

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE 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'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : **Electronique**

Spécialité : **Industries Electroniques**

Par

- **Mohammed CHERMAT.**
- **Yakoub BOUDJATAT.**

Intitulé

CONTRIBUTION A LA COMMANDE DE FILTRAGE ACTIF PARALLELE

Évalué le :

Par la commission d'évaluation composée de :*

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
M. Mustapha SARRA	PRO	Président	Univ-BBA
M. Boualem BOUKEZATA.	MCB	Encadreur	Univ-BBA
M. Billel TALBI.	MCB	Examineur	Univ-BBA

Année Universitaire 2020/2021

* Conformément à :

- L'arrêté n°055 du 21 janvier 2021 Fixant dispositions exceptionnelles autorisées en matière d'organisation et gestion pédagogique, de l'évaluation et de la progression des étudiants, durant la période COVID-19 au titre de l'année universitaire 2020-2021 ;
- Procès-verbal de la réunion de l'équipe du domaine des Sciences et Technologies du mois de Mai 2021.

Dédicaces

A ma mère et mon père et nos familles:

A nos frères et amis qui ont fait preuve de courage et nous ont aidés à atteindre ce jour:

A tous ceux qui militent pour le bien de l'humanité:

A tous les chercheurs aux esprits créatifs dans le domaine de l'électronique:

Nous dédions ce modeste mémoire.

Mohammed & yakoube

Remerciement

À l'issue de la réalisation de ce mémoire, nous remercions, avant toute chose, Dieu le tout puissant pour nous avoir accordées la force et l'abnégation pour finir ce travail malgré les circonstances dans lesquelles nous vivons actuellement.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à l'ensemble du corps enseignant de notre université pour nous avoir dispensé un précieux enseignement tout au long du parcours universitaire.

*Nous remercions chaleureusement notre encadreur Monsieur le Docteur **BOUKEZATA BOUALEM** pour toute son aide durant la période de notre travail.*

Nous remercions également Messieurs les membres du jury de soutenance;

Nous tenons enfin du profond de nos cœurs à témoigner notre gratitude à nos parents pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Table des matières

Page

Introduction générale.....1

CHAPITRE I : Problématique Des Harmoniques et Les structure des Filtres

I.1. Introduction.....2

I.2. La Qualité de l'énergie électrique.....2

I.3. Identification des courants harmoniques.....3

I.4. Les Filtres.....4

I.4.1 Les Filtres passifs.....4

I.4.2 Les Filtres actifs.....5

I.4.3 Les Filtres actifs parallèle-FAP.....6

I.5. Régulation de la tension du bus continu (V_{dc}).....6

I.6. Régulateur Proportionnel-Intégral PI.....7

I.7. Régulateur de type Intégral-Proportionnel (IP).....9

I.8. Systèm à hysteresis.....11

I.9. Régulateur Flou (Fuzzy logic).....12

I.10. Conclusion.....16

CHAPITRE II : Simulation des FAP et discussion des Résultats

II.1 Introduction.....17

II.2 Description global de la simulation.....1

II.3 Simulation de l'ensemble réseau-charge non linéaire.....17

Table des matières

<i>II.4 Application du FAP et analyse en régime statique.....</i>	<i>19</i>
<i>II.4.1 Simulation du FAP avec la méthode directe du courant (régulation IP).....</i>	<i>20</i>
<i>II.4.2 Variation de la charge non linéaire.....</i>	<i>21</i>
<i>II.4.3 Simulation du FAP avec la méthode de logique floue.....</i>	<i>23</i>
<i>II.4.4 Variation de la charge non linéaire.....</i>	<i>25</i>
<i>II.5 Étude du comportement FAP en régime transitoire.....</i>	<i>28</i>
<i>II.5.1 La méthode directe du courant (régulation IP).....</i>	<i>28</i>
<i>II.5.2 Simulation du FAP avec la méthode de logique floue.....</i>	<i>29</i>
<i>II.6 Comparaison entre les différentes techniques de commande</i>	<i>32</i>
<i>II.7 Conclusion.....</i>	<i>36</i>
<i>Conclusion générale.....</i>	<i>37</i>

Table Des Figures

	Page
Figure 1 : <i>Raccordement d'un filtre passif</i>	4
Figure 2 : <i>Subdivision des FA selon la configuration et les connexions</i>	5
Figure 3 : <i>Filtre actif parallèle</i>	6
Figure 4 : <i>Synoptique de la boucle de régulation de la tension du bus continu V_{dc}</i>	7
Figure 5 : <i>Schéma fonctionnel de régulation de la tension du bus continu du FAP avec régulateur PI</i>	9
Figure 6 : <i>Schémas de régulation de la tension du bus continu par un IP</i>	10
Figure 7 : <i>Caractéristiques d'organe avec hystérésis.</i>	11
Figure 8 : <i>Contrôle de courant par hystérésis dans un convertisseur : (A) principe de fonctionnement (B) bloc diagramme.</i>	12
Figure 9 : <i>Structure générale d'une commande floue.</i>	13
Figure 10 : <i>Structure interne du régulateur flou.</i>	14
Figure 11 : <i>Fonctions d'appartenance utilisées dans la fuzzification.</i>	15
Figure 12 : <i>schéma globale du filtre actif parallèle..</i>	16
Figure 13 : <i>Schéma bloc de la commande indirecte en courant.</i>	17
Figure 14 : <i>Modélisation du réseau électrique connecté à une charge non linéaire</i>	18
Figure 15 : <i>Résultat de simulation du réseau électrique pollué sans FAP.</i>	19
Figure 16 : <i>Résultats du filtrage avec la méthode de courant directe IP.</i>	21
Figure 17 : <i>Résultats de simulation lors de la variation de la charge non linéaire à l'instant 0.25s</i>	22
Figure 18 : <i>La tension du bus continu lors de la variation de la charge non linéaire à l'instant 0.25s, caractéristique</i>	23

Table Des Figures

Figure 19 :	<i>Résultats du filtrage avec la méthode logique floue.</i>	24
Figure 20 :	<i>la tension de bus continue V_{dc}</i>	25
Figure 21 :	<i>la tension de source V_{sa} et l'analyse spectrale de tension de source V_{sa}.</i>	25
Figure 22 :	<i>Résultats de simulation lors de la variation de la charge non linéaire à l'instant 0.25s.</i>	27
Figure 23 :	<i>Résultats du filtrage avec la méthode de courant direct régime transitoire</i>	29
Figure 24 :	<i>Résultats du filtrage avec la méthode de logique floue régime transitoire</i>	31
Figure 25 :	<i>la tension de bus continue V_{dc}.</i>	31
Figure 26 :	<i>la tension de bus continue on régime statique et dynamique avec les deux méthodes.</i>	34
Figure 27 :	<i>le courant de source en régime statique et dynamique avec les deux méthodes.</i>	34

<i>Liste des tableaux</i>		<i>Page</i>
<i>Tableau 1 :</i>	<i>Les règles du régulateur flou.</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 2 :</i>	<i>Paramètre de simulation du FAP.</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3 :</i>	<i>Résumé des résultats de simulation.</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 4 :</i>	<i>Résumé des résultats de simulation.</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 5 :</i>	<i>Résumé des résultats de simulation.</i>	<i>34</i>

Liste Des Abréviations

THD : Taux de Distorsion Harmonique en anglais **T**otal **H**armonic **D**istortion.

n : Rang de l'harmonique.

HB : bande hystérésis

V_{dc} : tension aux bornes du condensateur de l'onduleur (bus continue).

I_s : courant de la source.

FAP : filtre actif parallèle.

i_{sa}*, **i_{sb}***, **i_{sc}*** : Courants référence de source.

GTO : Le thyristor à extinction par la gâchette, en anglais **G**ate **T**urne-**O**ff Thyristor.

IGBT : Le transistor bipolaire à grille isolée, en anglais **I**nsulated **G**ate **B**ipolar **T**ransistor.

v_{s1}, **v_{s2}**, **v_{s3}** : Tensions de source.

i_{s1}, **i_{s2}**, **i_{s3}** : Courants de source.

i_{l1}, **i_{l2}**, **i_{l3}** : Courants de charge.

C_{dc} : le Condensateur du bus continue.

L : Inductance.

C : Capacité.

R : Résistance.

Charge N.L : charge non linéaire.

L_f : Inductance de filtre passif.

V_{dcref} = V_{dc}* : la tension référence de bus continue.

PI : régulateur proportionnelle-intégrateur.

IP : régulateur intégrateur- proportionnelle.

PLL : Phase Locked Loop.

PD3 : pont redresseur triphasé.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans Les dernières décennies l'humanité réorientée vers une utilisation très courant des dispositifs d'électronique de puissance dans les systèmes électriques l'important des développements technologiques ont entraîné une utilisation accrue de l'électronique de puissance moderne dans une variété d'applications telles que la commande de moteurs électriques, les alimentations, chauffage par induction électrique, applications de traction électrique, compensation d'harmoniques, etc. Cet énorme succès a motivé des scientifiques d'une part et des fabricants qui ont apporté des améliorations précieuses à la technologie de conversion d'énergie à base de semi-conducteurs d'autre part. Ces réalisations ont permis de les diffuser largement à tous les niveaux de gouvernement et dans un grand nombre de sphères d'activités [2].

La présence d'harmoniques dans le réseau électrique, également appelée pollution harmonique, est l'un des phénomènes importants conduisant à la dégradation de la qualité de l'énergie, notamment en provoquant une distorsion au niveau des ondes de tension. Cette distorsion résulte la superposition, sur l'onde de tension fondamentale une onde, également une onde sinusoïdale, mais avec des nombreuses fréquences fondamentales. Nous pouvons également observer des ondes ultrasonores ou harmoniques moyennes à des fréquences qui ne sont pas des multiples de la fondamentale [5].

Au début des années 90 afin que la compensation d'harmoniques par le filtrage connaisse un regain d'intérêt au niveau de la recherche et du développement, Il existe plusieurs méthodes permettant de minimiser la pollution harmonique provoquée par ces convertisseurs. Il existe deux voies pour le filtrage de la pollution harmonique, soit le filtrage passif et le filtrage actif, Le filtre actif parallèle (FAP) est considéré comme la meilleure solution pour la réduction des courants harmoniques le filtrage actif est plus avantageux où une réponse rapide est nécessaire en présence de charges dynamiques qui a été montré que ses performances de compensation d'harmoniques sont supérieures à celles d'un filtre passif classique [4].

Dans ce thème mémoire que notre sujet de travail s'inscrit. Les objectifs sont contribution à la commande de filtrage Actif Parallèle à base d'une simulation numérique sous l'environnement Matlab/Simulink.

*CHAPITRE I : Problématique Des
Harmoniques et Les structure des Filtres*

I.1 Introduction :

L'utilisation croissante de systèmes contrôlés basés sur l'électronique de puissance dans les équipements industriels ou domestiques pose de plus en plus de problèmes d'interférences au niveau du réseau électrique. Ces convertisseurs statiques offrent une facilité d'utilisation flexible, des fonctionnalités supplémentaires, une fiabilité accrue et un rendement élevé. De plus, avec la généralisation de leur utilisation les coûts de ces modules d'électronique de puissance ne cessent de baisser. L'inconvénient de ces appareils est qu'ils se conduisent comme des charges non linéaires, ces types de charges génèrent des harmoniques de courant et consomment de la puissance réactive.

Pour cette raison, des standards de restrictions d'harmoniques ont été recommandés pour limiter les harmoniques de courant injectés dans le réseau, Pour éviter ces effets indésirables des solutions traditionnelles utilisant des filtres LC passifs, mais elles sont inefficaces en raison de leur taille importante, de leurs problèmes de résonance et de leur incapacité à s'adapter aux variations des caractéristiques. Par conséquent, les progrès récents dans le domaine des dispositifs de commutation ont permis la formulation de plusieurs topologies de filtres de puissance actifs FAPs, Le concept d'utilisation d'un FAP pour atténuer les problèmes harmoniques et compenser la puissance réactive a été proposé il y a plus de deux décennies. Depuis leurs théories et leurs applications sont devenues plus populaires et ont attiré une grande attention.

I.2 La Qualité de l'énergie électrique :

La qualité de l'énergie est un terme assez large qui inclut la qualité de l'alimentation, la qualité de la forme d'onde de tension et la qualité du courant. L'effet est d'une part des changements lents : chute de tension, surtension, limitation, déséquilibre et, d'autre part, des changements rapides : surtension transitoire, Flicker et harmoniques. [6]

D'autre part, la qualité du courant reflète la capacité des charges de fonctionner sans affecter ou dégrader l'efficacité du système d'alimentation. C'est pourquoi certains considèrent que la qualité de l'électricité se réduit à la qualité de la tension.

La qualité de l'alimentation électrique ou qualité de l'onde, est une mesure dans laquelle une alimentation répond à un critère quantitatif et absolu. L'alimentation électrique est fournie en tant que système triphasé de tension sinusoïdale. Les caractéristiques de ce système sont les suivantes :

- la forme d'onde qui doit être sinusoïdale.
- l'amplitude.
- la fréquence.
- la symétrie du système triphasé, caractérisée par l'égalité des modules des trois tensions et de leurs déphasages relatifs.

Dans ce qui suit nous nous restreindrons à la présentation des perturbations provoquées par les harmoniques ainsi que leurs conséquences néfastes sur le réseau électrique. [6]

I.3 Identification des courants harmoniques :

L'origine des 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 (5). En général, les harmoniques pairs sont négligeables et seuls les harmoniques impairs existent (4). Nous pouvons également observer des sous-harmoniques ou des inter-harmoniques à des fréquences non multiples de la fréquence fondamentale. [6]-[2]

La cause principale de l'existence des harmoniques de tension, comme nous le montrerons ultérieurement, est l'injection dans le réseau des courants non sinusoïdaux par des charges non linéaires.

La perturbation harmonique est généralement caractérisée par le taux de distorsion harmonique (**THD : Total Harmonic Distortion**) défini pour la tension ou le courant. Ce critère est le plus souvent employé pour quantifier le contenu harmonique d'un signal distordu. Il mesure également le degré de déformation du signal apporté par les harmoniques par rapport à une onde sinusoïdale. Il va de soi que la répartition spectrale complète généralement l'information sur le THD en indiquant le rang des harmoniques dominants. [6]

Le taux de distorsion harmonique de ce courant s'exprime sous la forme suivante :

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{I_h}{I_1^2}} \quad (1)$$

Avec : I_h : valeur efficace du courant harmonique de rang h.

I_1 : valeur efficace du courant fondamental.

I.4 Les Filtres :

I.4.1 Les Filtres passifs :

Le filtrage consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau. Un filtre passif est constitué d'éléments passifs tels que des inductances, des condensateurs et des résistances, qui forment une impédance dont la valeur varie en fonction de la fréquence. On connecte alors le filtre passif en parallèle avec le réseau de manière à absorber un harmonique de courant donné [1]-[2]-[4], comme la figure 1 montre :

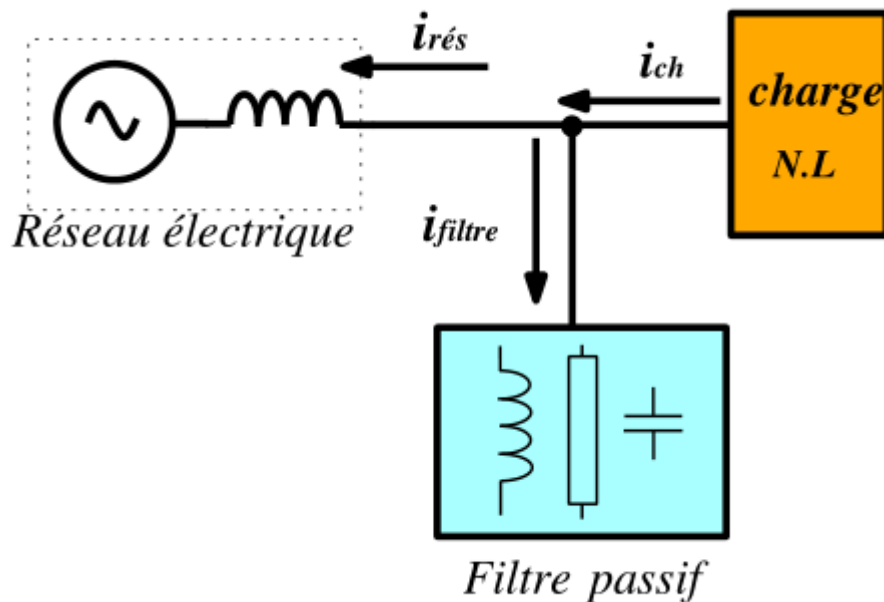


Figure 1 : Raccordement d'un filtre passif.

I.4.2 Les Filtres actifs :

Un filtre actif de puissance se compose d'un composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les Transistors IGBT, ont conduit à concevoir une nouvelle structure de filtres appelée filtres actifs parallèle (FAP). Le but de ces filtres est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant et la tension du réseau soient rendus sinusoïdaux Le filtre actif est connecté en série, en parallèle, en combinant ces deux dernières structures ensemble ou associé avec des filtres passifs qui illustre par la figure 2 [1]-[2]-[4].

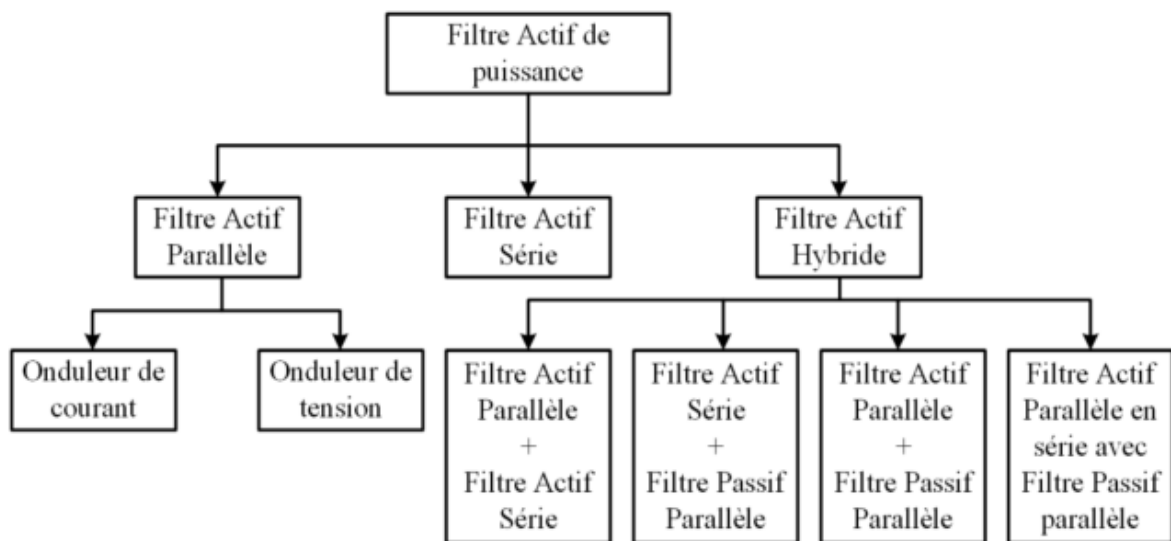


Figure 2 : *Subdivision des FA selon la configuration et les connexions.*

Les avantages de ces filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants :

- le volume physique du filtre est plus réduit.
- la capacité de filtrage est supérieure.
- la flexibilité et adaptabilité sont très supérieures.

Pourtant, ils présentent quelques inconvénients :

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

I.4.3 Les Filtrés actifs parallèle-FAP :

Le filtré actif parallèle, appelé aussi compensateur shunt, présenté sur la figure 3 Il se compose d'un onduleur de tension et d'un filtré inductif en sortie et d'un condensateur du bus continu, les commutateurs d'électroniques de puissance et une inductance d'interface. Le FAP parallèle agit comme une source de courant, La fonctionnalité du FAP consiste à injecter un courant de compensation qui est équivalent en amplitude au courant déformé mais en opposition de phase, ce qui élimine ainsi le courant déformé original [1]-[2]-[4]. Le but du FAP est l'obtention d'un courant de source sinusoïdal.

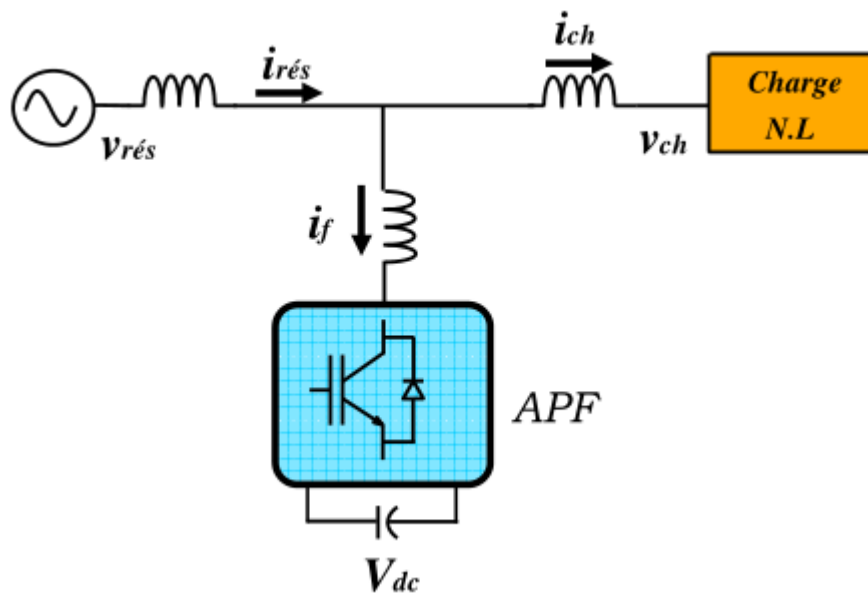


Figure 3 : Filtré actif parallèle.

I.5 Régulation de la tension du bus continu (V_{dc}) :

La régulation du bus continu est une procédure indispensable pour la commande du FAP. L'observation des fluctuations de la tension aux bornes des condensateurs donne des indications sur l'évolution des échanges d'énergie entre ces derniers et le réseau. Si le convertisseur est considéré sans pertes, le réseau fournit la puissance active utile pour la charge, ainsi la capacité de l'étage continu peut être considérée comme un réservoir pour la circulation des harmoniques. Alors, aucune puissance active n'est fournie par la Capacité C_{dc} [2].

Cependant, la tension moyenne V_{dc} aux bornes du condensateur C_{dc} doit être maintenue à une valeur constante. Les causes de la variation de cette tension sont principalement :

- les pertes par commutation et par conduction des interrupteurs de puissance.
- les pertes par effet Joule dans l'inductance du filtre passif (L_f)
- les transitions de la charge polluante qui créent un échange de puissance active avec le réseau à travers l'onduleur. Cela se traduit par une variation de l'énergie moyenne dans la capacité de stockage et par conséquent une modification de la valeur de la tension continue.

Afin de couvrir ces pertes et de maintenir constante la tension continue V , plusieurs méthodes ont été développées dans la littérature dans lesquelles soit on estime simplement les pertes que l'on ajoute à la puissance d'oscillation afin d'obtenir la puissance active, soit la puissance active totale la puissance fournie doit être ajustée par la source pour alimenter la charge, augmentée des pertes, ou en ajustant l'amplitude de l'oscillation fondamentale du courant de référence du filtre.

Avant de développer la formulation du modèle de la boucle de régulation et pour bien comprendre la liaison entre la régulation du bus continu et le contrôle du courant de source, il est nécessaire d'illustrer en premier lieu l'écoulement des puissances dans le système lors des régimes permanent et transitoire.

Ainsi, le synoptique de la boucle de régulation peut se simplifier comme suit :

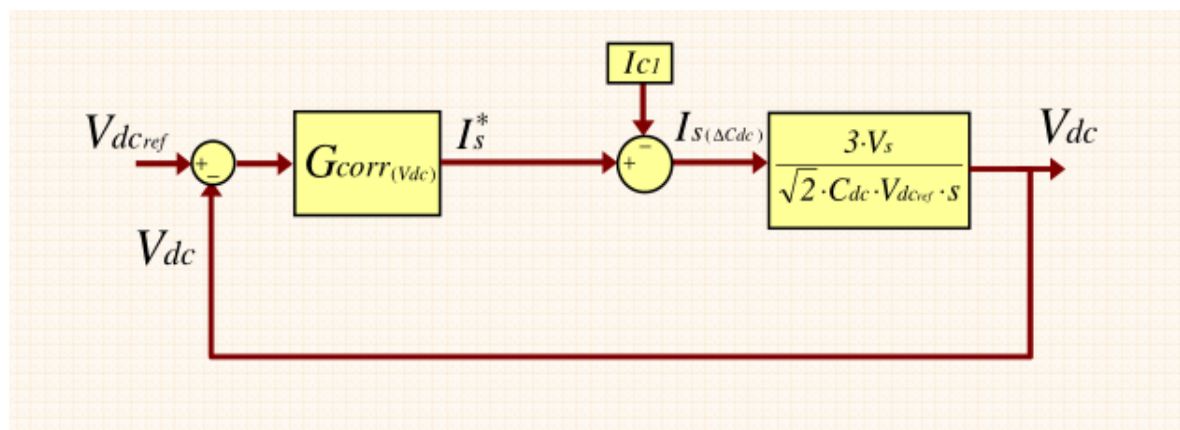


Figure 4 : Synoptique de la boucle de régulation de la tension du bus continu V_{dc} .

I.6 Régulateur Proportionnel-Intégral PI :

Le Régulateur Proportionnel-Intégral PI est beaucoup utilisé en raison de sa simplicité d'implémentation et sa possibilité d'obtenir une bonne réponse dynamique, quand ses paramètres sont bien réglés.

Le rôle de la boucle de régulation de la tension du bus continu est de maintenir cette tension à une valeur de référence constante, en contrôlant le processus de chargement et de déchargement du condensateur. La tension du bus continu V_{dc} est détectée et comparée à une tension de référence V_{dc}^* , le résultat de cette comparaison (l'erreur) est appliqué à ce régulateur PI pour obtenir l'amplitude des trois courants de référence de la source I_{Sm} .

Ensuite cette amplitude sera multipliée par trois signaux sinusoïdaux d'amplitude égale à l'unité pour l'obtention des trois courants de référence instantanés de source i_{sa}^* , i_{sb}^* , i_{sc}^* . Pour une source saine, le courant de source de référence unitaire est obtenu à partir des trois tensions à travers un détecteur de crête [3].

Pour déterminer les paramètres du régulateur PI, on suit le développement mathématique suivant :

- La relation entre la puissance absorbée par le condensateur et la tension aux bornes de celui-ci s'écrit:

$$Pf = \frac{a (1 Cdc V^2 dc)}{2 dt} \quad (2)$$

- Soit après la transformation de Laplace :

$$V^2 dc = Pf \frac{2}{Cdc.S} \quad (3)$$

- La fonction de transfert du régulateur PI peut être exprimée par :

$$kp + \frac{ki}{S} = \frac{1 + \tau S}{Ti} \quad (4)$$

Le schéma de régulation de la tension du bus continu du FAP à l'aide de régulateur PI est montré sur la figure 5 :

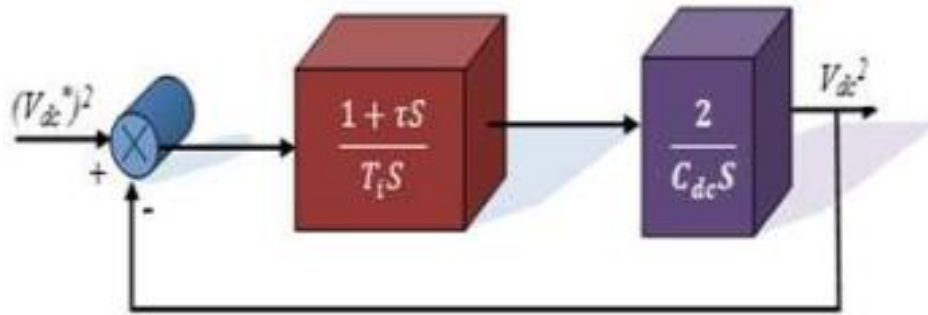


Figure 5 : Schéma fonctionnel de régulation de la tension du bus continu du FAP avec régulateur PI.

Après un calcul, la fonction de transfert en boucle fermée du système de la figure 6 est de la forme :

$$F(S) = \frac{\omega_0^2(1 + \tau)}{S^2 + 2 \cdot \xi_c \cdot \omega_0 S + \omega_0^2} \quad (5)$$

Avec :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2}{C_{dc} T_i}} \quad \text{et} \quad \xi_c = \frac{\tau}{\sqrt{2 C_{dc} T_i}}, \quad k_p = \frac{\tau}{T_i}, \quad k_i = \frac{1}{T_i}$$

Pour réaliser un bon compromis entre les performances dynamique et statique, nous choisirons une valeur du coefficient d'amortissement critique ξ_c comprise entre 0.4 et 0.8, soit 0.7. La qualité de régulation dépendre aussi du choix de la pulsation de coupure ω_0 . Celle-ci doit être assez élevée pour assurer une bonne dynamique en régime transitoire.

I.7 Régulateur de type Intégral-Proportionnel (IP) :

En se basant sur la même démarche effectuée dans le paragraphe précédent et en choisissant cette fois ci un régulateur de type IP, le schéma fonctionnel de la régulation de la tension du bus continu est donné sur la figure 6 [2].

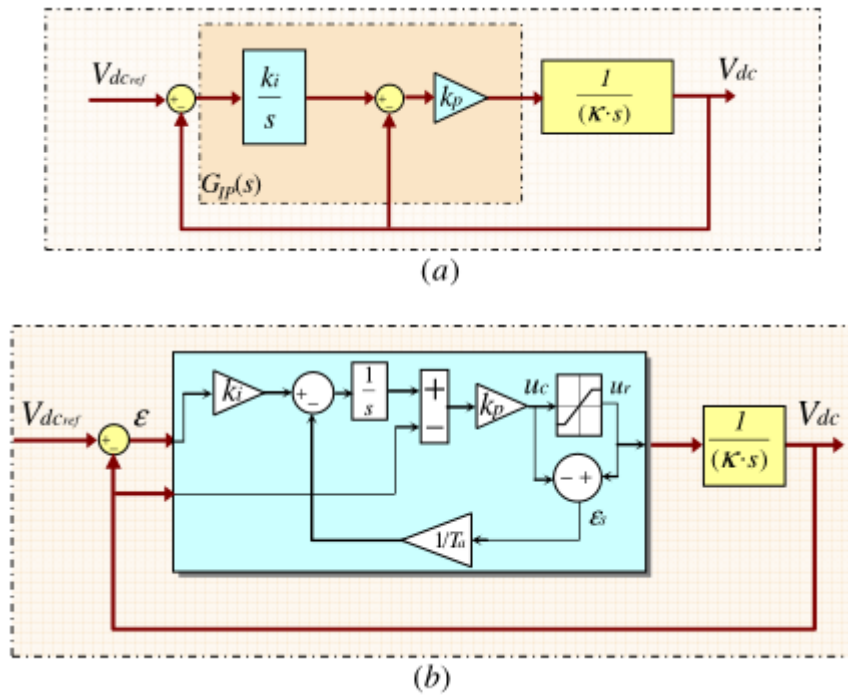


Figure 6: Schémas de régulation de la tension du bus continu par un IP :
 (a) schéma simplifié, (b) schéma du IP avec un retour d'anti-emballement.

A partir de la figure 7, nous pouvons obtenir la fonction de transfert en boucle fermée suivante :

$$G_{Vdc(IP)}(s) = \frac{V_{dc}}{V_{dc,ref}} = \frac{k_i \cdot \frac{k_p}{K}}{s^2 + \frac{k_p}{K \cdot S} + k_p \cdot \frac{k_i}{K}} \quad (6)$$

On constate, contrairement au régulateur PI, que le régulateur IP présente l'avantage de ne pas générer de zéros supplémentaires dans la fonction de transfert en boucle fermée (un zéro lent pourrait diminuer les performances dynamiques du système). La relation entre V_{dc} et $V_{dc,ref}$ est une fonction de transfert de deuxième ordre de la forme suivante :

$$\frac{V_{dc}}{V_{dc,ref}} = \frac{k_i \cdot \frac{k_p}{K}}{s^2 + \frac{k_p}{K \cdot S} + k_p \cdot \frac{k_i}{K}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2 \cdot \xi \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad (7)$$

A partir de cette dernière équation, les coefficients k_i et k_p sont identifiés :

$$\Rightarrow \begin{cases} k_i = \frac{\omega n}{2 \cdot \xi} \\ k_p = 2 \cdot \xi \cdot K \cdot \omega n \end{cases} \quad (8)$$

I.8 Système à hysteresis :

L'hystérésis est le phénomène qui caractérise les systèmes qui possèdent deux caractéristiques distinctes en fonction du sens de variation du signal d'entrée : lorsque le signal croît, le point de fonctionnement du système se déplace sur une de ces courbes. Lorsqu'il décroît, il se déplace sur l'autre. Ces courbes sont repérées, sur la caractéristique, par l'adjonction du sens de variation [1].

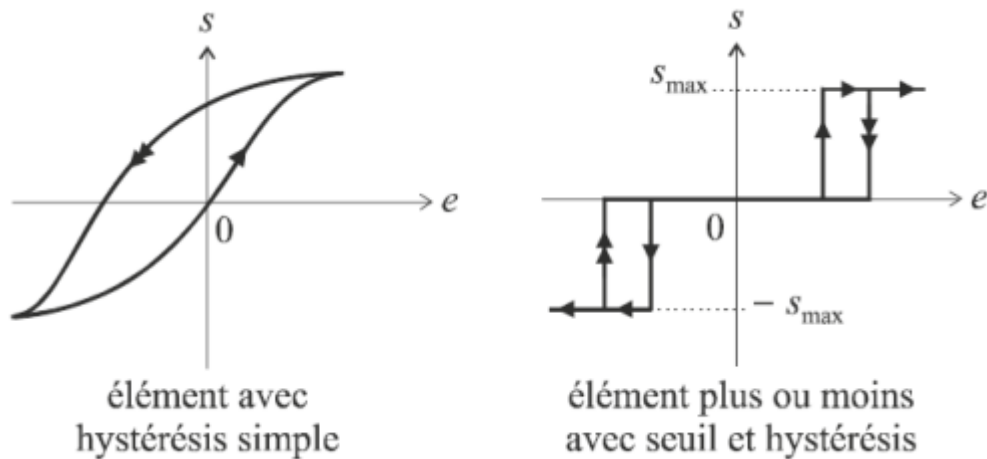


Figure 7 : *Caractéristiques d'organe avec hystérésis*

Parmi les méthodes de contrôle par hystérésis, la plus connue est la régulation du courant par hystérésis. La mise en œuvre des méthodes de contrôle de l'hystérésis a été réalisée sous forme analogique ou numérique. Chaque fois que l'erreur entre les références de contrôle et les variables de contrôle franchit la limite de la bande d'hystérésis positive ou négative, un changement significatif de la sortie du contrôleur S_w se produit comme indiqué sur la figure 8.A. Ainsi, le contrôleur réagit rapidement à tout écart par rapport aux références de contrôle, qui sont la raison du comportement à gain élevé de ces contrôleurs. Il est à noter que la mise en œuvre numérique des méthodes de contrôle d'hystérésis (voir Fig.8.B) ne garantit pas que les ondulations de la variable de contrôle se situent dans les limites d'une bande d'hystérésis spécifique. Cette situation est illustrée dans la vue agrandie à l'intérieur de la figure 8.A. Pour

cette raison, dans la plupart des cas, le fonctionnement des contrôleurs numériques d'hystérésis ne correspond pas au comportement des contrôleurs analogiques

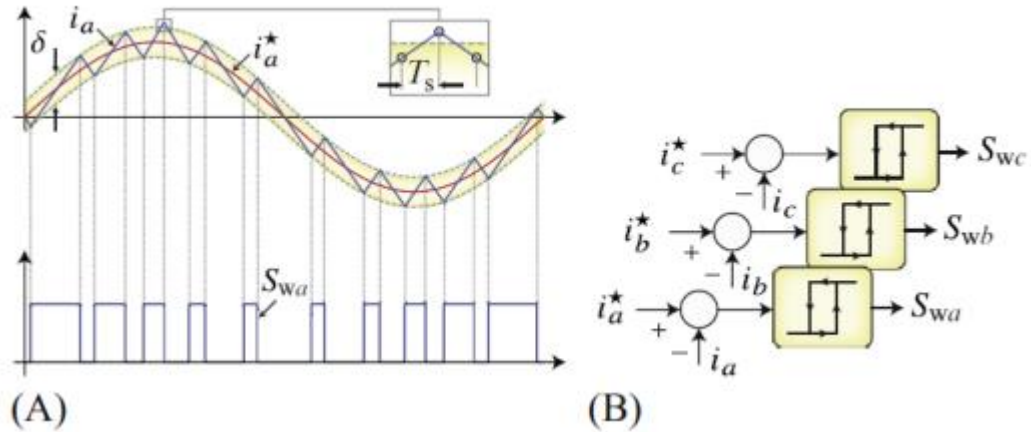


Figure 8 : Contrôle de courant par hystérésis dans un convertisseur : (A) principe de fonctionnement (B) bloc diagramme.

I.9 Régulateur Flou (Fuzzy logic) :

Les contrôles flous ont gagné en popularité au cours des vingt dernières années, et l'un des principaux avantages de ces contrôles flous est qu'ils peuvent être déplacés relativement facilement à l'aide de règles linguistiques, ce qui est l'expérience que nous pouvons obtenir du processus au contrôleur. Ainsi, il est possible de transformer les connaissances de l'expert en règles simples que le contrôleur peut mettre en œuvre. La facilité avec laquelle met en œuvre des solutions à des problèmes complexes est alors liée à la confiance dans les incertitudes de et à la capacité d'intégrer l'expertise.

Historiquement, la prémisse de la logique floue, qui traite du concept d'incertitude, remonte aux années 1930 ; Cependant, ce n'est qu'en 1965 que Zadeh a introduit le concept de sous-ensembles flous de, lorsque les premières ruptures majeures de la zone ont été observées. Puis, en 1974, Mamdani introduisit la commande floue pour contrôler les processus industriels.

Enfin, dans les années 1980, la commande floue connut un essor important au Japon, notamment en, grâce aux travaux de Sugeno, puis s'étendit à el le monde Entier.

La structure d'une instruction diffuse qui se transforme en ce nombre peut être subdivisée en modules très grands.

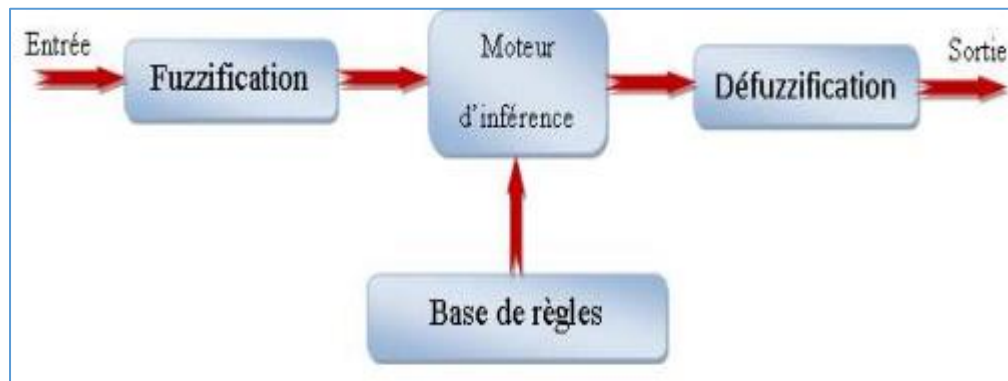


Figure 9 : Structure générale d'une commande floue.

Le premier de ces modules traite les entrées du système: c'est la fuzzification. Il permet d'associer à chacune des entrées réelles, par le biais de fonctions d'appartenances, un degré d'appartenance pour chacun des sous-ensembles flous définis sur l'ensemble du discours.

Le deuxième module est constitué du moteur d'inférence et de la base de règles. Celle-ci est constituée de règles de type: «Si..., Alors...» et va permettre de passer des degrés d'appartenance des grandeurs d'entrées aux degrés d'appartenance aux sous-ensembles flous de la grandeur de commande. Le moteur d'inférence, lui, va permettre de générer une conclusion à partir des entrées et des règles actives. Il calcule alors les degrés d'appartenance aux sous-ensembles flous correspondant à la commande du système [3].

Enfin, le dernier module, l'interface de défuzzification, va permettre de transformer les degrés d'appartenance des sous-ensembles flous de commande en grandeur numérique. C'est la transformation inverse du module de fuzzification.

Dans notre travail, le principe de la régulation de la tension du bus continu du FAP est le même que celui du régulateur PI, mais cette fois-ci, l'erreur ($V_{dc}^* - V_{dc}$) et sa variation sont appliquées à un régulateur intelligent basé sur un système à logique floue pour obtenir l'amplitude des trois courants de référence de source [7].

Le régulateur flou permet la régulation de la tension du bus continu et générer l'amplitude des courants de référence. L'erreur de la tension du bus continu et sa variation sont utilisées comme des entrées du processus flou. Ces deux grandeurs d'entrée sont discrétisées avec une période d'échantillonnage T_e et normalisées à l'aide des gains dénormalisation (G_e pour l'erreur et $G_{\Delta e}$ pour la variation de l'erreur). Elles sont définies par les expressions suivantes :

- L'erreur de réglage de la tension du bus continu est définie par l'écart :

$$e = V_{dc}^* - V_{dc} \tag{9}$$

- La sortie du régulateur flou est considérée comme la variation de l'amplitude des courants de référence $+\Delta I_{sm}(n)$.

$$de(n) = e(n) - e(n-1) \tag{10}$$

L'amplitude des courants de référence pour le nième échantillon $I_{sm}(n)$ est obtenue en additionnant l'amplitude $I_{sm}(n-1)$ avec la variation $\Delta I_{sm}(n)$ comme le montre l'équation suivante:

$$I_{sm}(n) = I_{sm}(n-1) + \Delta I_{sm}(n) \tag{11}$$

Les caractéristiques principales de ce régulateur flou sont les suivantes :

- Sept ensembles flous pour $e(n)$, $de(n)$ et $\Delta I_{sm}(n)$.
- Les fonctions d'appartenance sont triangulaires.
- Pour la fuzzification, nous utilisons l'univers de discours continu.
- Pour l'implication, nous utilisons l'opérateur minimum de Mamdani.
- Pour la défuzzification, nous utilisons la méthode de centre de gravité (centroid).

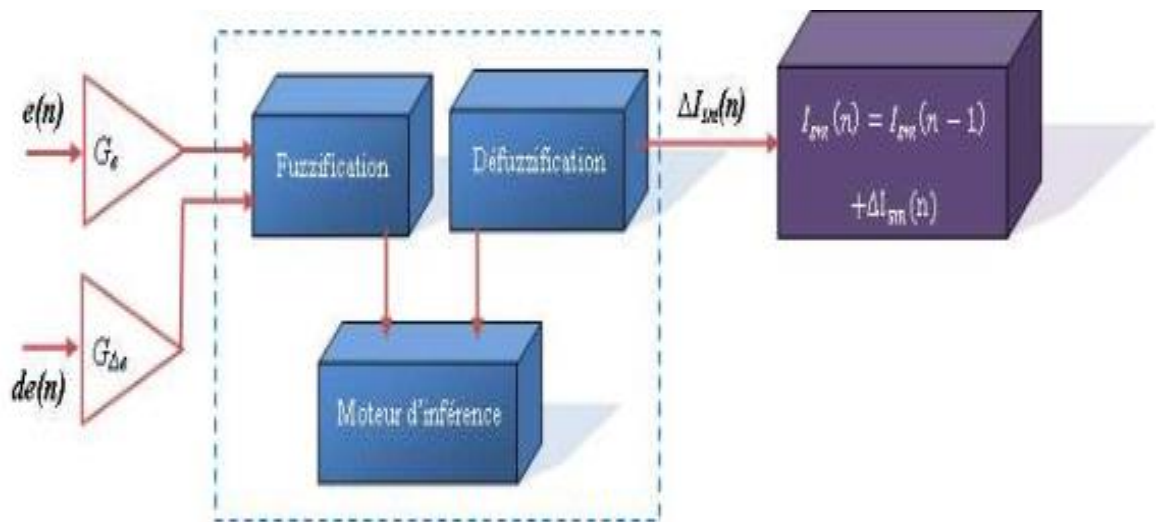


Figure 10 : Structure interne du régulateur flou.

Pour la fuzzification, nous avons utilisé des fonctions d'appartenance triangulaires pour l'erreur $e(n)$, sa variation $de(n)$ et la sortie $\Delta I_{sm}(n)$, et nous avons choisi les sept ensembles

fous: NG (Négative grande), NM (Négative moyenne), NP (Négative petite), EZ (nulle), PP (Positive petite), PM (Positive moyenne) et PG (Positive grande). La figure 9 montre les fonctions d'appartenance des variables d'entrée $e(n)$, $de(n)$ et de variable de sortie $\Delta I_{sm}(n)$.

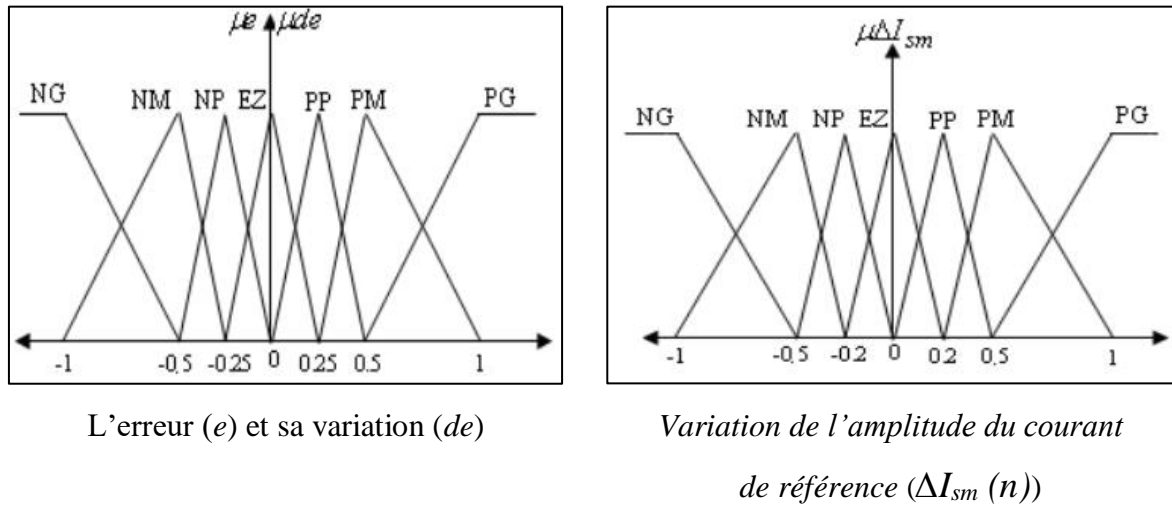


Figure 11 : Fonctions d'appartenance utilisées dans la fuzzification.

Pour l'inférence, les règles que nous avons établies se résument dans le tableau suivant:

		<i>Error (e)</i>						
		<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>
<i>Change in error (de)</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>
	<i>NM</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PG</i>
	<i>NS</i>	<i>NG</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>
	<i>ZE</i>	<i>NG</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>
	<i>PP</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>
	<i>PM</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>
	<i>PG</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>	<i>PG</i>

Tableau 1 : Les règles du régulateur flou.

I.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les divers problèmes de pollution du réseau électrique engendrés par les charges non-linéaires (polluantes) et leur effet sur la qualité du réseau électrique, afin de résoudre le problème de la qualité d'énergie, et pour diminuer les effets de ces perturbations harmoniques, différentes solutions classiques et modernes de dépollution. Les solutions classiques ne sont pas très efficaces pour traiter ce problème nous avons choisi le FAP comme une solution de dépollution des réseaux électriques des courants perturbateurs comme le courant harmonique.

*CHAPITRE II : Simulation des FAP et
discussion des Résultats*

II.1 Introduction :

Afin de valider l'étude théorique et évaluer les performances de notre système, dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de simulation du système global (Source de tension, charge non linéaire, et le FAP).

En fait, pour tous les modes de fonctionnement du FAP, différents régimes sont envisagés tels que : les régimes permanent et transitoires correspondants à l'application du filtre et à la variation de la charge, la comparaison est faite pour les résultats de simulation obtenus avec les deux types de régulations étudiées dans ce travail (IP et floue), ces résultats ont été obtenus à l'aide du logiciel MATLAB/Simulink en utilisant également la toolbox "Sim power system".

II.2 Description globale de la simulation :

La figure 10 montre les composants communs du système à l'étudié. Le bloc se compose d'un réseau triphasé, d'un pont de charge non linéaire de Graëtz avec 6 diodes génératrices d'harmoniques alimentant une charge de type RL et d'un filtre fonctionnant en parallèle illustré pour la structure d'onduleurs associées à un circuit de commande.

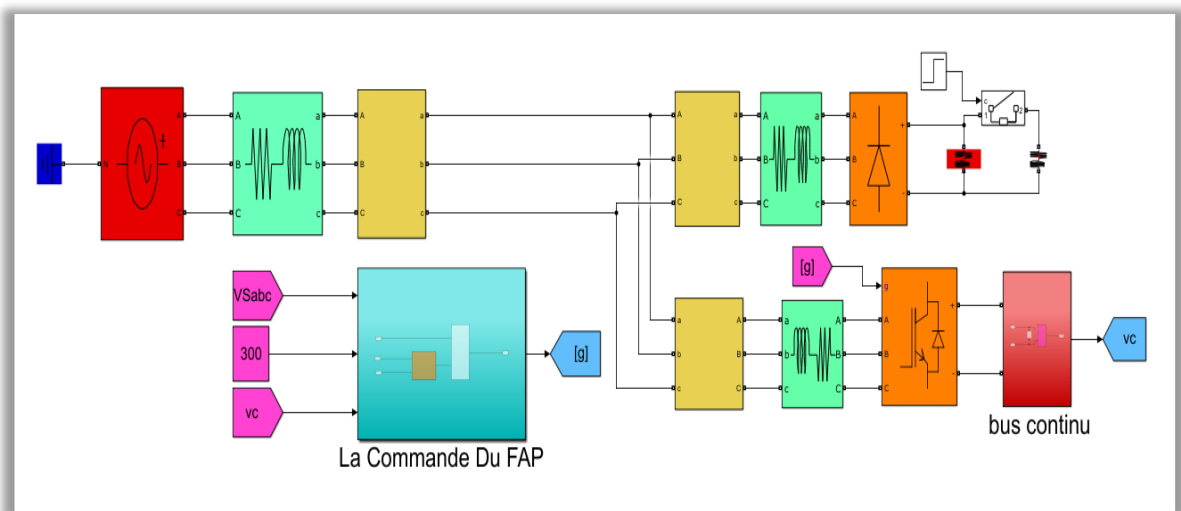


Figure 12 : schéma globale du filtre actif parallèle.

CHAPITRE II : Simulation des FAP et discussion des Résultats

Dans la méthode indirecte du courant appliquée au FAP (figure 13), la valeur crête du courant de source est estimée afin de maintenir l'équilibre d'énergie entre la source et la charge et L'amplitude du courant de source est obtenue via la boucle de régulation du bus continu.

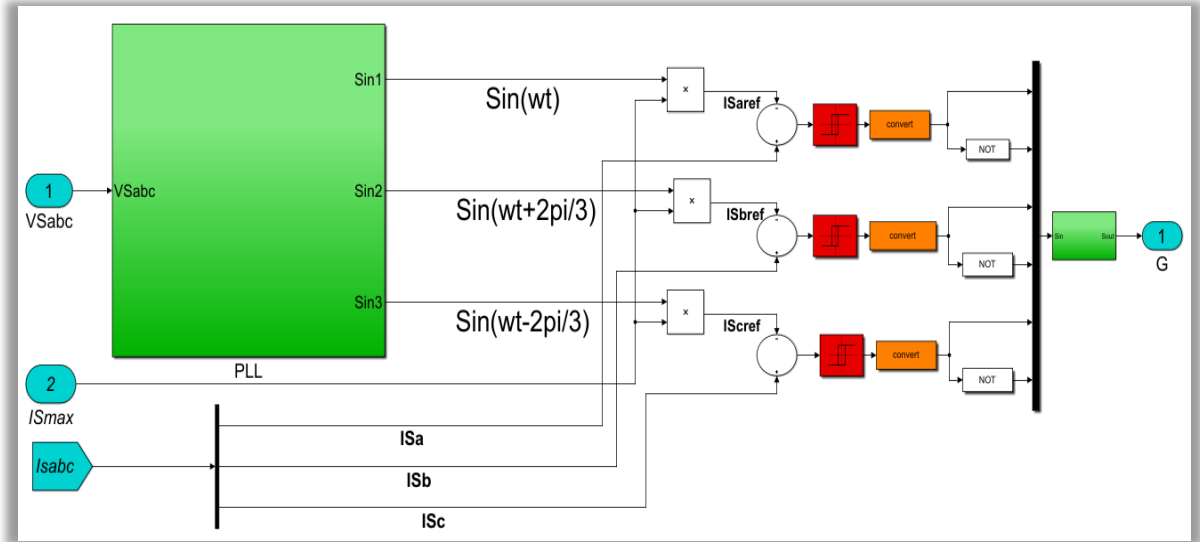


Figure 13 : Schéma bloc de la commande indirecte en courant.

Pour faire la simulation de notre bloc système avec le MATLAB/SIMULINK nous avons utilisé les paramètres de tableau correspondant au FAP :

Fréquence fondamentale	50 HZ	
Tension de source	80 V	
Impédance de la source	$R_s=0,1 \Omega$	$L_s=0,1 \text{ mH}$
Charge non linéaire	$R_l= 0,01\Omega$	$L_l= 0,556\text{mH}$
	$R_c= 20\Omega$	$L_c= 2,5\text{mH}$
Impédance de filtrage	$R_f=0,01\Omega$	$L_f=1\text{mH}$
Capacité du bus continu	$C_{dc}=1100\mu\text{F}$	
Tension de référence du bus continu	$V_{dcref}= 300 \text{ v}$	
Régulation de la tension continue	$K_p= 0,12 \quad K_i=54,55$	
Bande d'hystérésis	$HB=0.02$	

Tableau 2 : Paramètre de simulation du FAP.

II.3 Simulation de l'ensemble réseau-charge non linéaire :

Au début, dans le but de confirmer les effets dus à la connexion d'une charge non linéaire à un réseau électrique, nous considérons le montage de la figure 14.

- Le réseau électrique est représenté par une source de tension triphasée parfaitement sinusoïdale d'amplitude V_s , de fréquence f et d'impédance interne (R_s, L_s).
- La charge non linéaire, génératrice des courants harmoniques et consommant de la puissance réactive, est modélisée par un pont redresseur triphasé PD3 débitant sur une charge inductive d'impédance

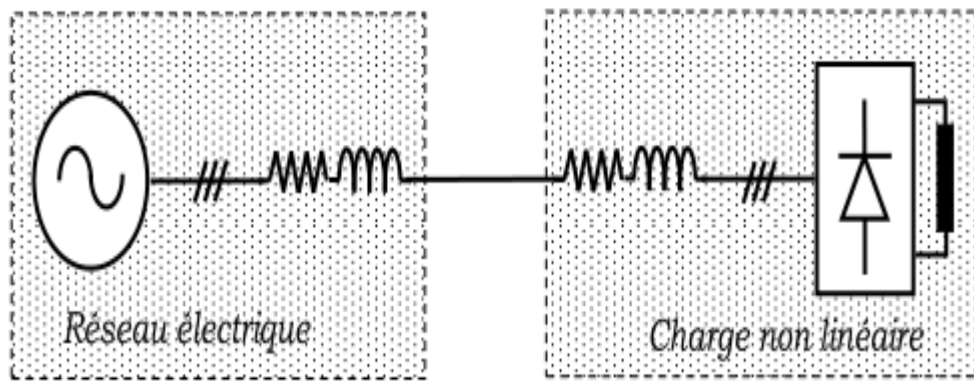
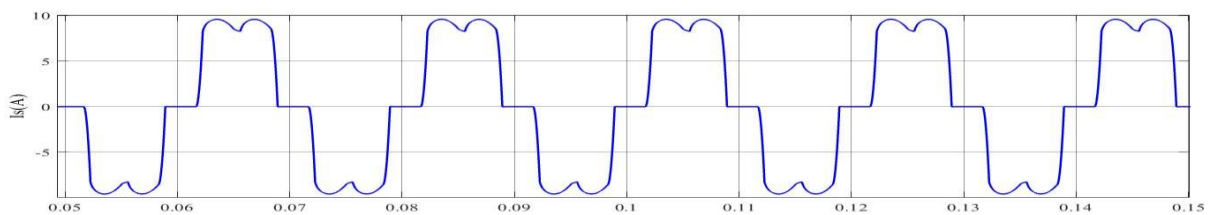
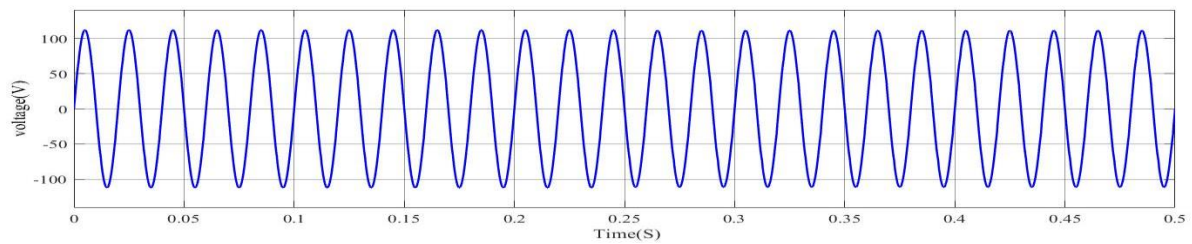


Figure 14 : Modélisation du réseau électrique connecté à une charge non linéaire

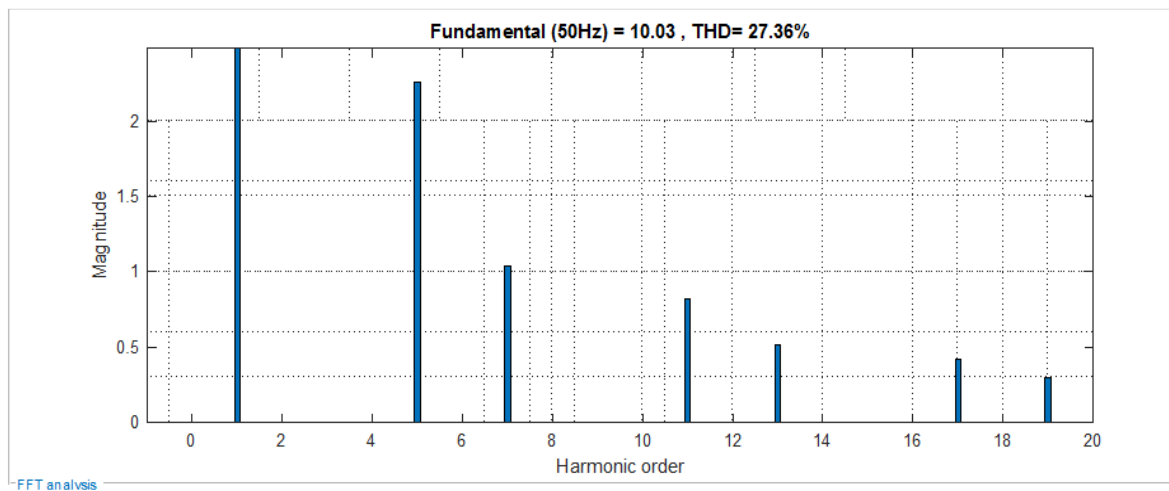
Nous simulons d'abord un réseau électrique non linéaire en l'absence de filtre. Les courbes de sources de tension et de courant avant l'utilisation du filtre actif sont illustrées à la Figure 15 :



(a) Le courant de source



(b) La tension de source



(c) l'analyse spectrale du courant de source

Figure 15 : Résultat de simulation du réseau électrique pollué sans FAP.

La figure 15 montre clairement l'effet des harmoniques sur le courant de source, qui est déformé par les harmoniques introduites par une charge non linéaire. Cette distorsion du courant de source est symétrique par rapport au milieu du cycle, ce qui signifie que dans son spectre il n'y a pas plus multiples des harmoniques de 2 et 3, mais uniquement des harmoniques dans la gamme $(6K \pm 1; K \in \mathbb{N})$, ce qui est confirmé par le spectre de ce courant représentant les 20 premiers harmoniques les plus importants avec $THD = 27,36\%$, il faut donc améliorer le THD de ce signal en connectant un filtre actif au réseau.

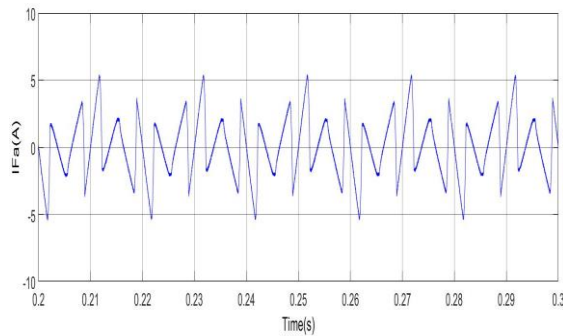
II.4 Application du FAP et analyse en régime statique :

D'après la visualisation de perturbation de source d'alimentation lorsque nous raccordons avec une charge non linéaire qui va effectuer au courant et tension en cette raison il doit

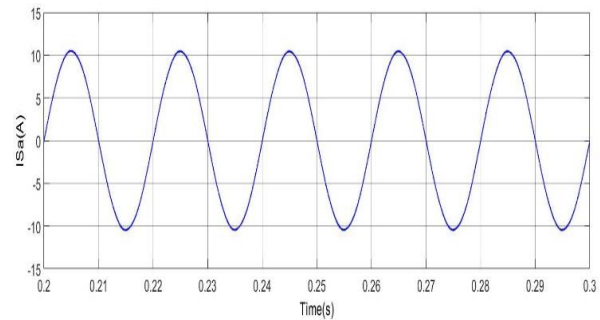
d'ajoute en parallèle un filtre actif avec la charge non linéaire ce filtre commandé comme un générateur de courant qui injecter des courants harmoniques au point de connexion commun qui on la même amplitude et en opposition de phase avec la charge, afin que la somme avec ceux-ci soit nulle, et le courant de source soit sinusoïdal.

II.4.1 Simulation du FAP avec la méthode indirecte du courant (régulation IP):

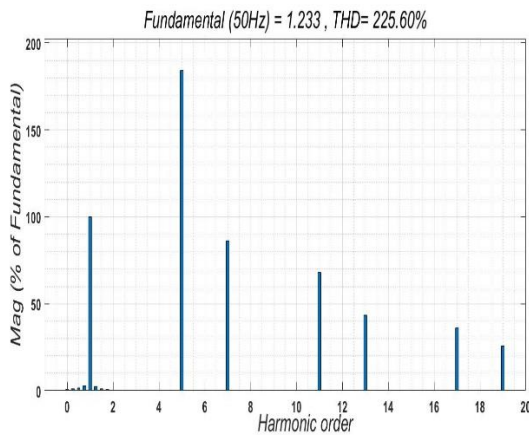
Initialement le système fonctionne sans filtrage, les courants de source sont identiques à ceux de la charge non linéaire caractérisés par un spectre contenant que des harmoniques d'ordre impair (non multiples de trois) et un THD = 27,36%.



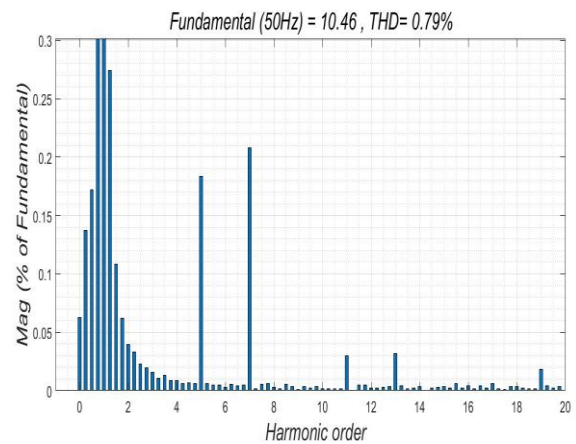
(a) Le courant de Filtre if



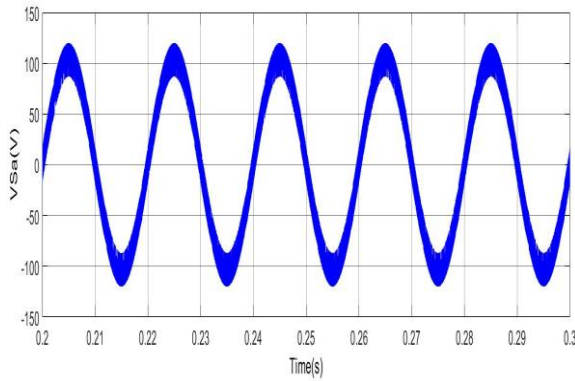
(b) Le courant de source is



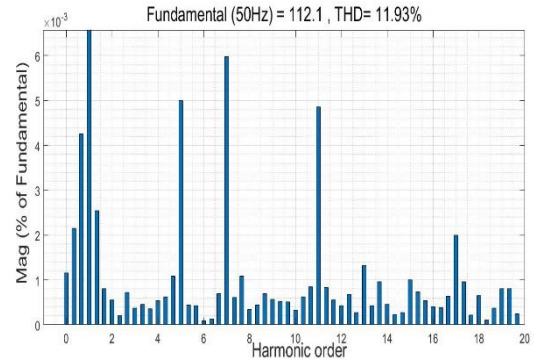
(c) l'analyse spectrale de courant filtre



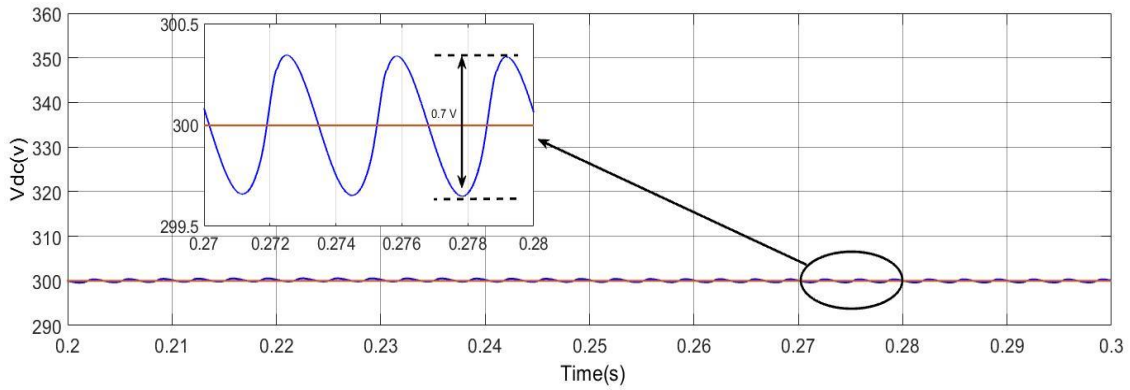
(d) l'analyse spectrale de courant source



(e) la tension de source V_{sa}



(f) l'analyse spectrale de la tension de source V_{sa}



(g) Tension de bus continue V_{dc}

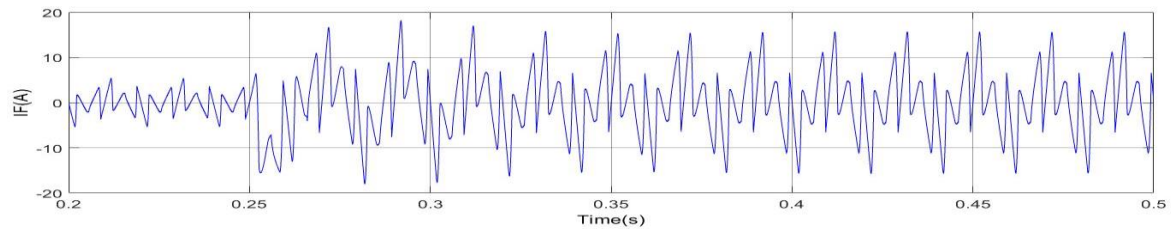
Figure 16 : Résultats du filtrage avec la méthode de courant directe IP.

Le FAP est mis en service, en produisant des courants i_f (Figure 16 (a)) qui rendent les courants de source sinusoïdaux et en phase avec les tensions correspondantes, et le THD est amélioré et vaut $THD=0.79\%$ (Figure 16 (d)), d'une part et d'autre part, la valeur de la tension de bus continue V_{dc} tend vers sa tension de référence $V_{dc}^*=300$ avec une ondulation de 0.7v.

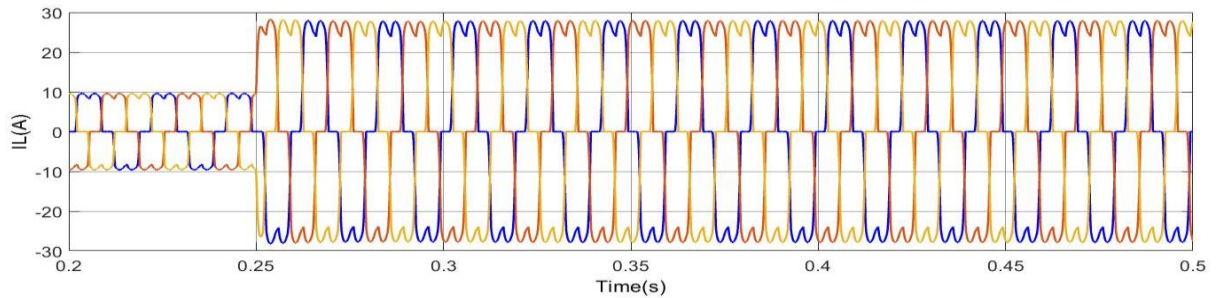
II.4.2 Régime dynamique de la variation de la charge non linéaire :

Pour étudier la robustesse de la commande, nous procédons à une variation de la charge non linéaire, soit une diminution de 50% (20Ω sera 10Ω). La figure 14 montre qu'à $t=0.25s$, les courants de charge subissent une augmentation brusque alors que ceux de la source conservent

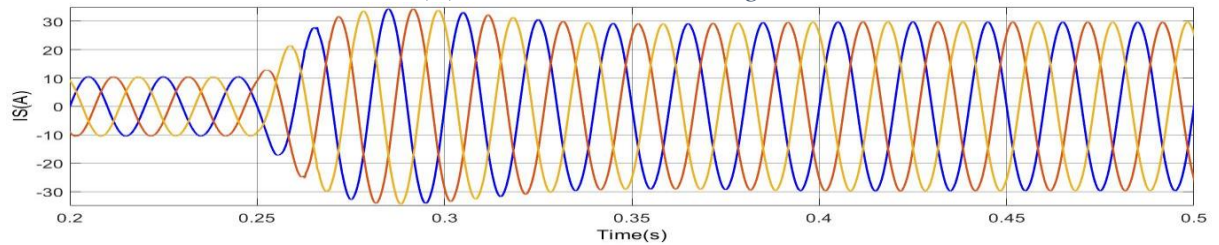
leur dynamique et leurs formes sinusoïdales, grâce à la robustesse des régulateurs, en ne provoquant aucune perturbation au niveau des tensions de la source. En plus, la tension du bus continu diminue temporairement de $\Delta V_{dc}=32.46\%$ et retour sa valeur de référence après un période transitoire de $\Delta t= 0.06s$.



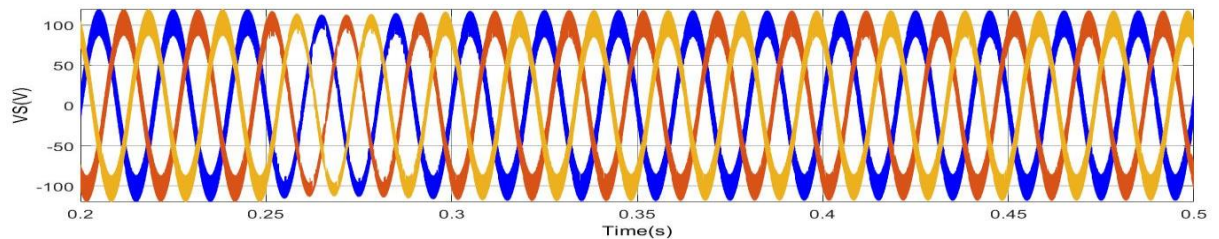
(a) Le courant de Filtre if



(b) Le courant de la charge il



(c) le courant de source



(d) la tension de source

Figure 17 : Résultats de simulation lors de la variation de la charge non linéaire à l'instant 0.25s

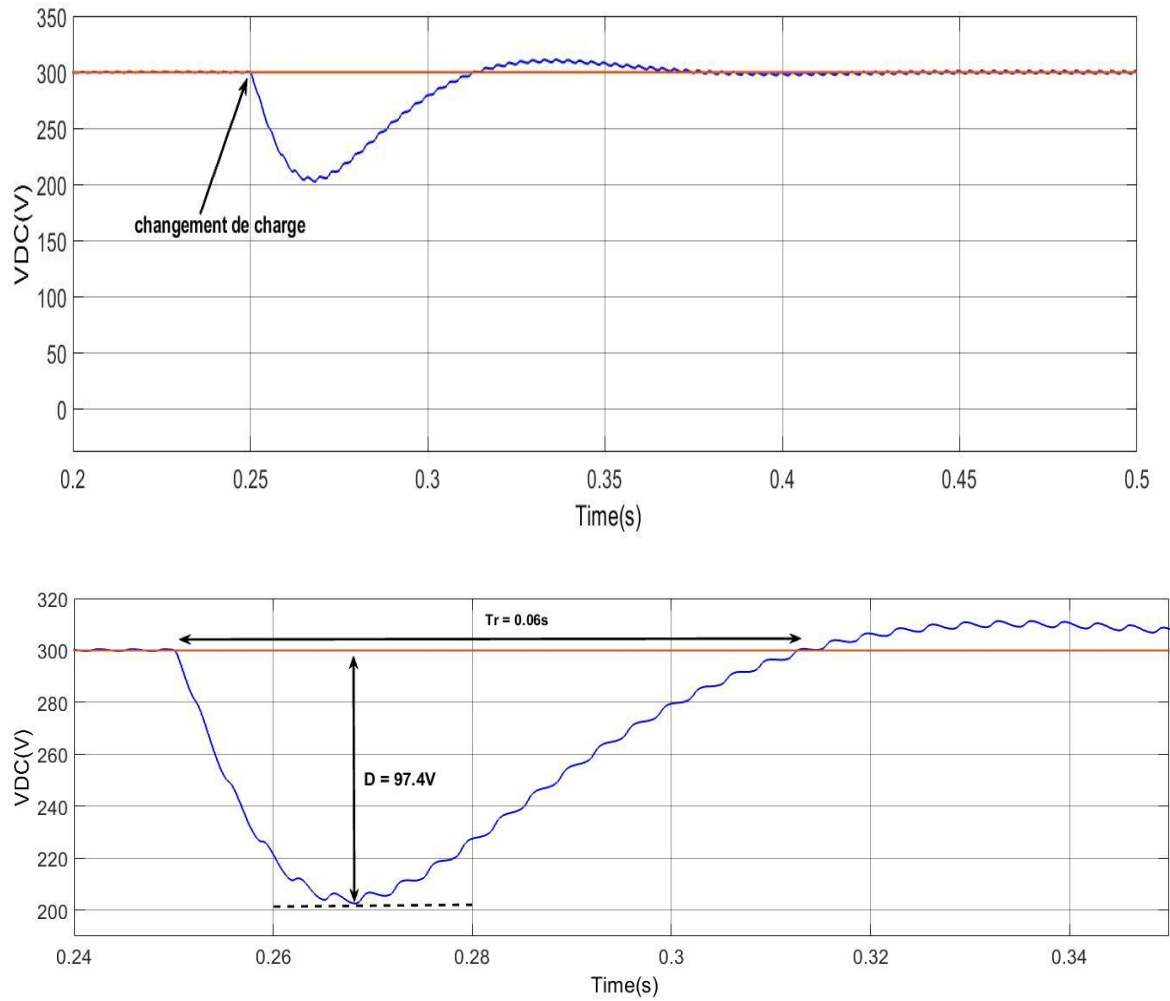
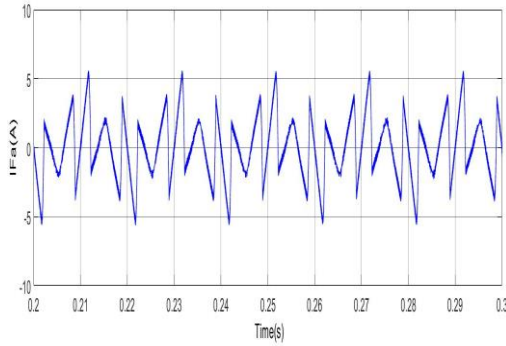


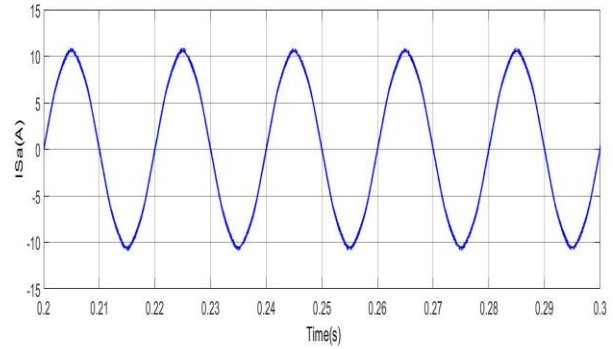
Figure 18 : La tension du bus continu lors de la variation de la charge non linéaire à l'instant 0.25s, caractéristique.

II.4.3 Simulation du FAP avec la méthode de logique floue :

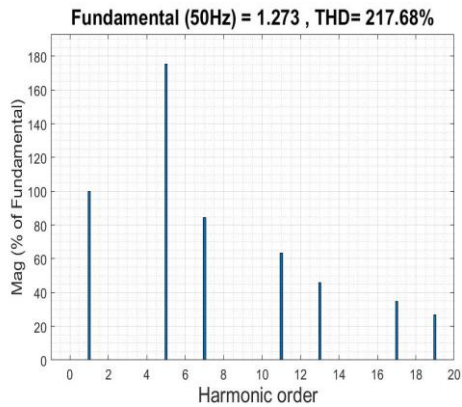
Avec l'application de la méthode de logique floue pour la génération des signaux de commande du FAP, on va représenter seulement les résultats de simulation en régime permanent.



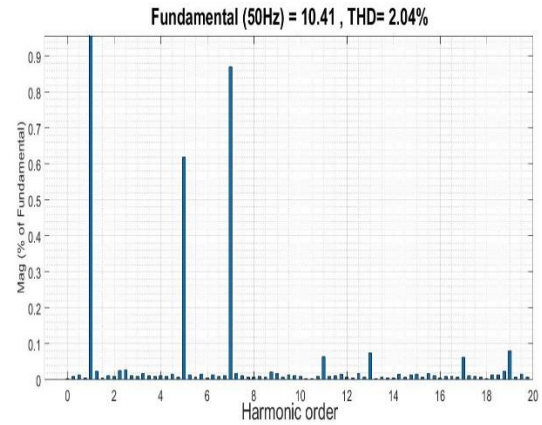
(a) Le courant de Filtre i_f



(b) Le courant de source i_{s_a}



(c) l'analyse spectrale de Le courant de Filtre i_f



(d) l'analyse spectrale de Le courant de source i_{s_a}

Figure 19 : Résultats du filtrage avec la méthode logique floue.

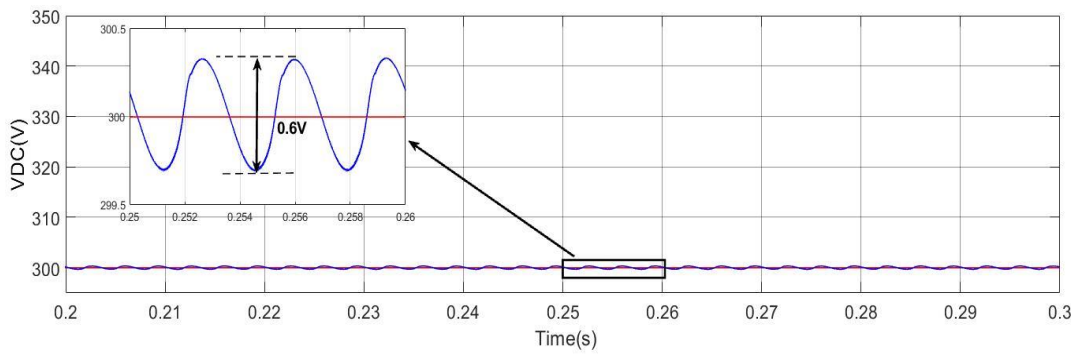
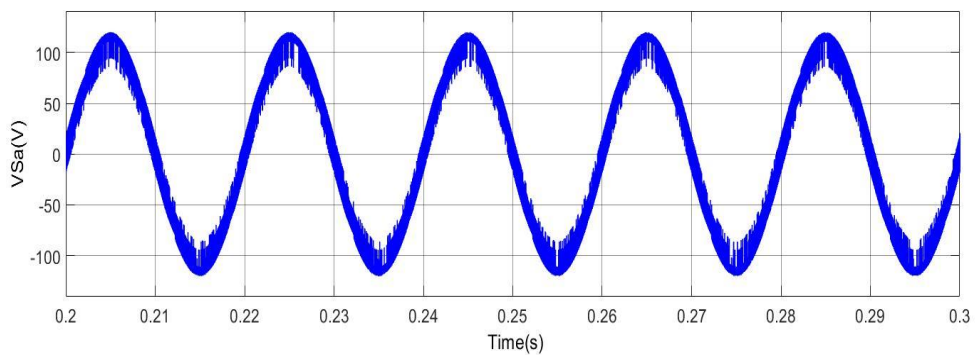
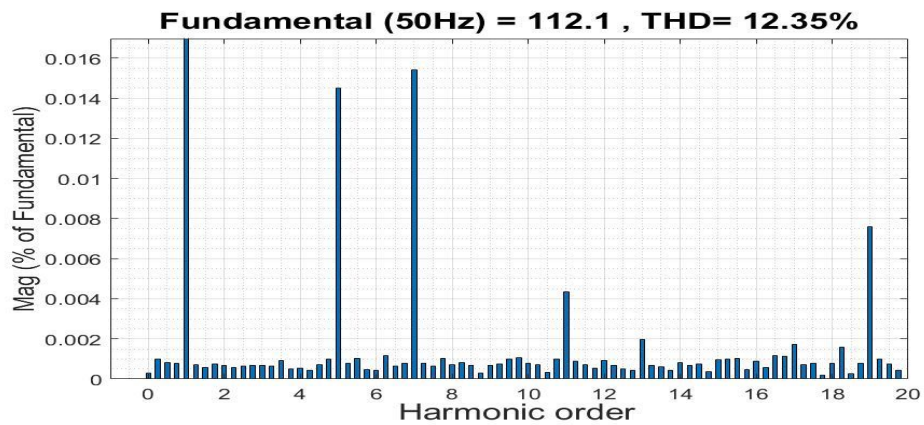


Figure 20 : la tension de bus continue V_{dc} .



(a) la tension de source V_{s_a}



(b) l'analyse spectrale de tension de source V_{s_a}

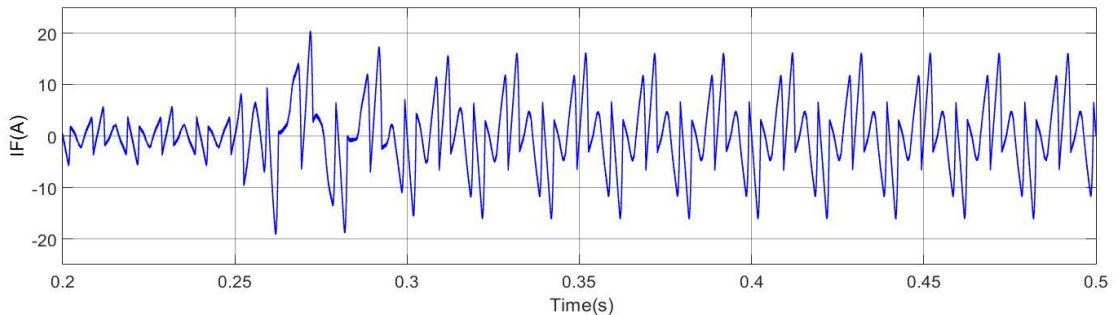
Figure 21 : la tension de source V_{s_a} et l'analyse spectrale de tension de source V_{s_a} .

Le FAP est mis en service, en produisant des courants i_f (Figure 19 (a)) qui rendent les courants de source presque sinusoïdaux, et le THD est amélioré et vaut $THD=2.04\%$ (Figure 20 (d)), d'une part et d'autre part, la valeur de la tension bus continue V_{dc} tend vers sa tension de référence $V_{dc}^*=300$ avec une ondulation de 0.6v (Figure 21).

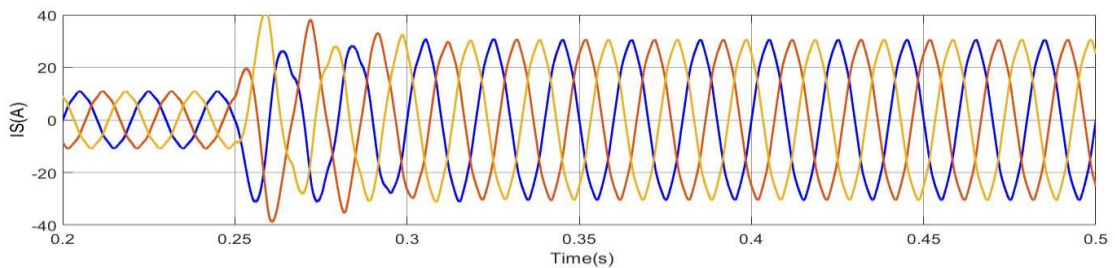
II.4.4 Régime dynamique de la variation de la charge non linéaire :

Pour étudier la stabilité du contrôle, un changement non linéaire de la charge est effectuée, c'est-à-dire une diminution de 50% (20ohms seront 10ohms). La figure 22 montre une forte augmentation des courants de charge, tandis que les courants de source conservent leur impulsion et leur forme sinusoïdale en raison de la rigidité des régulateurs, car ils ne provoquent pas de bruit à la tension du secteur.

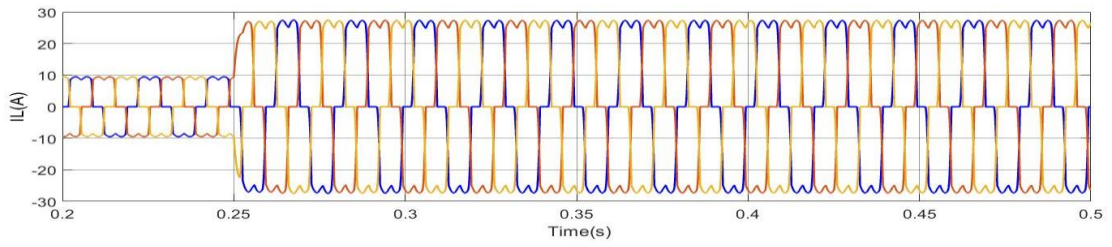
De plus, la tension du bus continue chute temporairement de $\Delta V_{dc}=6.33\%$ et revient à sa valeur de référence après une période transitoire. $\Delta t= 0.01\text{s}$.



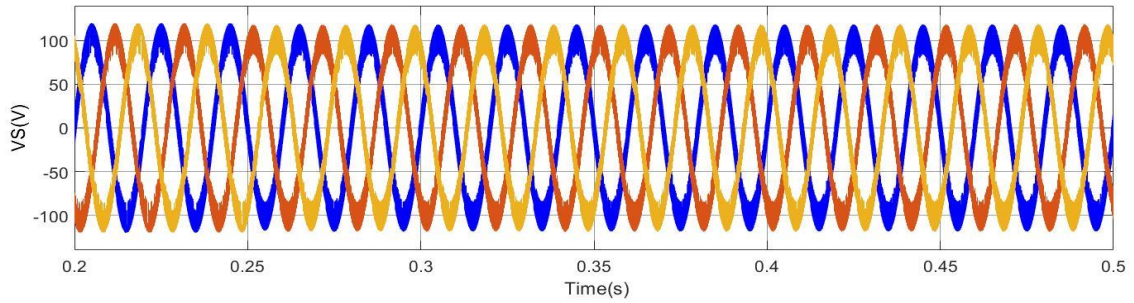
(a) le courant de filtre i_f



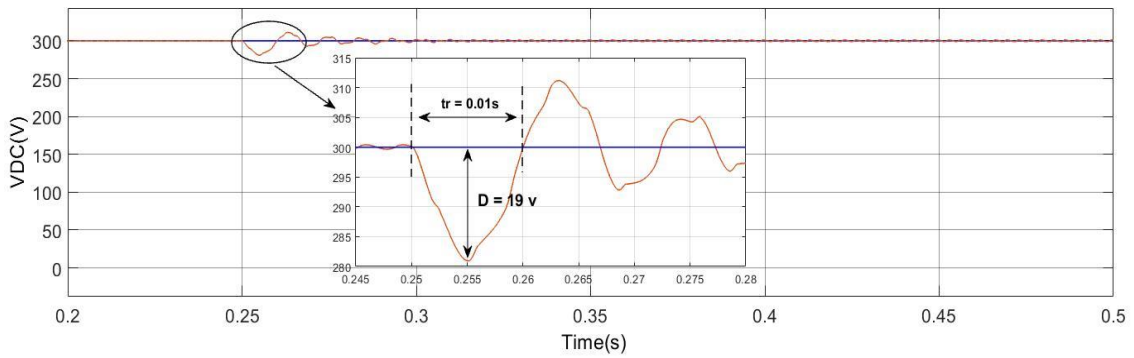
(b) le courant de source i_s



(c) le courant de charge i_L



(d) la tension de source V_s



(e) la tension de bus continue

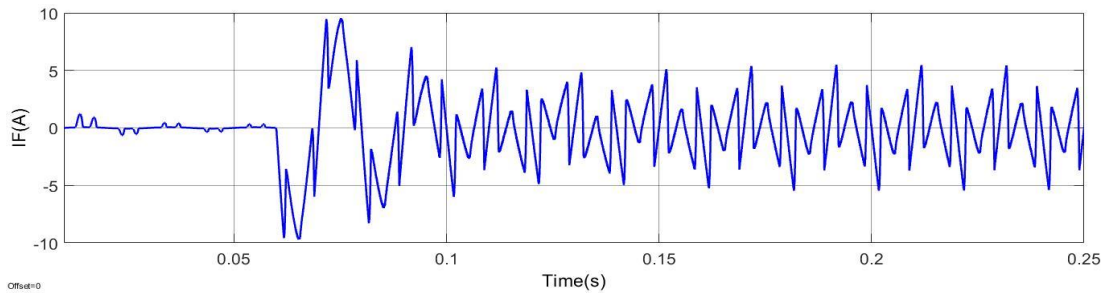
Figure 22 : Résultats de simulation lors de la variation de la charge non linéaire à l'instant 0.25s.

II.5 Étude du comportement FAP en régime transitoire :

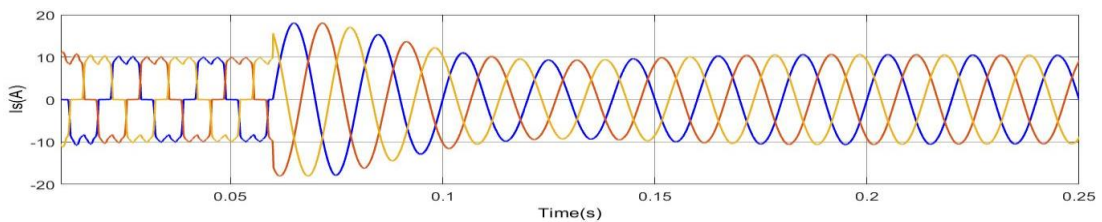
Dans cette section, nous allons présenter les résultats de simulations concernant le comportement en régime transitoire du FAP commandé par les deux méthodes (régulation IP et logique floue) dont le principe est illustré par la figure 12, lors de la connexion du FAP au système (réseau, charge non linéaire).

II.5.1 La méthode indirecte du courant (régulation IP):

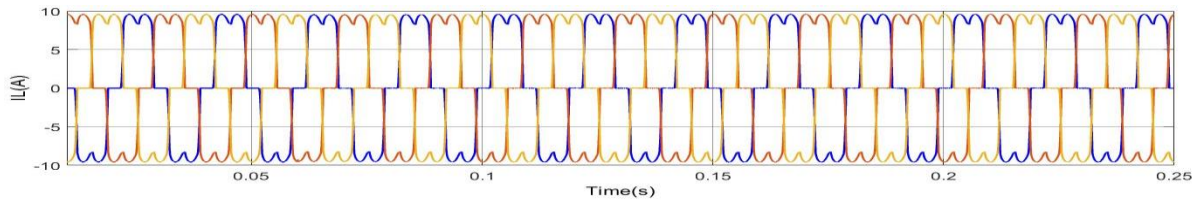
La figure 23 montre qu'à $t_f=0,06$ le FAP est mis en service, en produisant des courants I_f qui arrivent, après un transitoire de $t_r=0,09s$, à rendre les courants de source sinusoïdaux et en phase avec les tensions correspondantes, la tension du bus continu tend vers son niveau de potentiel souhaité (tension de référence $V_{dc}^* = 300V$), avec un dépassement de 20v et temps de monté du 0.09



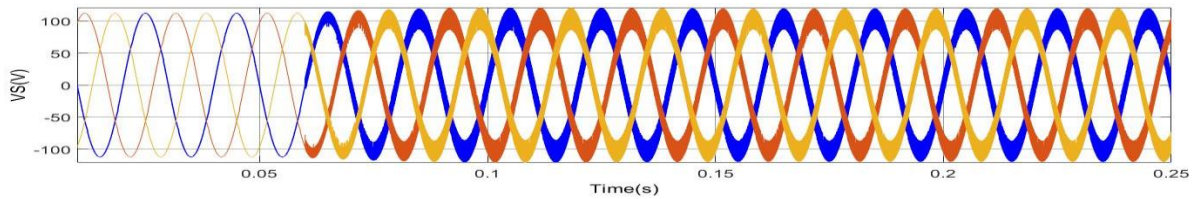
(a) *Le courant de Filtre i_f*



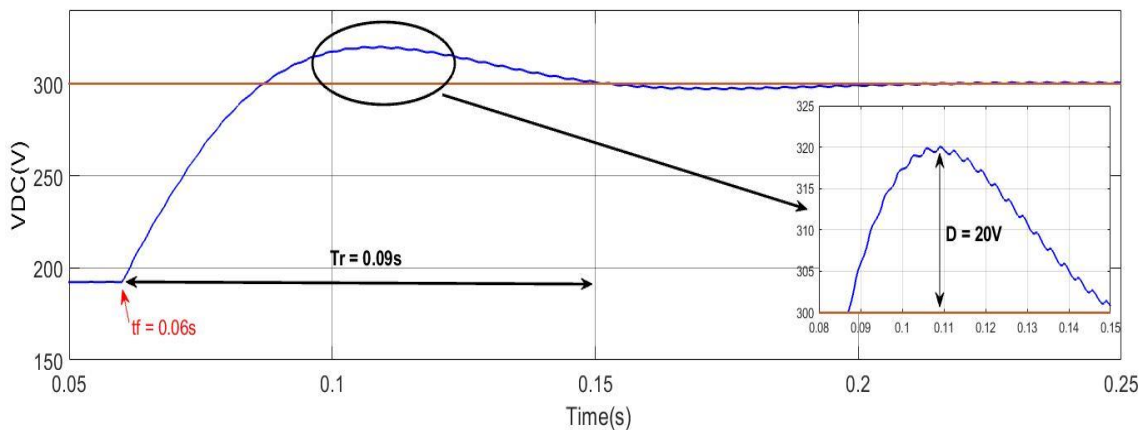
(b) *Le courant de source i_{s_a}*



(c) Le courant de la charge i_l



(d) la tension de source V_{s_a}



(e) la tension de bus continue V_{dc}

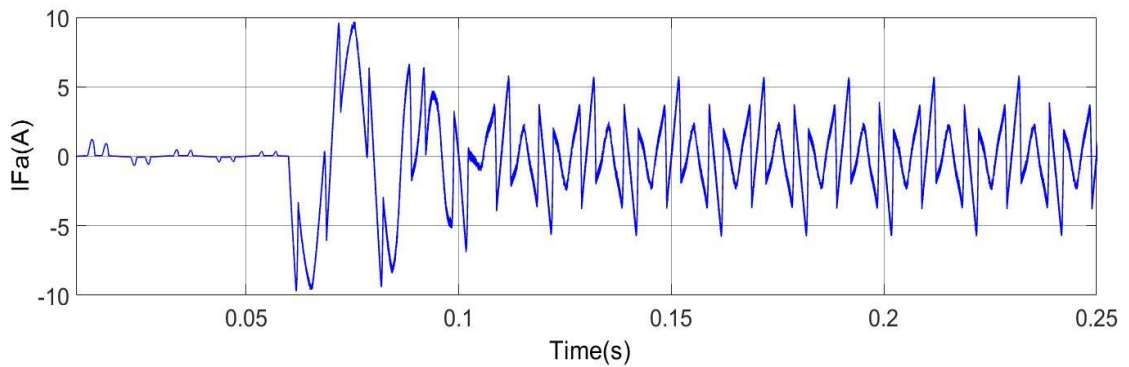
Figure 23 : Résultats du filtrage avec la méthode de courant direct régime transitoire.

II.5.2 Simulation du FAP avec la méthode de logique floue :

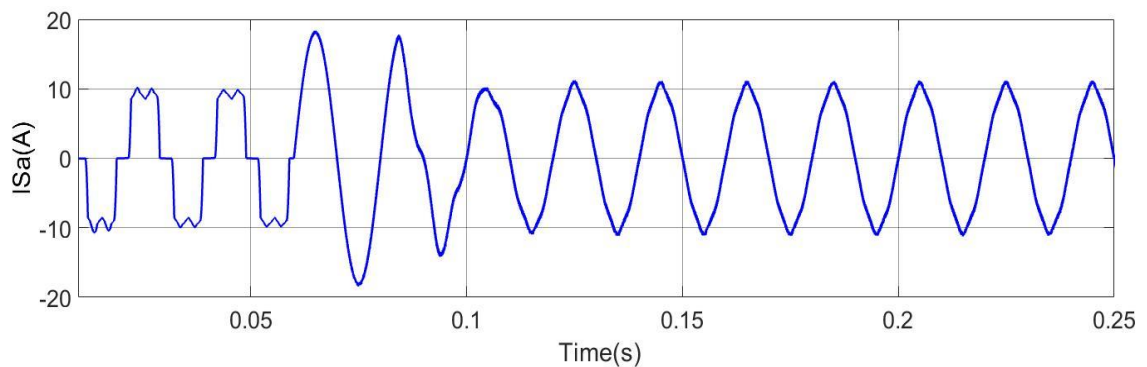
La figure 24 présente les formes d'ondes de la tension source V_{sa} , des courants de charge i_{l_a} , de source i_{s_a} et celle du courant de compensation i_{f_a} injecter par le FAP dans le réseau, ainsi que la figure 25 représenter la tension V_{dc} du bus continu comparée à sa référence $V_{dc\text{réf}}$.

Il apparait clairement d'après ces résultats de simulation que la mise en service du FAP à l'instant $t_f=0.06s$, il commence instantanément à dépolluer le réseau en injectant des courants

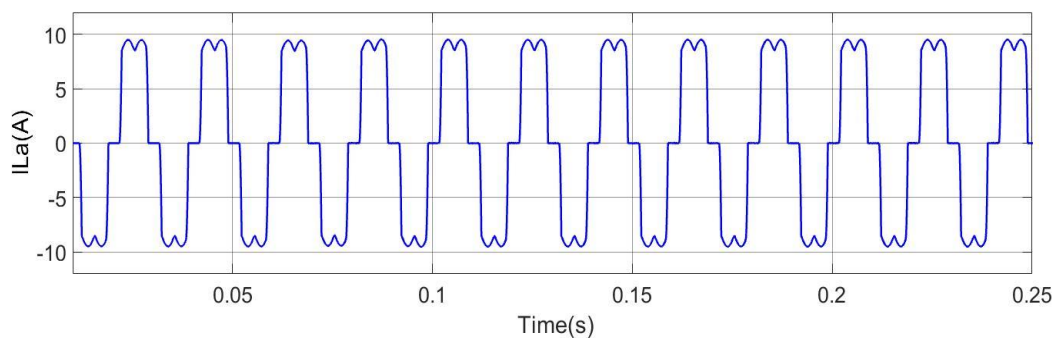
de compensation i_f dans ce dernier après un de 0.06s (Figure 24- a) par conséquent le courant de source i_s devient sinusoïdal, et la tension V_{dc} du bus continue demeure bien régulée en se stabilisant à sa valeur de consigne V_{DCref} , après un court transitoire de l'ordre de 0.024s avec un dépassement de 5v (Figure 25).



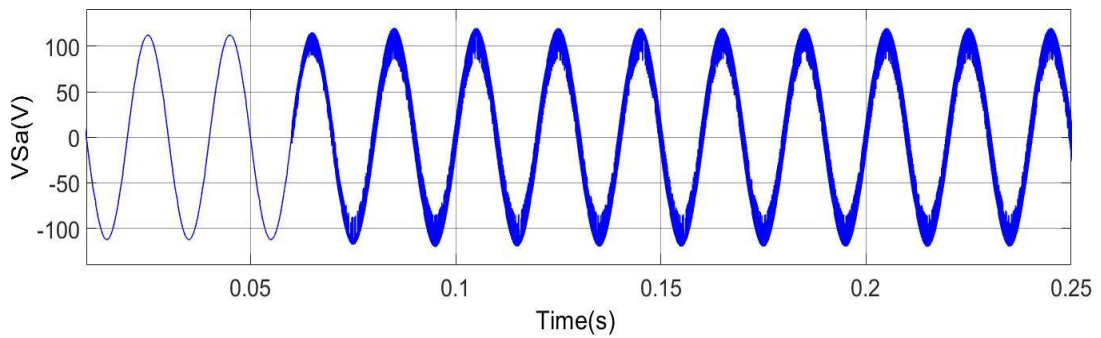
(a) Le courant de Filtre i_f



(b) Le courant de source i_{s_a}



(c) Le courant de la charge i_{l_a}



(d) La tension de source V_s

Figure 24 : Résultats du filtrage avec la méthode de logique floue régime transitoire

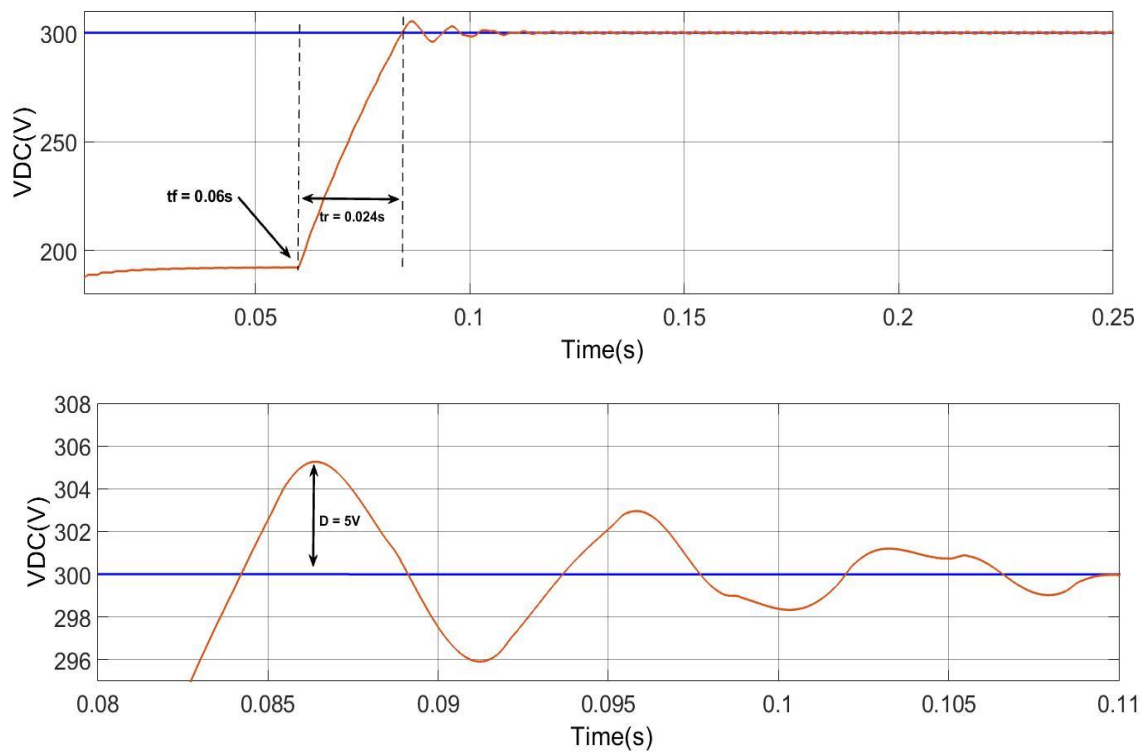


Figure 25 : la tension de bus continue V_{dc} .

II.6 Comparaison entre les différentes techniques de commande :

Les différentes études de simulation de ce chapitre nous ont permis de construire ces tableaux qui suivent :

<i>Les méthodes des commandes</i>	<i>Régime dynamique en fermeture du FAP</i>	
	<i>La tension V_{dc}</i>	
	<i>D (V)</i>	<i>tr(s)</i>
<i>Commande par IP</i>	20	0.09
<i>Commande par logique floue</i>	5	0.024

Tableau 3: *Résumé des résultats de simulation.*

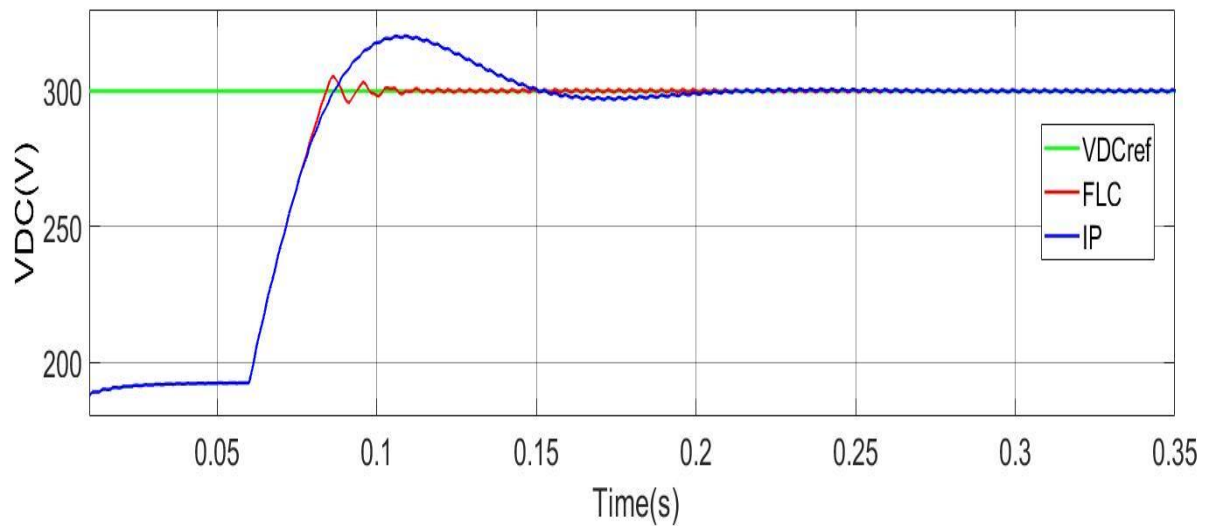
<i>Les méthodes des commandes</i>	<i>Régime statique</i>		
	<i>THD %</i>		<i>La tension V_{dc}</i>
	<i>i_{s_a}</i>	<i>v_{s_a}</i>	<i>$\mathcal{E}_s (v)$</i>
<i>Commande par IP</i>	0.79	11.93	0.35
<i>Commande par logique floue</i>	2.04	12.35	0.3

Tableau 4: *Résumé des résultats de simulation.*

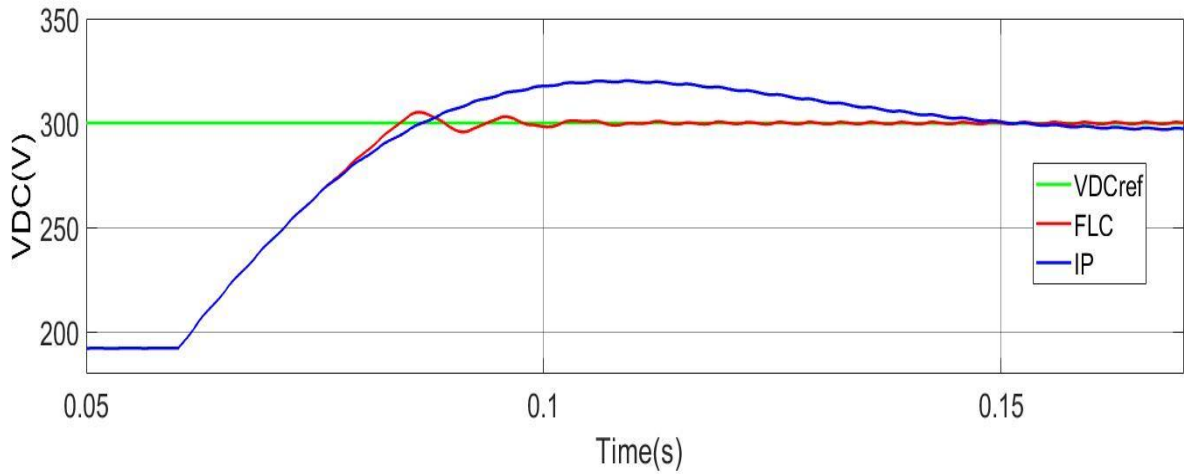
<i>Les méthodes des commandes</i>	<i>Régime dynamique en variation de la charge non linéaire</i>	
	<i>La tension V_{dc}</i>	
	<i>D (V)</i>	<i>tr(s)</i>
<i>Commande par IP</i>	97.4	0.06
<i>Commande par logique floue</i>	19	0.01

Tableau 5: Résumé des résultats de simulation.

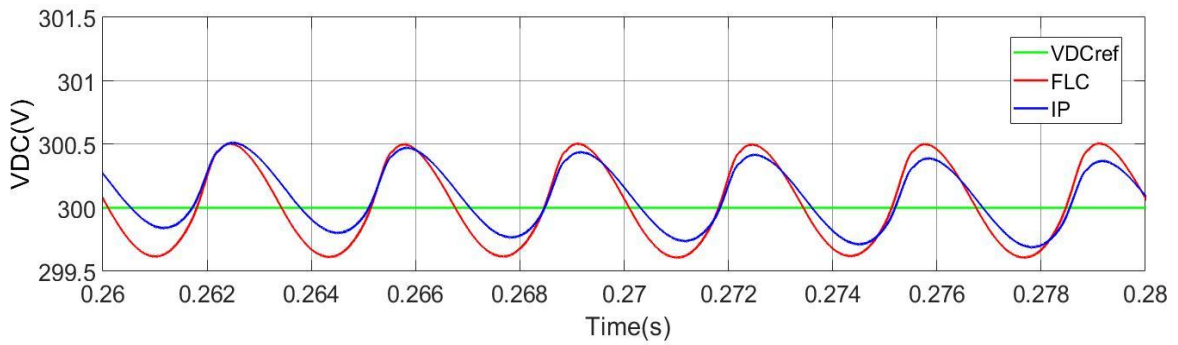
On a des figures (26 -27) qui présenter les courbes et la déférence entre les méthodes :



(a) la tension de bus continue



(b) la tension de bus continue en régime transitoire.



(c) la tension de bus continue dans le régime statique.

Figure 26 : la tension de bus continue on régime statique et dynamique avec les deux méthodes.

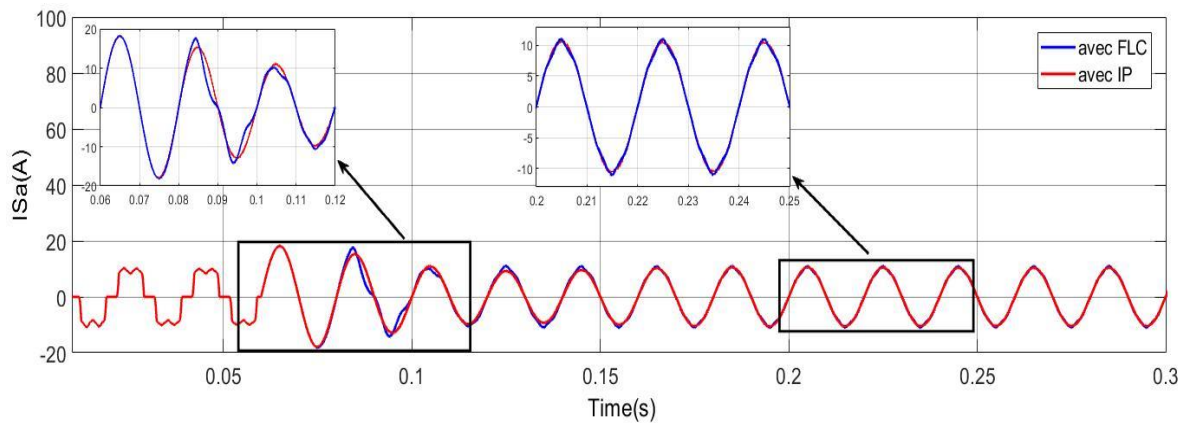


Figure 27 : le courant de source en régime statique et dynamique avec les deux méthodes.

Les taux harmoniques de distorsion, les dépassements et les temps de réponse pour les deux comportements du système régime, dynamique (transitoire), et statique (permanent), sont résumés dans les tableaux 3 - 4 - 5.

Nous avons gardé les mêmes paramètres du FAP, afin d'obtenir des résultats valables de comparaison entre les deux techniques de commande.

Selon les résultats de simulation obtenus, on remarque que les deux techniques de commande donnent des meilleurs résultats des THD des courants de source qui ne dépassent pas les normes **IEEE standard** Par contre pour le système déséquilibré, les sont légèrement élevés mais ne dépassent pas les normes.

On constate, en régime statique (permanent), la commande IP donne des résultats très satisfaisants point de vue taux harmoniques de distorsion, par contre précision l'ondulation de logique floue mieux que la commande IP.

Et on constate, en régime dynamique (transitoire), pour le système les techniques non linéaires (logique floue) a des avantages, dans les qui donne des bons résultats point de vue temps de réponse et dépassement, par contre la commande par IP.

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié le filtre actif parallèle comme une solution de dépollution minimiser le maximum des harmoniques dans le réseau causés par les charge non-linéaire.

A cet effet, nous avons deux méthodes la méthode linéaire (IP) et la méthode non-linéaire (logique floue), Les résultats de simulation ont montré que l'exploitation des deux techniques dans la commande du filtre actif parallèle améliore remarquablement ces performances et plus de ça acceptables avec une déférence dans les *THD* et les performances des système comme le dépassement *D*, temps de repense *tr* entre les méthodes qui nous avons utilisé, On conclure que les deux méthodes ont utile et chacun ses avantages.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objet de ce mémoire porte sur le filtrage actif, en l'occurrence la compensation des courants harmonique par le biais d'un filtre actif parallèle. Pour ce faire, nous avons structuré le contenu de notre travail en deux chapitres.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les différentes sources de pollution des réseaux électriques, leurs conséquences néfastes sur le réseau et l'ensemble du matériel électrique ainsi que les différentes méthodes de dépollution proposées dans littérature (les méthodes traditionnelles et d'autres modernes).

En deuxième chapitre nous avons étudié le filtre actif ou la méthode des courants sont utilisées pour identifier les courants perturbateurs exploitant les trois variables mesurées: le courant et la tension du réseau respectivement i_s , V_s et la tension du bus continu V_{dc} , des techniques de commande en courant a été élaborées et analysées en simulation Une comparaison détaillée est établie avec comme critères la simplicité d'implémentation, la stabilité et la robustesse de la commande aux différents régimes (statique et dynamique) et finalement améliorer le THD qui fut dégradé à cause des courants harmoniques engendrés par la charge non linéaire relativement aux normes imposées (inferieur a 5%).

En perspective, il serait intéressant de reprendre le travail en vue de son amélioration par l'emploi d'autres techniques d'identification et de commande du filtre.



- [1] Boualem BOUKEZATA : " Etude et commande d'une chaine de conversion d'énergie d'un système solaire photovoltaïque" *Thèse de Docteur de l'Université de sétif*, 2018.
 - [2] Abdelmadjid CHAOUI : " Filtrage actif triphasé pour charges non linéaires " *Thèse de Docteur de l'Université de sétif*, 2010.
 - [3] BELHAOUCHET NOURI : " Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées" *Thèse de Docteur de l'Université de sétif*, 2011.
 - [4] Boualem BOUKEZATA : " Dépollution des Réseaux Électriques à base des Filtrés Actifs Parallèles " *thème de master de l'Université de sétif*, 2011.
 - [5] Mustapha SARRA : " Contribution à l'étude des filtres actifs hybrides " *Thèse de Docteur de l'Université de sétif*.
 - [6] BOUAFIA ABDELOUAHAB : " techniques de commande prédictive et floue pour les systèmes d'électronique de puissance: application aux redresseurs a M.L.I " *Thèse de Docteur de l'Université de sétif*, 2010.
 - [7] S.K. Jain, P. Agrawal and H.O. Gupta : " Fuzzy logic controlled shunt active power filter for power quality improvement " *IEEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 149, No. 5, September 2002*.
 - [8] SAHARA Attia : " Étude et Amélioration d'un Filtre Actif Triphasé pour des Charges non linéaires" *Thèse de Docteur de l'Université de sétif*, 2019.
 - [9] N. Belhaouchet ,L. Rahmani, S. Begag : " A novel adaptive HBCC technique for three-phase shunt APF" *Department of Electrotechnic, Ferhat Abbas University-Setif, Algeria Electric Power Systems Research 79 (2009) 1097–1104*.
-

Résumé :

Ce travail est présenté une étude de dépollution des réseaux électriques par le filtre actif triphasé. Cette pollution est due à l'utilisation croissante des convertisseurs de puissance pour leur efficacité d'avoir diverses formes d'énergie ainsi qu'à la facilité de leur contrôle. Cependant, ces derniers absorbent des courants non sinusoïdaux et introduisent de ce fait des pollutions harmoniques sur les courants et les tensions des réseaux de distribution électrique. Les harmoniques engendrées par ces charges circulent dans les réseaux électriques et peuvent perturber le fonctionnement normal de certains équipements électriques voire même engendrer leur destruction. Une étude comparative a été menée (la méthode linéaire *IP* et la méthode non-linéaire *fuzzy logiq*) à l'aide du logiciel MATLAB/Simulink afin d'améliorer les performances de filtrage en minimisant la complexité de la commande et en réduisant l'erreur de tension du bus continue, en se basant sur les critères de la simplicité d'implémentation, la stabilité et la robustesse de la commande en régimes statique et dynamique. Finalement Les résultats des simulations obtenues montrent que le système connecté au réseau à l'aide de notre commande offre des bonnes performances selon les normes internationales **IEEE**.

Mots-clés : Pollution harmonique, puissance réactive, filtre actif parallèle (FAP), intégrateur proportionnel (IP).

Abstract:

This work is presented a study of depollution of electrical networks by the three-phase active filter. This pollution is due to the increasing use of power converters for their efficiency to have various forms of energy and the ease of their control. However, these converters absorb non-sinusoidal currents and therefore introduce harmonic pollution on the currents and voltages of electrical distribution networks. The harmonics generated by these loads circulate in the electrical networks and can disturb the normal operation of certain electrical equipment or even cause their destruction. A comparative study was conducted (linear IP method and nonlinear fuzzy logiq method) using MATLAB/Simulink software in order to improve the filtering performance by minimizing the complexity of the control and reducing the DC bus voltage error, based on the criteria of simplicity of implementation, stability and robustness of the control in static and dynamic modes. Finally, the simulation results obtained show that the system connected to the network using our control offers good performances according to the IEEE international standards.

Key-words: Harmonic pollution, reactive power, parallel active filter (PAF), proportional integrator (PI).

ملخص :

ويقدم هذا العمل دراسة عن مكافحة تلوث شبكات الكهرباء بواسطة *filtre actif triphasé*. ويعزى هذا التلوث إلى الاستخدام المتزايد لمحولات الطاقة من أجل كفاءتها في الحصول على أشكال مختلفة من الطاقة فضلا عن سهولة السيطرة عليها. ومع ذلك، فإنها تمتص التيارات غير الجيبية وبالتالي إحداث تلوث متناسق على التيارات والتوترات لشبكات توزيع الكهرباء. وتتداول المنسوجات الناتجة عن هذه الشحنات في الشبكات الكهربائية ويمكن أن تعطل التشغيل العادي لبعض المعدات الكهربائية أو حتى تسبب تدميرها. وقد أجريت دراسة مقارنة (المرشح النشط المتوازي (FAP)، التكامل النسبي (IP)) بواسطة MATLAB / Simulink Software لتحسين أداء الترشيح عن طريق التقليل إلى أدنى حد من تعقيد التحكم والحد من خطأ حافلة دي سي، استنادا إلى معايير بساطة التنفيذ والاستقرار وقوة التحكم في الأنظمة الثابتة والديناميكية. وأخيرا تبين نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها أن النظام المتصل بالشبكة الذي يستخدم طلبنا يوفر أداء جيدا وفقا للمعايير الدولية لشبكة المعلومات والاتصالات.

الكلمات المفتاحية: التلوث التوافقي، القدرة التفاعلية، المرشح النشط المتوازي (FAP)، التكامل النسبي (IP).