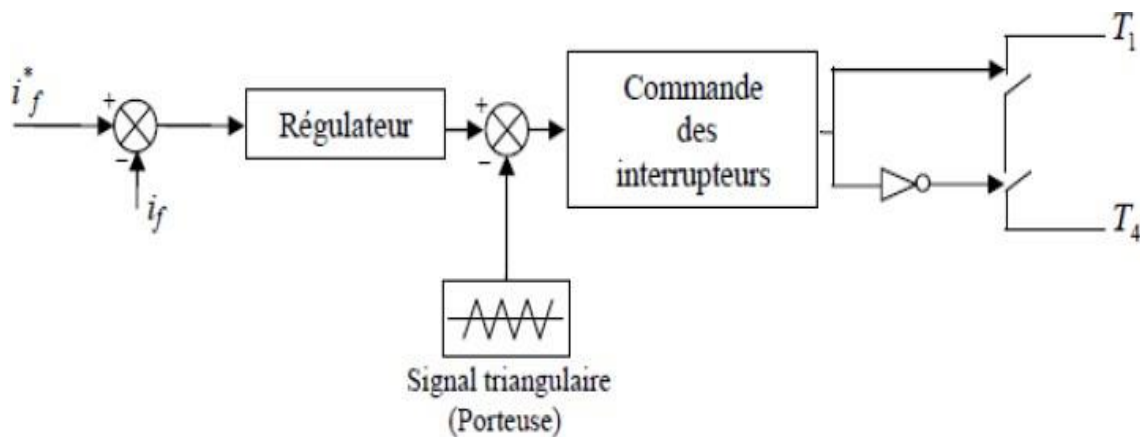


Figure II.13: Principe de commande des courants par MLI

II.4.4 Commande par MLI vectorielle

Cette technique de commande divise le référentiel α - β des courants et des tensions en six régions avec un décalage courant/tension de 30° comme il est illustré sur la Figure II.14.

L'hexagone de tension de la Figure suivante est la représentation vectorielle des vecteurs non nuls V_1 à V_6 (V_0 et V_7 étant les vecteurs nuls correspondant aux états 000 et 111 respectivement).

Ensuite, l'algorithme de commande doit identifier la région, parmi les six régions de l'hexagone de courant ou l'erreur de courant Δi se situe, puis sélectionner le vecteur de

tension de sortie du filtre actif V_{fa} appartenant à l'hexagone de tension ceci a pour rôle de forcer l'erreur Δi à varier dans la direction opposée, afin de maintenir le courant de sortie proche de sa consigne. [29.30]

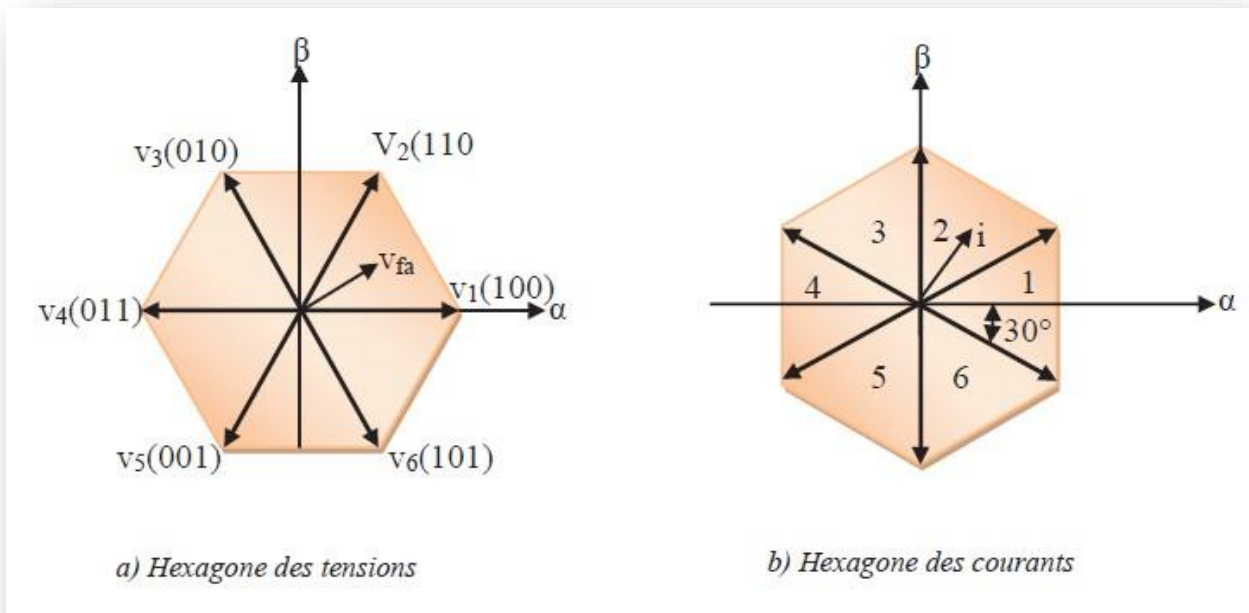


Figure II.14: Hexagones des tensions et courants définis dans le plan α - β

II.5 Régulation de la tension continue

Pour les petites et moyennes puissances, l'élément de stockage de l'énergie le plus adapté est une capacité placée du côté continu de l'onduleur qui a deux tâches essentielles :

- en régime permanent, il maintient la tension du bus continu v_{dc} constante avec des faibles oscillations.
- il sert comme élément stockage d'énergie pour compenser la différence de la puissance réelle entre la charge et la source lors des périodes transitoires.

II.5.1 Principe de la régulation

Le rôle de la boucle de régulation de la tension du bus continu est de maintenir cette tension à une valeur constante. Les éléments à l'origine de la variation de la tension moyenne V_{dc} aux bornes du bus continu sont les suivants:[31]

- les pertes dans les interrupteurs.
- les pertes dans les filtres de sortie L_f .
- l'injection des courants fondamentaux pendant les régimes transitoires de la charge polluante.

Sur la Figure II.15, nous remarquons que suite à un écart entre V_{dcref} et V_{dc} , la puissance P_{dc} la sortie du régulateur de tension s'ajoute, à un signe près à la puissance active harmonique et donne lieu à un courant fondamental actif supplémentaire corrigeant la tension continue.

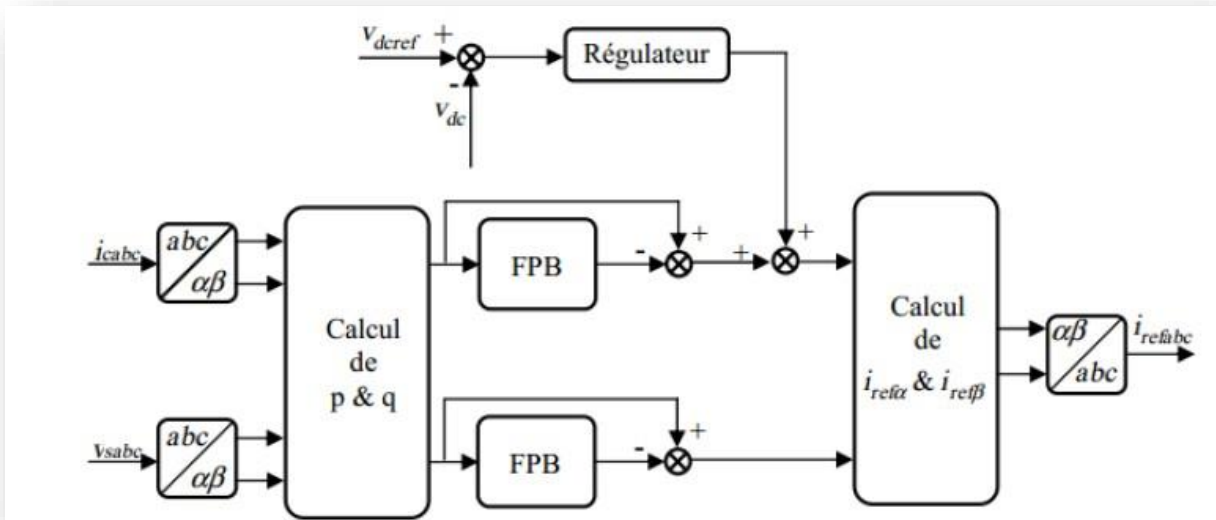


Figure II.15: Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées

II.5.2. Synthèse du régulateur de tension

Afin d'obtenir la quantité P_{dc} représentant la puissance active nécessaire pour maintenir V_{dc} proche de sa référence V_{dcref} on peut utiliser un simple régulateur type proportionnel.

En régime permanent les courants de référence ne contiennent pas de composantes fondamentales et la puissance nécessaire pour compenser les pertes est faible. Dans ce cas, un simple gain est suffisant et pour filtrer les fluctuations à 300Hz, nous proposons d'ajouter un filtre passe-bas du premier ordre en sortie du régulateur, La fonction de transfert du régulateur est donnée par:[32]

$$G(s) = \frac{K_c}{1 + \tau_c s} \tag{II.18}$$

Avec :

- K_c : Gain du régulateur.
- τ_c : Constant de temps

En négligeant les pertes par commutation dans le filtre actif ainsi que l'énergie stockée dans le filtre de sortie L_f , la relation entre la puissance absorbée par le filtre actif et la tension continue V_{dc} s'exprime par:

$$P_{dc} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C V_{dc}^2 \right) \tag{II.19}$$

Pour des faibles variations V_{dc} autour de $V_{dc\ ref}$ l'équation (II.19) peut s'écrire:

$$P_{dc} \approx C V_{dc\ ref} \frac{dV_{dc}}{dt} \tag{II.20}$$

Des équations (II.18) et (II.20), la boucle de régulation de la tension continue V_{dc} peut être fonctionnellement représentée par la Figure(II.16).

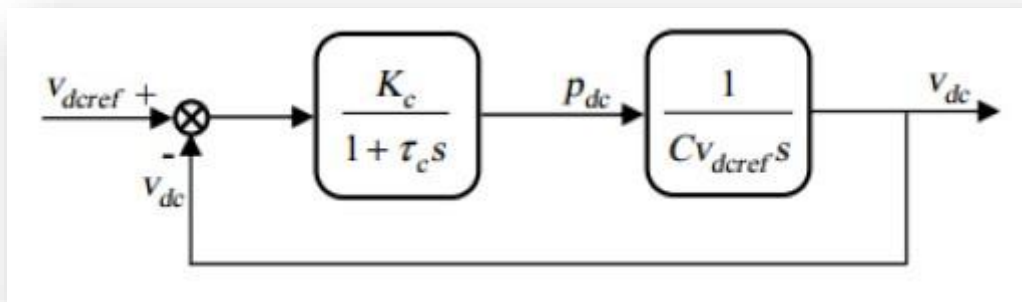


Figure II.16: Boucle de régulation de la tension continue.

La fonction de transfert en boucle fermée est alors:

$$F(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\varepsilon_c \omega_c s + \omega_c^2} \tag{II.21}$$

Avec:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{K_c}{C V_{dc\ ref} \tau_c}} \tag{II.22}$$

$$\varepsilon_c = \sqrt{\frac{C V_{dc\ ref}}{\tau_c k_c}} \tag{II.23}$$

En général, la régulation est stable, mais pour obtenir un amortissement suffisant, le produit $\tau_c k_c$ doit être limité.

II.6.Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons étudié en détail et défini, le fonctionnement du filtre actif parallèle ainsi que leurs différents éléments constitutifs. La configuration du circuit de puissance, le dimensionnement des paramètres du filtre de sortie, la stratégie de commande et

Chapitre II Structure du filtre actif parallèle et stratégies de Commande

le principe de fonctionnement du système de filtrage actif. Ensuite, nous avons présenté quatre types de contrôle du courant du filtre actif : le contrôle par hystérésis et l'hystérésis

modulée, le contrôle par modulation de largeurs d'impulsions ou MLI, finalement la Commande par MLI vectorielle

Dans ce chapitre aussi montre que la modulation par hystérésis à bande fixe est la meilleure en termes de qualité du filtrage, mais elle représente une fréquence de commutation variable qui représente un inconvénient majeur. La modulation par MLI sinusoïdale donne de bons résultats avec l'avantage d'une fréquence de commutation contrôlable.



CHAPITRE III

Chapitre III : Commande directe de puissance du filtre actif parallèle et résultats de simulation.

III. INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, des travaux de recherche importants ont été menés sur les stratégies de contrôle des convertisseurs MLI triphasés. Ces stratégies proposées peuvent être classées selon l'utilisation des régulateurs de boucle de courant ou de régulateurs de puissances actives/réactive.

La commande DPC est un stratégie de contrôle de haute performance pour les convertisseurs MLI basés sur la théorie de la puissance instantanée, Bien que la DPC est comme étant le contrôle qui utilise directement les puissances instantanées comme variables de contrôle et qui n'a pas besoin d'utiliser des blocs de modulation car les états de commutation de l'onduleur sont choisis directement par un tableau de commutation. Cette définition n'inclut que la DPC classique.

Dans la première partie de ce chapitre, nous présenterons une étude détaillée sur la commande DPC à base d'une table de commutation prédéfinie appliquée sur un filtre actif parallèle (FAP).

Dans la deuxième partie nous exposerons la nouvelle commande proposée qui est nommée zéro DPC (ou ZDPC). Nous allons expliquer son principe et montrer et a la fin, nous présenterons les résultats de simulation par des interprétations bien détaillées., On conclura ce chapitre par une comparaison des deux commandes, classique et proposée.

III.1 Etat de l'art du contrôle direct de puissance

Le principe de base de commande directe de puissance a été originalement présenté par Takahashi *et al.* en 1986 et il a été développé plus tard pour plusieurs applications. Le but était d'éliminer le bloc de modulation de largeur d'impulsion et les boucles internes des variables contrôlées en les remplaçant par une table de commutation dont les entrées sont les erreurs entre les valeurs de référence et les mesures. La première application développée dans cet axe était le contrôle d'une machine électrique. La structure de contrôle était connue sous la dénomination de Contrôle Direct de Couple (*Direct Torque Control, DTC* en anglais). Dans

ce cas, le flux statorique et le couple électromagnétique de la machine sont contrôlés sans aucun bloc de modulation

En 1998, Noguchi *et al.* ont introduit la première application pratique du concept de la commande directe de puissance. Cette application est utilisée pour contrôler les puissances instantanées active et réactive du redresseur à *MLI* triphasé sans capteurs de tension du réseau.

En 2008, Cortes *et al.*, ont exposé une structure de *DPC* basée sur la commande prédictive.

Les avantages principaux de cette stratégie consistent dans l'absence de régulateurs *PI* pour le courant, de transformation de repères et de modulation *MLI*. [7]

III.2. Principe du DPC classique

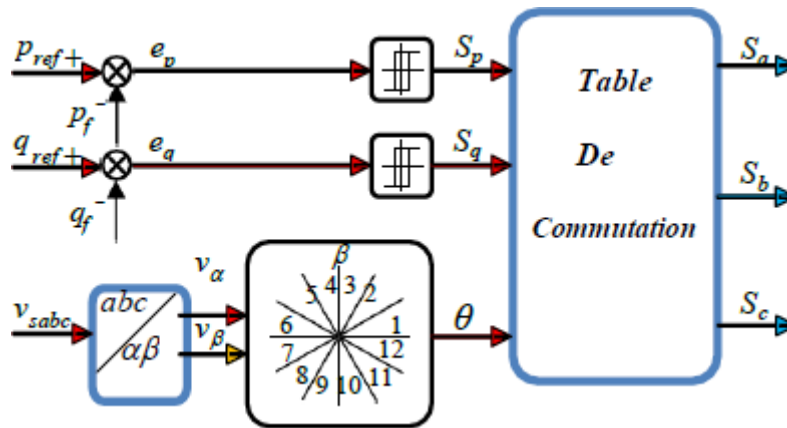


Figure III.1 : Configuration générale de la commande directe de puissance.

La DPC consiste à sélectionner un vecteur de commande d'après une table de commutation. Cette dernière est fondée sur l'erreur numérisée S_p, S_q qui sont limitées par une bande d'hystérésis, aussi bien que sur la position angulaire de la tension au point de raccordement de la charge au réseau *PCC*. Le plan (α, β) est divisé en douze secteurs pour déterminer le secteur de travail. [7]

III.3 Commande directe de puissance DPC

L'idée principale de la commande directe de puissance (DPC) proposée initialement par Ohnishi (1991) et développée ensuite par Noguchi et Takahachi en 1998, est similaire à la commande directe du couple (DTC) des machines asynchrones. Au lieu du flux et du couple, les puissances active (p) et réactive (q) instantanées sont choisies comme deux grandeurs à contrôler (figure(III.2)).

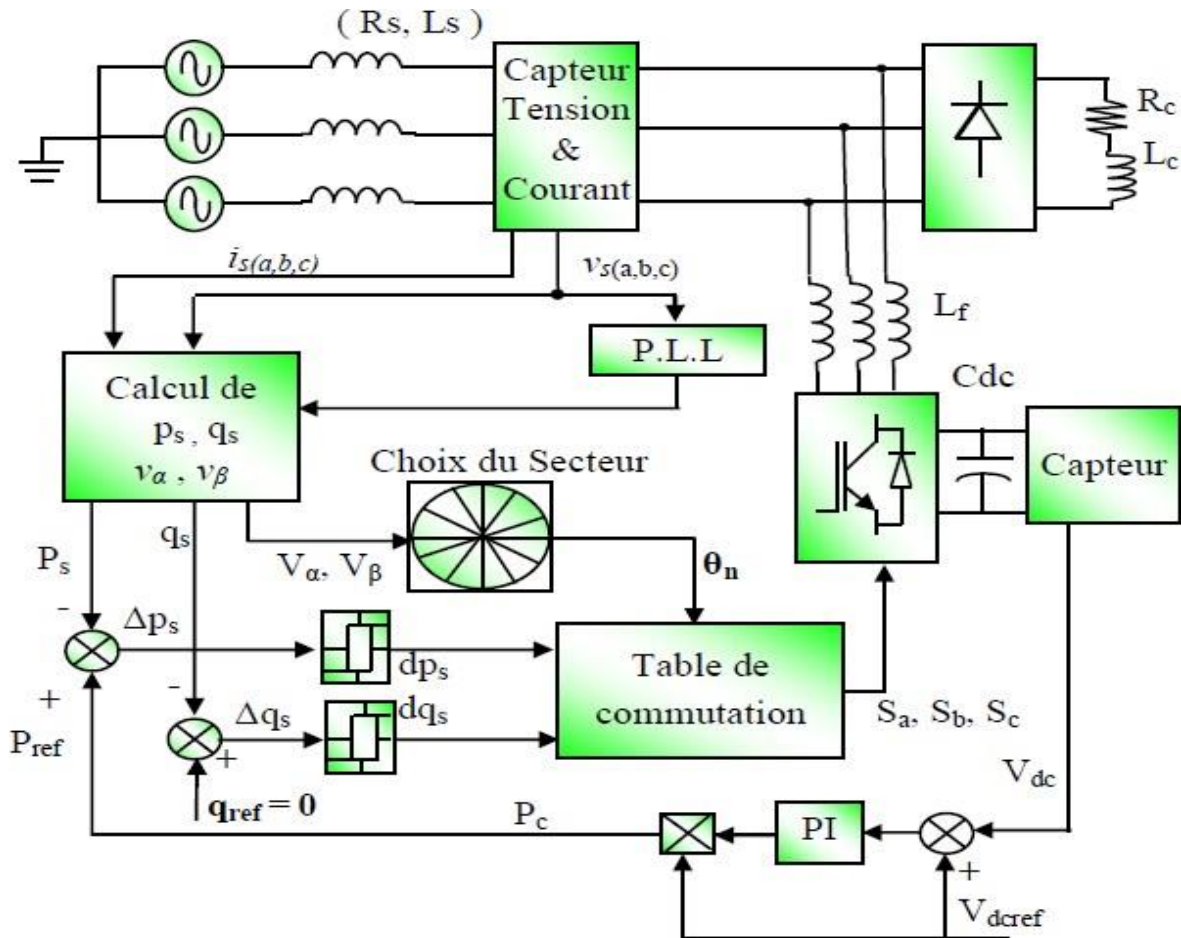


Figure III.2: schéma synoptique de contrôle du FAP avec la commande DPC.

III.3.1 Principe de la commande directe de puissance

La figure (III.2) montre la configuration globale de la commande directe de puissance sans capteur de tension pour un onduleur triphasé. La DPC consiste à sélectionner un vecteur de commande d'après une table de commutation. Cette dernière est fondée sur les erreurs numérisées S_p , S_q des puissances active et réactive instantanées, fournies par les régulateurs à hystérésis à deux niveaux, aussi bien que sur la position angulaire du vecteur tension estime. En fonction de la valeur de cette position, le plan $(\alpha-\beta)$ est divisé en douze secteurs ou on doit associer à chaque secteur un état logique du redresseur. La référence de la puissance active est obtenue par régulation de la tension continue, en utilisant un régulateur PI. Tandis que pour assurer un facteur de puissance unitaire un contrôle de la puissance réactive à zéro est effectuée.[2]

III.3.2 Calcul des puissances instantanées

Pour étudier la stratégie de contrôle directe de puissance DPC la théorie des puissances instantanées est utilisée pour calculer les valeurs instantanées des puissances active et réactive peut être réalisée à partir de produit scalaire entre les courants et les tensions de ligne. Alors que, la puissance réactive est définie par le produit vectoriel entre eux

La méthode classique pour calculer les puissances instantanées est la suivante :

$$p = \text{Re}(\vec{e}^*) \quad (\text{III.1})$$

$$q = \text{Im}(\vec{e}^*) \quad (\text{III.2})$$

En se basant sur la mesure des tensions $v(t)_{sa}$, $v(t)_{sb}$, $v(t)_{sc}$, et des courants Injectés $i(t)_{sa}$, $i(t)_{sb}$, $i(t)_{sc}$, Alors, les expressions qui donnent l'estimation des puissances active et réactive instantanées peuvent être calculées respectivement par les relations[:

$$p_s(t) = V_{sa} \cdot i_{sa} + V_{sb} \cdot i_{sb} + V_{sc} \cdot i_{sc} \quad (\text{III.3})$$

$$q_s(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} [(v_{sb} - v_{sc}) i_{sa} + (v_{sc} - v_{sa}) i_{sb} + (v_{sa} - v_{sb}) i_{sc}] \quad (\text{III.4})$$

Afin de diminuer le coût et augmenter la fiabilité de l'installation, le nombre de capteurs des tensions et des courants doit être réduit. Deux techniques pour réaliser le calcul des puissances instantanées sans capteurs ont ainsi été proposées

- on estime les tensions du réseau à partir des valeurs de la tension du convertisseur et du filtre.
- l'auteur propose l'estimation du flux virtuel comme méthode d'estimation des tensions du réseau sans mesures, à partir aussi des tensions du convertisseur et du filtre. [8]

III.3.2.1 Calcul des puissances instantanées de référence

Pour la détection des puissances instantanées de référence, on a appliqué une méthode similaire à la méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées Le schéma de la Figure ci-dessous illustre les différentes étapes permettant l'obtention des composantes active et réactive de puissances de référence.[7]

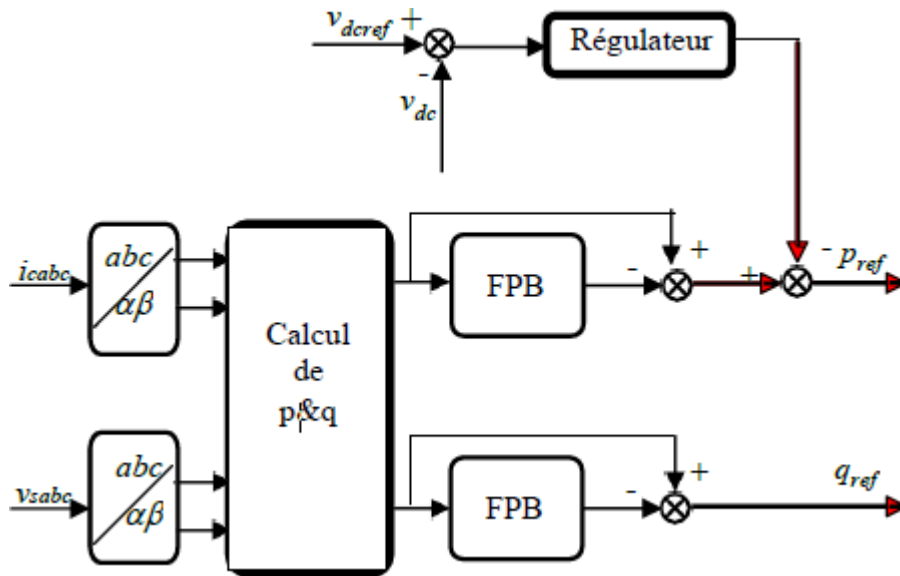


Figure III.3 : Schéma de principe de génération des puissances de référence pour DPC classique

III.3.3 Régulateur à hystérésis

Le contrôle par hystérésis est le contrôle de base pour des convertisseurs statiques. Le but de contrôleur de puissance est de maintenir l'extrémité de l'erreur de la puissance active ou bien réactive dans une bande à hystérésis de largeur $2h$. La sortie du correcteur à hystérésis, représentée par une variable booléenne indique directement si l'amplitude de l'erreur de la puissance doit être augmentée et rester inchangée ($dp=1$), ($dq=1$) ou diminué ($dp=0$), ($dq=0$). Le contrôleur proposé dans la DPC est le comparateur à deux niveaux pour les puissances active et réactive.

$$\begin{aligned}
 dp_s=1 & & p_{ref} - p_s \geq \Delta p_s \\
 dp_s=0 & & p_{ref} - p_s \leq \Delta p_s \\
 dq_s=1 & & q_{ref} - q_s \geq \Delta q_s \\
 dq_s=0 & & q_{ref} - q_s \leq \Delta q_s
 \end{aligned} \tag{III.5}$$

La sortie des contrôleur à hystérésis donnée par les variables booléennes p_s et q_s , qui prennent l'état "1" pour une augmentation de la variable contrôlée (p ou q) et l'état "0" pour la diminution.

III.3.4 Détection du secteur

Le calcul de la position angulaire du vecteur des tensions du réseau dans le plan stationnaire α - β nécessite la connaissance des composantes e_α et e_β , qui peuvent être soit calculées à partir de la transformation des tensions du réseau du plan triphasé abc au plan stationnaire $\alpha - \beta$, soit être estimées à partir de l'estimation des puissances instantanées et des courants absorbés. Cette position est définie par la relation suivante :

$$\theta = \arctg\left(\frac{v_\beta}{v_\alpha}\right) \tag{III.6}$$

A cet effet, La connaissance du secteur de la tension estimée est nécessaire pour déterminer les états de commutation optimale. Pour cela, le plan de travail (α, β) est divisé en 12 secteurs (figure. III.4), ces derniers peuvent être déterminés par la relation suivante :

$$\frac{(n-2)\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{(n-1)\pi}{6} \quad n = 1, 2, \dots, 12 \tag{III.7}$$

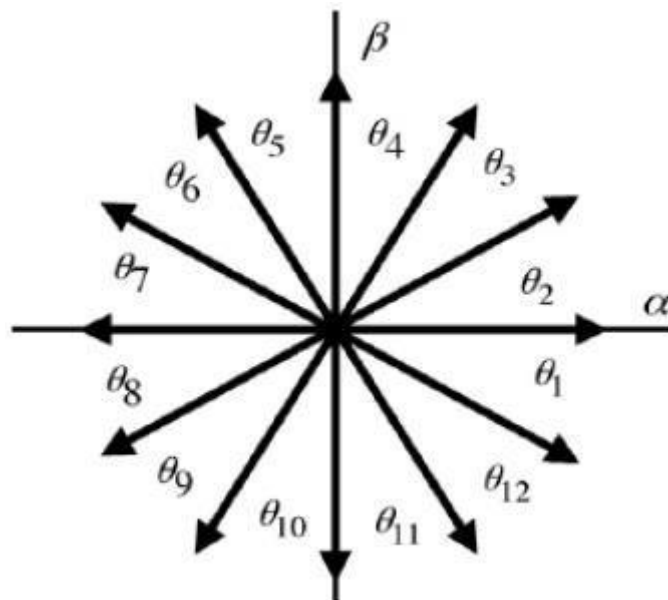
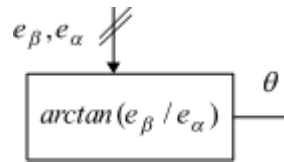


Figure. III.4: Plant (α, β) divisé en 12 secteurs

Le θ représentant le secteur dans lequel on se trouve dans notre repère diphasé (α, β) celui-ci peut être déterminé simplement en appliquant une fonction arctang sur notre rapport $\frac{v_\alpha}{v_\beta}$ pour obtenir le θ .



Une fois le θ trouvé, il faut déterminer dans quel secteur on se trouve sur la tension du réseau. Un cycle est divisé en 12 zones, chaque zone correspondant à un intervalle de $\frac{\pi}{6}$ (12 secteurs équivalent à un cycle de $\frac{\pi}{2}$), En fonction de la valeur du θ on trouve donc facilement dans laquelle des 12 zones nous nous situons.

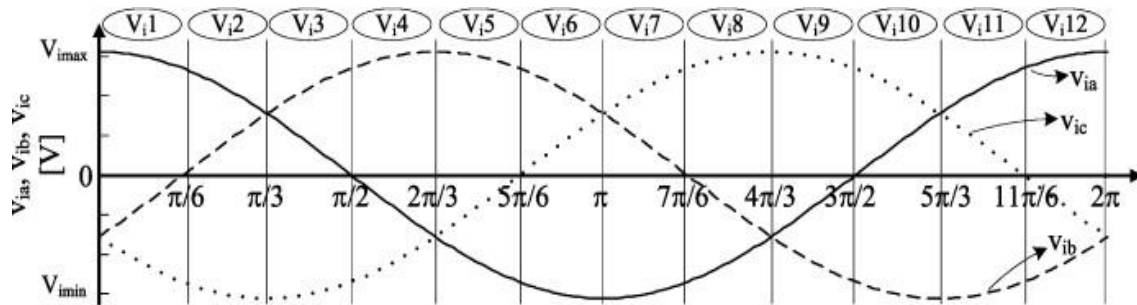


Figure. III.5 :Représentation des 12 secteurs des tensions triphasées

Une autre solution est possible pour déterminer la zone dans laquelle on se trouve sans avoir besoin de calculer le θ , cette solution est plus brute, il suffit en effet de comparer les 3 tensions entre elles et par rapport à la valeur nulle. En connaissant les différentes combinaisons possibles (par rapport à la figure précédente) on détermine la zone associée.

III.3.5 Table de commutation

les sorties booléennes des comparateurs à hystérésis établies, et suivant le numéro du secteur où se trouve le vecteur $v_{s\alpha\beta}$, le vecteur de la tension à appliquer est sélectionné à partir de la table de commutation. Les erreurs numérisées s_p, s_q et le secteur de travail sont les entrées dans cette table, où les états de commutation s_a, s_b, s_c sont mémorisés.[3]

La sélection des vecteurs tensions du redresseur, pour construire la table de commutation, est basée sur le signe des erreurs des puissances active et réactive dans chaque secteur. Ainsi le vecteur des tensions à appliquer à l'entrée du redresseur est sélectionné à partir de la table de commutation classique comme l'indique le tableau suivant:[4]

s_p	s_q	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
-------	-------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	---------------	---------------	---------------

	0	v_6	v_7	v_1	v_0	v_2	v_7	v_3	v_0	v_4	v_7	v_5	v_0
1	1	v_7	v_7	v_0	v_0	v_7	v_7	v_0	v_0	v_7	v_7	v_0	v_0
	0	v_6	v_1	v_1	v_2	v_2	v_3	v_3	v_4	v_4	v_5	v_5	v_6
0	1	v_1	v_2	v_2	v_3	v_3	v_4	v_4	v_5	v_5	v_6	v_6	v_1
$v_1(100), v_2(110), v_3(010), v_4(011), v_5(001), v_6(101), v_0(000), v_7(111)$													

Tableau III.1: Table de commutation de la commande DPC

III.4 Résultats de simulation de la commande direct de puissance DPC appliquée au FAP

Le contrôle direct de puissance du FAP, avec la table de commutation classique, a été simulé à l'aide du logiciel Matlab/Simulink, On présente ici les résultats de simulation obtenus pour différents tests, l'étude par simulation a été réalisée pour :

- Confirmer l'étude théorique.
- Vérifier les performances dynamiques du contrôle des puissances.

A- Résultats de simulation FILTRAGE ACTIF PARALLEL :

Après avoir connecte le filtre actif parallèle en parallèle avec la charge non linéaire on obtient les résultats de simulation suivante :

On remarque qu'une fois le filtre actif parallèle devient opérationnel, le courant de sources est quasi sinusoïdal. Le fait que le courant de source a récupéré son allure sinusoïdale, ce qui nous permet de dire que notre filtre actif parallèle «FAP » basé sur la méthode (pq), assure pleinement sa mission.

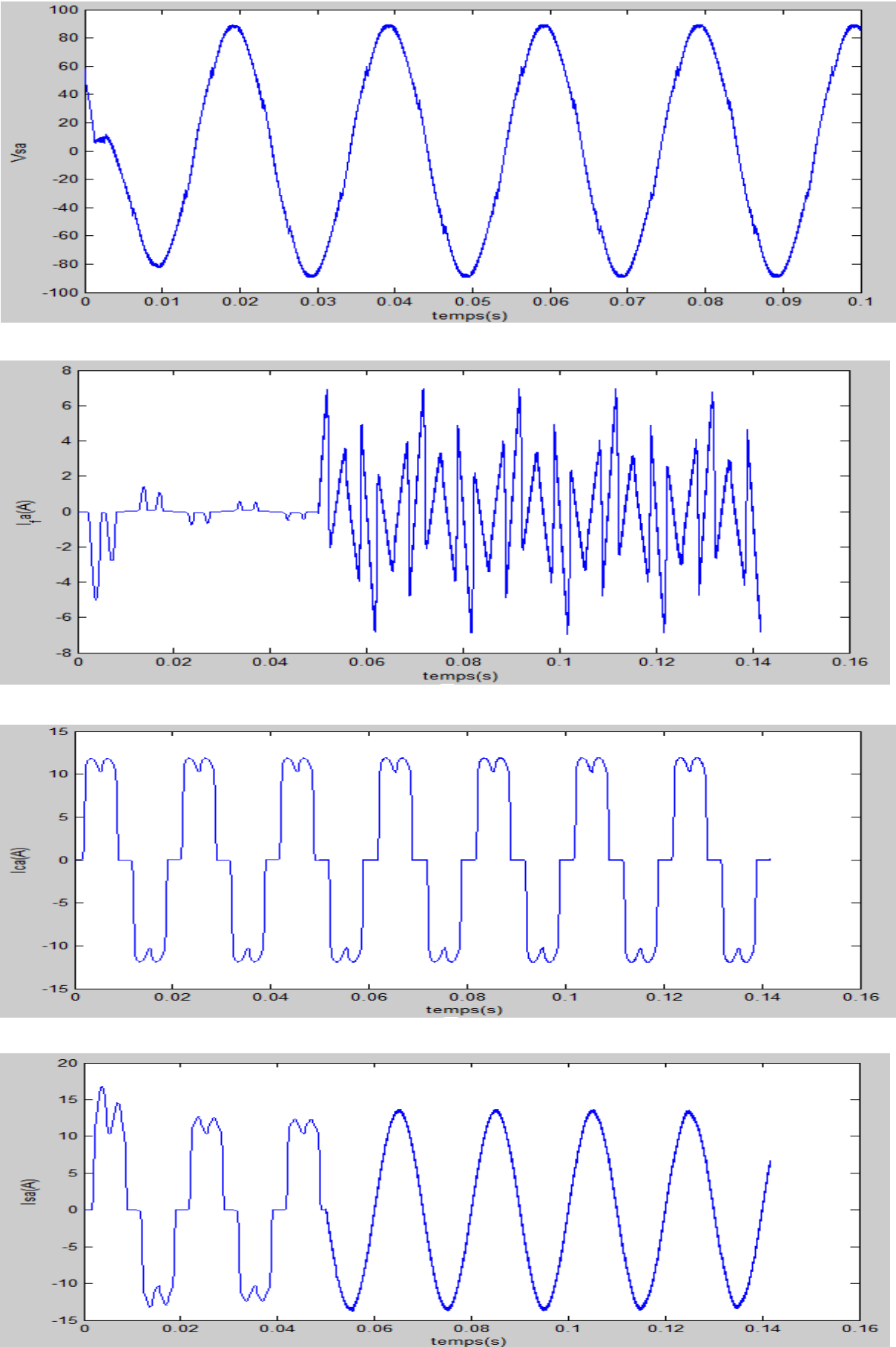


Figure. III.6 : Performances différents courants et tensions du FAP

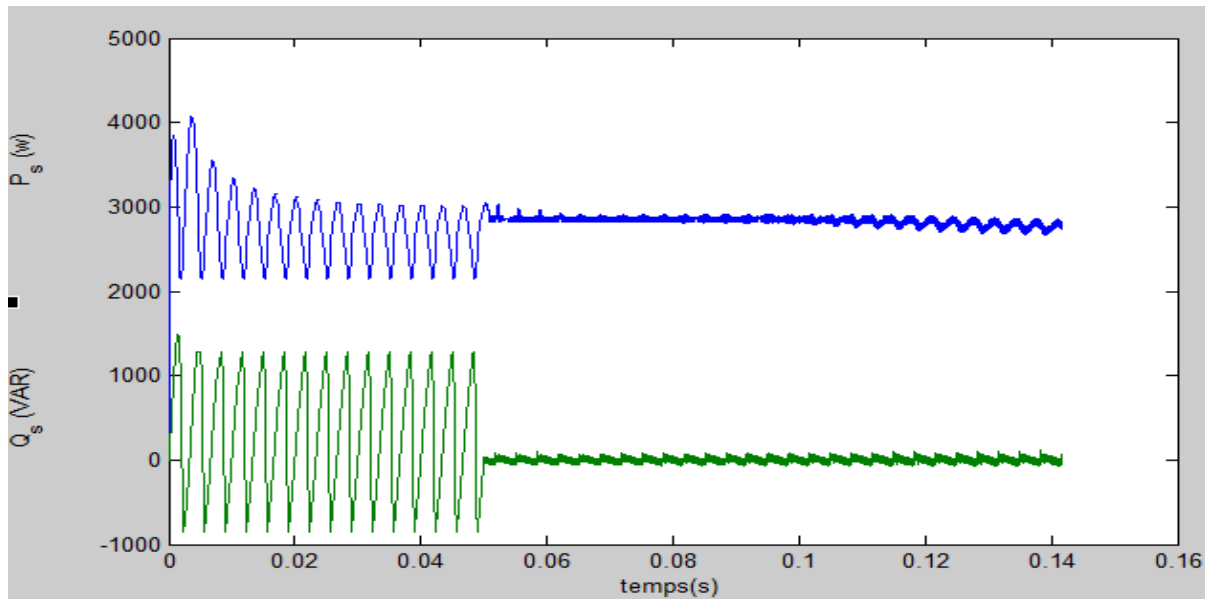


Figure. III.7: Forme d'onde des puissances instantanées active (p) et réactive (q)

Contrôle de la puissance active et le fonctionnement avec un facteur de puissance unitaire est obtenu en imposant la puissance réactive à une valeur nulle, nous déduisons qu'il a compensé l'énergie réactive consommée par la charge non linéaire.

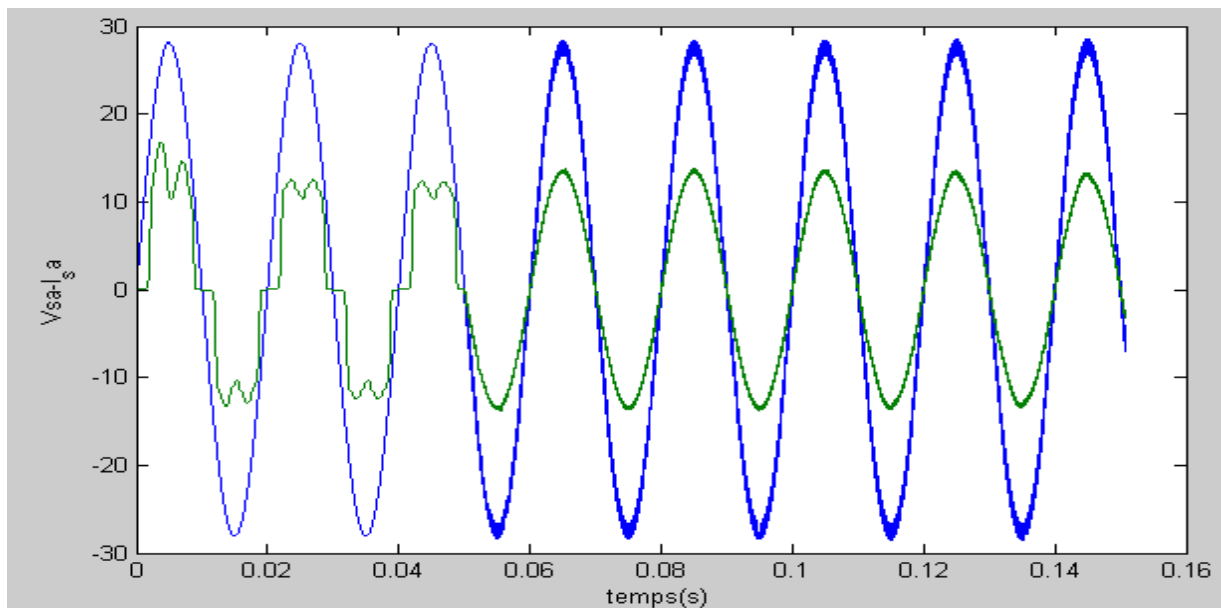


Figure. III.8: tension et du courant de source

La tension et le courant de source sont devenus en phase dès la mise en marche du FAP.

B- en utilise la commande DPC :

B.1/ - avant le changement de la charge :

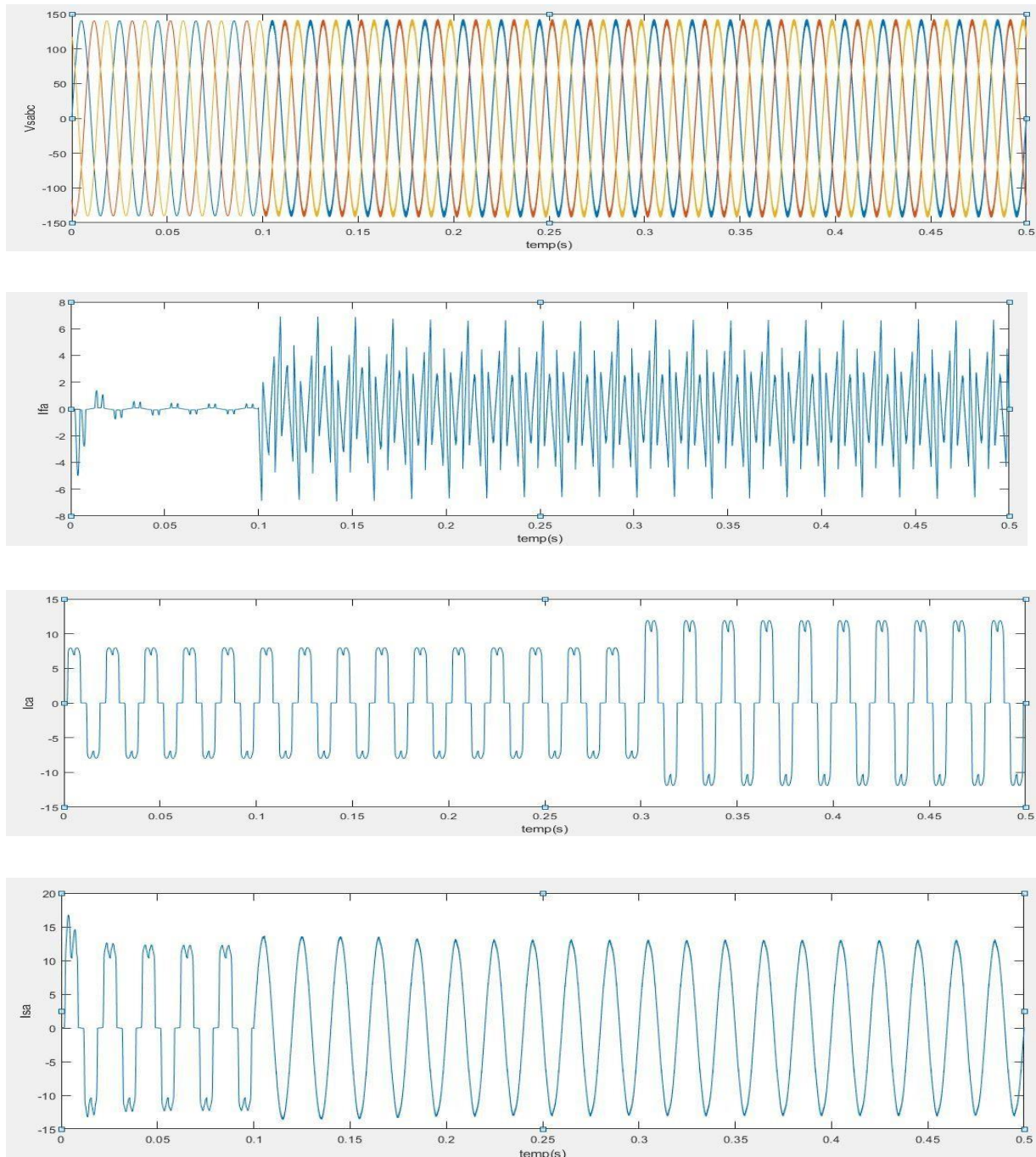


Figure. III.9: Performances FAP avec la commande DPC

Dans la Figure III.9 on s'aperçoit que dès la première variation de la charge, la source a délivré une puissance active nécessaire, alors que l'énergie réactive n'a subi aucun changement, elle reste près de sa valeur de référence. Nous remarquons aussi que pendant la seconde variation la puissance active diminue alors que la puissance réactive garde toujours sa valeur

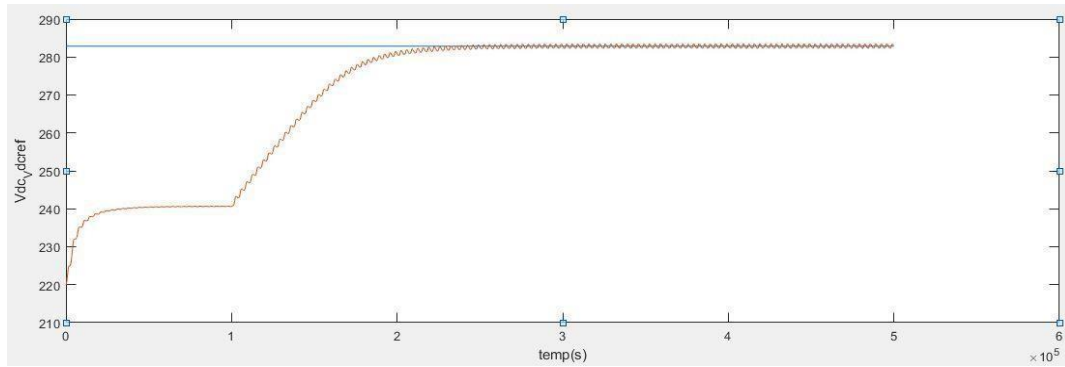
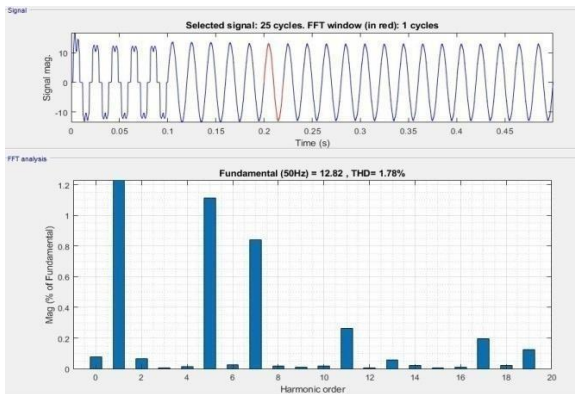
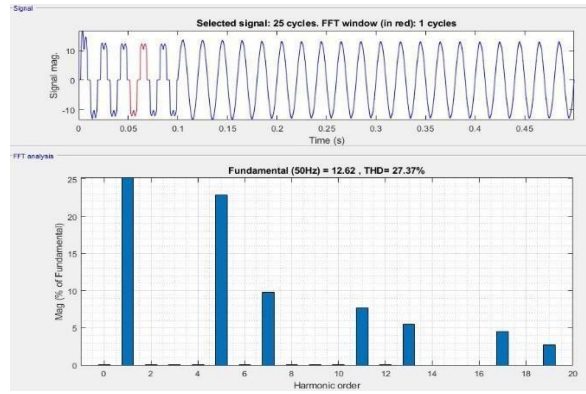


Figure. III.10: Forme d'onde de la tension du continu V_{dc} de la commande DPC

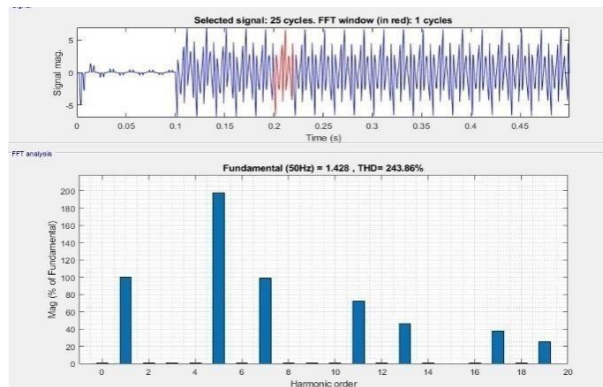
-Les harmoniques dans le courant (THD) :



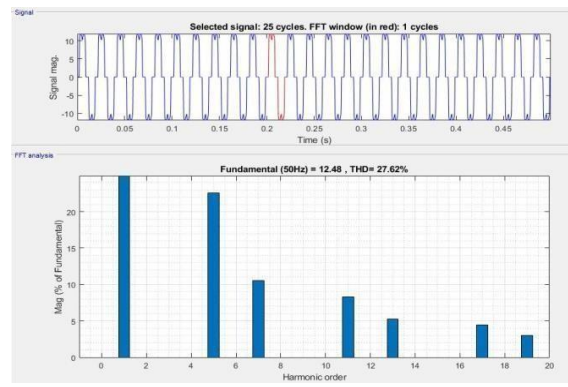
(1)



(2)



(3)



(4)

Figure. III.11: Analyse spectrale des signaux

- (1) tension de charge, THD=1.78 %
- (2) courant de source , THD=27.37%
- (3) courant de filtre, THD=243.66%
- (4) courant de charge, THD= 27.62%

B.2/ - après le changement de la charge :

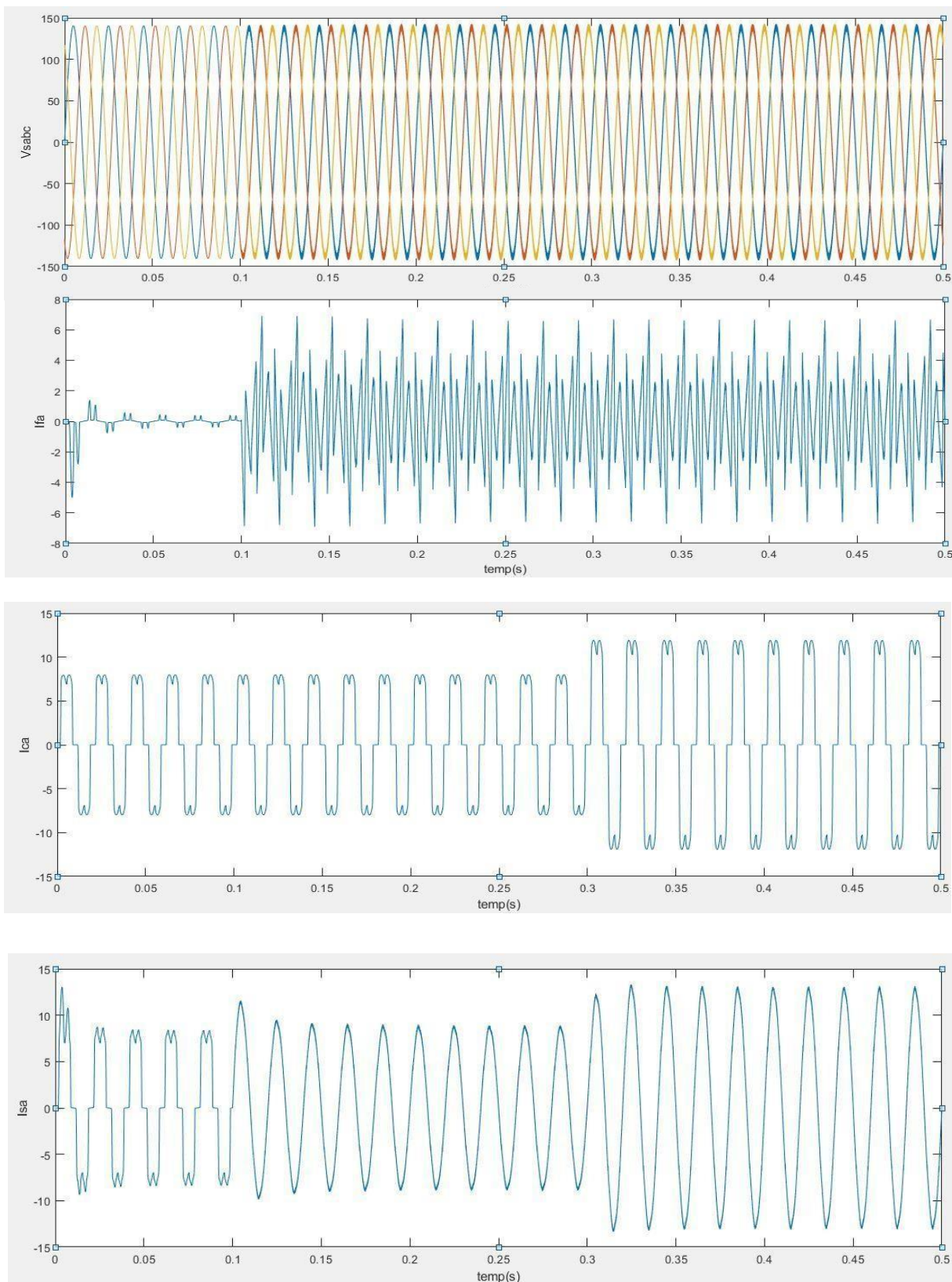


Figure. III.12: Performances FAP avec la commande DPC après changement de la charge

La Figure III.12 expose les différentes allures des tensions de source, et des courants (du filtre, de charge et de source). Le filtre commence la compensation en injectant des courants riches en harmoniques qui représentent les courants de filtre, le THD du courant de source est passé rapidement de 27.37% à 1.78%, ainsi il a récupéré sa forme sinusoïdale avec un déphasage nul comme le montre la Figure III. 8

III.5. COMMANDE DIRECTE DE PUISSANCE ZDPC (Zéro DPC)

Dans cette section on s'intéresse à l'amélioration de la commande directe de puissance appelée « zéro Power Control Direct (ZDPC) », Cette stratégie de contrôle basé sur le principe de la DPC classique cela pour commander un FAP pour différentes conditions du réseau. Cette commande proposée est fondée sur l'annulation des perturbations de puissance active et réactive instantanées, en les comparant avec des références nulles. Pour séparer les composantes harmoniques et fondamentales de la tension et du courant de source

La figure III.10 montre la structure du ZDPC proposé. Dans cette stratégie de contrôle, les actifs et réactifs les références de perturbation de puissance sont mises à zéro. On note que dans cette structure la phase verrouillée boucle (PLL) n'est plus nécessaire. Le filtre HSF est utilisé pour séparer le fondamental et l'harmonique composants des courants et tensions de ligne pour effectuer la compensation de puissance.[33]

la DPC classique qui utilise une référence nulle pour la puissance réactive, alors que celle de la puissance active à partir du produit de la sortie du contrôleur PI avec $V_{dc\text{ref}}$. La technique proposée « ZDPC » nécessite la mise à zéro des deux références de puissance active et réactive pour rejeter toute perturbation dues aux harmoniques. C'est pourquoi elle est appelée Zéro DPC ou ZDPC.

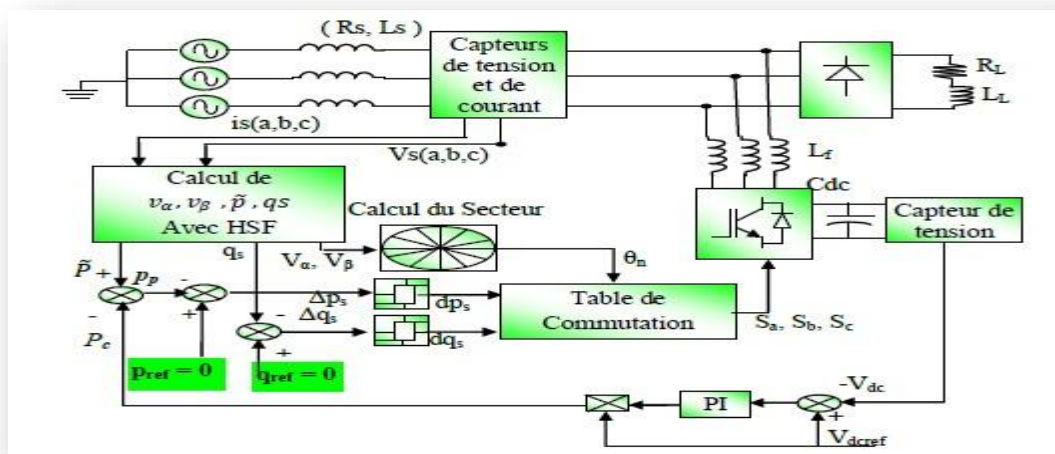


Figure. III.13 : schéma Synoptique du FAP avec la commande ZDPC

III.5.1 Principe de la commande ZDPC

La figure III.10 visualise la structure générale de la ZDPC proposée. Dans cette stratégie de contrôle, les références des puissances perturbatrices active et réactive sont mises à zéro. Nous notons que dans cette structure la PLL n'est plus nécessaire car elle est remplacée par le filtre HSF. Ce dernier est utilisé pour séparer les composantes fondamentales et harmoniques des tensions et courants de source afin d'effectuer la compensation de puissance(Figure III.7).

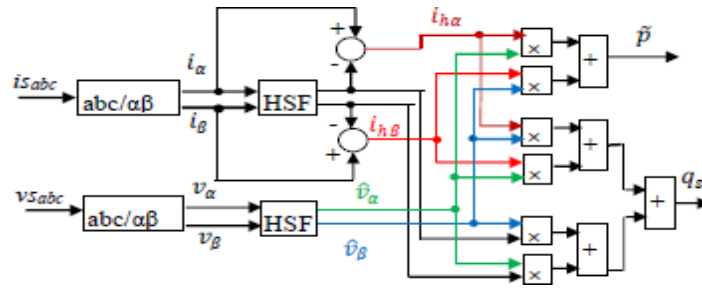


Figure III.14: Calcul des puissances \tilde{p} et q_s

Les composantes alternatives des puissances active et réactive instantanées sont obtenues par les relations:

$$\tilde{p} = \hat{v}_\alpha \cdot \hat{i}_{h\alpha} + \hat{v}_\beta \cdot \hat{i}_{h\beta} \tag{III.8}$$

$$\tilde{q} = \hat{v}_\beta \cdot \hat{i}_{h\alpha} - \hat{v}_\alpha \cdot \hat{i}_{h\beta} \tag{III.9}$$

$$\overline{q} = \hat{v}_\beta \cdot \hat{i}_\alpha - \hat{v}_\alpha \cdot \hat{i}_\beta \tag{III.10}$$

$$q_s = \overline{q} + \tilde{q} \tag{III.11}$$

Avec:

- v, i représentent les composantes fondamentales,
- i_h représente les composantes harmoniques.

La puissance instantanée active perturbatrice (P_p) qui sera compensée est la somme de la puissance alternative \tilde{p} liée aux courant harmoniques, et la puissance active \overline{p} nécessaire pour la régulation de la tension du bus continu.

$$P_p = \tilde{p} + \overline{p} \tag{III.12}$$

Pour compenser les puissances perturbatrices active et réactive (p_{pet} q_s), nous devons les comparer aux puissances de références nulles (p_{ref} et q_{ref}). Les résultats de comparaison et à travers les blocs hystérésis génèrent (dp_{set} dq_s). Le secteur (θ_n) et l'état de (dp_{set} dq_s) sélectionnent les vecteurs de contrôle (S_a, S_b, S_c) de la table de transition (Tableau III.1).[8]

III.6 Résultats de simulation de la Commande proposé ZDPC

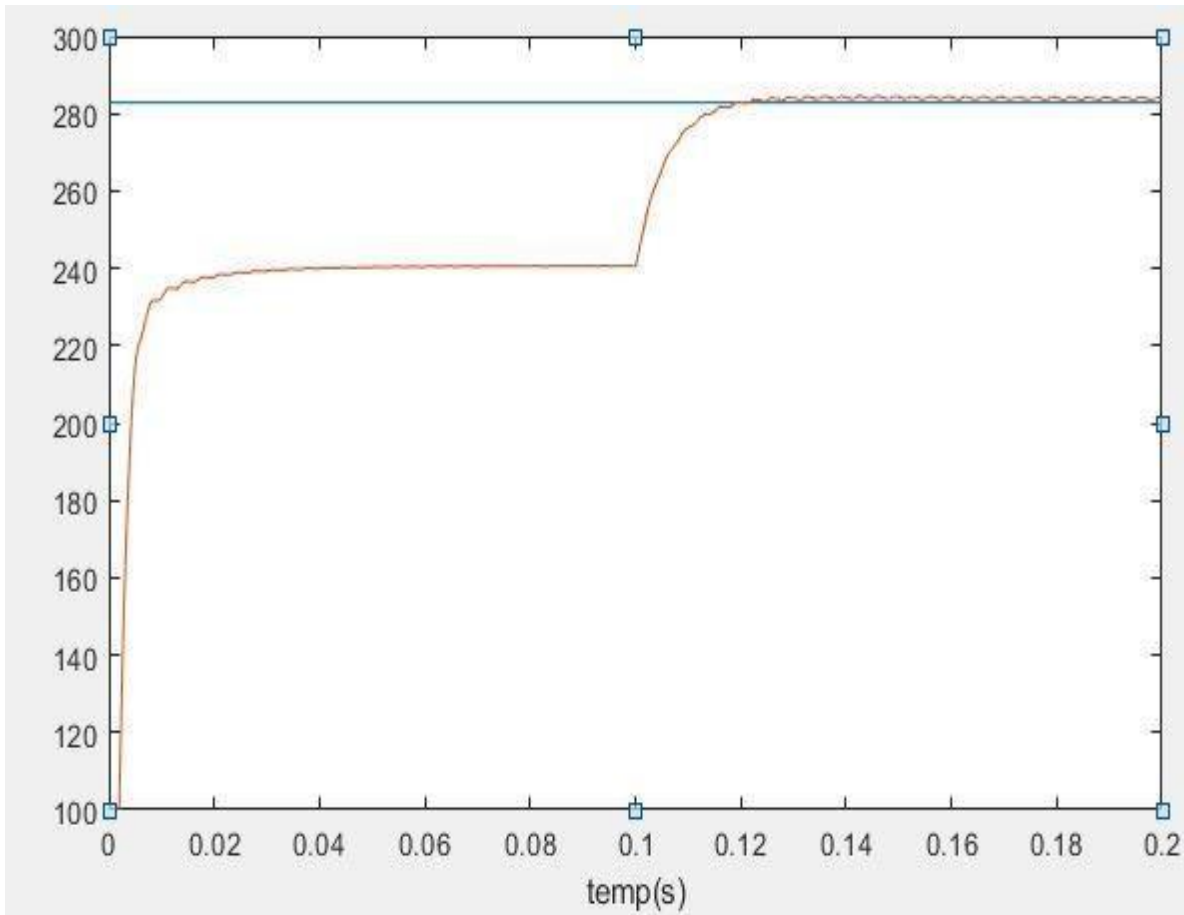


Figure. III.15 : Forme d'onde de la tension du continu V_{dc} de la commande ZDPC

D'après la figure III.15 la tension du bus continu atteint sa valeur de référence fixée, dans notre cas, à 282.6V, et cela, après seulement 50ms contrairement aux commandes précédentes. La tension v_{dc} présente des oscillations dues à celles de la puissance active.

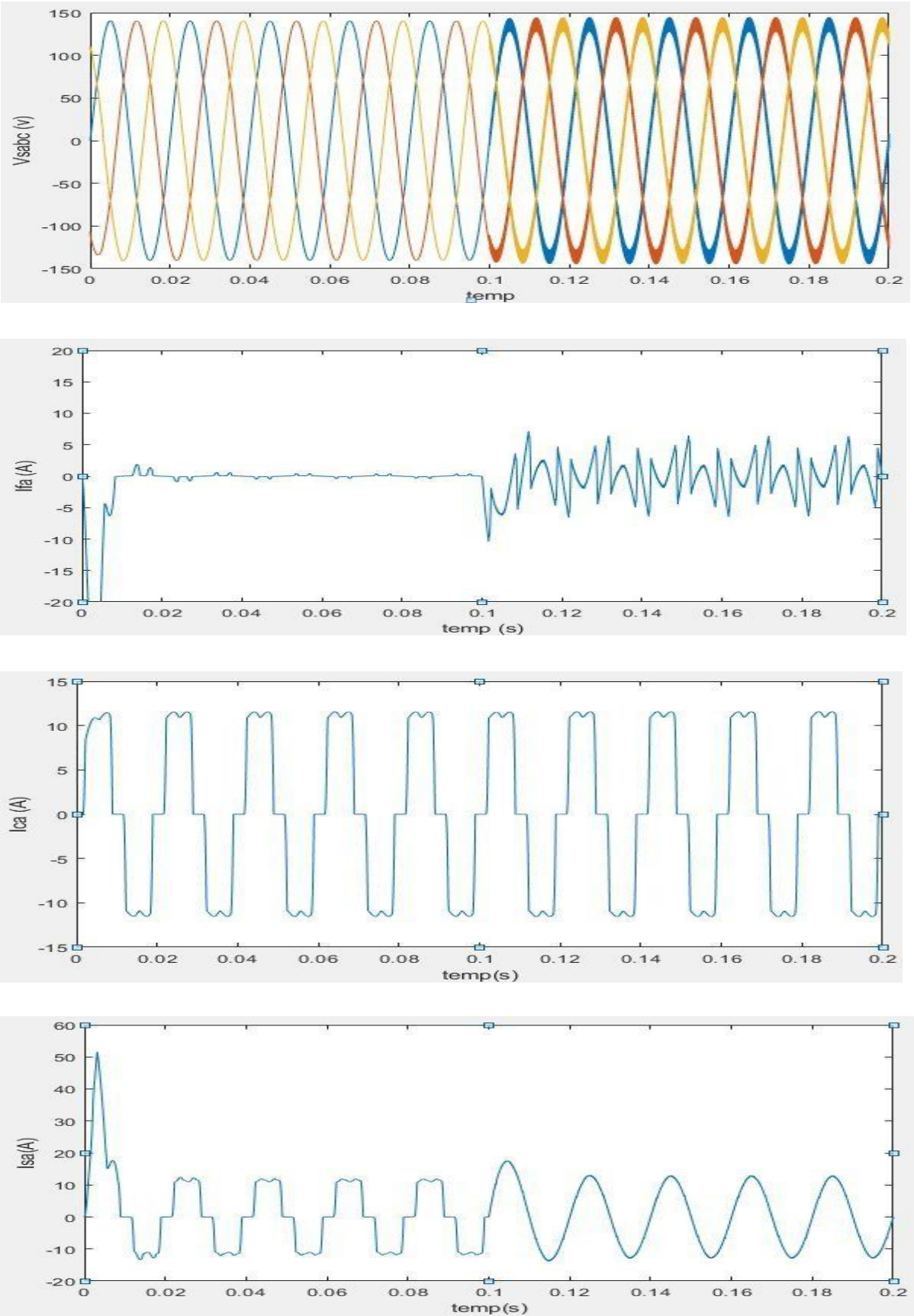


Figure. III.16: Performances FAP avec la commande ZDPC

La figure III.16 présente les différentes allures des tensions et courants, cela avant et après la mise en marche du FAP. Avant le branchement du FAP, on remarque que le courant de source a la même forme que le courant de charge. Après le branchement du FAP, il commence à compenser les courants harmoniques absorbés par la charge non linéaire, et après un transitoire le courant de source reprend sa forme sinusoïdale.

B- après changement de la charge

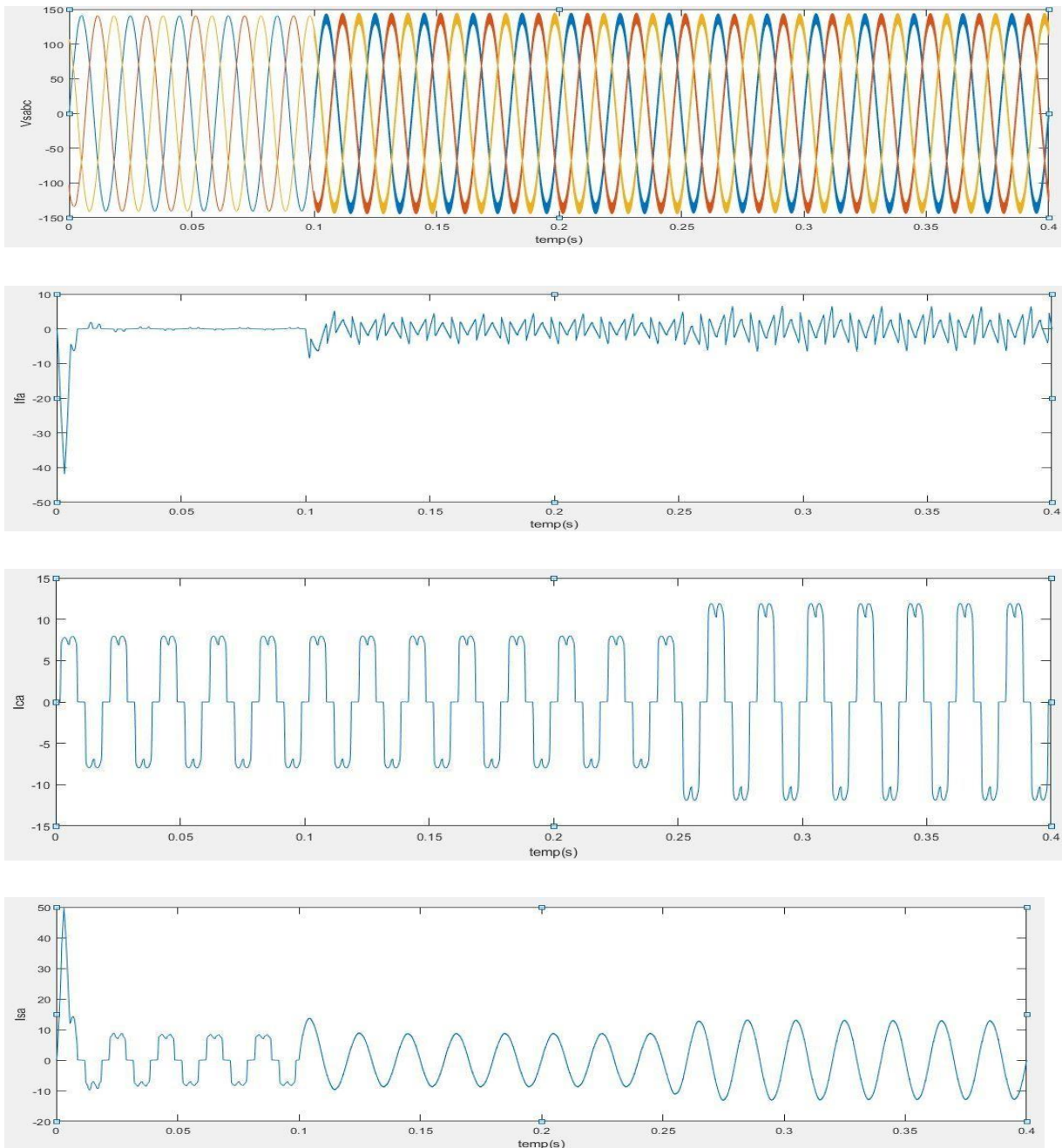


Figure. III.17: Performances FAP avec la commande ZDPC après changement de la charge

La Figure III.17 montre les différentes allures des tensions de source, et des courants (du filtre, de charge et de source). Le filtre commence la compensation en injectant des courants riches en harmoniques qui représentent les courants de filtre, , ainsi il a récupéré sa forme sinusoïdale avec un déphasage nul comme le montre la Figure III.8

-Les harmoniques dans le courant (THD) :

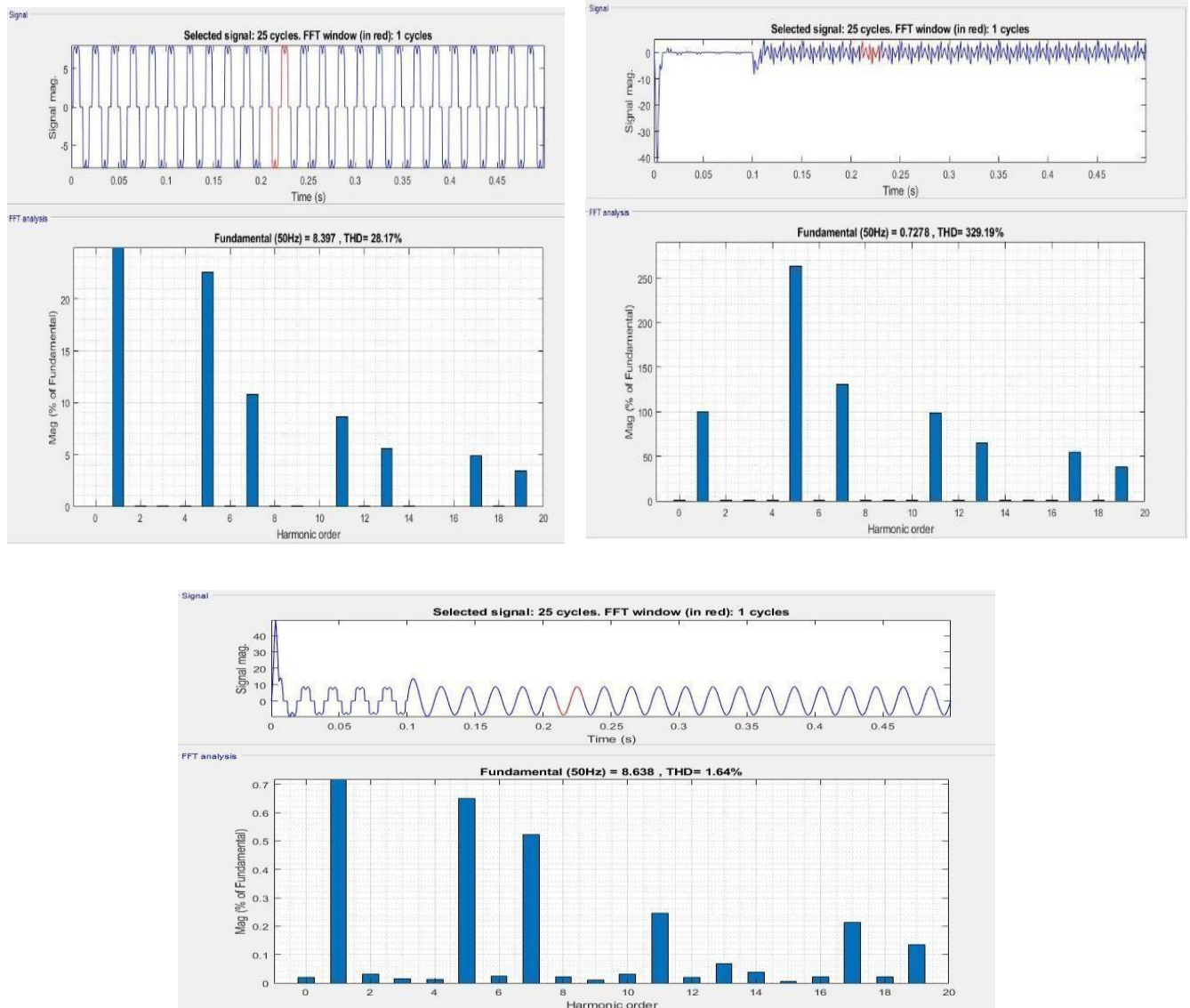


Figure. III.18: Analyse spectrale des signaux

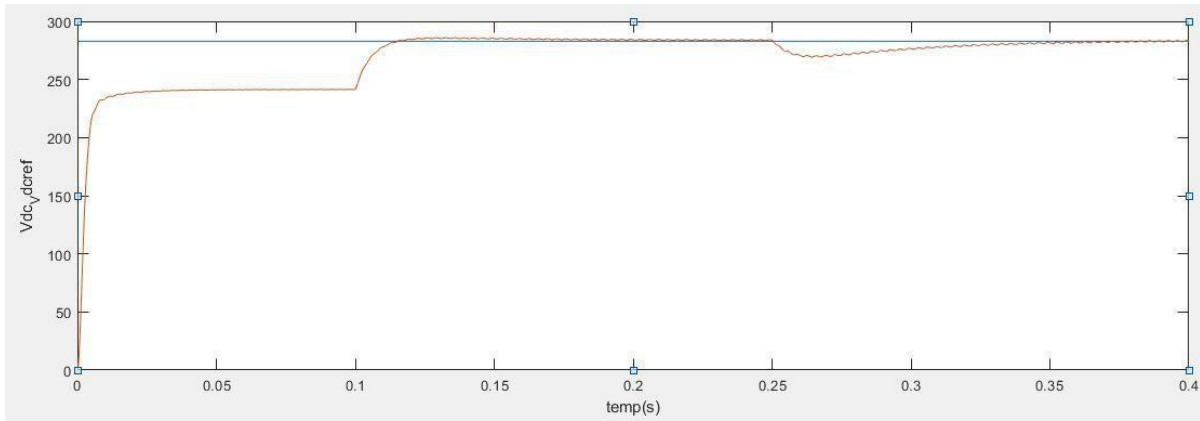


Figure. III.19:Forme d’onde du la tension continu V_{dc} de la commande ZDPC après changement de la charge

La tension du bus continu v_{dc} atteint sa référence V_{dcref} après un temps de 50ms seulement.

III.7. Interprétation de résultats

En conclusion, nous comparerons les performances de ces deux méthodes pour contrôler les deux cas :

Pour les résultats trouvées avant changement de la charge , nous constatons qu’après filtrage les courants de la source sont équilibrés et sinusoïdaux. Les résultats de la simulation montrent que dans des conditions idéales, les performances des deux techniques de commande sont presque identiques.

Pour les résultats trouvées après changement de la charge, nous notons que la commande direct de puissance ZDPC basée sur les filtres actif parallèle donne d’excellents résultats par rapport à la DPC

Finalement, nous pouvons conclure que le FAP avec la commande ZDPC est bien plus performant comparativement aux autres types de DPC . La ZDPC assure une bonne compensation ($THD < 2\%$), quel que soient les conditions du réseau, avec un temps de réponse court concernant la tension du bus continu pour atteindre sa référence.

THD Avant le filtrage **THDi** = 25.66 avec un système déséquilibré

Stratégies de commande	Le THDi =Après Filtrage
La DPC	1.78 %
La commande proposée ZDPC	1.64 %

Tableau III.2: THD des courants de source pour les trois stratégies.

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une nouvelle configuration de la commande directe de puissance appliquée au filtre actif parallèle pour améliorer la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux électriques de distribution,

En premier lieu nous avons étudié la commande DPC classique, et présenté les résultats de simulation obtenus en régimes dynamique et permanent.

Dans la deuxième partie du chapitre nous avons étudié la commande proposée appelée ZDPC, d'après les résultats obtenus de la simulation des deux types de commande, nous avons prouvé que ces deux méthodes permettant de compenser la puissance réactive et les harmoniques provoquées par la charge non linéaire, Ainsi la ZDPC assure toujours des courants de source équilibrés, Cependant nous démontrons que la méthode (ZDPC) est meilleur car elle permet de diminuer le taux de THD coté réseau.

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

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

ce projet de fin d'étude, s'inscrit dans le cadre de recherche de nouvelles solutions modernes, à base d'électronique de puissance de dépollution harmonique du réseau électrique, nous sommes intéressés dans ce mémoire à étudier les dispositifs de dépollution des réseaux électriques en utilisant les filtres actifs. Le problème de la réduction de cette pollution harmonique est par conséquent devenu l'un des grands défis de la distribution électrique, surtout que leurs comportements sont de moins en moins prédictibles et les risques d'interaction sont de plus en plus importants.

Il existe toujours en parallèle des techniques classiques qui sont utilisées pour diminuer les effets des harmoniques par contre les techniques modernes ont pour but d'éliminer ces perturbations complètement. les méthodes à posteriori apportent la possibilité de dépolluer les réseaux électriques. d'absorber, de compenser ou d'atténuer les harmoniques, par des d'équipements électriques tels que les filtres. En général, les solutions passives s'avèrent insuffisantes.

Le premier chapitre nous avons traité la problématique des perturbations harmoniques générées par des charges non linéaires connectées aux réseaux électriques. Puis, nous avons abordés différentes solutions, filtres passifs, filtres actifs ou bien encore la combinaison des deux. dont particulièrement le filtre actif parallèle. Des exigences de plus en plus strictes, des industries quant à la qualité de l'énergie, nous obligent à développer de nouvelles structures de filtres actifs plus performantes, afin d'obtenir de meilleurs résultats.

La deuxième chapitre est consacré à la modélisation et la commande du FAP. Dans ce chapitre, nous présenterons, les méthodes de commandes utilisées pour identifier les courants harmoniques et la commande de l'onduleur. Afin de réinjecter ces courants dans le réseau pour rendre les courants de la source proche de la forme sinusoïde, on a étudié des stratégies de commande proposées dans la littérature, à savoir les différents types de commande en courant, les différentes techniques d'extraction des harmoniques, les principaux régulateurs et en fin de compte les différentes techniques de commande.

Le troisième chapitre, on s'est intéressé à la commande directe de puissance appliquée au filtre actif parallèle. Ensuite, nous avons présenté la synthèse des résultats des différentes simulations obtenus appliquées au filtre actif de puissance, Nous avons fait une étude comparative des performances deux commandes différentes, la première, la DPC utilise la table de commutation classique, alors que la commande proposée dite ZDPC qui utilise la

Conclusion générale

même table de commutation mais force les deux puissances de références à zéro ($p_{ref}=q_{ref}=0$).

En conclusion, la commande directe de puissance (ZDPC) appliqué a un filtre actif, a donné des résultats efficace dans diverses conditions

A decorative red border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners. The word "ANNEXES" is centered within this border.

ANNEXES

ANNEXE A

PARAMETRES DE LA SEMULATION

A.1) PARAMETRES DE LA SEMULATION D'UN FILTRE ACRIF

Paramètre		Valeur numérique
Réseau électrique	E_s	100V
	Fréquence f	50Hz
	Résistance R_s	0.01 Ω
	Inductance L_s	0.1 μ H
Charge polluante	Résistance R	20 Ω
	Résistance R_c	0.01 Ω
	Inductance L	1mH
	Inductance L_c	0.560mH
Filtre actif parallèle	Résistance R_f	0.05 Ω
	Inductance L_f	3mH
	V_{dc-ref}	280V

A.2) PARAMETRES DE LA SEMULATION

- Temps d'échantillonnage $T_e = 1\mu s$.
- Type de pas = *Pas fixe*.
- Méthode de résolution = *Algorithme :Euler (Ode1)*.
- Bande d'hystérésis = $HB = 0.2 A$.

ANNEXE B

SCHEMAS DE SIMULATION

B.1 SIMULATION DE L'ENSEMBLE (SOURCE TREPHASE + CHARGE LINEAIRE / ET NON LINEAIRE).

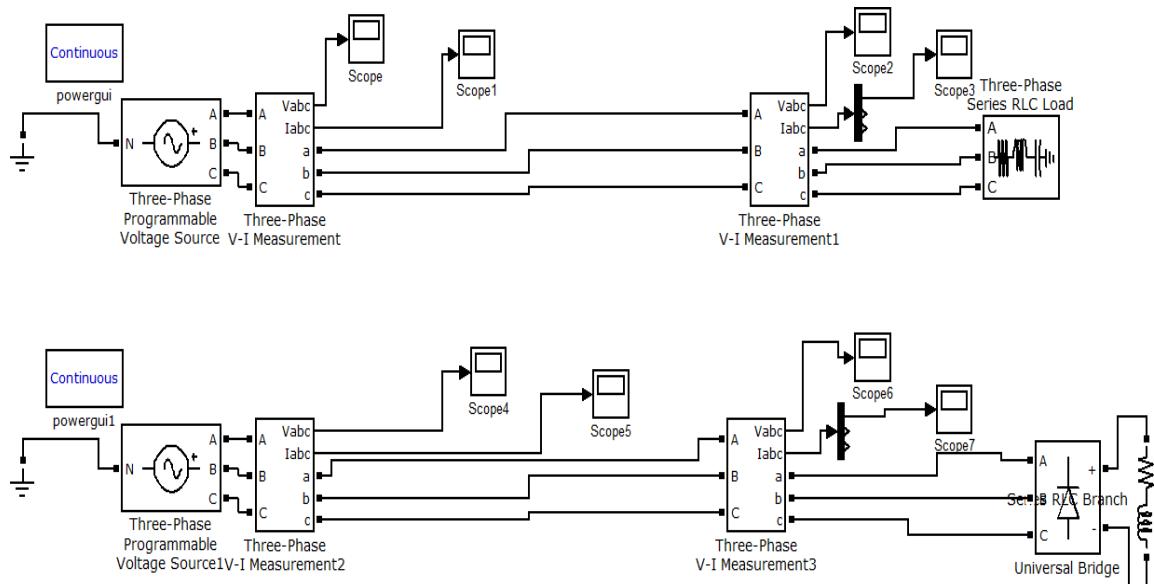


Figure. B.1 : schéma de simulation du charge lineaire et non lineaire

B.2 SIMULATION DE L'ENSEMBLE FAP avec PQ

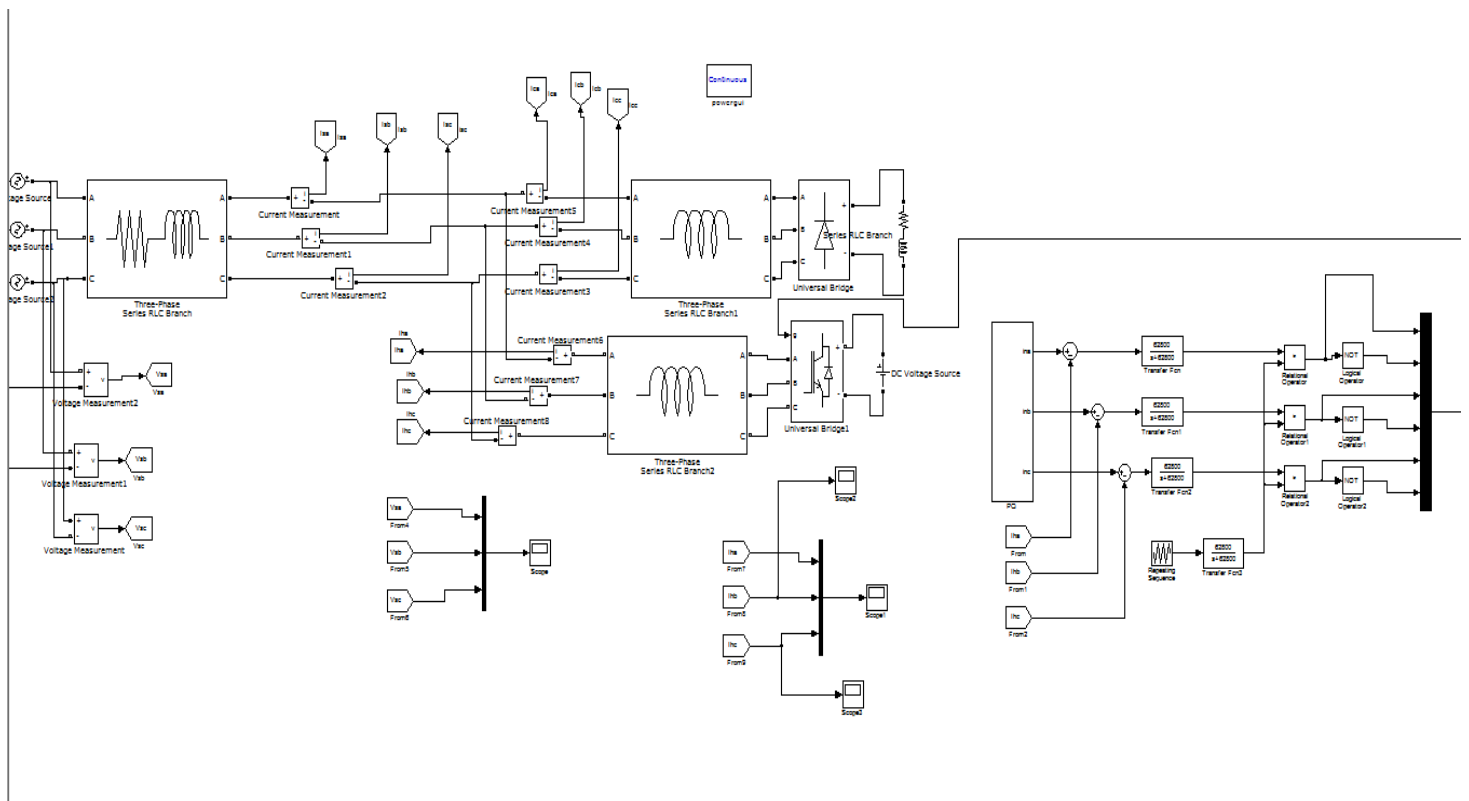


Figure. B.2: schéma de simulation d'in FAP avec la Commande PQ

B.3 SIMULATION DE L'ENSEMBLE FAP avec DPC

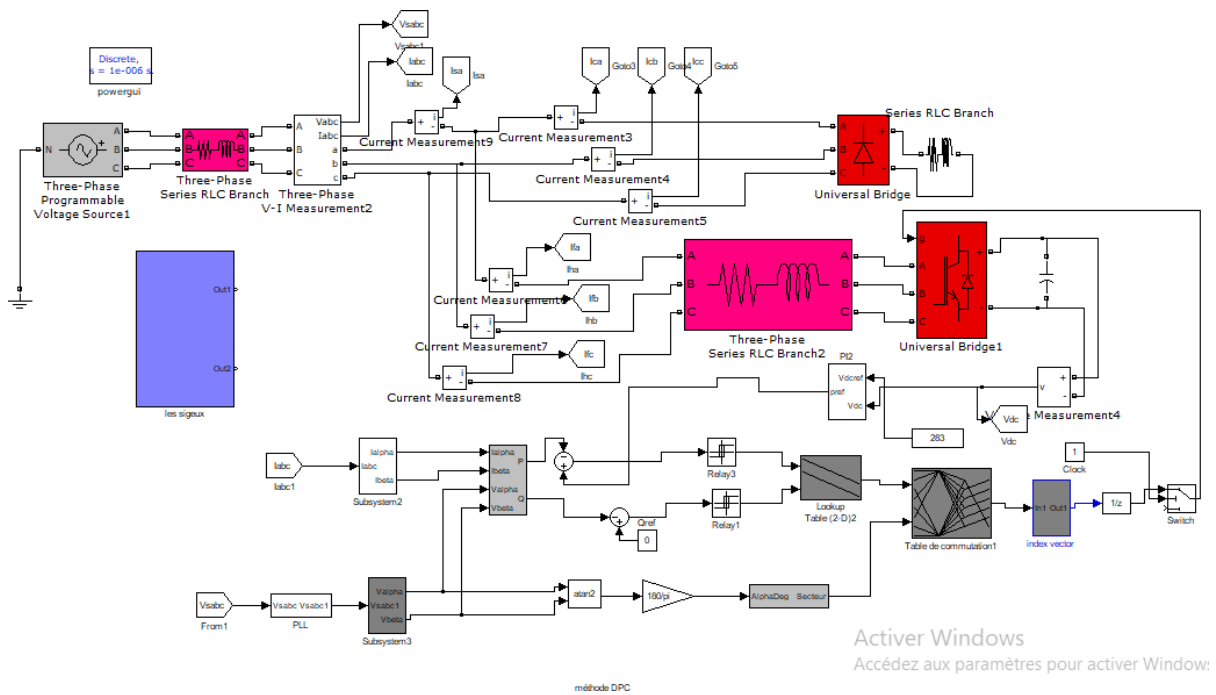


Figure. B.3: schéma de simulation d'in FAP avec la Commande DPC.

B.4 SIMULATION DE L'ENSEMBLE FAP avec ZDPC

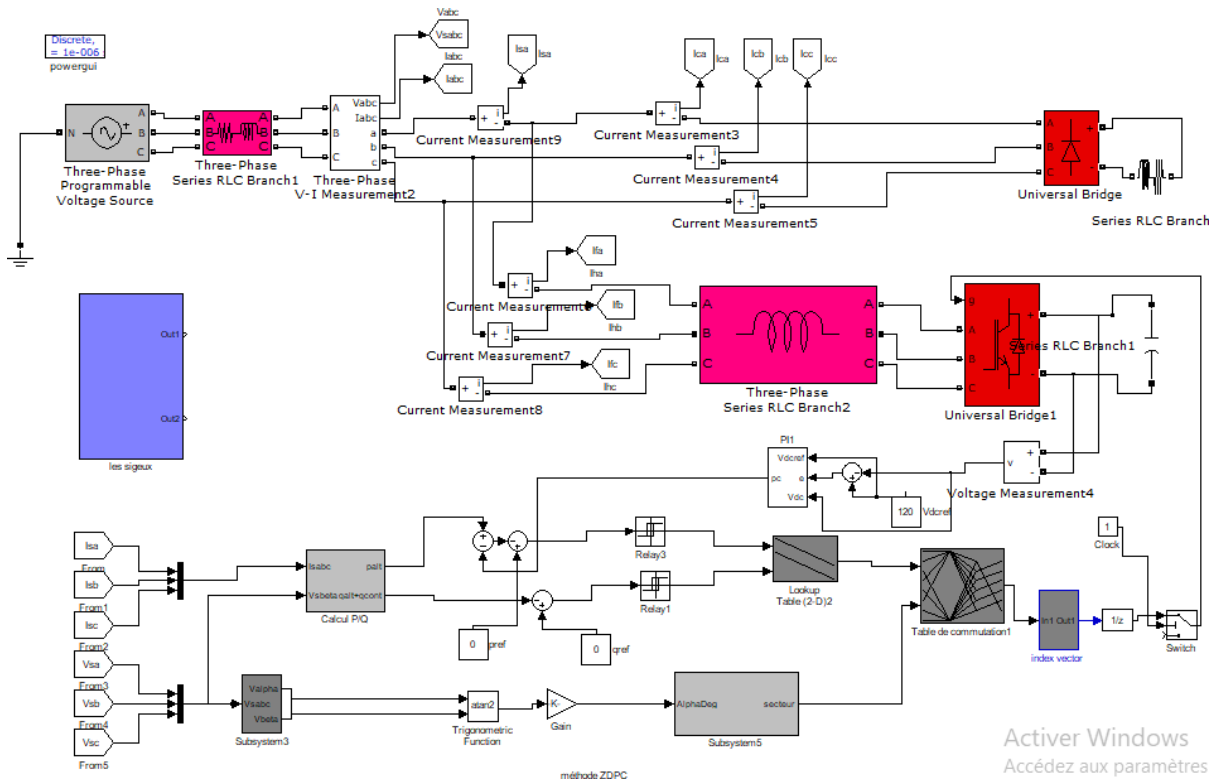
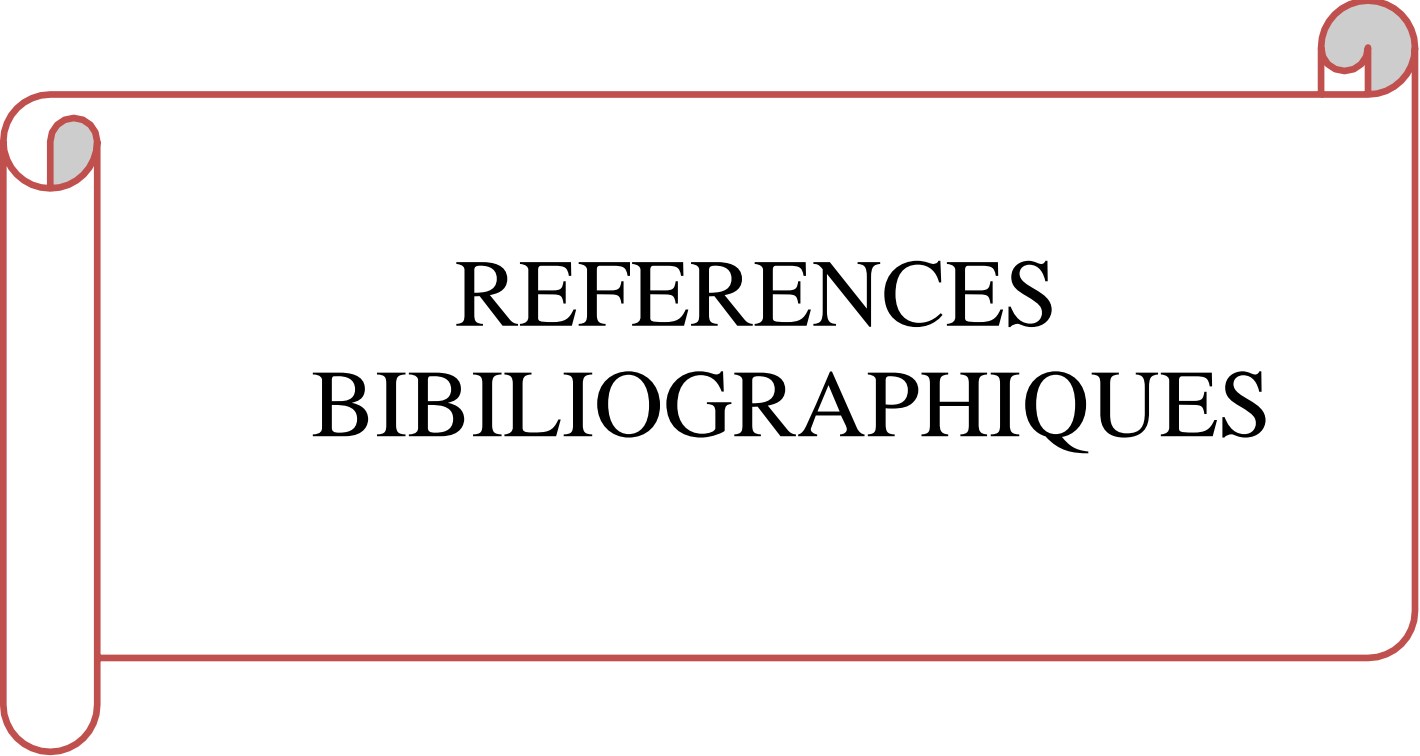


Figure. B.4 schéma de simulation d'in FAP avec la Commande DPC.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] **F.GAOUAR , I.CHOUIDIRA, S .OULD DJE** « COMMANDE D'UN FILTRE ACTIF SERIE » Mémoire d'Ingénieur d'Etat En Génie Electrotechnique, Université de M'sila, 2009- 2010.
- [2] **S.Merzouk, M.SLAMANI**, « Étude et simulation d'un filtre actif série» Mémoire de Master Académique en Electrotechnique, Université de tizi-ouezou,2017-2018.
- [3] **S.ELAISSOUF, A.KHEBCHI**, « Etude et simulation d'un Filtre Actif Série » Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique, Université de Tlemcen, Soutenu publiquement, le 19/06/2016.
- [4] **L.AROUNE**, « Etude et simulation d'un filtre actif parallèle » Mémoire de Fin d'Etudes de Master Académique en Réseaux électriques, Université de TIZI-OUZOU, soutenu publiquement le 29 septembre 2014.
- [5] **A.Omeiri**, «Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant » Thèse Doctorat. Université Annaba 2007.
- [6] **D.NEKKAR**, «Contribution à l'étude des stratégies de commande des filtres actifs triphasés» .Mémoire de magister .Université de Souk-Ahras 2013-2014.
- [7] **H.LAROUSSE, Z.KHALIFA**, « Commande Directe de Puissance d'un Filtre Actif Parallèle en Conditions non Idéales » Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Commande électrique, Université d'El-Oued,2018-2019.
- [8] **K.DJAZIA**, « Etude des filtres actifs pour réseaux déséquilibrés et distordus » thèse Doctorat de l'Université de FERHAT ABBAS – SETIF 1, 2015.
- [9] **MR. KEBBAL et K.BAKIR**, «Paramètres de la qualité de la tension d'un réseau électrique Etude et Analyse» Mémoire d'ingénieur d'état en Électrotechnique ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, Juin 2008.
- [10] **S.Chenni**, « Etude, modélisation et commande des filtres actifs : apport des techniques de l'intelligent artificielle »Thèse de doctorat en génie électrique, université mohamed Khider Biskra.
- [11] **S.OUCHEN**, « Contribution à la Commande Directe de Puissance Dédiée au Filtrage Actif, Associé à une Source Photovoltaïque » thèse Doctorat de l'université de Mohamed Khider – Biskra.
- [12] **M.M. Abdusalam** « Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales », Thèse Doctorat. Université Nancy-I 2008.
- [13] **D.GUENDOUD, B.BELACEL**, « Filtrage actif de puissance » Mémoire fin d'études pour l'obtention du diplôme master académique en Electrotechnique,2016.
- [14] **A.BOUSSAID**, « Filtrage actif des harmoniques dans les réseaux électriques contribution à l'amélioration de l'énergie électrique » thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat troisième cycle LMD En Électrotechnique, 2017.
- [15] **A.YAHIAOUI**, « Détection de défaut des convertisseurs de puissance : Application au filtre actif parallèle » mémoire de Master. Université de M'sila, 2014.
- [16] **Z.BADACHE, A.SACI**, « Etude par simulation d'un filtre actif parallèle », mémoire

Références Bibliographiques

d'ingénieur, Université de Msila, 2006.

[17] **L. Benchaita, S. Saadate et A. Salem Nia**, «comparison of voltage source and current source shunt active filter by simulation and experimentation », IEEE trans. Power Systems., Vol. 14, pp. 642-647, Mai 1999.

[18] **B. Singh, K. Al-Haddad, and A. Chandra**, « A review of active filters for power quality improvement », IEEE Transactions on Industrial Electronics, pp.960-971, Vol.46, No.5, October 1999.

[19] **N.H. Mendalek** « Qualité de l'onde électrique et moyens de mitigation», Thèse doctorat, Ecole de technologie supérieure, Université du Québec 2003.

[20] **F. Hamoudi**, « Contribution aux stratégies de commande avancées d'un filtre actif shunt à quatre fils », Thèse Doctorat. Université de Batna 2012.

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

[22] **S.Karimi**, «Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage"FPGA in the loop": application au filtre actif parallèle », Thèse Doctorat. Université Nancy-I.2009.

[23] **M. Abdusalam, P. Poure and S. Saadate**, « Study and experimental validation of harmonic isolation based on Self-Tuning-Filter for three-phase active filter ». ISIE, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Cambridge, UK, (2008).

[24] **S. Karimi**, « Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage "FPGA in the loop": application au filtre actif parallèle », Thèse Doctorat. Université Nancy-I 2009.

[25] **H. Salem**, «Commande d'un Filtre actif parallèle à quatre bras par des techniques avancées. » Mémoire de magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 2015.

[26] **I.GHADBANE**, « Commande d'un Filtre Actif Triphasé Parallèle Par Différents Régulateurs », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Electrotechnique, Université Mohamed Kheider – Biskra, 2011.

[27] **M. Alali**, «Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension (Automatisation des systèmes de puissance électrique) », Thèse de Doctorat de l'université Louis Pasteur-Strasbourg, 2002.

[28] **S.Deloum , Y.Heraiz** , « Amélioration de la qualité d'énergie électrique en utilisant un filtre hybride », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique, 2020.

[29] **L.A. Moràn, L. Fernández, J.W. Dixon and R. Wallace**, « A simple and low-cost control strategy for active power filters connected in cascade », Industrial Electronics Control and Instrumentation. Proceedings of the IEEE IECON 21st International Conference on, pp.463-468 Vol.1, November 1995.

Références Bibliographiques

- [30] **H. Djeghloud**, « Filtrage actif de puissance »Thèse doctorat. Université de Constantine 2007.
- [31] **T. Gouraud**, «Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution du réseaux électrique », Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, Janvier 1997.
- [32] **M. Amroun**, «Commande et diagnostic d'un filtre actif parallèle », Mémoire de fin d'étude en vue l'obtention du diplôme du Master en Génie électrique, 2016.
- [33] **K.Djazia ,F.Krim, A.chaoui, Msarra**, «Active Power Filtering Using the ZDPC Method under Unbalanced and Distorted Grid Voltage Conditions », Article, Energies 2015.

ملخص

Abstract-Résumé-

ملخص: اليوم أصبحت جودة الطاقة الكهربائية هي القضية الأكثر أهمية في مجال الكهرباء ، استخدام معدات التحكم بل غير الخطي يمتص التيارات غير الجيبية ويسببها الطاقة المتناغلة مما يؤثر بشكل كبير على جودة الطاقة ، للضوء على هذه المشكلة المرشح الشرطي هو الحل الأكثر فعالية لمعالجة التلوث ، في إطار هذا العمل للتحول الجديدة التي تسمح بتحكم في جودة الطاقة الكهربائية عندما تكون الشبكة مضطربة وغير متوازنة. نترح تحكمًا مباشرًا جديدًا في الطاقة (ZDPC) للتعويض عن التيارات التوافقية الزائدة عن الأحمال غير الخطية باستخدام مرشح طاقة نشط ، نطرح نتائج المحاكاة أداء وكفاءة التحكم المقترح.

الكلمات المفتاحية: مرشح ناقل للطاقة- تحكم مباشر للطاقة- تحكم مباشر للطاقة صفي- توافق- جودة الطاقة الكهربائية- شبكة مضطربة

Résumé

Aujourd'hui la qualité d'énergie électrique est devenue la question la plus importante dans le domaine d'électricité, L'utilisation des équipements à charges non linéaire absorbent des courants non sinusoïdaux et consomment de la puissance réactive faire un grand impact sur la qualité d'énergie, pour éliminer ce problème le filtre actif parallèle est la solution moderne la plus efficace de la dépollution, dans le cadre de ce travail de la recherche des nouvelles solutions permette l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique lorsque le réseau est perturbé et déséquilibré. nous proposons un nouveau contrôle de puissance direct (ZDPC) pour compenser les courants harmoniques causés par des charges non linéaires à l'aide d'un filtre de puissance actif, Les résultats de simulation montrent les performances et efficacités de la commande proposée.

Mots-clés: Filtre actif parallèle -Control Direct de la Puissance (DPC) -Zéro Control Direct de la Puissance (ZDPC)- harmonique-Qualité de l'Energie Electrique-Réseau Perturbé.

Abstract

Today the quality of electric power has become the most important issue in the field of electricity, The use of non-linear load equipment absorbs non-sinusoidal currents and consume reactive power make a great impact on the quality energy, to eliminate this problem the parallel active filter is the most efficient modern solution of pollution control, as part of this research work for new solutions allows the improvement of the quality of electrical energy when the network is disturbed and unbalanced. We offer a new direct power control (ZDPC) to compensate for harmonic currents caused by non-linear loads using an active power filter, Simulation results show the performance and efficiencies of the proposed control.

Key Words: Active Power Filter- Direct Power Control (DPC)- Zero Direct Power Control (ZDPC)- harmonic-Quality of Electrical Energy-Disturbed network

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

SPECIALITE : ENERGIE RENOUVELABLE

Proposé et dirigé par **M^r : D^r. DJAZIA Kamel.**

Présenté par : **HARHOUZ Mariya & NEBBACHE Haroun.**

Thème

Amélioration de la qualité d'énergie par filtrage actif utilisant la commande ZDPC

Résumé

Aujourd'hui la qualité d'énergie électrique est devenue la question la plus importante dans le domaine d'électricité, L'utilisation des équipements à charges non linéaire absorbent des courants non sinusoïdaux et consomment de la puissance réactive faire un grand impact sur la qualité d'énergie, pour éliminer ce problème le filtre actif parallèle est la solution moderne la plus efficace de la dépollution, dans le cadre de ce travail de la recherche des nouvelles solutions permette l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique lorsque le réseau est perturbé et déséquilibré. nous proposons un nouveau contrôle de puissance direct (ZDPC) pour compenser les courants harmoniques causés par des charges non linéaires à l'aide d'un filtre de puissance actif, Les résultats de simulation montrent les performances et efficacités de la commande proposée.

Mots clés

Filtre actif parallèle - Control Direct de la Puissance (DPC) - Zéro Control Direct de la Puissance (ZDPC) – harmonique- Qualité de l'Énergie Electrique-Réseau Perturbé.

N° d'ordre : **ER-07**