

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

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electromécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Electrotechnique

Spécialité : Commande Electrique

Par

Soualmi Abdeldjalil

Labidi Amira

Amélioration de la Qualité d'Energie d'un Réseau Electrique Monophasé via un Système de Filtrage Actif Parallèle

Soutenu le : / /2022

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
<i>M. TALHAOUI HICHAM</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. KESSAL ABDELHALIM</i>	<i>Pr</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. AISSA OUALID</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. IRATNI ABDELHAMID</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Aucun travail ne s'accomplit que dans la solidarité; donc, nous tenons à remercier premièrement notre Dieu pour son aide durant toutes ces années.

*Nous remercions les plus sincères vont à notre encadreur **Mr. Kessal Abdelhalim** pour ces critiques, conseils et orientations sans compter le temps qui a accordé pour corriger ce travail. Aussi, nous remercions **Mr. Aissa Oualid** pour son aide et ses conseils. Merci à l'ensemble des enseignants de l'Université de BBA sans oublier bien sûr tous ceux qui ont nous aidé à compléter ce travail.*

Dédicaces

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de ma famille que je tiens à remercier.

Je dédie ce modeste travail, tout d'abord à ma mère la flamme de ma vie, à celle qui a tout fait pour ma réussite, pour sa douceur, sa présence, ses sacrifices et ses encouragements.

A mon père, le premier homme de ma vie, la lumière qui m'a toujours guidé vers le bon chemin.

A mon cher frère Oussama mon bras droit qu'Allah me le protège.

A ma grand-mère et mes chères tantes Habiba et Salima.

A ma chère sœur Sara, son mari et mes neveux Mohamed, Barae et Cybelle.

A ma chère sœur Lamisse, son mari et sa fille Assil.

A ma chère sœur Dina.

A mon fiancé et toute sa famille.

Amira.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes très chers parents pour tous leurs amours et sacrifices

*Pour me voir un jour réussir et pour leur soutien moral et encouragement
Durant toute ma vie et particulièrement lors de l'élaboration de ce mémoire.*

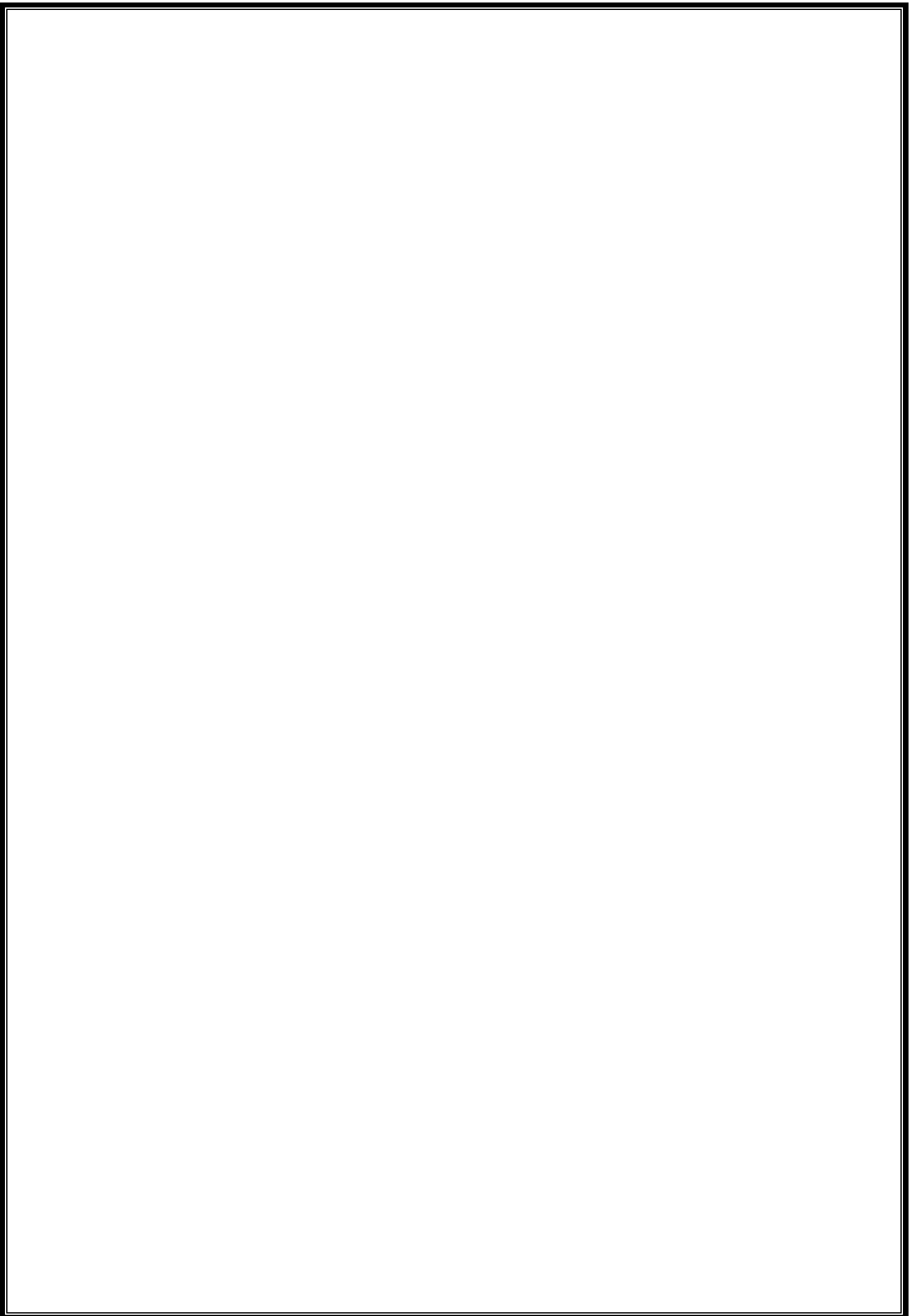
A toutes ma famille surtout mes sœurs et mes frères,

À tous mes oncles et mes tantes,

À mes amis et à toute la promotion de 2^{EME} ANNEE MASTER

À tous ceux qui m'ont aidé pour compléter ce travail.

Abdeldjalil.



Liste des Figures

Liste des figures

Figure. 1. 1. Creux de tension et coupure	4
Figure. 1. 2. Fluctuations de tension	5
Figure. 1. 3. Exemple de régime triphasé déséquilibré	5
Figure. 1. 4. Filtre actif parallèle	13
Figure. 1. 5. Filtre actif série	14
Figure. 1. 6. Filtre combine parallèle-série (UPQC)	15
Figure. 1.7. Filtre actif hybride	15
Figure.2.1. Schéma de l'ensemble réseau, filtre actif parallèle monophasé et charge polluante.....	18
Figure. 2.2. Structure du FAP en tension.....	20
Figure. 2.3. Schéma de principe d'un onduleur monophasé à deux interrupteurs avec charge RL.....	20
Figure. 2.4. Formes d'onde d'un onduleur monophasé avec charge RL.....	21
Figure. 2.5. Schéma de principe d'un onduleur monophasé en pont avec charge RL.....	21
Figure. 2.6. Formes d'onde d'un onduleur monophasé en pont avec charge RL.....	22
Figure. 2.7. Fonctionnement du régulateur à hystérésis.....	23
Figure. 2.8. Principe de contrôle par hystérésis.....	23
Figure. 2. 9. Schéma de régulation de la tension du bus continu par le régulateur PI.....	24
Figure.2.10. Schéma bloc de la commande classique du FAP monophasé étudié.....	25
Figure.2.11. Tension de source (V_S) et courant de source (I_S).....	26
Figure.2.12. Résultats de simulation de la commande classique du filtre étudié.....	26
Figure. 2.13. THD du courant de la source avant filtrage.....	27
Figure. 2. 14. THD du courant de la source après filtrage.....	28
Figure. 2.15. Commande des interrupteurs par régulateurs à hystérésis classique.....	28

Liste des Figures

Figure.3.1. Commande du courant du filtre actif parallèle par un hystérésis adaptative.....	32
Figure. 3. 2. Schéma fonctionnel de la bande passante d'hystérésis adaptative.....	33
Figure.3.3. Schéma montrant les impulsions de commutation générées par l'hystérésis adaptative.....	34
Figure 3.4. Schéma illustratif du circuit de puissance et de commande de la stratégie adaptative du filtre actif parallèle.....	35
Figure. 3. 5. Résultats de simulation de la commande adaptative du filtre étudié.....	36
Figure. 3. 6. THD du courant de la source après filtrage adaptatif.....	37
Figure.3.7. Signaux de la commande des interrupteurs par régulateurs à hystérésis adaptatif.....	38

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableau1.1. Classification des normes concernant la qualité d'énergie électrique	10
Tableau.1.2. Niveau de compatibilité pour les tensions harmoniques sur les réseaux basses tensions (Norme <i>CEI 61000-2-2</i>).....	11
Tableau. 2. 1. Valeurs des éléments caractérisant la structure étudiée.....	24
Tableau. 3. 1. Comparaison de THD après le filtrage actif parallèle des deux stratégies de contrôles étudiées.....	39

Liste des Symboles et acronymes

Liste des Symboles et Acronymes

Symboles :

Abréviations	Titres
I	Courant total
I_h	Courant harmonique de rang h
I_1	Valeur efficace du courant fondamental
I_n	Valeur efficace du courant harmonique
C	Capacité
L	Inductance
R	Résistance
P	puissance active
Q	Puissance réactive
D	Puissance déformante
$\cos(\varphi)$	Facteur de puissance
f	Fréquence
f_c	Fréquence de commutation
I_s	Courants de source
V_s	Tensions de source
I_f	Courant du filtre actif
I_{ch}	Courant de la charge non linéaire
I_{f-ref}	Courant du filtre actif de référence
L_f	Inductance du filtre actif
Ll	Inductance de la ligne
Lc	Inductance de la charge non linéaire
Vdc	Tension aux bornes du condensateur
Cdc	Capacité du condensateur

Liste des Symboles et acronymes

Acronymes :

Acronymes	Titres
FP	Facteur de puissance
THD	Taux de distorsion harmonique
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
FAS	Filtre actif série.
FAP	Filtre actif parallèle.
MOSFT	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
UPQC	Unified Power Quality Conditioner
DC	Direct Current
AC	Alternative Current
GTO	GateTurn-Off thyristor
IGBT	Insolated Gate Bipolar Transistor
PI	Proportionnel-Intégral
PLL	Phase Locked Loop
HB	Bande hysteresis
PWM	Pulse Width Modulation

Résumé

Résumé

Résumé:

Le présent mémoire de fin d'études a pour but d'améliorer la qualité de l'énergie électrique alimentant une charge polluante à travers un filtre actif parallèle monophasé. La concrétisation de ce mémoire est subordonnée à l'étude et la simulation sous MATLAB/Simulink de deux commandes classique et adaptative qui ont pour rôle de maîtriser convenablement le convertisseur DC/AC identifiant le filtre monophasé. Les résultats de simulation obtenus sont très acceptables respectant ainsi les normes internationales exigées.

Mots clés : Convertisseur DC/AC, Charge non linéaire, Filtrage actif parallèle monophasé, Qualité d'énergie, MATLAB/Simulink.

ملخص:

الغرض من مذكرة نهاية الدراسة هو تحسين جودة الطاقة الكهربائية التي تتوفر على شحنة ملوثة من خلال مرشح نشط مواز أحادي الطور. يخضع تحقيق هذه المذكرة للدراسة والمحاكاة تحت MATLAB/Simulink لاثنتين من عناصر التحكم الكلاسيكية و التكيفية التي لها دور في التحكم في محول DC/AC بشكل صحيح . إن نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها مقبولة للغاية، وبالتالي فهي تفي بالمعايير الدولية المطلوبة.

الكلمات المفتاحية: محول DC/AC ، حمل غير خطي، تصفية نشطة متوازية أحادية الطور، جودة الطاقة، MATLAB/Simulink

Abstract :

This study aims to improve the quality of electric power containing contaminated charge through a parallel active filter from single phase. The realization of this work is studied and simulated using MATLAB/Simulink for controls classic and adapted that properly control the DC/AC adapter. The simulation results obtained are largely acceptable and therefore meet the required international standards.

Keywords: DC/AC adapter, non-linear load, one phase parallel active filter, Power quality, MATLAB/Simulink.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : perturbations et solution envisages pour la dépollution dans les installations électriques	
1. 1. Introduction	3
1.2 .Qualité de l'énergie électrique	3
1.3. Perturbations électriques et leurs origines	4
1.3.1. Creux de tension et coupures	4
1. 3. 2. Fluctuations de Tension	5
1. 3. 3. Déséquilibre du système triphasé de tension	5
1. 3. 4. Variation de fréquence	6
1. 3. 5. Définition et origine des harmoniques et inter-harmoniques	6
1.4. Perturbations harmoniques	6
1.4.1. Origines des harmoniques	6
1.4.2 Conséquences des harmoniques	7
1. 4. 3. Caractéristique de la perturbation	8
1. 5. Normes et réglementations	9
1.6. Solutions traditionnelles et modernes de dépollution	11
1. 6. 1. Solutions traditionnelles	11
1. 6. 2. Solutions modernes	11
1. 7. Conclusion	16

Sommaire

Chapitre 2 : Présentation et simulation du contrôle classique du filtre actif parallèle monophasé.

2. 1. Introduction	18
2. 2. Description du filtre actif parallèle monophasé (circuit de puissance)	18
2. 3. Commande classique du filtre actif parallèle monophasé	19
2. 3. 1. Structure du FAP en tension.....	19
2.3.2 Onduleur monophasé	20
2. 3. 3. Commande de L'onduleur.....	22
2. 3. 4. Commande par régulateur à hystérésis	22
2. 3. 5. Régulateur PI classique.....	23
2. 4. Simulation sous MATLAB/Simulink de la commande classique étudiée.....	25
2. 4. 1. Résultats de simulation.....	26
2. 5. Conclusion.....	29

Chapitre3 : Présentation et simulation de la commande améliorée du filtre actif parallèle monophasé.

3. 1. Introduction.....	31
3. 2. Présentation du principe de la commande à hystérésis adaptative.....	31
3. 3. Calcul de la bande d'hystérésis adaptative.....	31
3. 4. Simulation de l'ensemble réseau, filtre actif parallèle et charge polluante.....	34
3. 5. Résultats de simulation avec interprétations.....	35
3. 6. Etude comparative des deux techniques de commandes traitées (classique et adaptative)	38
3. 7. Conclusion.....	39
Conclusion générale.....	41

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, l'utilisation croissante des dispositifs d'électronique de puissance dans les systèmes électriques a entraîné de plus en plus des problèmes liés aux perturbations ou distorsions harmoniques des réseaux électriques. Ce phénomène touche l'ensemble des secteurs industriels tertiaire et domestique. La distorsion harmonique est générée par les charges non linéaires connectées au réseau et qui absorbent des courants non sinusoïdaux [1].

Il existe un certain nombre de solutions techniques pour éliminer ou réduire les effets liés à une mauvaise qualité de l'énergie. La solution classique qui est connue depuis bien longtemps consiste en l'utilisation des filtres actifs. Parmi ces filtres, on cite les filtres actifs parallèles. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'assurer l'amélioration de la qualité d'énergie d'un réseau électrique monophasé via un système de filtrage actif parallèle. Le travail présenté dans ce mémoire est relatif à la comparaison de la technique de la commande par hystérésis classique et la commande par l'hystérésis adaptative [2].

Dans le premier chapitre nous avons présenté la qualité d'énergie électrique et les perturbations électriques et harmoniques et leurs origines. De ce fait, les distributeurs de l'énergie électrique se voient donc obligés d'imposer des normes et de se protéger contre ces perturbations. Des normes sur les harmoniques ont été proposées par la commission internationale d'électrotechnique IEC61000 et par les recommandations IEEE Std. 519-1992 [3].

Dans le deuxième chapitre nous présenterons le principe de la commande par hystérésis classique de l'onduleur de tension monophasé. Pour cette commande, nous présenterons les résultats de simulation à l'aide du logiciel MATLAB/Simulink pour examiner les performances de cette loi de commande.

Dans le troisième chapitre nous présenterons le principe de la commande par hystérésis à bande adaptative ainsi que sa simulation en MATLAB/Simulink pour la commande de l'onduleur afin d'examiner les performances de cette loi de commande proposée.

A la fin de ce modeste travail, on a présenté une conclusion générale sur cette étude.

Chapitre 01

*Perturbations et solutions envisagées pour
la dépollution dans les installations
électriques.*

1.1. Introduction

Comme tous générateurs d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils des utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'ils maintiennent à leurs bornes. Il apparait évident que la qualité de cette énergie dépend de celle de la tension au point de livraison cette tension, subit généralement beaucoup de perturbations qui peuvent apparaitre dans un réseau électrique [2].

Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques des perturbations électriques et leurs origines, les perturbations de fréquences, les perturbations harmoniques, les normes et les régulations et enfin on présentera les solutions traditionnelles et modernes utilisées pour dépolluer les réseaux électriques.

1.2 .Qualité de l'énergie électrique

La qualité de l'énergie électrique est considérée comme une combinaison de la qualité de la tension et de la qualité du courant. Nous allons donc définir ces deux notions dans la suite de ce paragraphe.

a. Qualité de la tension

Dans la pratique, l'énergie électrique distribuée se présente sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé, qui possède quatre caractéristiques principales : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie.

b. 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 déphasée de $2\pi/3$ 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 [4].

1.3. Perturbations électriques et leurs origines

1.3.1. Creux de tension et coupures

Un creux de tension est défini comme une baisse de 10% à près 90% de la tension contractuelle pendant un temps compris entre la demi-période fondamentale du réseau (10ms à 50Hz) et une minute (figure 1). Les paramètres qui caractérisent un creux de tension sont :

- Sa profondeur : ΔU ou son amplitude U ;
- Sa durée : ΔT définie comme le laps de temps pendant lequel la tension est inférieure à 90% de la valeur nominale.

Les coupures sont le cas où la profondeur de la tension est supérieure à 99%. Elles sont caractérisées par un seul paramètre c'est la durée.

Les coupures brèves sont de durée inférieure à une minute (coupure de 1 s à 1 min) et entre 10 ms et 1 s des « coupures très brèves » (voir la figure 1.1).

- **Origines**

Les creux de tension et les coupures brèves sont principalement causés par des phénomènes conduisant à des courants élevés qui provoquent à travers les impédances des éléments du réseau une chute de tension d'amplitude d'autant plus faible que le point d'observation est électriquement éloigné de la source de la perturbation.

Les creux de tension et les coupures brèves ont différentes causes :

- Des défauts sur le réseau de transport (HT) de distribution (BT et MT) ou sur l'installation elle-même.
- La commutation de charges de puissance importante (moteurs asynchrones, four à arc, machine à souder, chaudières...) par rapport à la puissance de court-circuit [5].

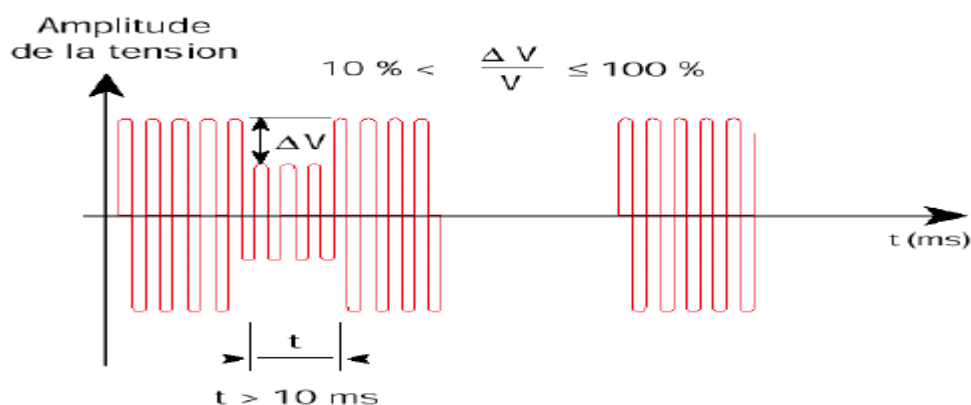


Figure. 1. 1. Creux de tension et coupure [5].

1.3.2. Fluctuations de Tension

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].

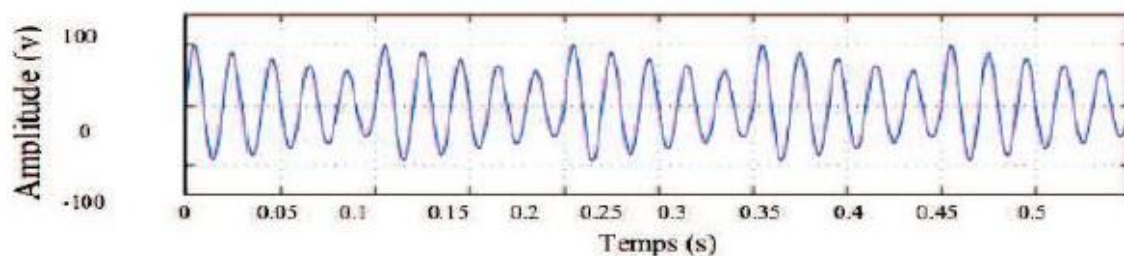


Figure. 1. 2. Fluctuations de tension [6]

1.3.3. Déséquilibre du système triphasé de tension

Trois grandeurs de même nature et de même pulsation forment un système triphasé équilibré lorsqu'elles ont la même amplitude et lorsqu'elles sont déphasées de $\pm 120^\circ$. Lorsque les grandeurs ne vérifient pas ces conditions de phase et d'amplitude, on parle alors d'un système triphasé déséquilibré.

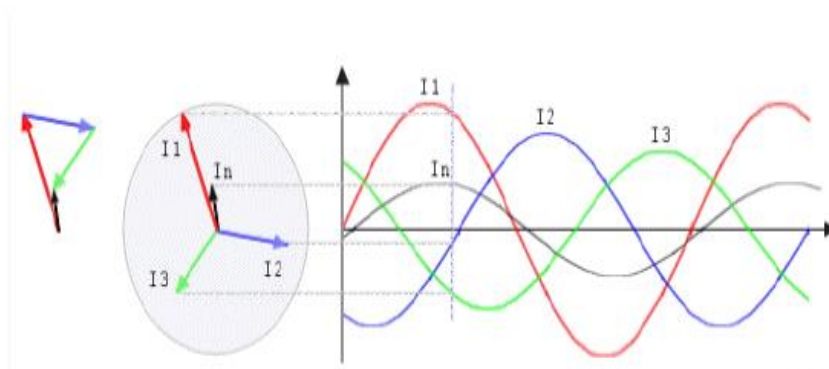


Figure. 1. 3.Exemple de régime triphasé déséquilibré [4].

On parle d'un déséquilibre d'amplitude lorsque les trois tensions n'ont pas la même valeur efficace et d'un déséquilibre de phase lorsque le déphasage entre les trois phases successives n'est pas de 120° .

1.3.4. Variation de fréquence

Une variation sensible de la fréquence du réseau peut apparaître sur les réseaux des utilisateurs non interconnectés ou alimentés par une source thermique autonome. Au niveau des réseaux de distribution ou de transport, cette variation de la fréquence est très rare et n'est présente que lors de circonstances exceptionnelles, comme dans le cas de certains défauts graves sur le réseau [6]. Dans des conditions d'exploitation, la valeur moyenne de la fréquence fondamentale doit être comprise dans l'intervalle $50\text{Hz} \pm 1\%$ [4].

1.3.5. Définition et origine des harmoniques et inter-harmoniques

Les harmoniques sont des signaux dont la fréquence est un multiple entier de celle du fondamental. Elles sont principalement générées par des charges non linéaires (ce non linéarité peut être intrinsèque comme dans le cas d'un arc ou d'un noyau magnétique saturé ou résulté des commutations répétées des composants de l'électronique de puissance). Soumise à une tension sinusoïdale, une charge non linéaire absorbe un courant déformé dont les composantes harmoniques ne dépendent, en première approximation, que de ses caractéristiques propres et non de celles du réseau. Cette charge se comporte comme une source de courants harmoniques. Entre les harmoniques de courant et de tension, on peut observer d'autres fréquences qui sont des multiples non entiers de celle du fondamental. Les principales sources d'harmoniques sont les alimentations ou régulateurs d'électronique de puissance (redresseurs, variateurs de vitesse, ordinateurs, téléviseurs,... etc). Alors que pour les inter-harmoniques, les sources principales sont les cyclo-convertisseurs, les moteurs asynchrones et les machines à souder (pour les réseaux basses tensions), les fours à arc (pour les réseaux moyenne et haute tension) [7].

1.4. Perturbations harmoniques

1.4.1. Origines des harmoniques

a. Convertisseurs statiques

Les ponts redresseurs et en général les convertisseurs statiques (diodes et thyristors) sont générateurs de courants harmoniques. Dans le cas de ponts monophasés, rappelons que les charges symétriques ne génèrent pas d'harmoniques de rang pair. Les plectre étant en général décroissant, l'harmonique de rang 3 est donc l'harmonique prépondérant pour les charges monophasées. Ainsi, pour les charges très répandues de type redresseur monophasé à diodes avec filtrage capacitif, l'harmonique de rang 3 peut atteindre 80 % du fondamental.

b. Éclairage

L'éclairage par lampes à décharge et tubes fluorescents est générateur de courants harmoniques. Le taux individuel d'harmonique 3 peut même dépasser 100 % pour certaines lampes fluo-compactes modernes, d'où une attention particulière à porter à la détermination de la section et de la protection du conducteur neutre qui véhiculant la somme des courants d'harmoniques 3 des trois phases, risque un échauffement important.

c. Fours à arc

Dans le cas du four à arc à courant alternatif : l'arc est non linéaire, dissymétrique et instable. Il va induire des spectres possédant des raies impaires, paires et un spectre continu (bruit de fond à toutes les fréquences). Le niveau spectral est en fonction du type de four, de sa puissance et de la période de fonctionnement considérée : fusion, affinage...etc. Aussi, seules des mesures peuvent déterminer le spectre de façon précise. Dans le cas du four à arc à courant continu : l'arc est alors alimenté par l'intermédiaire d'un redresseur. L'arc est plus stable qu'en courant alternatif. Le courant absorbé se décompose en un spectre semblable à celui d'un redresseur et un spectre continu de niveau inférieur à celui d'un four à courant alternatif.

d. Inductances saturées

De telles inductances ont leur impédance fonction de l'amplitude du courant qui les traverse et de fait elles provoquent des déformations notables de ce courant. C'est le cas, dans une certaine mesure, des transformateurs à vide soumis à une surtension permanente.

e. Machines tournantes

Les machines tournantes donnent des harmoniques de denture de rangs élevés et d'amplitudes souvent négligeables.

1.4.2 Conséquences des harmoniques

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

a. Échauffement

Les pertes totales par effet Joule sont la somme de celles du fondamental et des harmoniques :

$$I^2 \cdot R = \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \cdot R \quad (1.1)$$

Avec :

I : courant total.

I_h : Courant harmonique de rang h qui représente le fondamental pour h=1.

R : résistance traversée par le courant I.

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

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

b. Défauts de fonctionnements de certains équipements électriques

En présence des harmoniques, la tension (ou le courant) peut changer plusieurs fois de signe dans une demi période; par conséquent, tout appareil dont le fonctionnement est basé sur le passage par zéro des grandeurs électriques (appareils utilisant la tension comme référence) peut être perturbé.

c. Risque d'excitation de résonance

Les fréquences de résonance des circuits formés par des inductances du transformateur et des câbles sont normalement élevées. Ce n'est pas le cas lorsque des batteries de capacité non raccordées au réseau pour relever le facteur de puissance. Les fréquences

de résonance peuvent devenir assez faibles, et coïncider ainsi avec celles des harmoniques engendrées par les convertisseurs statiques. Dans ce cas, il y aura des phénomènes d'amplification d'harmoniques [1].

1.4.3. Caractéristique de la perturbation harmonique

Différents 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 la perturbation harmoniques et la consommation de puissance réactive [4].

a. Le taux de distorsion harmonique

Notre étude se limite au cas où la source de tension est sinusoïdale et où 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 déformée. Il est donné par l'expression suivante [8] :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 \quad (1.2)$$

I_1 : Valeur efficace du courant fondamental.

I_n : Valeur efficace du courant harmonique.

N.B : Lorsque le THD est égal à zéro, on peut conclure qu'il n'y a pas d'harmoniques sur le réseau.

b. Facteur de puissance

Dans un milieu non harmonique, le facteur de puissance est donné par:

$$F_p = \frac{P}{S} = \cos(\alpha) \quad (1.3)$$

Dans un milieu harmonique, en présence de charges non linéaires, le COS ϕ n'est plus applicable, on parlera du facteur de puissance FP, ce dernier est donné par la formule [9]:

$$F_P = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (1.4)$$

Avec la puissance active P, réactive Q et déformante D.

1.5. Normes et réglementations

Afin de limiter l'influence d'une charge polluante sur les autres charges connectées au réseau et en même temps éviter la modification des caractéristiques de ce dernier, les distributeurs d'énergie électrique ont été amenés à émettre des recommandations. Ces recommandations concernent les exigences au point de raccordement de l'utilisateur sur le réseau électrique. Un exemple de ces recommandations (les plus anciennes) stipule que chaque utilisateur pris séparément doit, à son point de raccordement respecter les limites de perturbations en tensions :

- Harmoniques paires : $V_h/V_I < 0.6\%$
- Harmoniques impaires : $V_h/V_I < 1\%$
- Taux de distorsion harmonique en tension : $THD < 1.6\%$

Tableau 1.1. Classification des normes concernant la qualité d'énergie électrique [10],[11],[12].

Thèmes	Normes
Classification de la qualité d'énergies	CEI 61000-2-5 : 1995 CEI 61000-2-5 : 1990 IEEE 1159 : 1995
Creux/ surtension/interruption	CEI 61009-2-1 : 1990 IEEE 1159 : 1995
Harmoniques	CEI 61000-2-1 : 1990 CEI 61000-2-2 CEI 61000-3-2 CEI 61000-4-7 : 1991 IEEE 519 :1992
Flicker de tension	CEI 61000-4-15 : 1997
Transitoires	CEI 61000-2-1 : 1990 CEI816 :1984 IEEE 1159 : 1995 IEEE C62.41 :1991

Au-delà de ces valeurs, il est nécessaire d'installer des dispositifs de filtrage ou bien dans certains cas extrêmes augmenter la puissance de court-circuit du réseau. Ces limites sont destinées à minimiser le risque de voir le réseau d'alimentation général atteindre un taux de distorsion harmonique en tension supérieur à 5%.

Afin de concilier distributeurs et consommateurs, des normes ont été dictées. Le tableau (1.1) résume les principales normes concernant la qualité d'énergie et la tension dans les systèmes électriques [10, 11,12].

Tableau. 1.2. Niveau de compatibilité pour les tensions harmoniques sur les réseaux basses tensions (Norme) CEI 61000-2-2)[10],[11],[12].

Rangs impairs non multiples de 3		Rangs impairs multiples de 3		Rangs pairs	
Rang	Tension harm(%)	Rang	Tension harm(%)	Rang	Tension harm(%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	> 21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			> 12	0.2
25	1.5				
> 25	0.2+1.3*25/h				

1.6. Solutions traditionnelles et modernes de dépollution

1.6.1. Solutions traditionnelles

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

a. Stato-compensateur

Il s'agit d'une méthode de compensation utilisée pour relever le facteur de puissance.

b. Rééquilibrage des courants du réseau électrique

Répartition égale des charges sur les trois phases. Compensateur passif, par exemple montage de Steinmetz qui provoque un fort déséquilibre pour les fréquences différentes de 50Hz avec des résonances qu'il faut éviter d'exciter à proximité d'un générateur d'harmonique.

c. Filtres passifs

Le plus ancien pour le traitement des harmoniques de courant. Il consiste à piéger les courants harmoniques pour les empêcher de se propager dans le reste du réseau.

d. Filtre 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.

e. Filtre passif parallèle

Le filtre passif parallèle est constitué d'une inductance en parallèle avec un condensateur. Il présente une impédance faible pour toutes les harmoniques et une impédance suffisamment importante par rapport au fondamental, ce qui empêche les courants harmoniques de se propager vers le réseau.

1. 6.2. Solutions modernes

Les progrès remarquables réalisés d'une part dans le domaine des composants semi-conducteurs, comme les *IGBT*, *GTO* et *MOSFET*, ainsi que la maîtrise de leur mise en œuvre et d'autre part l'existence de nouvelles méthodes de traitement analogique et numérique du signal, ont permis l'émergence de moyens modernes et efficaces pour faire face aux différentes perturbations (harmoniques, puissance réactive, fluctuations, creux de tension) affectant les systèmes électriques. Parmi ces moyens modernes, nous pouvons citer : les filtres actifs: parallèles, séries, hybrides et combinaisons des structures [13].

a. Filtre actif

Nous citerons trois topologies possibles de filtres actifs:

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

b. Filtre actif parallèle

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau est le plus souvent contrôlé comme un générateur de courant. Il injecte dans le réseau des courants harmoniques égaux à ceux absorbés par la charge polluante, mais en opposition de phase avec ceux-ci. Le courant côté réseau sera ainsi sinusoïdal, cependant la tension au point de raccordement ne le sera que si la tension ne contient pas d'harmoniques. Ainsi l'objectif d'un filtre parallèle générateur de courant consiste à empêcher les courants harmoniques absorbés par la charge non linéaire de circuler à travers l'impédance du réseau située en amont du point de connexion du filtre. Le dimensionnement du filtre actif est lié au courant harmonique à générer. La majorité des filtres actifs parallèles actuellement installés sur les réseaux électriques fonctionnent selon ce principe [14].

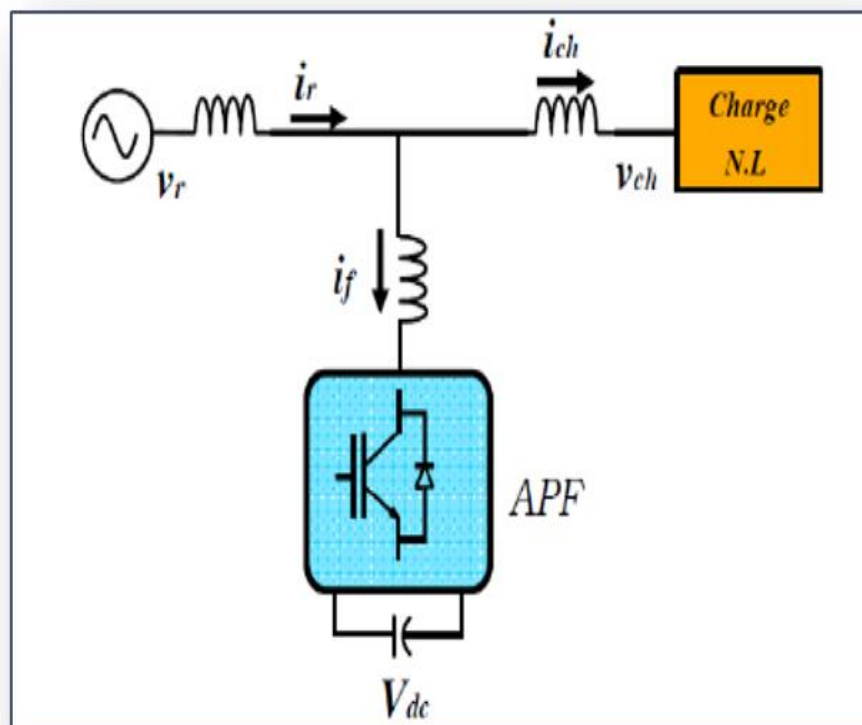


Figure. 1. 4. Filtre actif parallèle [14].

c. Filtre actif série

Le filtre actif série est connecté en série sur le réseau comme le montre (la figure 1.5). Il se comporte comme une source de tension qui engendre des tensions harmoniques dont la somme avec la tension du réseau est une onde sinusoïdale. Il est destiné à protéger les installations qui sont sensibles aux tensions perturbatrices (harmoniques, creux, déséquilibrés) provenant de la source et également celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Cette structure est proche dans le principe à des conditionneurs de réseau. Toutefois, cette topologie présente quelques difficultés et inconvénients lors de sa mise en œuvre. Elle ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge [14].

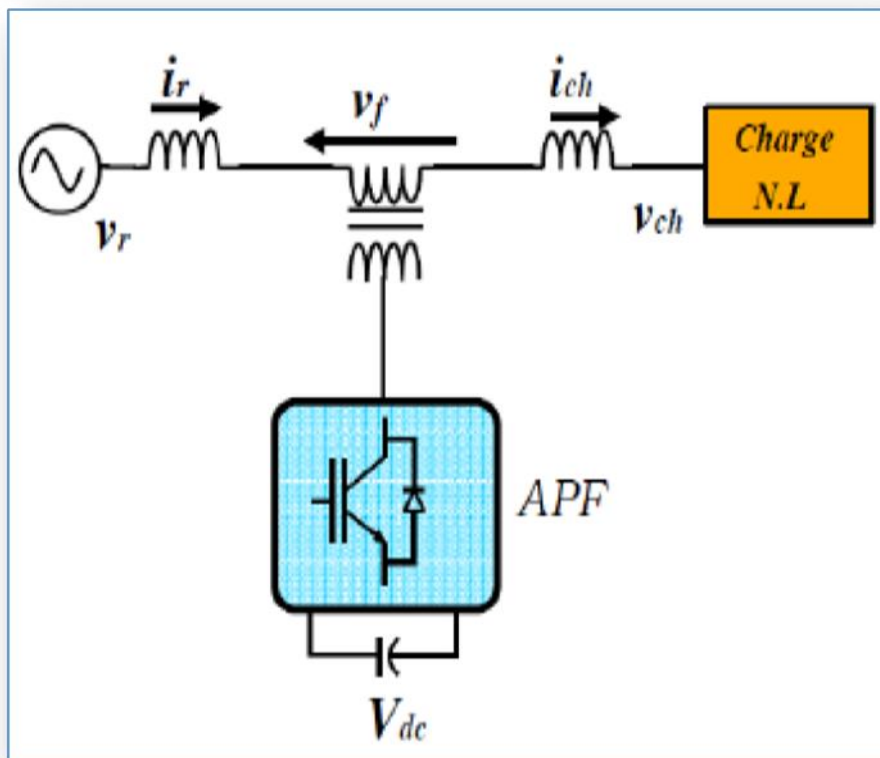


Figure. 1. 5. Filtre actif série [14].

d. Filtre combiné parallèle-série

L'UPQC est principalement la combinaison de deux filtres actifs série et parallèle qui partagent la même capacité sur le bus continu. Ce type de dispositif est capable à la fois de régler la tension du réseau et d'éliminer les harmoniques. Il est considéré comme le plus puissant dispositif et il est capable d'effectuer efficacement toutes les tâches de conditionnement de puissance. Cependant, son prix important et la complexité des commandes des nombreux interrupteurs limitent son utilisation à des applications critiques comme l'équipement médical.

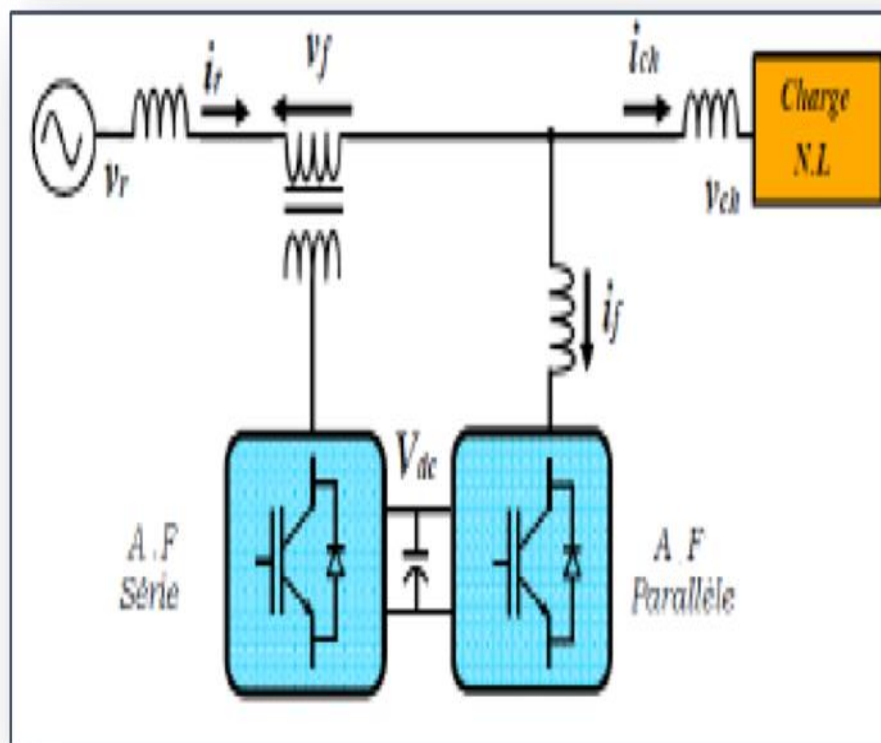


Figure. 1. 6. Filtre combine parallèle-série (UPQC) [15].

e. Filtre actif hybride

Connecté avec ou sans transformateurs au réseau, le filtre actif hybride (Figure I.7) est constitué d'un filtre passif connecté directement en série avec le filtre actif, ce qui entraîne

une diminution de la tension du bus continu comparativement à celle d'un filtre actif pur et une réduction du dimensionnement du filtre hybride. Cependant, la mise en place d'une inductance à l'entrée de la charge non linéaire est indispensable pour le bon fonctionnement du filtre hybride [15].

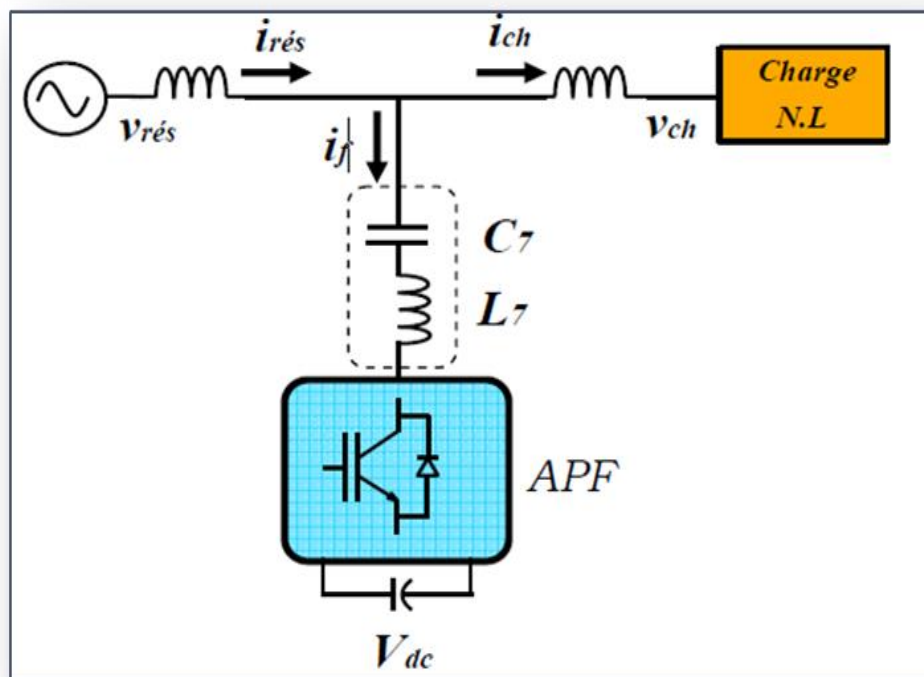


Figure. 1.7. Filtre actif hybride [15].

1. 7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les divers problèmes de pollutions du réseau électrique engendrés par la charge polluante (charge non-linéaire). Cette dernière provoque la dégradation de la qualité de l'énergie électrique dans le réseau électrique. Cependant, pour faire surmonter ces problèmes de perturbations, des solutions traditionnelles et modernes ont été présentées et discutées dans ce chapitre. Enfin, le futur chapitre sera réservé à l'étude et à la simulation du contrôle classique du filtre actif parallèle monophasé.

Chapitre 02

*Présentation et simulation du contrôle
classique du filtre actif parallèle*

Monophasé

2. 1. Introduction

Le domaine de l'électronique de puissance s'est développé considérablement et offre un potentiel énorme pour la conversion d'énergie électrique. La recherche dans ce domaine considère plusieurs aspects, notamment les techniques de commande [16]. Ce chapitre vise à développer le filtre actif parallèle monophasé commandé par l'hystérésis classique et le régulateur PI conventionnel comme une technique très utilisée dans le domaine d'électronique de puissance via la simulation par le logiciel MATLAB/Simulink.

2. 2. Description du filtre actif parallèle monophasé (circuit de puissance)

Les filtres actifs sont connectés en parallèle sur le réseau et sont généralement commandés en tant que sources de courant. Ils injectent dans le réseau un courant perturbateur égale à la flèche absorbée par la charge polluante mais en opposition de phase avec eux, donc le courant coté réseau est sinusoïdale ainsi la mise en parallèle des filtres actifs a pour but d'éviter que les courants harmonique générés par des charges polluantes, ne circulent que dans l'impédance du réseau en amont du point de raccordement du filtre actif.

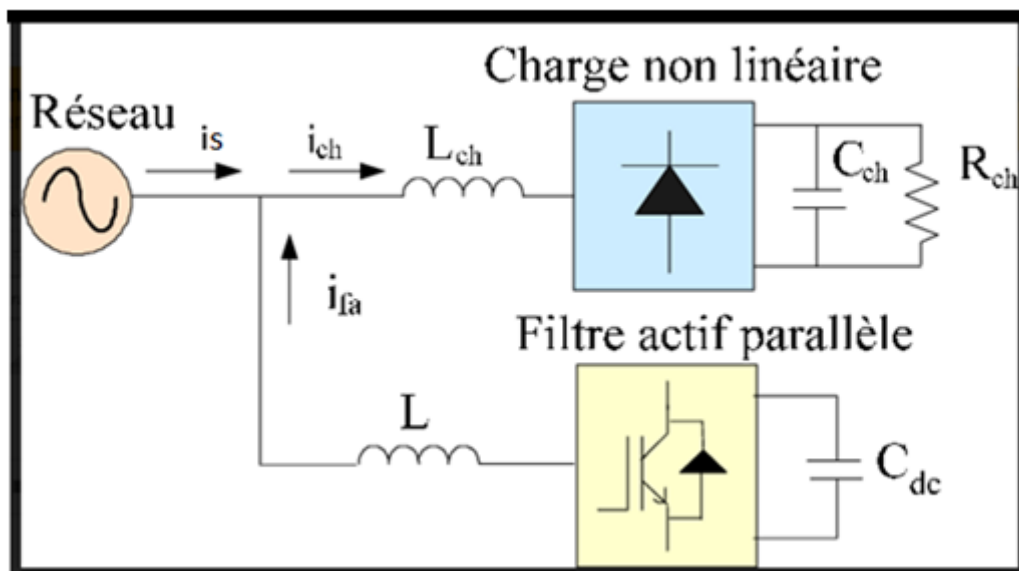


Figure. 2. 1. Schéma de l'ensemble réseau, filtre actif parallèle monophasé et charge polluante.

La figure 2.1 montre l'ensemble réseau, filtre actif parallèle monophasé et charge polluante. Le filtre actif parallèle est principalement composé de trois parties : onduleur monophasé,

condensateur et une inductance. Les onduleurs sont utilisés pour charger et décharger les condensateurs (C_{dc}) afin d'assurer le filtrage du courant de la charge non linéaire.

Le condensateur (C_{dc}) est utilisé comme un élément de stockage d'énergie et l'inductance (L_f) est utilisée pour lisser et contrôler le courant injecté par le filtre actif. Ce dernier doit fournir la puissance déformante et/ou la puissance réactive. Ainsi, le réseau fournit uniquement la puissance active [17].

2. 3. Commande classique du filtre actif parallèle monophasé

2. 3. 1. Structure du FAP en tension

- La structure des filtres actifs se compose essentiellement d'une partie puissance et d'une partie commande.
- La partie puissance se compose [18]:
 - d'un onduleur de tension à base d'interrupteurs de puissance (IGBT, MOSFET...) avec diodes en antiparallèle.
 - d'un filtre de découplage et d'un condensateur lui servant de source de stockage d'énergie.
- La partie commande, sert au contrôle de la commutation des éléments semi-conducteurs formant l'onduleur de la partie puissance. Elle est constituée [18]:
 - d'un circuit d'identification des courants perturbés,
 - d'un système à base PLL dépendant du choix de la méthode,
 - d'un régulateur de la tension aux bornes de l'élément de stockage,
 - d'un régulateur de courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.

Le schéma de principe d'un FAP à structure tension est donné par la **figure 2.2** comme suit:

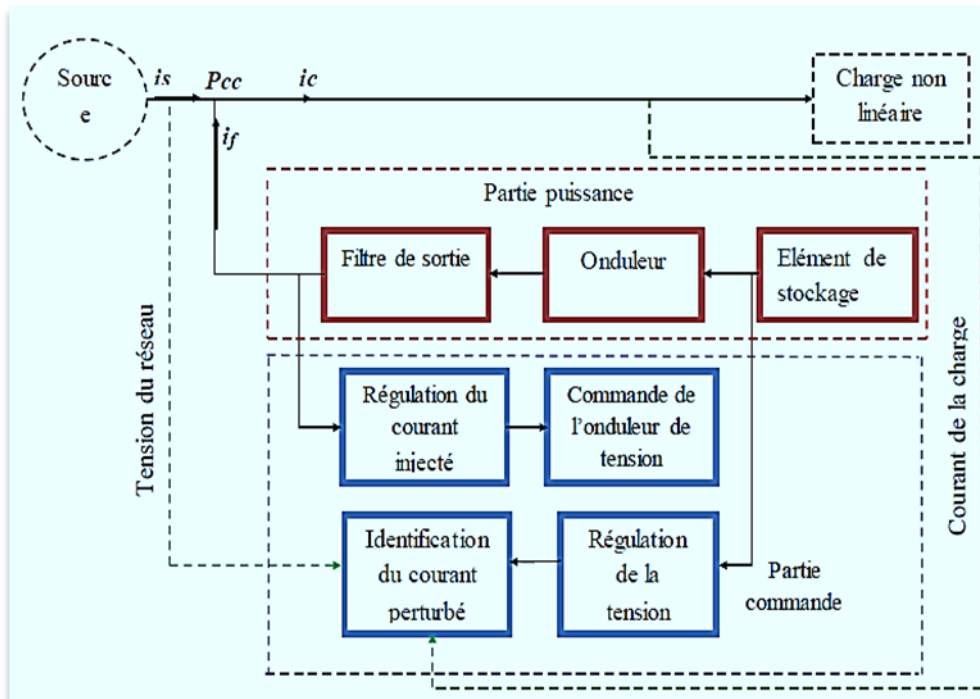


Figure. 2.2. Structure du FAP en tension.

2.3.2. Onduleur monophasé

Parmi les onduleurs monophasés existants, nous pouvons citer :

A. Onduleur monophasé à deux interrupteurs

On ferme alternativement les interrupteurs formés par (T1, D1) et (T2, D2) de sorte à imposer une tension alternative (carrée) à la charge comme le montre la **figure 2.3** ci-dessous [19].

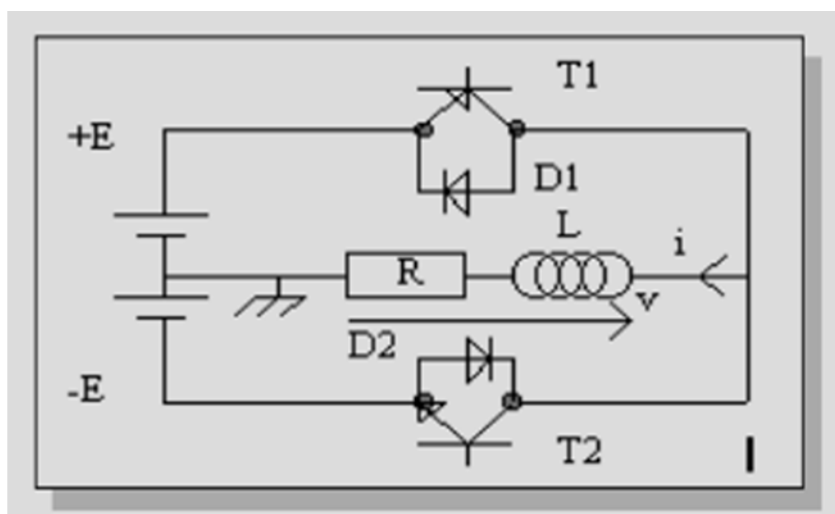


Figure. 2.3. Schéma de principe d'un onduleur monophasé à deux interrupteurs avec charge RL [19].

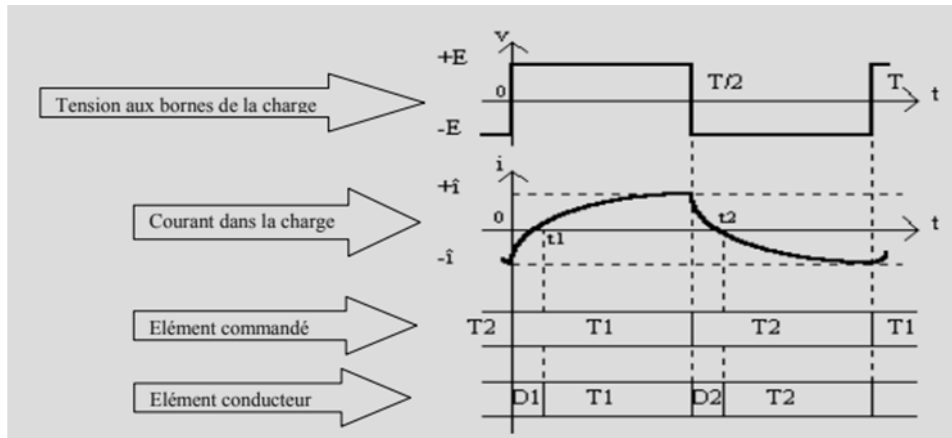


Figure. 2.4. Formes d'onde d'un onduleur monophasé avec charge RL [19].

La valeur efficace est donnée par l'expression suivante [19]:

$$U_{eff}=E(2.1)$$

B. Onduleur monophasé en pont :

Les interrupteurs K1 et K3 vont se fermer en même temps, puis les interrupteurs K2 et K4 vont par la suite se fermer. Ainsi, permettant d'obtenir une tension alternative à la sortie.

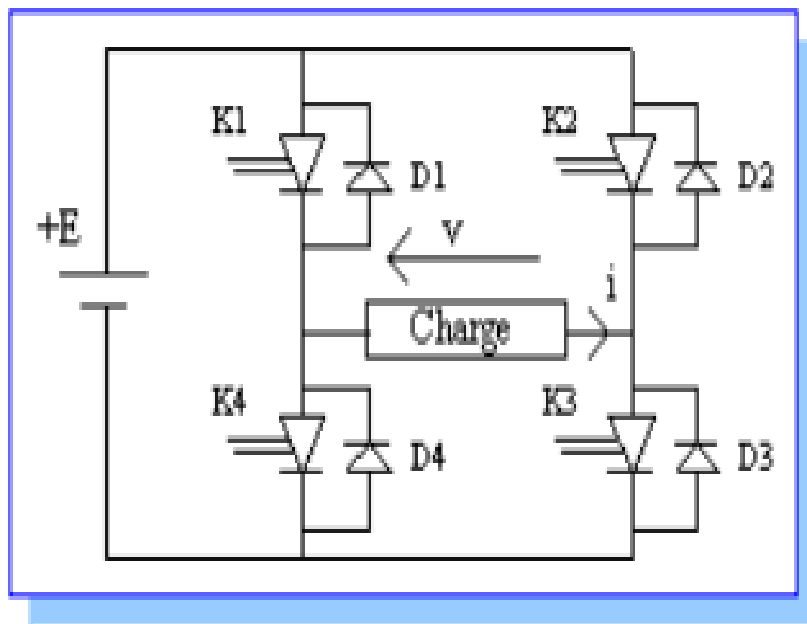


Figure. 2.5. Schéma de principe d'un onduleur monophasé en pont avec charge RL [19].

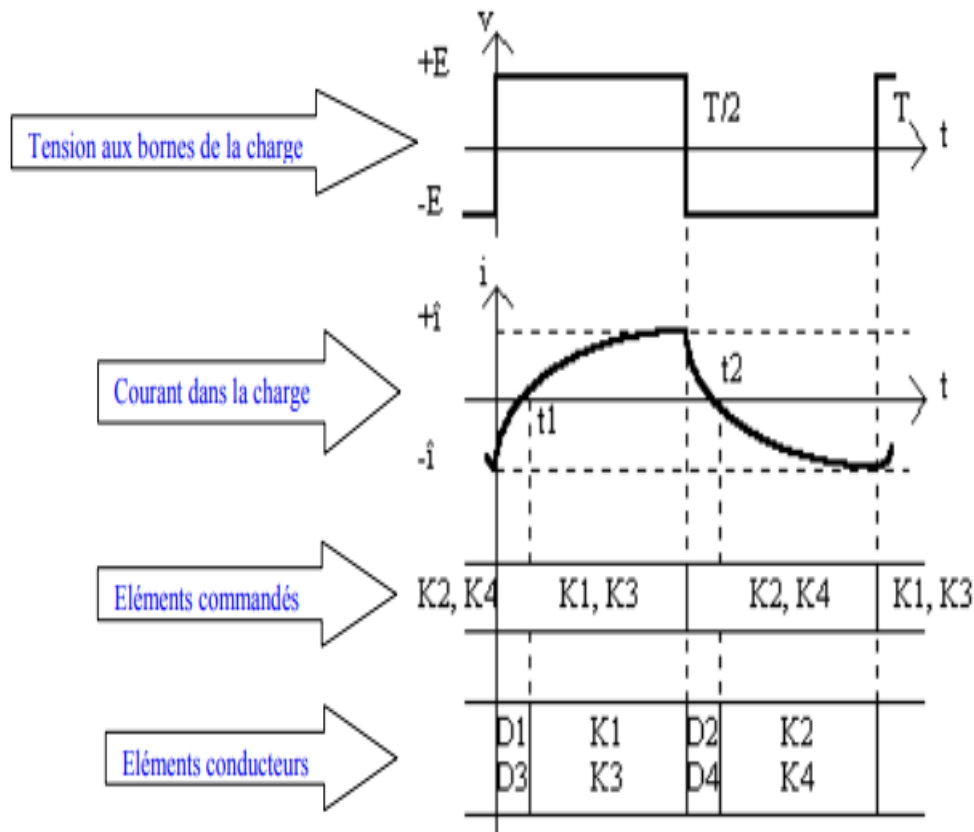


Figure. 2.6. Formes d'onde d'un onduleur monophasé en pont avec charge RL [19].

La valeur efficace est donnée par l'expression suivante [19]:

$$U_{eff} = E \quad (2.2)$$

2.3.3. Commande de L'onduleur

Le contrôle de l'onduleur a pour but d'obtenir une reproduction optimale de la tension de référence, souhaitée grâce à des commandes de contrôle appliquée aux différents interrupteurs de puissance. Dans ce cas, on utilise le contrôle par régulateur à hystérésis.

2.3.4. Commande par régulateur à hystérésis

La commande par hystérésis, appelée aussi commande en tout ou rien, est une commande non linéaire qui exploite l'erreur existante entre une tension de référence et la tension produite par l'onduleur. Cette erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis. Une fois que l'erreur atteint la bande inférieure ou supérieure, un ordre de commande est envoyé de manière à rester à l'intérieur de la bande [4].

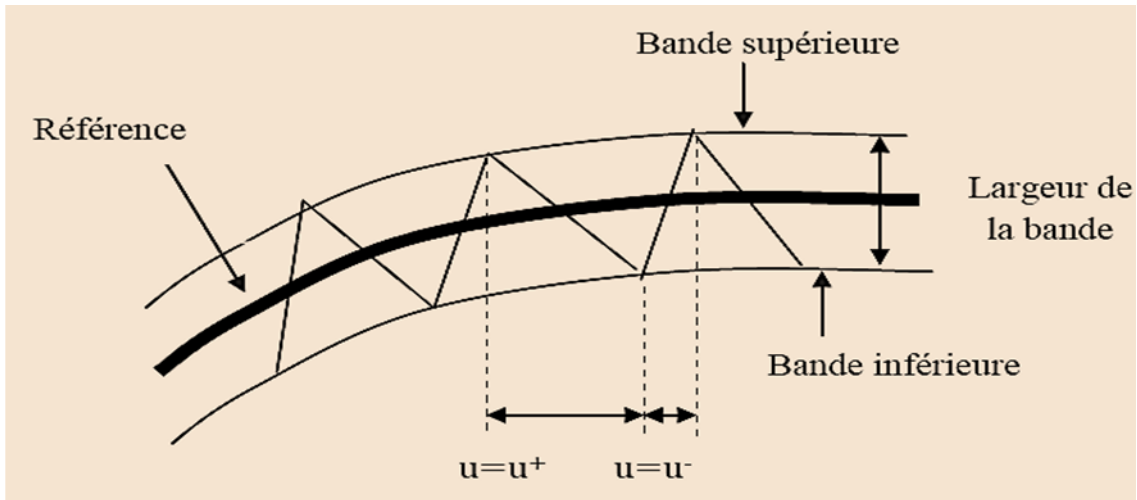


Figure. 2.7. Fonctionnement du régulateur à hystérésis [4].

La simplicité de la mise en œuvre, comme le montre la **figure 2.7**, est le principal atout de cette technique. En revanche, les commutations évoluent librement à l'intérieur de la bande d'hystérésis [4].

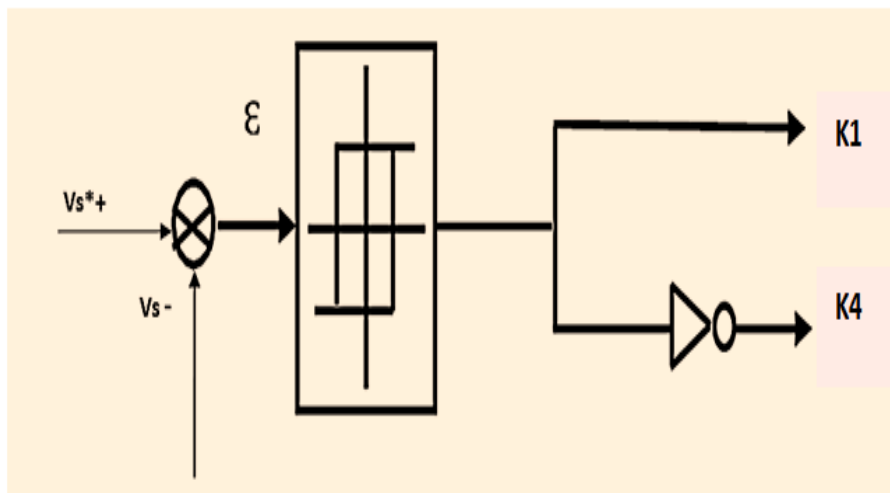


Figure. 2.8. Principe de contrôle par hystérésis [4].

2. 3.5.Régulateur PI classique

Le correcteur Proportionnel-Intégral (PI) est le correcteur le plus classiquement utilisé pour le contrôle de tension et surtout de courant. Nous l'avons choisi pour sa simplicité et son efficacité. Le PI est un régulateur classique qui est composé d'un terme d'action proportionnelle K_p et d'un terme d'action intégrale K_i . La **figure 2.9** représente le schéma de régulation de la tension du bus continu par le régulateur PI classique.

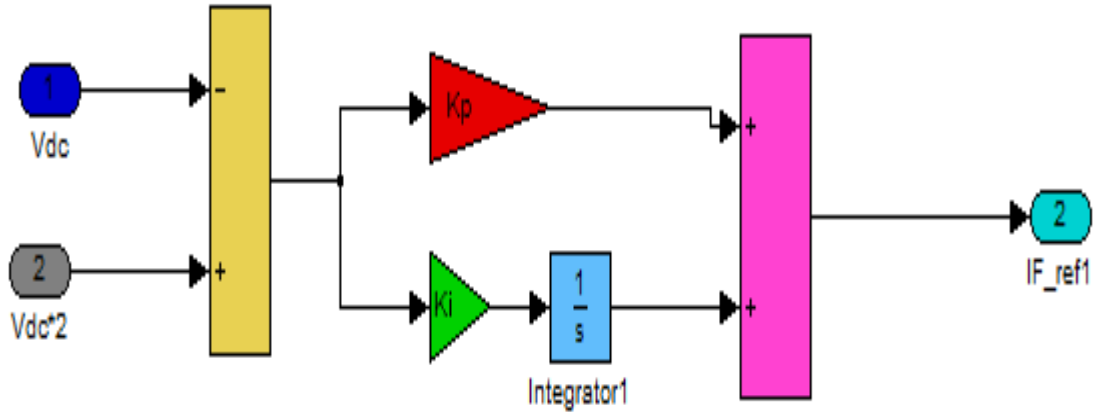


Figure. 2. 9. Schéma de régulation de la tension du bus continu par le régulateur PI.

La présence de l'intégrateur assurera une précision statique meilleure. L'objectif de la régulation est de contrôler le courant (ou la tension) à la sortie de l'onduleur de telle sorte qu'il suive le plus fidèlement possible la consigne [20].

Tableau. 2. 1 Valeurs des éléments caractérisant la structure étudiée

Paramètres	Symbole	Valeur
Fréquence du réseau	Fs	50hz
Tension de source	Vs	50v
Inductance d'entrée	Ls	4mH
Inductance de charge	Lc	2mh
Condensateur de charge	Cc	11.5 μ F
Inductance du filtre	Lf	8mh
Condensateur du filtre	Cf	1100 μ F
Tension de référence	Vdc-ref	150V
Résistance de charge	Rc	550 Ω

2.4. Simulation sous MATLAB/Simulink de la commande classique étudiée

Le programme de simulation développé a été effectué en utilisant le logiciel MATLAB/Simulink qui permet de visualiser sur un intervalle de temps donné l'évolution des différents résultats lors de la mise en service du FAP (figure 2.10). Les valeurs des éléments caractérisant cette simulation ont été données par le **tableau 2.1**.

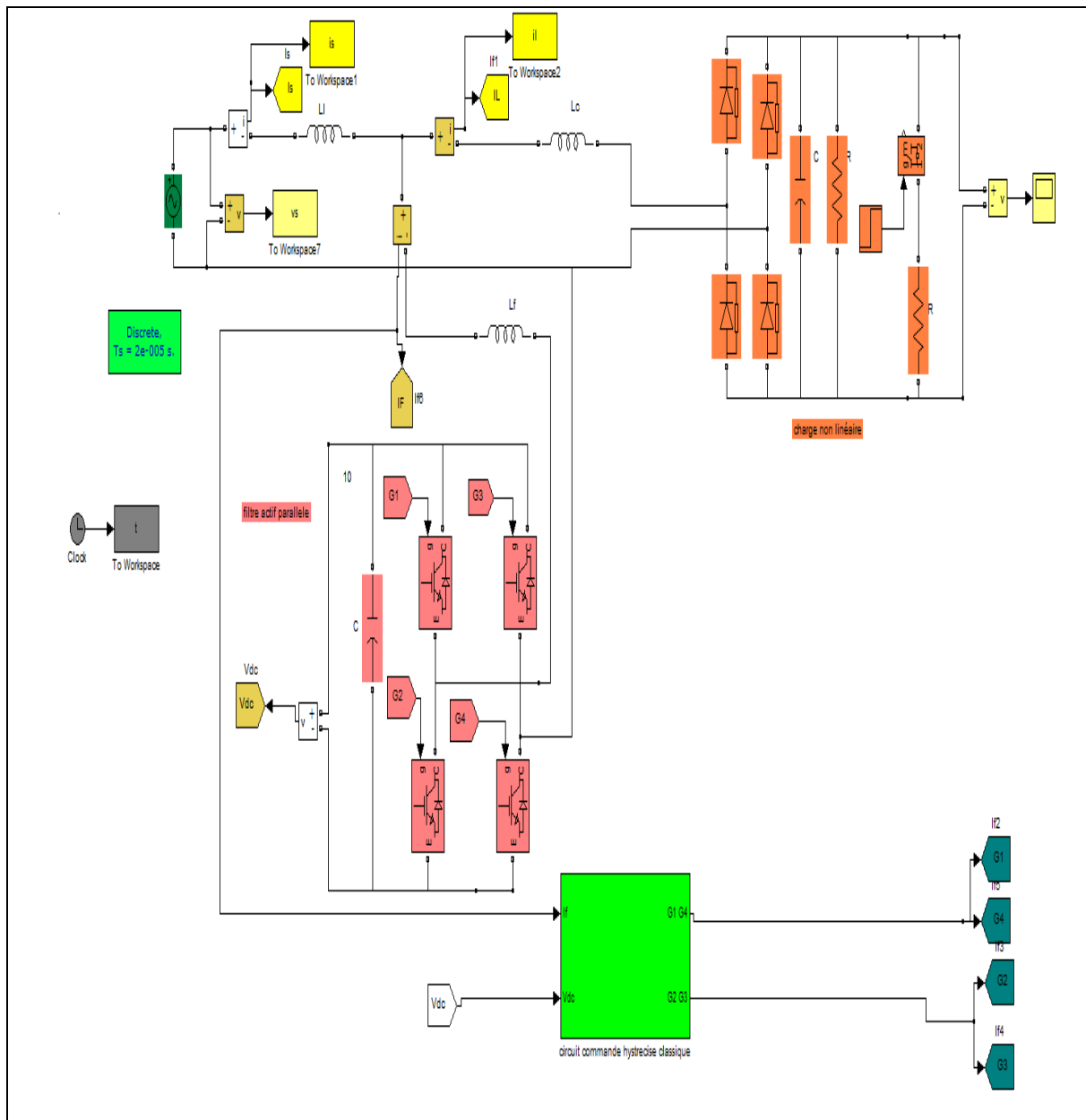


Figure.2.10. Schéma bloc de la commande classique du FAP monophasé étudié.

2.4.1. Résultats de simulation

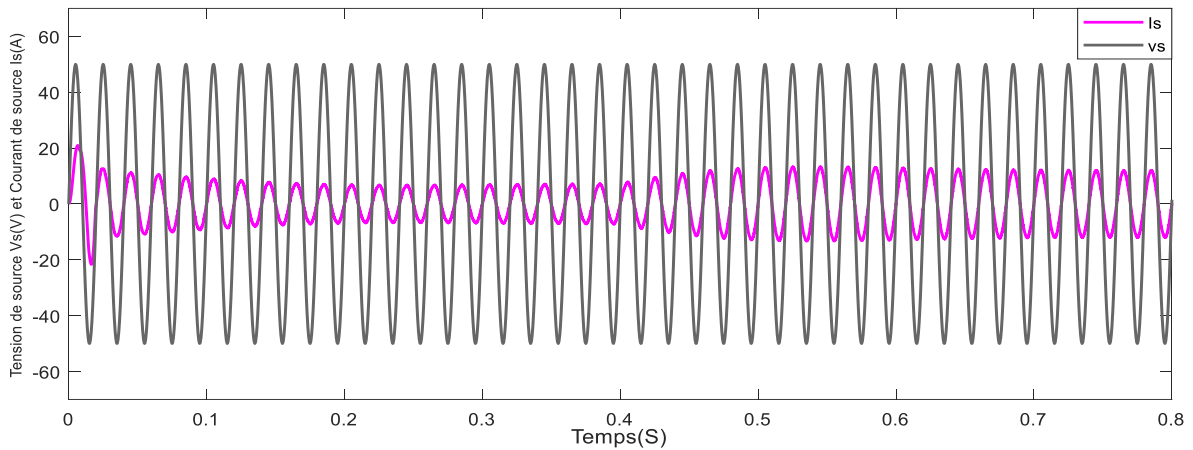


Figure.2.11. Tension de source (V_s) et courant de source (I_s).

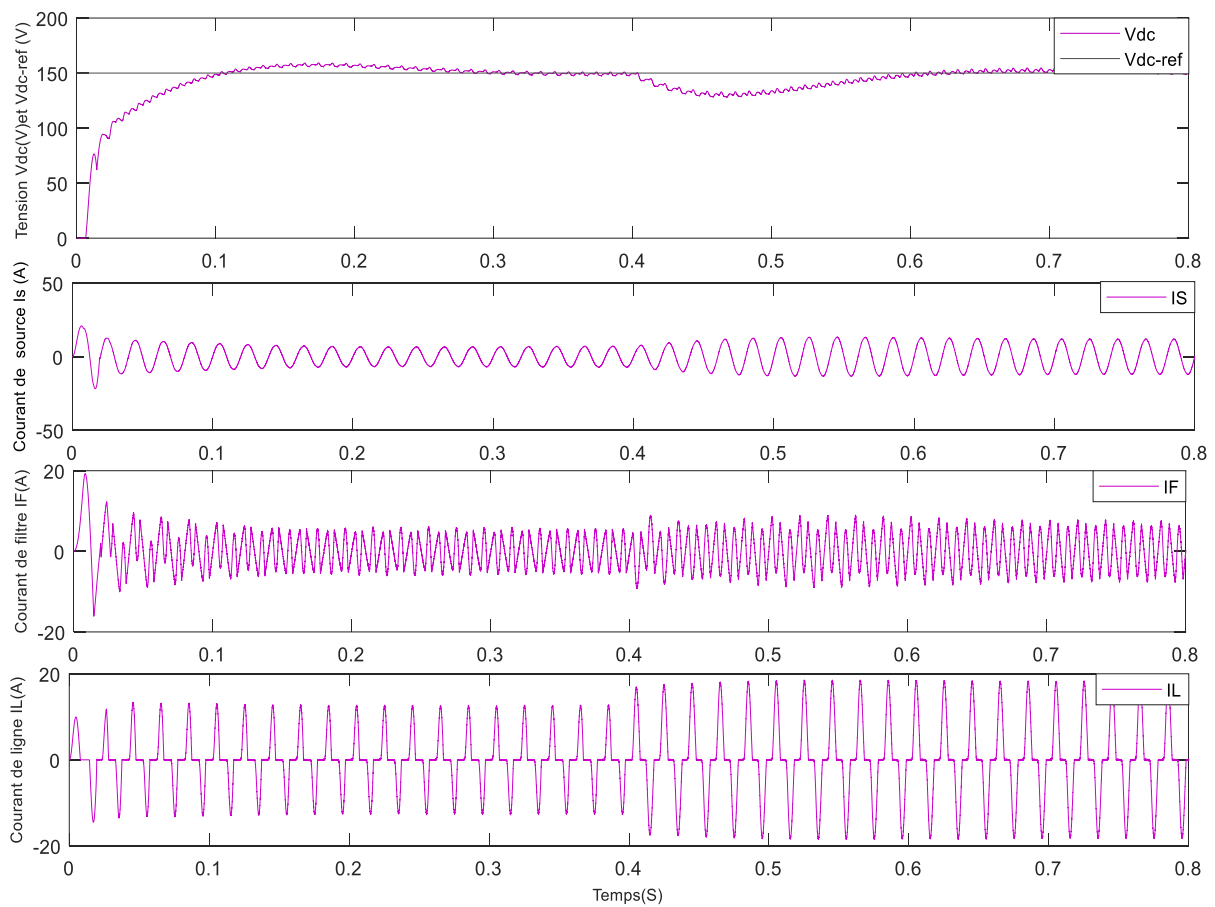


Figure.2.12. Résultats de simulation de la commande classique du filtre étudié.

D'après les résultats illustrés sur les figures précédentes qui sont obtenus après le filtrage pour le cas de la commande par hystérésis et PI classiques:-

du bus continu du filtre actif parallèle monophasé est arrivée à sa valeur imposée (tension de référence de 150V) à l'aide du régulateur PI utilisé. En plus, la perturbation de la charge qui a affecté cette tension a été rejetée efficacement. Les courants de la ligne et de la charge sont représentés par leurs formes appropriées.

Le courant de source I_s est quasi sinusoïdal après le filtrage actif parallèle basé sur la commande classique utilisée qui a permis de réduire les harmoniques du courant de source.

Avant activation du filtrage, le courant de la source est distordu où il présente un THD de 46,35%. Le THD du courant de source après le filtrage est de 3,00%. Cette valeur respecte la norme internationale requise d'IEEE. Donc, ce filtre a pu rendre la forme du courant de la source quasi sinusoïdale et par conséquent réduction du taux de distorsion harmonique.

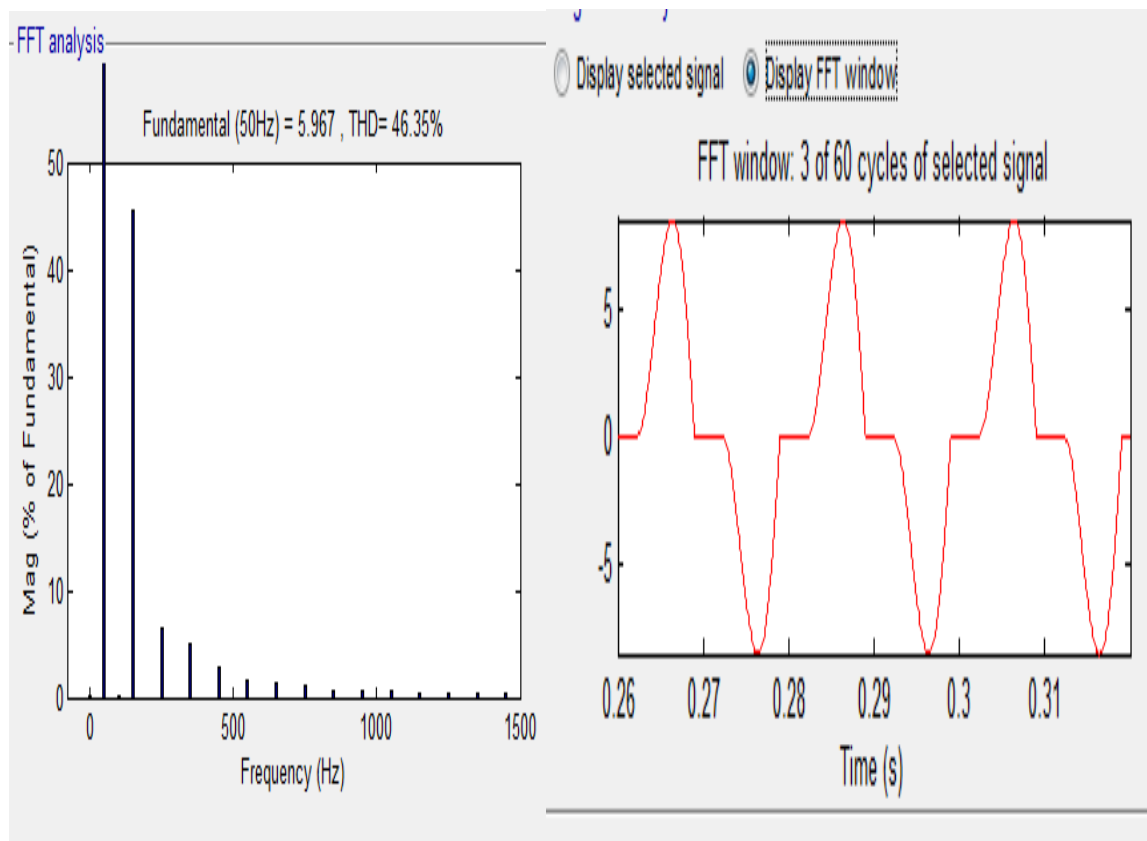


Figure. 2. 13. THD du courant de la source avant filtrage.

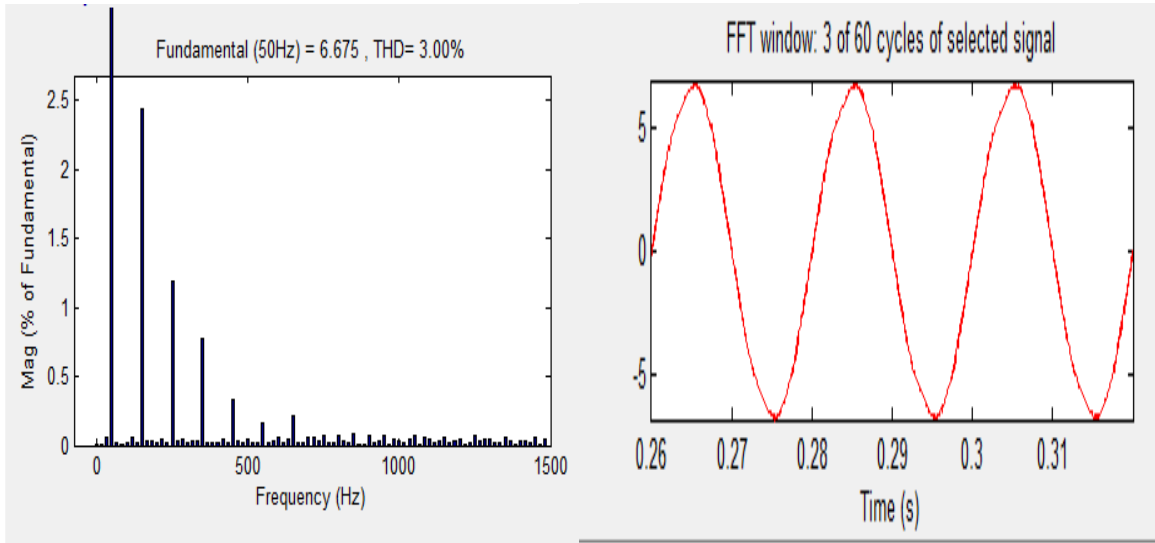


Figure. 2. 14. THD du courant de la source après filtrage.

D'autre part, la figure 2.15 montre les différents signaux de commande du filtre actif parallèle étudié. Il est visible que les interrupteurs G1 et G3 vont se fermer en même temps, suivis des interrupteurs G2 et G4 qui vont se fermer par la suite.

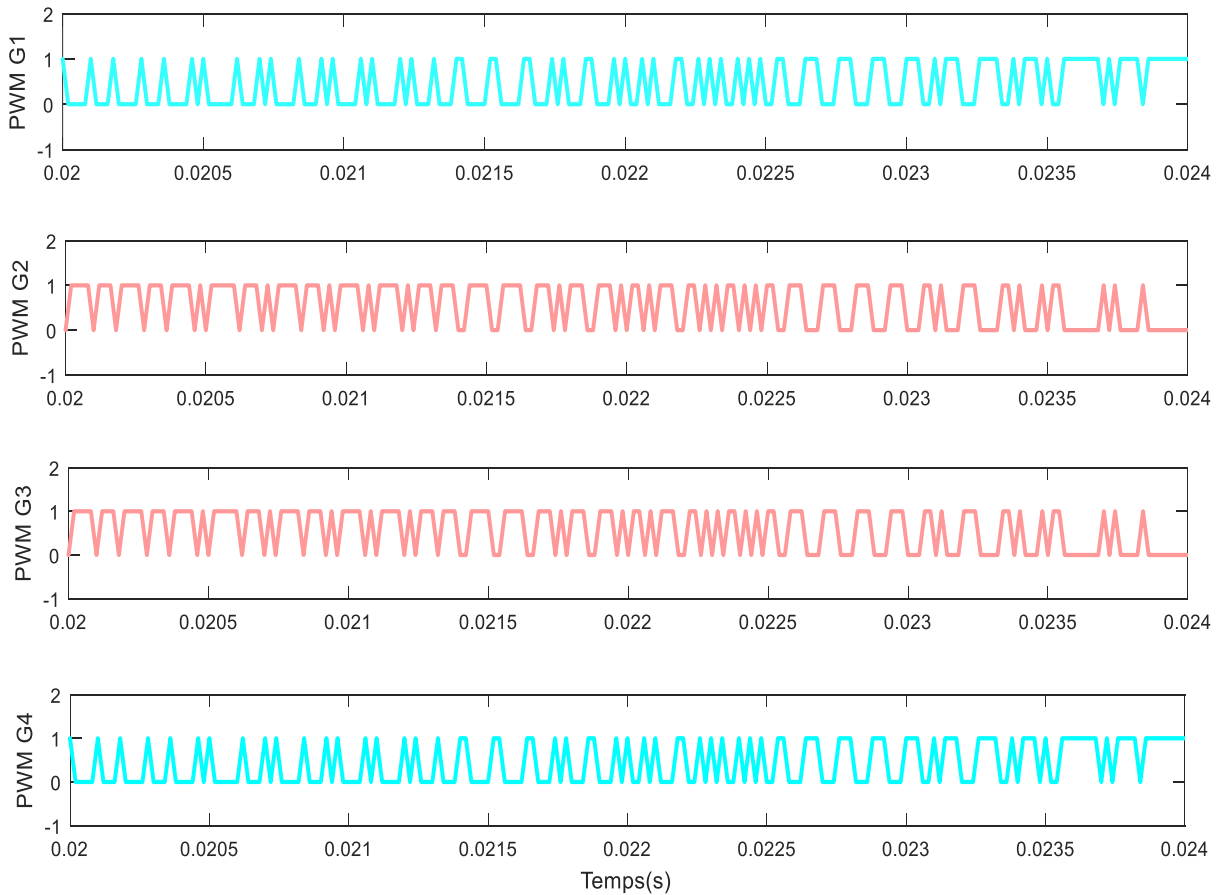


Figure. 2.15. Commande des interrupteurs par régulateurs à hystérésis classique.

2. 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une simulation de l'ensemble du réseau monophasé, charge non linéaire, filtre actif parallèle contrôlé par une commande classique (PI et hystérésis classiques) dans le but d'améliorer la qualité d'énergie. A partir les résultats obtenus, le THD après filtrage actif est 3.00% (inférieur à 5%) respectant ainsi la norme internationale d'IEEE. Néanmoins, ce contrôle est caractérisé par le fonctionnement sous une fréquence de commutation variable. Le prochain chapitre sera réservé au développement de la commande adaptative qui assure le fonctionnement sous une fréquence de commutation fixe.

Chapitre 03

*Présentation et simulation de la
commande améliorée du filtre actif*

Parallèle monophasé

3. 1. Introduction

Parmi les techniques très utilisées dans le domaine d'électronique de puissance est la commande en courant par hystérésis comme une solution moderne de filtrage actif parallèle monophasée [21]. Dans ce chapitre, nous allons présenter l'étude et la simulation via le logiciel MATLAB/Simulink d'une méthode de contrôle adaptatif du filtre actif parallèle monophasé basé sur l'adaptation de la bande d'hystérésis afin de maintenir la fréquence de commutation constante.

3.2. Présentation du principe de la commande à hystérésis adaptative

La commande conventionnelle par hystérésis est très utilisée à cause de sa simplicité d'utilisation et de sa robustesse. En fait, cette stratégie assure un contrôle satisfaisant du courant sans exiger une connaissance poussée du modèle du système à contrôler ou de ses paramètres. Cependant, elle ne permet pas de contrôler la fréquence de commutation des semi-conducteurs, induisant ainsi la présence d'un nombre important d'harmoniques dans les courants générés. En vue d'avoir un fonctionnement sous une fréquence de commutation fixe, le régulateur à hystérésis classique a été remplacé par un comparateur à hystérésis adaptatif. Ce régulateur est basé sur un calculateur d'hystérésis, qui génère la fenêtre d'hystérésis pour maintenir la fréquence de commutation dans une bande très étroite centrée autour de sa valeur moyenne programmée [3].

3.3. Calcul de la bande d'hystérésis adaptative

Le calculateur de la bande d'hystérésis adaptatif fait varier la largeur de bande d'hystérésis HB en fonction des grandeurs suivantes :

Variations du courants de compensation instantané ($di_{ref}^*(t)/dt$).

Tension d'alimentation (V_s) et celle du bus DC (V_{dc}).

La dérivation analytique donnée sur la figure (3.1) montre que, la fréquence de commutation (f_c) peut être maintenue presque constante en changeant HB. Lorsque le courant injecté dans

l'inductance tente de sortir de la bande d'hystérésis, l'interrupteur correspondant s'ouvre ou se ferme pour forcer le courant jusqu'à la bande d'hystérésis [22].

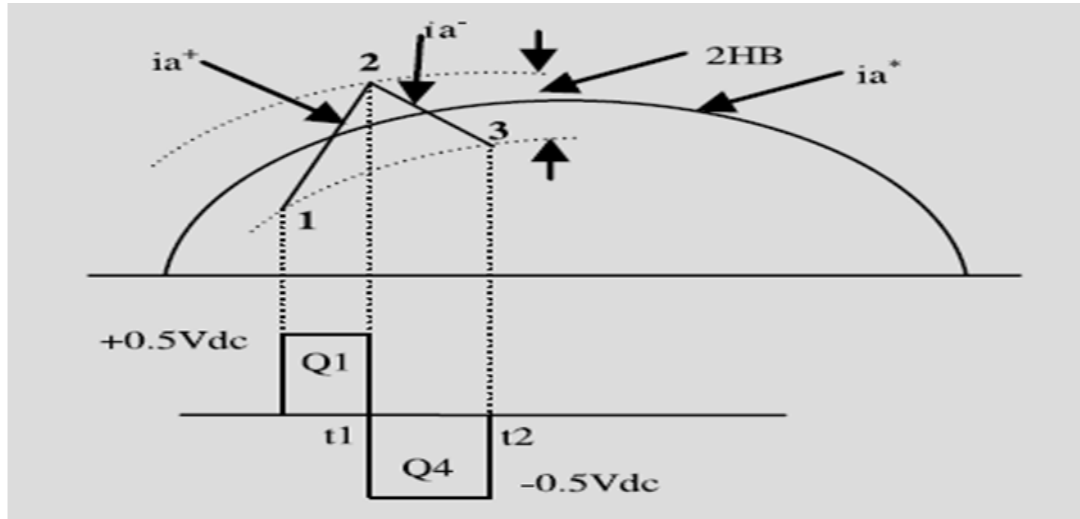


Figure. 3.1. Commande du courant du filtre actif parallèle par un hystérésis adaptative [22].

Les équations suivantes de conception peuvent être écrites dans les intervalles de commutation t_1 et t_2 [22]:

$$\frac{di_a^+}{dt} = \frac{1}{L}(0.5V_{dc} - V_s) \quad (3.1)$$

$$\frac{di_a^-}{dt} = -\frac{1}{L}(0.5V_{dc} + V_s) \quad (3.2)$$

i_a^+ et i_a^- : les segments de courants montants et descendants respectivement.

A partir la géométrie de la figure 3.1 on peut écrire :

$$\frac{di_a^+}{dt} t_1 - \frac{di_a^+}{dt} t_1 = 2HB \quad (3.3)$$

$$\frac{di_a^-}{dt} t_2 - \frac{di_a^-}{dt} t_2 = -2HB \quad (3.4)$$

$$t_1 + t_2 = T_c = 1/f_c \quad (3.5)$$

Où t_1 et t_2 sont les intervalles de commutation respectifs et f_c est la fréquence de modulation.

En ajoutant (3) et (4) et en remplaçant dans (5) on peut écrire :

$$\frac{di_a^+}{dt} t_1 - \frac{di_a^-}{dt} t_2 - \frac{1}{f_c} \frac{di_a^+}{dt} = 0 \quad (3.6)$$

En soustrayant (3) de (4), on obtient :

$$\frac{di_a^+}{dt} t_1 - \frac{di_a^-}{dt} t_2 - (t_1 - t_2) \frac{di_a^+}{dt} = 4HB \quad (3.7)$$

En soustrayant (6) de (7) et après simplification :

$$\frac{di_a^+}{dt} (t_1 + t_2) - (t_1 - t_2) \frac{di_a^*}{dt} = 4HB \quad (3.8)$$

En remplaçant (2) dans (6) et en simplifiant :

$$(t_1 - t_2) = \frac{di_a^*/dt}{f_c(di_a^+/dt)} \quad (3.9)$$

En remplaçant (9) dans (8), cela donne :

$$HB = \left\{ \frac{0.125 V_{dc}}{L f_c} \left[1 - \frac{4L^2}{V_{dc}^2} \left(\frac{V_s}{L} + m \right)^2 \right] \right\} \quad (3.10)$$

Où :

f_c : fréquence de commutation :

$m = \frac{di_a^* f_a}{dt}$: pente de l'onde de courant de commande.

L : inductance de couplage et V_{dc} : tension du condensateur du circuit intermédiaire.

L'équation (3.10) montre que le calculateur de la bande d'hystérésis adaptative fait varier la largeur de bande d'hystérésis HB en fonction des grandeurs suivantes [3]:

la variation du courant de compensation instantanée ($di_a^*(t)/dt$), la tension d'alimentation (V_s), et celle du bus continu (V_{dc}), qui peut être contrôlée pour minimiser l'effet de distorsion du courant sur la forme d'onde de modulation. La fréquence de commutation reste fixe et les performances du FAP monophasé sont considérablement améliorées. Le schéma d'implémentation de cette loi de commande du FAP est représenté par la figure (3.2) [22].

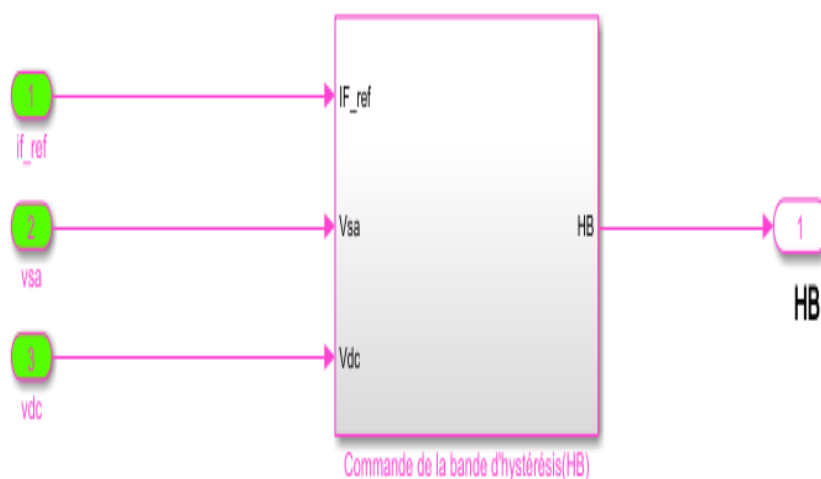


Figure. 3. 2. Schéma fonctionnel de la bande passante d'hystérésis adaptative.

La logique de commutation des interrupteurs pour la phase (a) est donnée comme suit[3] :

- L'interrupteur supérieur à l'état ON et l'interrupteur inférieur à l'état OFF si :

$$(i^*_{ref} - i_{Créel}) \leq HB$$

- L'interrupteur supérieur à l'état OFF et l'interrupteur inférieur à l'état ON si :

$$(i^*_{ref} - i_{Créel}) \geq HB.$$

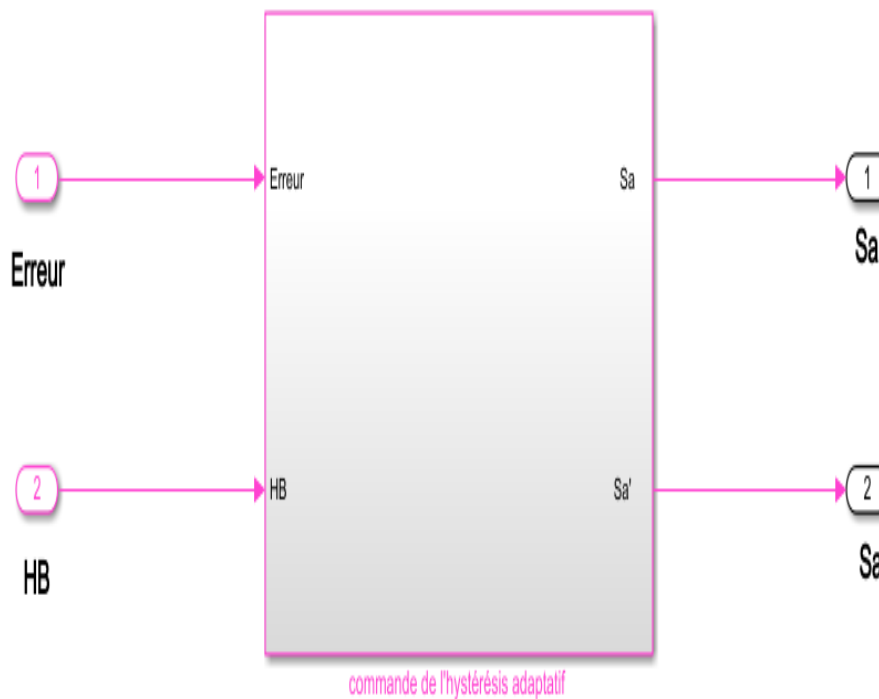


Figure. 3. 3. Schéma montrant les impulsions de commutation générées par l'hystérésis adaptative.

3.4. Simulation de l'ensemble réseau, filtre actif parallèle et charge polluante

Les programmes de simulation développés ont été effectués en utilisant le logiciel MATLAB/Simulink qui permet de visualiser sur un intervalle de temps donné l'évolution des courants et de la tension les résultats lors de la mise en service du FAP avec le système (réseaux et charge non-linéaire) où la commande par hystérésis adaptatif a une fréquence de commutation fixe de $f_c=20$ kHz.

Pour étudier le comportement du FAP monophasé avec le réseau électrique commandé par l'hystérésis adaptatif, le schéma de simulation de la figure 3.4 a été simulé sous logiciel MATLAB.

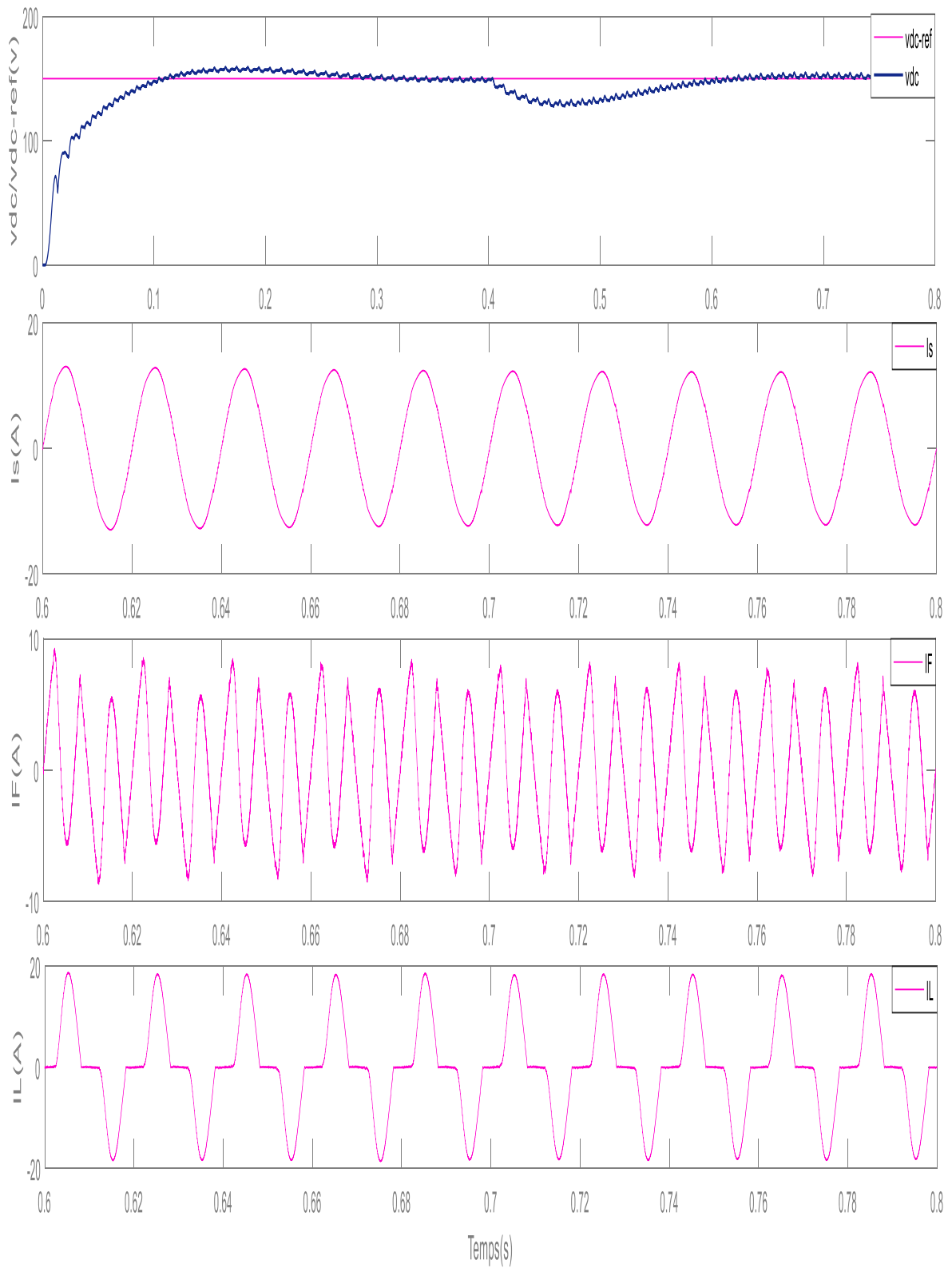


Figure. 3.5. Résultats de simulation de la commande adaptative du filtre étudié.

La figure(3.6)montre l'analyse spectrale du courant de la source. Le THD du courant de la source obtenu pour cette commande est de 3.44%.

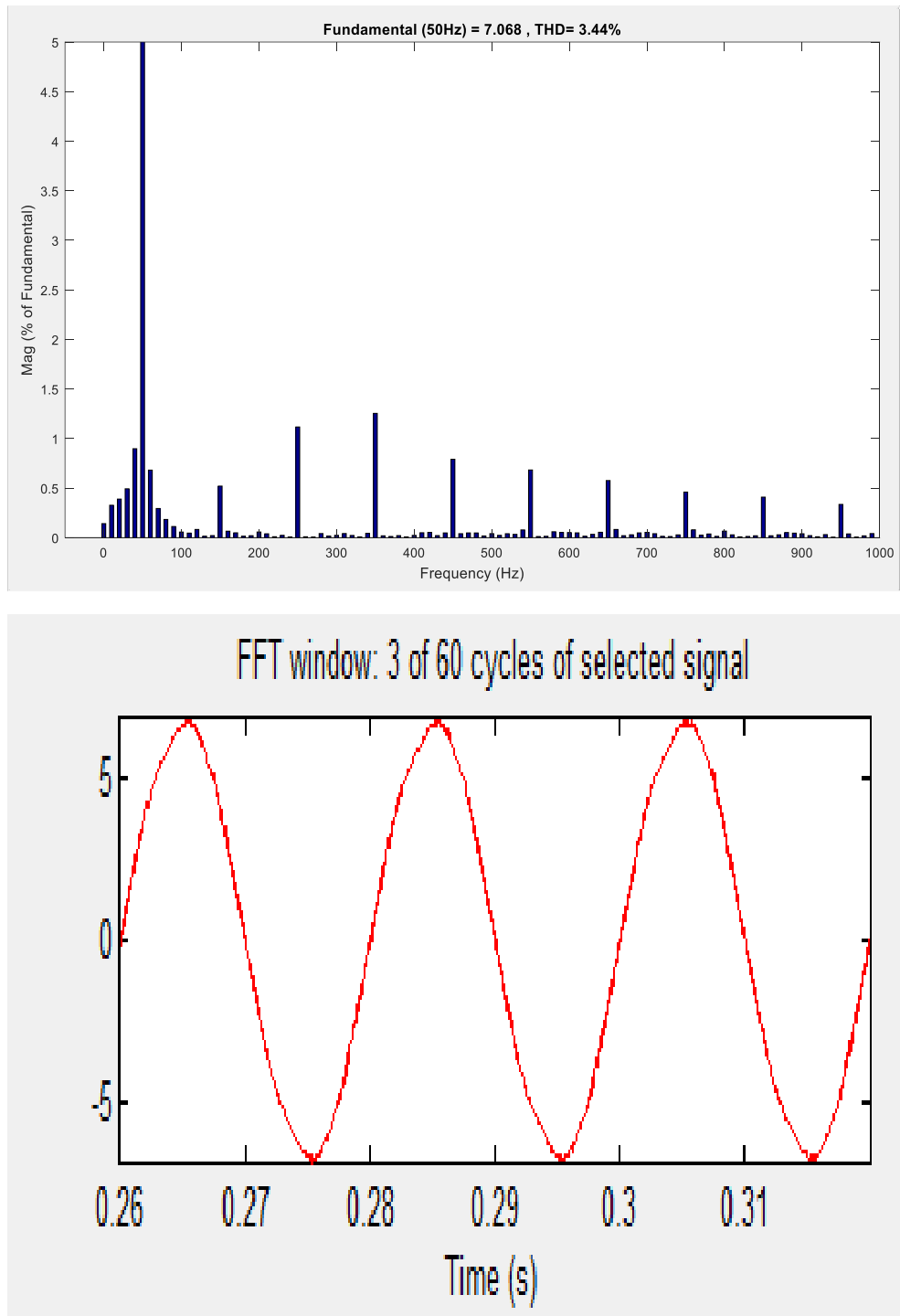


Figure. 3.6. THD du courant de la source après filtrage adaptatif.

La figure (3.7) représente les différents signaux de commande (G1, G2, G3et G4)qui sont compris dans l'intervalle [0 1], utilisés pour la maîtrise de l'ouverture et de la fermeture des interrupteurs du dispositif du filtrage adaptatif étudié.

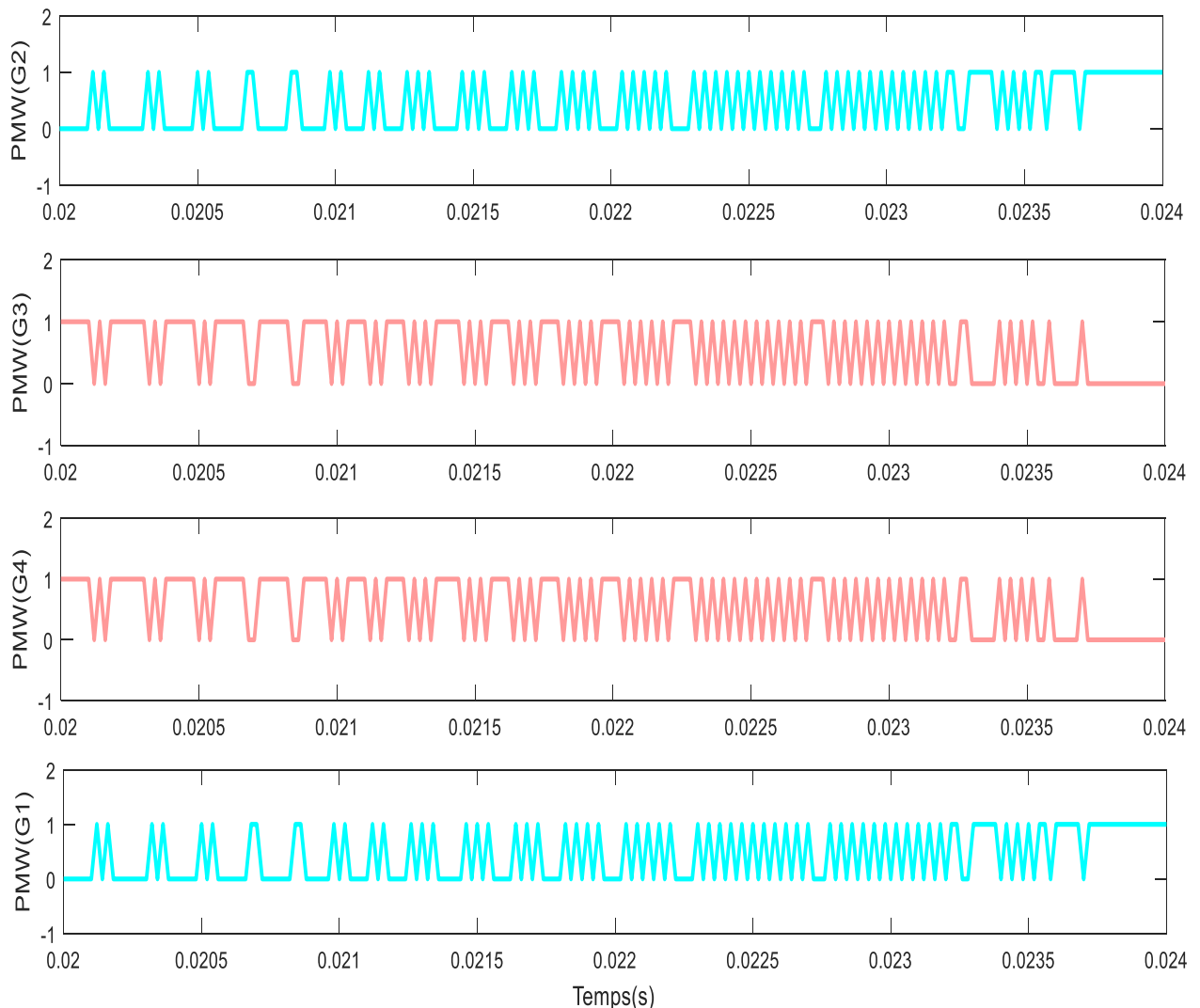


Figure. 3.7. Signaux de la commande des interrupteurs par régulateurs à hystérésis adaptatif.

3. 6. Etude comparative des deux techniques de commandes traitées (classique et adaptative)

Le tableau suivant montre la différence entre les deux techniques étudiées, présentant le THD du courant de la source pour le filtre actif parallèle monophasé classique (fréquence de commutation variable par nature) et adaptative (fréquence de commutation imposable par différentes valeurs). La commande classique nous a donné un THD du courant de source de 3.00% alors que la commande adaptative nous a assuré des THDs de valeurs réduites de 3.44%, 2.53% et 2.44%, dues aux changements qu'a connu la fréquence de commutation du

filtre étudié. Quand la fréquence de commutation est augmentée le THD de la commande adaptative est diminuée et cela nous assure une bonne qualité d'énergie.

Tableau. 3. 1. Comparaison de THD après le filtrage actif parallèle des deux stratégies de contrôles étudiées.

	Sans filtrage	Filtrage classique	Filtrage adaptatif	Filtrage adaptatif	Filtrage adaptatif
Fréquence de commutation	50HZ	Variable	20KHz	50KHz	80KHz
THD Is	46.35%	3.00%	3.44%	2.53%	2.44%

3.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le fonctionnement du filtre actif parallèle monophasé comme une solution moderne de dépollution des réseaux électriques. Le résultat de simulation obtenu de la commande adaptative permet de réduire le THD du courant de la source comparativement à celui obtenu par la commande classique. D'autre part, quand la fréquence de commutation est augmentée le THD de la commande adaptative est diminué avec assurance du fonctionnement du filtre sous une fréquence de commutation fixe.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La pollution harmonique est l'un des problèmes majeurs qui dégrade la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux. La circulation des courants harmoniques dans les lignes et entre les charges est difficile à prédire et à contrôler. Dans un premier temps, après l'analyse des perturbations harmoniques et leurs effets sur le réseau électrique, les normes en vigueur et des solutions ont été proposées pour remédier à chaque type de perturbation. Pour cela, on a proposé un filtre actif parallèle monophasé avec deux commandes : traditionnelle (hystérésis classique) et moderne (hystérésis adaptative). Dans ce contexte, notre travail présenté dans ce mémoire a été consacré à l'étude d'un filtre actif parallèle monophasé afin d'améliorer la qualité de l'énergie dans le réseau électrique et particulièrement compenser les harmoniques.

La commande par hystérésis adaptative nous a donné de bons résultats par rapport à celle classique en termes de la qualité du courant de la source. Concernant le régulateur de la tension du bus continu, nous avons utilisé un simple régulateur classique de type proportionnel-intégrateur (PI) pour les deux commandes étudiées. Les résultats obtenus par simulations sous MATLAB/Simulink sont très satisfaisants et prouvent que le filtre actif choisi peut réduire le THD du courant à des valeurs inférieures à 5% ce qui répond aux normes internationales et aux variations de la charge.

Enfin, dans ce travail plusieurs perspectives peuvent être évoquées. Nous pouvons citer à titre d'exemples l'application de la commande par mode glissant, par logique floue.... etc.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] H. Salem « Commande d'un filtre actif parallèle à quatre bras par des techniques avancées » mémoire magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 2015
- [2] M. Zellouma, « Étude et réalisation d'un filtre actif parallèle de puissance commandé par DSPACE1104 », mémoire master Université Badji Mokhtar, Annaba, 2019
- [3] A. Mansouri, M. Lamara, « Etude et simulation du filtrage actif parallèle destiné à la dépollution du réseau électrique » mémoire master Université Bordj Bou Arreridj 2021.
- [4] Y. Mokrani, R. STITI, « Etude et simulation d'un filtre actif série », mémoire master Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017.
- [5] A. Chouache, S. Bachir Cherif, « Paramètres de la qualité de la tension d'un réseau électrique étude et analyse », mémoire D'ingénieur d'état en électrotechnique université Ferhat Abbas Sétif, 2011.
- [6] F. Barkati, « Contribution à l'étude de la commande de filtre actif parallèle par régulateur pi et logique floue », mémoire master université Ahmed Draia, Adrar, 2017.
- [7] L. Aroune, « Etude et simulation d'un filtre actif parallèle », mémoire master Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2014.
- [8] T. Deflandre, P. Murras, « Les harmoniques sur les réseaux électriques », Edition Eyrolles, 1998.
- [9] P. DEFLANDRE & P. MOURAS, "les harmoniques sur les réseaux électriques " EDITION. EYROLLES, 1998.
- [10] T. Gouraud, « Identification et rejet de probation harmoniques dans des réseaux de distribution électrique », Thèse de Doctorat, Ecole doctorale science pour l'ingénieur de Nantes, Janvier 1997
- [11] Hédi. Besrou, « Présentation sur les harmoniques et leurs effets », MARS 2007.
- [12] A. Bouafia, « Techniques de commande prédictive et floue pour les systèmes d'électronique de puissance: application aux redresseurs à MLI », Thèse de doctorat, université Ferhat Abbas Sétif.

Références Bibliographiques

- [13] B. Bouhenni, E. Saied, N. Cherifi, S. Necibi, « Performances des méthodes p-q et p-q modifiée pour l'identification des courants harmoniques en conditions non idéales », mémoire licence Université Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued, 2015.
- [14] M. Abbas, CH. Ghabach, « Etude comparative entre les deux technique d'identification des harmonique pq et dq d'un filtre actif parallèle », mémoire master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2020.
- [15] A. Chaoui, « Filtrage actif triphasé pour charge non linéaire », Thèse doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif ,2010
- [16] N. Belhaouchet, « Fonctionnement à fréquence de commutation constante des convertisseurs de puissance en utilisant des technique de commande avancées », Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas-Setif, 2011.
- [17] A. Omeiri, « Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant », Thèse de doctorat d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2007.
- [18] A. Amara, Y. Bengana, «Etude et simulation d'un circuit de commande pour un filtre actif de puissance parallèle à deux bras à point milieu pour un réseau électrique à trois fils», mémoire master, Université AbouBekr Belkaid de Tlemcen, 2015.
- [19] Makosso Poaty, «Etude et simulation du filtre actif parallèle avec la technique d'identification DQ », Mémoire Master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2020.
- [20] M. Bouabibsa, A. Hafirassou, « Amélioration de la qualité d'énergie dans le réseau électrique par la technique UPQC et identification des courants harmoniques», Mémoire Master, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf– Mila, 2020
- [21] N. Belhaouchet, « Fonctionnement à fréquence de commutation constante des convertisseurs de puissance en utilisant des technique de commande avancées», Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas-Sétif, 2011.
- [22] H. R. ImaniJajarmi, A. Mohamed, H. Shareef, Subiyanto « Adaptive interval type2 fuzzy hysteresis-band current-controlled active power filter for power quality improvement» Przegląd Elektrotechniczny, R. 90 NR 9/2014.