

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : « Electrotechnique »

Option : « Réseau électrique et Réseau électrique intelligent »

préparé au Département de Génie Electrique et Electronique (GEE)

et présenté par

Ikhlas Hanane El korso et Islem Boutchiche

Intitulé du mémoire

Étude et simulation un filtre active parallèle dans un réseau triphasé intégrant une éolienne

soutenu publiquement le 21 Juin 2015 devant la commission d'examen
composée de :

A.KHAROUS	Président	M.C.A	U.A.B - Tlemcen
M.A.BRIKCI NIGASSA	Encadreur	M.A.A	U.A.B - Tlemcen
M.C. BENHABIB	Examinatrice	M.C.B	U.A.B - Tlemcen
S. CHAKROUN	Examineur	M.C.B	U.A.B - Tlemcen

Année universitaire 2014 - 2015

Dedicaces 1

JE dédie ce travail :

- A mes Cher parents, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements.
- A mon mari Djelloul qui m'a soutenue tout le long de ce travail.
- A mes sœurs Wâfaa Nesrine et mon frère Youcef.
- A ma belle-famille Hadj Kamel Nadjia Imene et Nesrine.
- A toutes mes Amies, ainsi qu'à toutes les personnes que je connais de près ou de loin.
- A mes collègues étudiants de la promotion REREI.
- aux martyrs de la lutte de libération nationale qui par leur sacrifice ont permis à nos générations d'accéder à la liberté et à la science.

Ikhlas Hanane El korso
Tlemcen, le 21 juin 2015

JE dédie ce travail :

- A ma Cher Maman, pour son soutien inconditionnel.
- A mon père, pour leur encouragement.
- A mes frères Abdelkadar ,Mouad et Yasser .
- A la mémoire de mes grands parent.
- A mes Tante.
- A mes amis et mes Collègues étudiant de la promotion REREI.

Islam Boutchiche
Tlemcen, le 21 juin 2015

Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'études de master au Département de Génie Électrique et Électronique de la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à : M.A.BRIKCI NIGASSA qui nous a encadrés durant tout le long de ce travail, pour sa disponibilité et ses conseils avisés qui nous a permis de mener à bien ce mémoire.

Nous sommes particulièrement sensibles à l'honneur que nous a fait M.C. BELHABIB de présider le jury de ce mémoire.

Nous tenons également à adresser nos remerciements à S. BOURI et A.KHAROU et tous deux maîtres assistants à l'université *A bou Beker Bel-kaid*, pour avoir accepté d'être examinateurs de ce travail .

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidés et donc ont contribué au succès de ce travail.

Ikhlas Hanane El korso & Islem Boutchiche
Tlemcen, le 22 juin 2015

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
GLOSSAIRE	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I ÉTUDE ET SIMULATION D'UNE SOURCE ALIMENTENT UNE CHARGE RL EN PARALLÈLE AVEC LA MADA	4
I.1 INTRODUCTION	5
I.2 MODÉLISATION DE LA MADA	5
I.2.1 Description du système	5
I.2.2 Description de la charge non linéaire	6
I.3 FONCTIONNEMENT ET MODÉLISATION DE LA MADA	8
I.3.1 Fonctionnement de la MADA	8
I.3.2 Fonctionnement en mode génératrice hypo synchrone	9
I.3.3 Fonctionnement en mode génératrice hyper synchrone	9
I.4 MODÈLE DE LA MADA DANS LE REPÈRE DE PARK	10
I.4.1 Commande directe (Mode continu)	12
I.5 COMMANDE DU SYSTÈME ÉOLIEN À VITESSE VARIABLE BASÉ SUR UNE MADA	13
I.5.1 Architecture du dispositif de commande	13
I.5.2 Contrôle du courant par M.L.I	13
I.5.3 Régulateur de type PI :	15
I.5.4 Calculs du régulateur :	15
I.5.5 Régulation de vitesse :	16
I.5.6 Régulation de la tension du bus continue :Uds	16
I.6 REDRESSEUR À MLI DE TENSION	17
I.7 RÉSULTAT DE SIMULATION DE LA MADA	18
I.7.1 Résultat de simulation avec régulateur PI	18
I.8 CONCLSION	24
II ÉTUDE ET SIMULATION DE LA SOCIATION D'UN FAP A UN RÉSEAU DE PUISSANCE	25

II.1	INTRODUCTION	26
II.2	STRUCTURE DU FILTRE ACTIVE DE PUISSANCE	26
II.3	ONDULEURS	26
II.3.1	Présentation des stratégies de commande	27
II.4	MÉTHODES DE COMMANDE	28
II.4.1	Commande directe :	28
II.5	STRATÉGIE DE COMMANDE INDIRECTE	30
II.5.1	Méthode basée sur les puissances réelle et imaginaire instantanées :	30
II.5.2	Principe de fonctionnement de la p.L.L	32
II.5.3	Dimensionnement de l'inductance L_f	32
II.5.4	Dimensionnement des condensateurs	34
II.5.5	Commande par hystérésis	35
II.6	SIMULATION DE L'ENSEMBLE CHARGE NON-LINÉAIRE - FAP	35
II.6.1	la commande directe	36
II.6.2	la commande indirecte	39
II.7	CONCLUSION	42
ÉTUDE ET SIMULATION DU SYSTÈME ÉQUILIBRÉ		44
III. 1	INTRODUCTION	45
III. 2	DESCRIPTION DU SYSTÈME À TRAITÉ	46
III. 3	RÉSULTATS DES SIMULATIONS	46
III 3.1	Système sans filtre active parallèle :	46
III 3.2	Système avec filtre active parallèle :	48
III 3.2-a	Stratégie de commande directe p-q	48
III 3.2-b	Stratégie de commande indirecte	53
III. 4	CONCLUSION GÉNÉRALE	58
ÉTUDE ET SIMULATION DU SYSTÈME DÉSÉQUILIBRÉ		59
IV. 1	INTRODUCTION	60
IV 2	DESCRIPTION DU SYSTÈME TRAITÉ	61
IV. 3	R.ÉSULTATS DES SIMULATIONS	61
IV. 3.1	Système sans filtre active parallèle	61
IV. 3.2	Système avec filtre active parallèle	63
IV. 3.2-a	Stratégie de commande directe	63
IV.4	CONCLUSION	75
CONCLUSION GÉNÉRALE		76
BIBLIOGRAPHIE		81
ANNEXE A : CONCEPTION DES CARTES		1
A.1	RÉGULATEUR DE TYPE PI	1
A.2	RÉGULATION DE VITESSE	1
A.3	RÉGULATION DE LA TENSION DU BUS CONTINUE :UDS	1
ANNEXE B : DOCUMENTATION TECHNIQUE		3

TABLE DES FIGURES

I.1	système éolien à vitesse variable basé sur une MADA	5
I.2	Éolienne basée sur une MADA connectée au réseau	6
I.3	Schéma de charge non linéaire alimentant une charge RL connectée au réseau triphasé à trois fils	7
I.4	Courant de ligne généré par la charge non-linéaire de type RL et son spectre harmonique.	7
I.5	Fonctionnement en mode génératrice hypo synchrone	9
I.6	Fonctionnement en mode génératrice hyper synchrone	10
I.7	Angles de Park des grandeurs statoriques et rotoriques.	11
I.8	Schéma bloc de la commande directe.	12
I.9	Architecture de commande du système éolien.	13
I.10	Schéma synoptique d'un MLI.	14
I.11	M.L.I à échantillonnage naturel	14
I.12	Principe d'un régulateur PI	15
I.13	Boucle de régulation d'une MADA avec un PI en commande direct	15
I.14	Schémas d'un régulateur PI de vitesse	16
I.15	Commande en boucle fermée avec régulateur PI	17
I.16	Topologie d'un redresseur triphasé de tension	17
I.17	Variation des puissances active et réactive avec régulateur PI	18
I.18	Variation du courant statorique I_s , la vitesse ω_m avec régula- teur PI	19
I.19	évolution des paramètre de la commande coté MADA a $t = 2s$ (a) : $P(W)=f(t)$, (b) : $Q(VAR) =f(t)$, (c) : $I_s(A) =f(t)$, (d) : ω_m (rad/s) =f(t)	20
I.20	évolution des paramètre de la commande coté MADA a $t = 4s$ (a) : $P(W)=f(t)$, (b) : $Q(VAR) =f(t)$, (c) : $I_s(A) =f(t)$, (d) : ω_m (rad/s) =f(t)	21
I.21	évolution des paramètre de la commande coté MADA a $t = 6s$ (a) : $P(W)=f(t)$, (b) : $Q(VAR) =f(t)$, (c) : $I_s(A) =f(t)$, (d) : ω_m (rad/s) =f(t)	23
II.1	Onduleur de tension triphasée	27
II.2	commande directe d'un filtre actif de puissance	28
II.3	commande indirecte d'un filtre actif de puissance	28
II.4	Méthode d'identification des puissances instantanées	29
II.5	Principe de commande des courants par hystérésis	35

II.6	les tension de réseau V_{123}	35
II.7	les courant de charge I_{ch123}	36
II.8	Compensation des courants harmoniques d'un pont redresseur alimentant une charge R-L en utilisant un filtre actif de puissance à trois bras et une commande directe p-q	37
II.9	Résultat de simulation des courant de source avant et après filtrage avec leur FFT	38
II.10	Evolution de la tension V_{dc}	39
II.11	Compensation des courants harmoniques d'un pont redresseur alimentant une charge R-L en utilisant un filtre actif de puissance à trois bras et une commande indirecte p-q	40
II.12	Résultat de simulation des courant de source avant et après filtrage avec leur FFT	41
II.13	Evolution de la tension V_{dc}	42
III.1	Représentation du model de simulation(Réseau-Filtre actif parallèle-charge non linéaire-MADA)	45
III.2	Résultant des simulations du système équilibré (filtre actif de puissance réseau électrique - charge non-linéaire MADA) (a) :Les tentions de source V_{123} de système (b) :courants de charge I_{ch123} de système (c) :courant de la source I_{s123}	47
III.3	Résultant des simulations du système équilibré de la commande directe	48
III.4	Résultats de simulations des courants de sources avant et après filtrage THD	49
III.5	Evolution de la tension V_{dc}	50
III.6	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	51
III.7	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive	52
III.8	Résultant des simulations du système équilibré de la commande indirecte	53
III.9	Résultats de simulations des courants de sources avant et après filtrage THD	54
III.10	Evolution de la tension V_{dc}	55
III.11	linfluence de la puissance réactive sur la puissance active	56
III.12	linfluence de la puissance active sur la puissance réactive	57
IV.1	Représentation du model de simulation(Réseau-Filtre actif parallèle-charge non linéaire déséquilibré-MADA)	60
IV.2	Résultant des simulations du système équilibré (filtre actif de puissance réseau électrique - charge non-linéaire déséquilibré MADA) (a) :Les tentions de source V_{123} de système (b) :courants de charge I_{ch123} de système (c) :courant de la source I_{s123}	62

IV.3	Résultant des simulations du système déséquilibré des courant de source avant et après filtrage avec son THD	63
IV.4	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive	64
IV.5	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	65
IV.6	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	66
IV.7	Résultant des simulations du système déséquilibré des courant de source avant et après filtrage avec son THD	67
IV.8	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive	68
IV.9	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	69
IV.10	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	70
IV.11	Résultant des simulations du système déséquilibré des courant de source avant et après filtrage avec son THD	71
IV.12	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive	72
IV.13	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	73
IV.14	Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active	74
IV.15	Evolution de la tension Vdc	75
A.1	Principe d'un régulateur PI	1
A.2	Schémas d'un régulateur PI de vitesse	1
A.3	Commande en boucle fermée avec régulateur PI	2
B.1	Boucle de régulation d'une MADA avec un PI en commande direct	3

Glossaire

Acronyme	Signification
PI	Proportional Integral
IGBT	Insolated gate bipolar transistor
MADA	Machine asynchrone double alimentation
FTBO	Fonction de transfert en boucle ouverte
FTBF	Fonction de transfert en boucle fermée
THD	Total harmonique distorsion
FAP	Filtre actif parallèle
MLI	Modulation de largeur d'impulsion
CNL	Charge non linéaire
DFIG	Doubly fed induction generator

Introduction générale

Les réseaux électrique actuel évoluent pour devenir une combinaison de plusieurs micro-sources inter-connectées, combinant des sources d'énergie solaire, éoliennes, ainsi que d'autres sources d'énergie renouvelable. L'utilisation de telle micro-sources dans le réseau électrique pose encore des problèmes dus leur nature intermittente. Les énergies renouvelables promettent de répondre à la demande croissante en énergie tout en réduisant les émissions de carbone. L'utilisation des énergies renouvelables pour satisfaire toute la demande d'électricité au même coût que la parité réseau n'est pas encore possible à cause des coûts élevés d'investissement, d'où la nécessité de trouver un compromis entre l'utilisation de deux sources d'énergie, l'une renouvelable et l'autre non renouvelable, ce qui permettrait aux consommateurs d'avoir l'électricité à un coût abordable tout en réduisant les émissions de carbone. Cette théorie a fait ses preuves dans différents champs d'application et commence à être vue comme un des cadres les plus prometteurs pour résoudre ce type de problème dans le contexte des réseaux électriques intelligents (smart grille). Les approches évolutionnaires ont été largement déployées pour résoudre et optimiser des problèmes scientifiques complexes. L'utilisation des micro-sources devient une nécessité non seulement pour répondre à la demande en électricité, mais aussi pour réduire les émissions de carbone. Pourtant, il n'existe pas encore un mécanisme efficace de distribution de l'électricité.

Les réseaux électriques sont de plus en plus perturbés due essentiellement à une utilisation croissante dans l'industrie de systèmes commandés à base d'électronique de puissance. Ce qui engendre au niveau des charges (utilisateurs) un accroissement continu de perturbations, de taux d'harmonique avec d'importants appels de puissance réactive. Les différentes perturbations qu'elles soient de nature courant ou tension influencent de façon négative sur le fonctionnement des charges allant du simple échauffement à la destruction totale.

Plusieurs solutions ont été déjà proposées dans la bibliographie pour la dépollution des réseaux électriques. Parmi-elles, nous citerons les compensateurs actifs parallèles, série et la combinaison parallèle-série active (aussi appelée UPQC).

Le compensateur actif parallèle est employé pour compenser les perturbations de natures courantes (déséquilibré et les courants harmoniques de même que la puissance réactive). L'exemple de la structure de l'UPQC correspond à une solution universelle de compensation pour tous les types de perturbation de courant et de tension que l'on observe sur le réseau. Sachant que ces solutions doivent se soumettre aux limites physiques et technologiques inhérentes aux dispositifs de filtrage actif.

Parmi les sources énergies renouvelables, l'énergie éolienne est celle qui a le potentiel énergétique le plus élevé. Selon la puissance installée, les éoliennes installées dans le monde s'accroissent tous les ans, les systèmes éoliens ne peuvent plus se comporter comme uniquement des générateurs de puissance active dans les réseaux de distribution ou de transport. En outre, ils seront amenés certainement, à court terme, à produire des services systèmes (compensation de la puissance réactive) comme les alternateurs classiques de centrales et à participer à l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique (filtrage des courants harmoniques en particulier). Suite à une défaillance d'origine électrique les différents gestionnaires de réseaux ne pourront plus perdre tout ou une partie de la puissance installée afin d'assurer la stabilité du réseau. C'est pour cela, suite à un défaut électrique sur le réseau ou à un défaut sur un des éléments de la chaîne de conversion électromécanique (interrupteurs de puissance, capteurs), que les systèmes éoliens devront certainement assurer, une continuité à long terme de service.

Pour le moment, les systèmes les plus utilisés dans les fermes terrestres d'éoliennes sont les Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA). Son principal intérêt, est d'avoir des convertisseurs triphasés statiques dimensionnés sur une partie de la puissance nominale de la MADA, qui en été plus performante économiquement par rapport à d'autres solutions possibles de conversion électromécanique (machine synchrone à aimants permanents par exemple).

Donc dans cette mémoire, on vise à présenter une étude détaillée du concept de filtrage actif parallèle et à montrer ses contributions dans l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique influencée par le raccord avec des charges non linéaires et une MADA. Pour ce faire, on a réparti le manuscrit en quatre chapitres : . Le 1er chapitre comportera une étude de la MADA avec la commande directe . Le 2ème chapitre contiendra une étude de deux commandes des filtres actifs parallèles à 3 bras . Le 3ème chapitre présentera l'intégration d'un filtres actifs parallèles à un réseau électrique avec MADA . Le 4ème chapitre portera sur les interprétations avec étude comparative.

Chapitre I

Étude et simulation d'une source alimentent une charge RL en parallèle avec la MADA

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	5
I.2	MODÉLISATION DE LA MADA	5
I.2.1	Description du système	5
I.2.2	Description de la charge non linéaire	6
I.3	FONCTIONNEMENT ET MODÉLISATION DE LA MADA	8
I.3.1	Fonctionnement de la MADA	8
I.3.2	Fonctionnement en mode génératrice hypo synchrone	9
I.3.3	Fonctionnement en mode génératrice hyper synchrone	9
I.4	MODÈLE DE LA MADA DANS LE REPÈRE DE PARK	10
I.4.1	Commande directe (Mode continu)	12
I.5	COMMANDE DU SYSTÈME ÉOLIEN À VITESSE VARIABLE BASÉ SUR UNE MADA	13
I.5.1	Architecture du dispositif de commande	13
I.5.2	Contrôle du courant par M.L.I	13
I.5.3	Régulateur de type PI :	15
I.5.4	Calculs du régulateur :	15
I.5.5	Régulation de vitesse :	16
I.5.6	Régulation de la tension du bus continue :Uds	16
I.6	REDRESSEUR À MLI DE TENSION	17
I.7	RÉSULTAT DE SIMULATION DE LA MADA	18
I.7.1	Résultat de simulation avec régulateur PI	18
I.8	CONCLSION	24

I.1 Introduction

Dans le cadre de nos travaux, nous avons choisi d'étudier une éolienne à vitesse variable basée sur une génératrice électrique de type machine asynchrone à rotor bobiné, de type Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA).

On se propose dans ce premier chapitre de traiter le principe de fonctionnement, modélisation et commande d'un système éolien à vitesse variable basé sur une MADA.

Dans un premier lieu, nous expliquerons la commande choisie qui nous permet de contrôler indépendamment (découpler) les puissances actives et réactives. Il est à noter que la partie réservée à la turbine ne sera pas développée notre cas d'étude intégrera une machine asynchrone à double alimentation, connecté à un réseau électrique triphasé alimentant une charge non linéaire.

Dans un second lieu, nous détaillerons les différentes lois de commande permettant un fonctionnement de l'éolienne et un contrôle indépendant des puissances actives et réactives.

La dernière partie illustrera les résultats de simulation et en validant ainsi les commandes établies.

I.2 Modélisation de la MADA

I.2.1 Description du système

Le système éolien à vitesse variable basé sur une MADA, est illustré à la figure I-1.

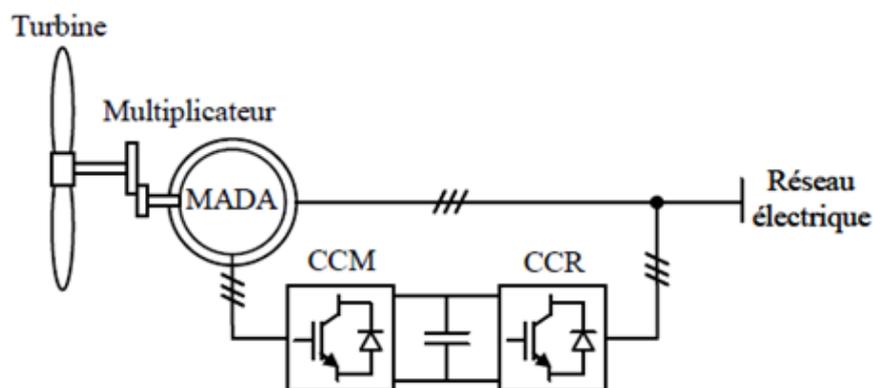


FIGURE I.1 – système éolien à vitesse variable à base d'une MADA

La turbine, via un multiplicateur, entraîne la MADA, laquelle est raccordée au réseau électrique directement par le stator mais également au travers de convertisseurs statiques triphasés à IGBT (Insulated Gate bipolar transistor) par le rotor. Ces convertisseurs cotés MADA et réseau, notés respectivement CCM et CCR dans la suite de ce mémoire [28].

L'intérêt majeur de ce système éolien réside dans le fait que le CCM et le CCR, transférant la puissance de glissement et l'acheminant vers le réseau électrique, ne sont dimensionnés que pour une partie de la puissance nominale de la MADA. En effet, si nous considérons que la MADA fonctionne à puissance nominale pour un fonctionnement en mode hyper synchrone avec un glissement maximal égal à -30% , nous avons donc au maximum 25% de la puissance nominale de la machine transitant par les convertisseurs. Ceci permet de dimensionner les convertisseurs pour une puissance comprise entre 25 et 30% de la puissance nominale de la machine.

Nous présentons la MADA, qui dans un premier temps sera modélisée dans le repaire de Park en vue de présenter la commande du CCM ainsi que la commande CCR pour que notre système puisse intégrer les deux commande CCM et CCR.[2][12]

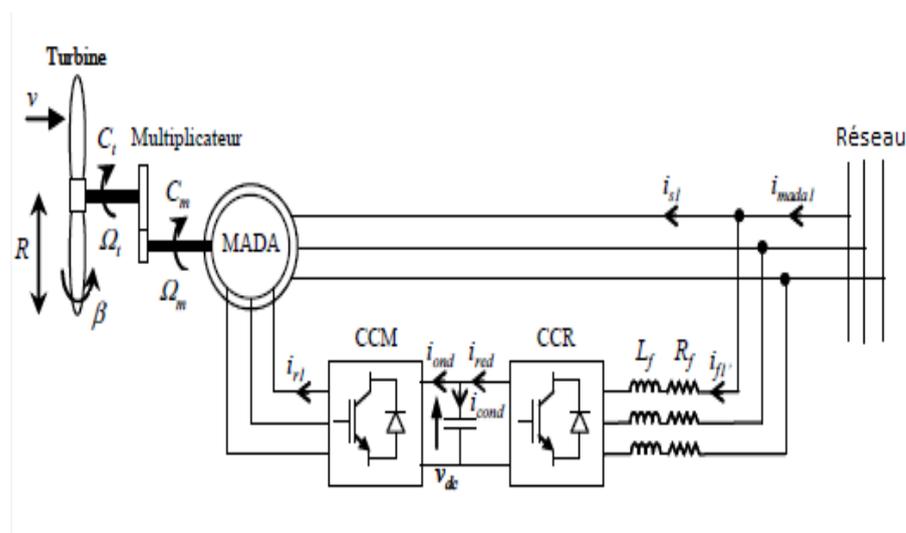


FIGURE I.2 – éolienne basée sur une MADA connectée au réseau

I.2.2 Description de la charge non linéaire

L'ensemble de notre modèle est constitué par le réseau d'alimentation et la charge polluante composée d'un redresseur triphasé débitant sur une charge R_d, L_d . Le réseau d'alimentation est assimilé à trois sources de tension sinusoïdale parfaite en série avec une inductance l_s et une résistance r_s . Une inductance additionnelle l_c est connectée à l'entrée du redresseur afin de limiter les gradients

di/dt. Nous nous sommes intéressés dans ce paragraphe à l'étude du système présenté sur la figure suivant :

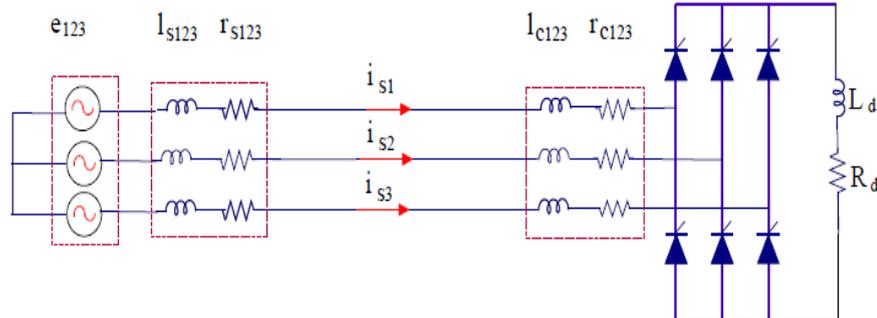


FIGURE I.3 – schéma de charge non linéaire alimentant une charge R-L connectée au réseau triphasé à trois fils

$V_s[V]$	$r_s[m\Omega]$	$l_s[\mu H]$	$r_c[m\Omega]$	$l_c[\mu H]$	$R_d[\Omega]$	$L_d[\mu H]$	$f[Hz]$
240	1.59	45.56	2.73	23.19	0.79	2.6	50

Tableau I-1 Dimensionnement de système étudié.

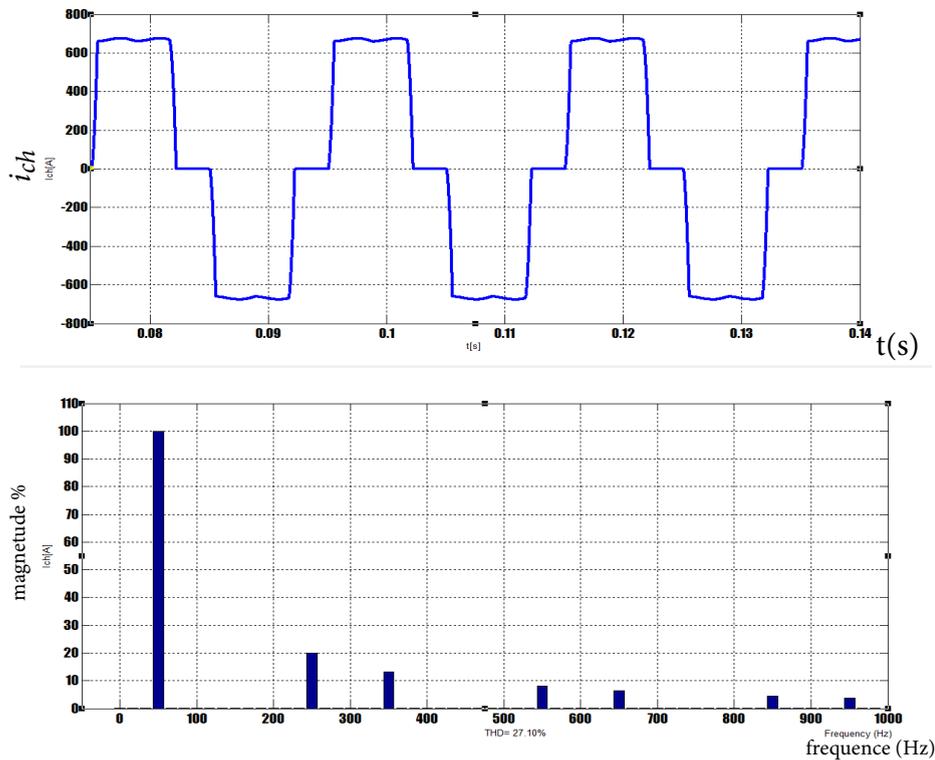


FIGURE I.4 – courant de ligne généré par la charge non-linéaire de type R-L et son spectre harmonique.

I.3 Fonctionnement et modélisation de la MADA

I.3.1 Fonctionnement de la MADA

La MADA présente un stator triphasé identique à celui d'une machine asynchrone classique en plus d'un rotor constitué d'un bobinage triphasé accessible par trois bagues munies de contacts glissants (balais). Sa robustesse est légèrement diminuée par rapport à une machine asynchrone classique à cause de ce système bague/balais.

- la puissance P est fournie au stator et traverse l'entrefer, une partie de cette puissance fournie est mécanique $[(1-g) \cdot P]$ et le reste est électrique $[g \cdot P]$ sort par les balais, ces grandeurs de fréquence variable sont transformées en énergie ayant la même fréquence que le réseau électrique et y seront réinjectées une puissance $[(1-g) \cdot P]$ par l'intermédiaire du deuxième convertisseur (onduleur).[2]

- Les bobinages du rotor sont donc accessibles grâce à un système de balais et de collecteurs.

- Une fois connecté au réseau le flux magnétique tournant à vitesse fixe apparaît au stator. Ce flux dépend de la réluctance du circuit magnétique et du nombre de spires dans le bobinage de stator et donc du courant statorique.[30] [4]

- Le flux magnétique généré par le stator crée des f.e.m dans le bobinage du rotor. Le rapport entre les f.e.m crée au rotor et au stator est tel que :

$$\frac{E_r}{E_s} = \frac{N_r}{N_s} \cdot \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \quad (\text{I.1})$$

avec :

N_r et N_s : Nombre de spires des bobinages rotorique et statorique .

E_r :f.e.m de rotor de la machine.

E_s :f.e.m de stator de la machine.

ω_s :Pulsation de synchronisme de la machine.

ω_m :Pulsation de synchronisme mécanique de la machine.

En définissant le glissement par :

$$g = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \quad (\text{I.2})$$

On obtient :

$$\frac{E_r}{E_s} = \frac{N_r}{N_s} \cdot g \quad (\text{I.3})$$

Les courants au stator et au rotor sont définis par :

$$\frac{i_r}{i_s} = \frac{N_s}{N_r} \quad (\text{I.4})$$

Donc, le rapport entre la puissance rotorique p_r et la puissance statorique p_s devient :

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{i_r}{i_s} \cdot \frac{E_r}{E_s} = g \quad (\text{I.5})$$

avec :

i_r : Courant rotorique de la machine.

i_s : Courants statorique de la machine.

P_r : Puissance rotorique de la machine de la machine électrique.

P_s : Puissance statorique de la machine de la machine électrique.

La pulsation au stator (imposée par le réseau) étant supposée constante, il est donc possible de contrôler la vitesse de la génératrice en agissant simplement sur la puissance transmise au rotor via le glissement g . [17]

I.3.2 Fonctionnement en mode génératrice hypo synchrone

- La puissance est fournie par le réseau au stator.
- La puissance de glissement est renvoyée au réseau.
- La vitesse de rotation est inférieure au synchronisme.
- La machine asynchrone à rotor bobiné peut fonctionner ainsi mais la puissance de glissant est alors dissipée en pertes joule dans le rotor .[1]

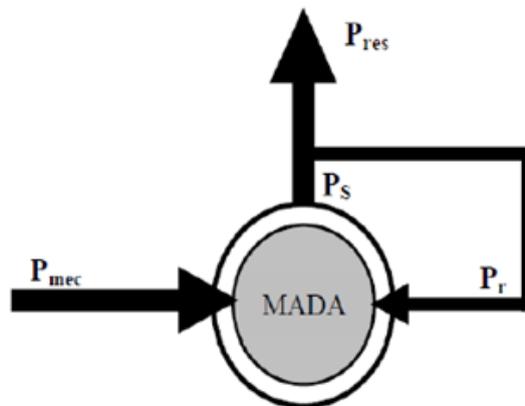


FIGURE I.5 – fonctionnement en mode génératrice hypo synchrone

I.3.3 Fonctionnement en mode génératrice hyper synchrone

- La puissance est fournie au réseau par le stator.
- La puissance de glissement est récupérée via le rotor pour être réinjectée au réseau.
- La vitesse de la machine est au-dessus de la vitesse de synchronisme.
- La machine asynchrone à rotor bobiné peut fonctionner dans les mêmes conditions mais la puissance de glissement est alors dissipée en pertes joule dans le rotor. [37]

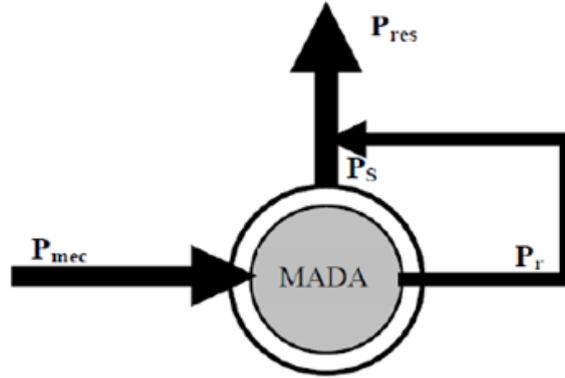


FIGURE I.6 – fonctionnement en mode génératrice hyper synchrone

I.4 Modèle de la MADA dans le repère de Park

Dans le but d'établir une commande vectorielle de la MADA, nous rappelons ici sa modélisation dans le repère de Park. Dans cette étude, nous ferons apparaître le rapport de transformation m dans les équations. [45] Hypothèses simplificatrices classiques suivantes :

- entrefer constant,
- effet des encoches négligé,
- distribution spatiale sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer,
- influences de l'effet de peau et de l'échauffement non prises en compte,
- circuit magnétique non saturé et à perméabilité constante,
- pas de régime homopolaire puisque le neutre n'est pas connecté.

Après l'application de transformation de Park on trouve Le système d'équations qui représente le modèle de la machine asynchrone à double alimentation dans le repère (d, q) lié au champ tournant. [37] [5]

Les équations du modèle mathématique peuvent alors être exprimées sous la forme indiquée par les relations suivantes :

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \cdot \varphi_{sq} \\ v_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \cdot \varphi_{sd} \\ v_{rd} = R_s \cdot i_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_{gl} \cdot \varphi_{rq} \\ v_{rq} = R_s \cdot i_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \omega_{gl} \cdot \varphi_{rd} \end{cases} \quad (\text{I.6})$$

Pour les grandeurs statoriques :

$$\theta = \theta_s \implies \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s \quad (\text{I.7})$$

Et pour les grandeurs rotorique :

$$\theta = \theta_s - \theta_m \implies \frac{d\theta}{dt} = \frac{d(\theta_s - \theta_m)}{dt} = \omega_s - \omega_m \quad (\text{I.8})$$

Les flux statoriques et rotoriques, en faisant apparaître le rapport de transformation, s'expriment par :

Equations magnétiques des flux statoriques

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s \cdot i_{sd} + M \cdot i_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s \cdot i_{sq} + M \cdot i_{rq} \end{cases} \quad (\text{I.9})$$

Equations magnétiques des flux rotoriques

$$\begin{cases} \varphi_{rd} = L_r \cdot i_{rd} + M \cdot i_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + M \cdot i_{sq} \end{cases} \quad (\text{I.10})$$

Où :

$$\begin{cases} L_s = L_{fs} + L_m \\ L_r = L_{fr} + m^2 \cdot L_m \end{cases} \quad (\text{I.11})$$

Les angles de Park relatifs aux grandeurs statoriques et rotoriques sont liés d'après la figure 1 – 7 par la relation :

$$\theta_s = \theta_e + \theta_r \quad (\text{I.12})$$

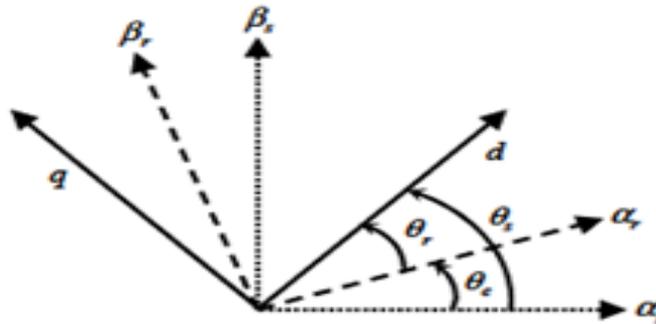


FIGURE I.7 – angles de Park des grandeurs statoriques et rotoriques.

Les puissances actives et réactives statoriques et rotoriques s'expriment par :

$$\begin{cases} P_s = v_{sd} \cdot i_{sd} + v_{sq} \cdot i_{sq} \\ Q_s = v_{sq} \cdot i_{sd} - v_{sd} \cdot i_{sq} \\ P_r = v_{rd} \cdot i_{rd} + v_{rq} \cdot i_{rq} \\ Q_r = v_{rq} \cdot i_{rd} - v_{rd} \cdot i_{rq} \end{cases} \quad (\text{I.13})$$

Enfin, pour compléter le modèle, la relation fondamentale de la dynamique pour les corps en rotation est ajoutée pour tenir compte de l'influence des différents couples exercés sur l'arbre du rotor :

$$C_{em} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} + f_v \cdot \Omega + C_r \quad (\text{I.14})$$

J , f_v , C_r représentant respectivement le moment d'inertie, le coefficient de frottement visqueux et le couple résistant appliqué sur l'arbre de la machine.

I.4.1 Commande directe (Mode continu)

Le principe de la commande directe des puissances est basé sur la mesure directe des puissances active et réactive qui s'effectuera par l'intermédiaire de la mesure des tensions et courants du réseau. Cette méthode permet de compenser les termes de couplage ainsi que le contrôle des tensions rotoriques.

La figure I.8 fait apparaître clairement ces termes entre les deux axes d et q. En compensant ces termes de couplage, nous verrons comment chaque axe pourra être contrôlé indépendamment avec son propre régulateur suivant l'axe q pour la commande de la puissance active et l'axe d pour la commande de la puissance réactive.

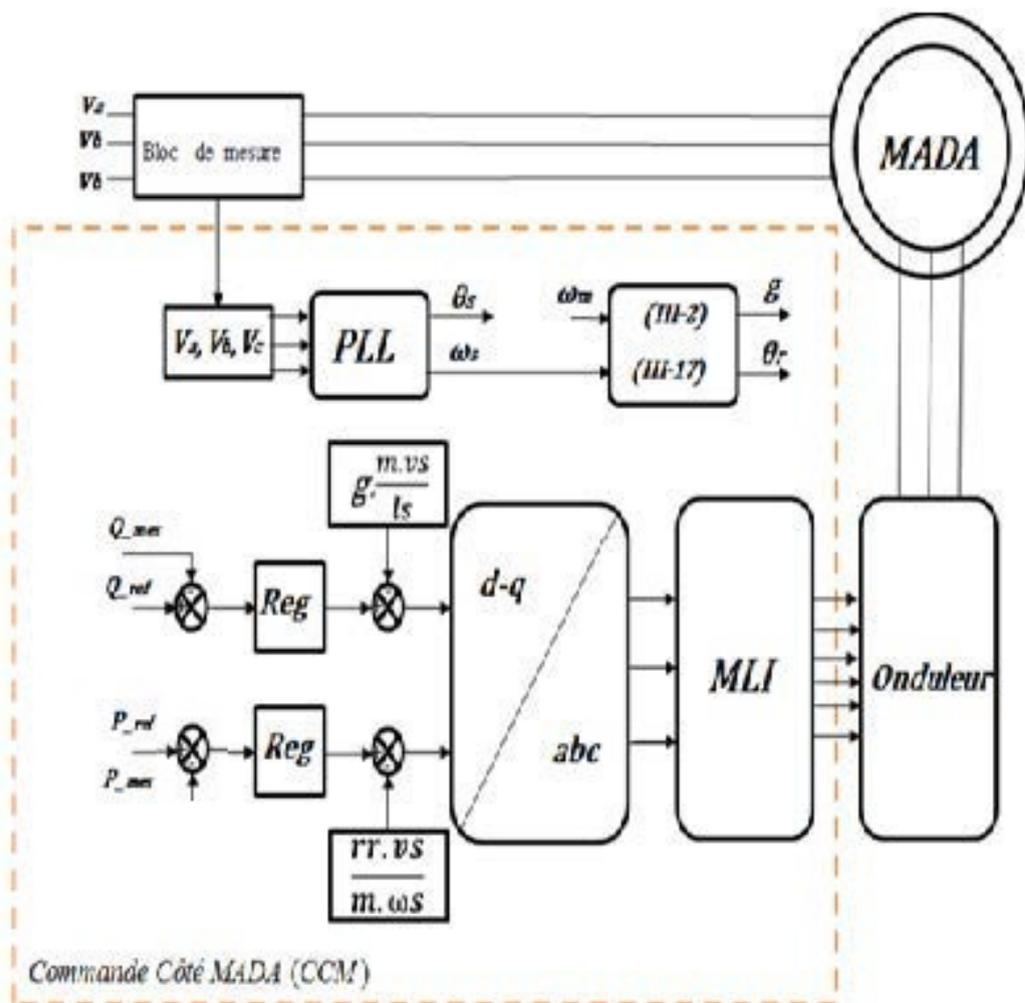


FIGURE I.8 – schéma bloc de la commande directe.

I.5 Commande du système éolien à vitesse variable basé sur une MADA

I.5.1 Architecture du dispositif de commande

La structure de cette commande est présentée par la figure 1-9. qui est basée sur le modèle triphasé de la chaîne de conversion électromécanique du système éolien.

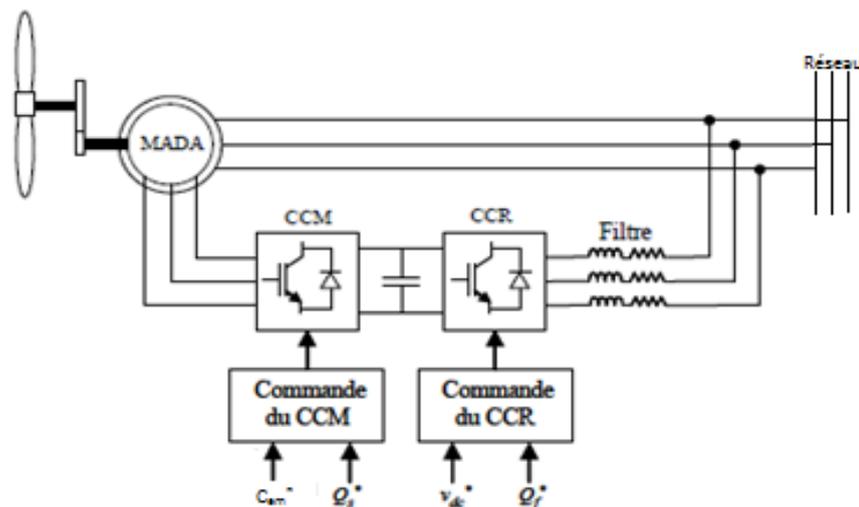


FIGURE I.9 – architecture de commande du système éolien.

D'après la figure 1-9, deux commandes détaillées par la suite sont donc nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'éolienne :

- la commande du CCM en contrôlant le couple électromagnétique et la puissance réactive statorique de la MADA,
- la commande du CCR en contrôlant la tension du bus continu et les puissances active et réactive échangées avec le réseau.

I.5.2 Contrôle du courant par M.L.I

La méthode de contrôle des courants par modulation de largeur d'impulsion (M.L.I) à partir d'une source de tension continue, consiste à imposer aux bornes de la machine des créneaux de tension de manière que la fondamentale de la tension soit le plus proche de la référence de la tension sinusoïdale.

La M.L.I. est obtenue par la comparaison de deux signaux : Un signal tri-angulaire de haute fréquence (F_p) appelé "porteuse" et un signal de référence appelé "modulatrice", de fréquence $F_m \ll F_p$. Les intersections de ces deux signaux déterminent les instants de commutation des interrupteurs de l'onduleur. figure 1.10. [27] Ces deux signaux sont définis comme étant :

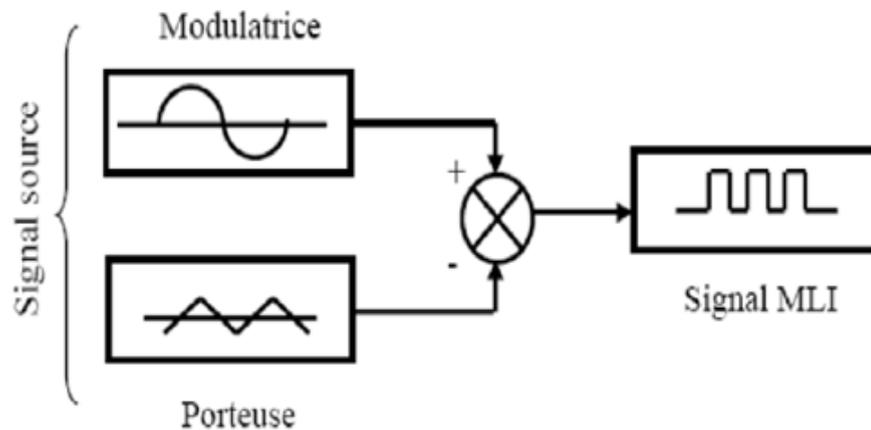


FIGURE I.10 – schéma synoptique d'une MLI.

- L'onde porteuse : qui est un signal à haute fréquence (en général, une onde triangulaire).
- L'onde modulatrice : qui est un signal image de l'onde de sortie recherchée. (En général une onde sinusoïdale).
- . Deux principaux paramètres caractérisant la MLI, sont :[14]
 - L'indice de modulation m : qui est défini comme étant le rapport de l'amplitude de l'onde modulatrice à celle de l'onde porteuse :
 - Le rapport de modulation m_r : qui est défini comme étant le rapport de la fréquence de l'onde porteuse à celle de l'onde modulatrice :

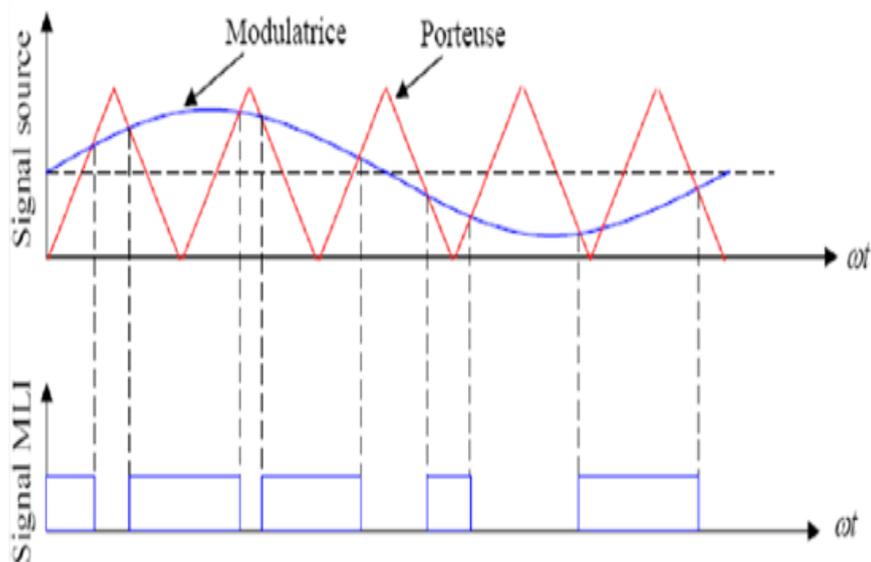


FIGURE I.11 – M.L.I à échantillonnage naturel

I.5.3 Régulateur de type PI : [22] [46]

Les régulateurs Proportionnel-Intégral « PI » sont largement utilisés dans l'industrie en raison de leur performance et de leur rapidité de calcul. Leur principe de fonctionnement est de comparer les valeurs réelles mesurées avec les valeurs de référence et de stabiliser le système à réguler.

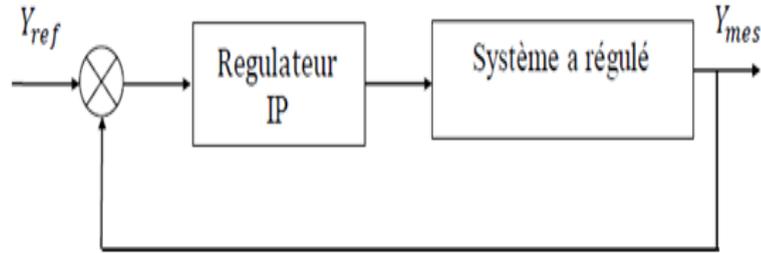


FIGURE I.12 – principe d'un régulateur PI

I.5.4 Calculs du régulateur :

Le schéma bloc de régulation de puissance active et réactive avec un régulateur PI représenté par la figure I.13.

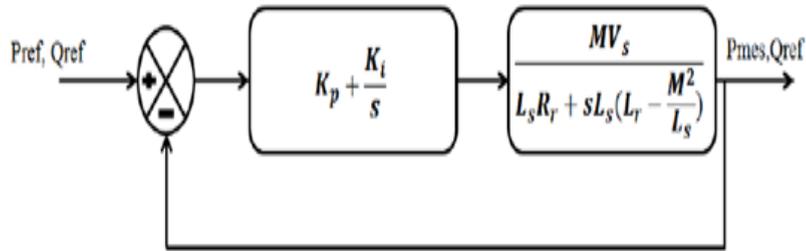


FIGURE I.13 – boucle de régulation d'une MADA avec un PI en commande directe

L'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte suivant les axes « d » et « q » avec régulateur PI est :

$$FTBO = \frac{(k_p s + K_i) MV_s}{s [L_s R_r + s L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})]} \quad (I.15)$$

$$FTBF = \frac{(k_p s + K_i) MV_s}{s L_s R_r + s^2 L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) + (k_p s + K_i) MV_s} \quad (I.16)$$

$$FTBF = \frac{(k_p s + K_i) MV_s}{s (L_s R_r + k_p MV_s) + s^2 L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) + s + K_i MV_s} \quad (I.17)$$

$$FTBF = \frac{\frac{(k_p s + K_i) MV_s}{L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})}}{s^2 + s \frac{L_s R_r + k_p MV_s}{L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})} + \frac{K_i MV_s}{L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})}} \quad (I.18)$$

(I.18) est une équation du second ordre, que nous allons identifier à l'équation (I.19) :

$$FT = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (\text{I.19})$$

Nous obtiendrons les expressions du coefficient d'amortissement et la pulsation de coupure, tel que :

$$2\xi\omega_n = \frac{L_s R_r + K_p M V_s}{L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})} \quad (\text{I.20})$$

$$L_s R_r + K_p M V_s = L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) 2\xi\omega_n \quad (\text{I.21})$$

$$K_p = \frac{L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) 2\xi\omega_n - L_s R_r}{M V_s} \quad (\text{I.22})$$

Le coefficient d'amortissement « ξ » du système en boucle fermée est donné généralement dans la bibliographie, de façon optimale au environ de 0,707 .[8]

$$\omega_n^2 = \frac{K_i M V_s}{L_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})} \quad (\text{I.23})$$

$$K_i = \frac{(L_r - \frac{M^2}{L_s}) \omega_n^2}{M V_s} \quad (\text{I.24})$$

I.5.5 Régulation de vitesse :

Le régulateur de vitesse permet de déterminer le couple de référence, afin de maintenir la vitesse correspondante.

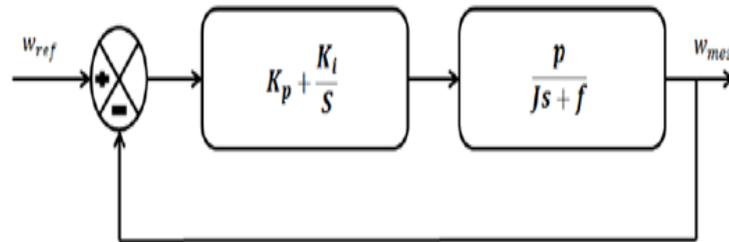


FIGURE I.14 – schémas d'un régulateur PI de vitesse

I.5.6 Régulation de la tension du bus continue :Vds

La régulation des transite de puissance permet d'imposer le courant capacitif au bus continu. Le réglage du bus continu est alors réalisé au moyen d'une boucle de régulation, permettant de maintenir une tension constante du bus continu, avec un correcteur PI générant la référence de la tension à injecté dans le condensateur C

Il est à noter que le réglage du bus continu est donc réalisé par une boucle externe de régulation.

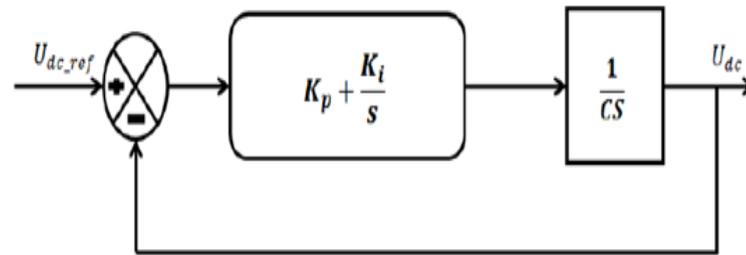


FIGURE I.15 – commande en boucle fermée avec régulateur PI

I.6 Redresseur à MLI de tension

Le redresseur à MLI de tension est basé sur une structure d'onduleur de tension représentée sur la figure 1.16. Chaque interrupteur est constitué d'un IGBT (composant commandé à l'amorçage et au blocage) et d'une diode en antiparallèle. [12]

Cet interrupteur est unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant. Ainsi, ce convertisseur de par sa structure, est réversible en courant.

Il peut donc contrôler de façon instantanée la forme d'onde des courants prélevés sur le réseau. Il alimente alors une charge (active ou passive) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant absorbé étant sinusoïdal et, éventuellement en phase avec la tension du réseau correspondante [34].

Ce redresseur à MLI permet d'atteindre un facteur de puissance très proche de l'unité, régler via la commande, la direction du flux de l'énergie réactive absorbée ou fournie.

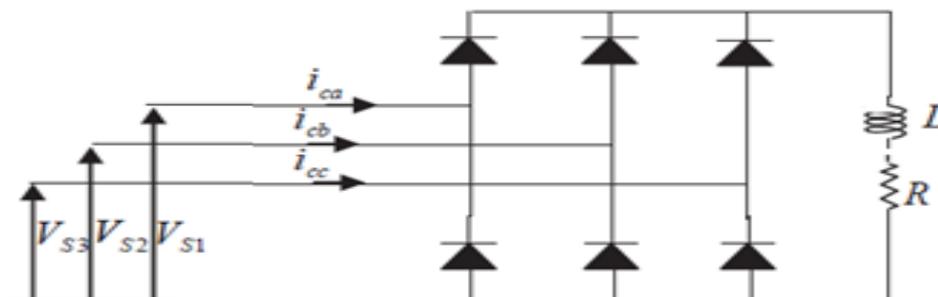


FIGURE I.16 – topologie d'un redresseur triphasé de tension

I.7 Résultat de simulation de la MADA

I.7.1 Résultat de simulation avec régulateur PI

Les résultats de simulations montrés sur les figures ci-dessous sont ceux obtenus par le modèle d'une MADA .

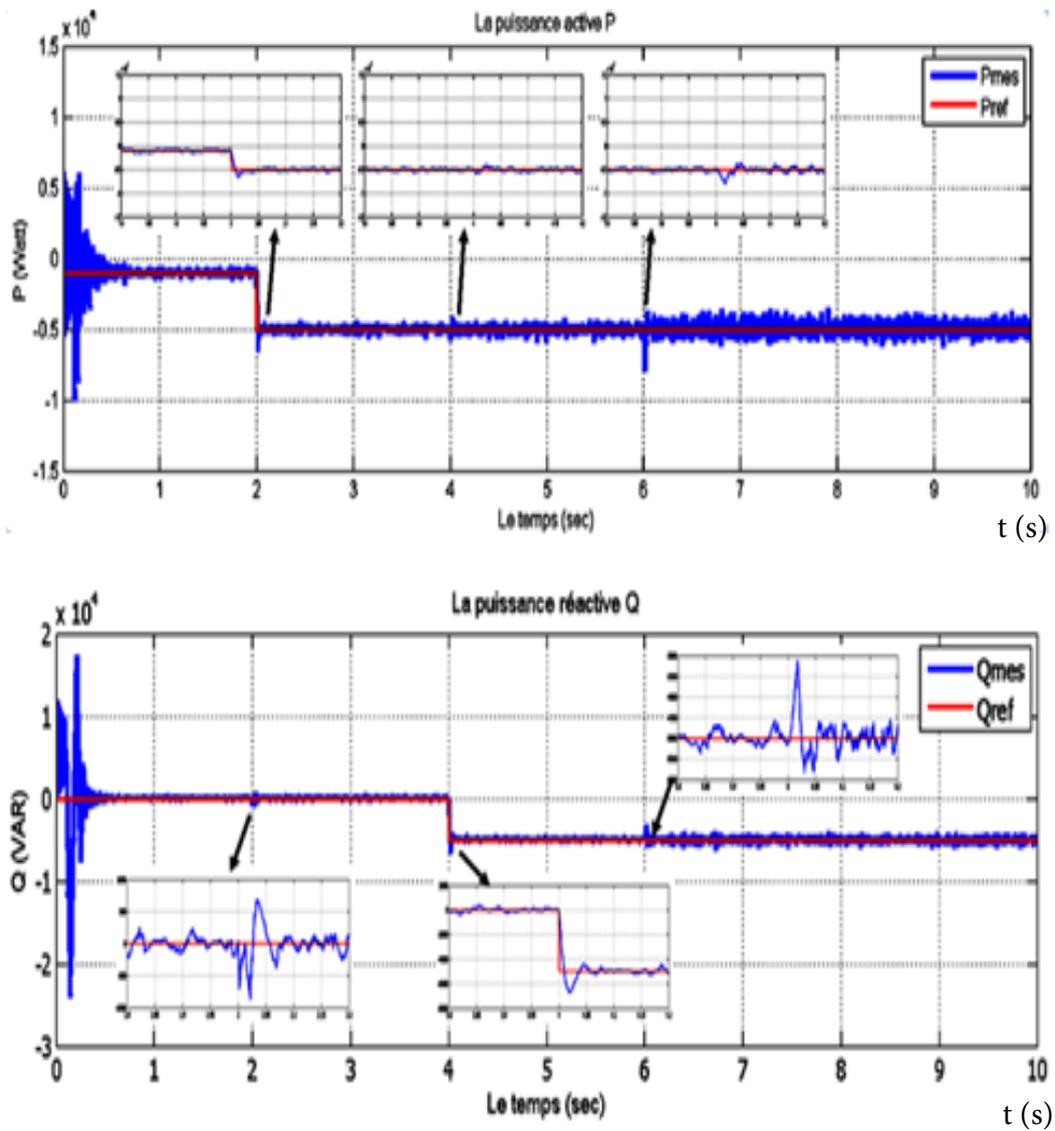
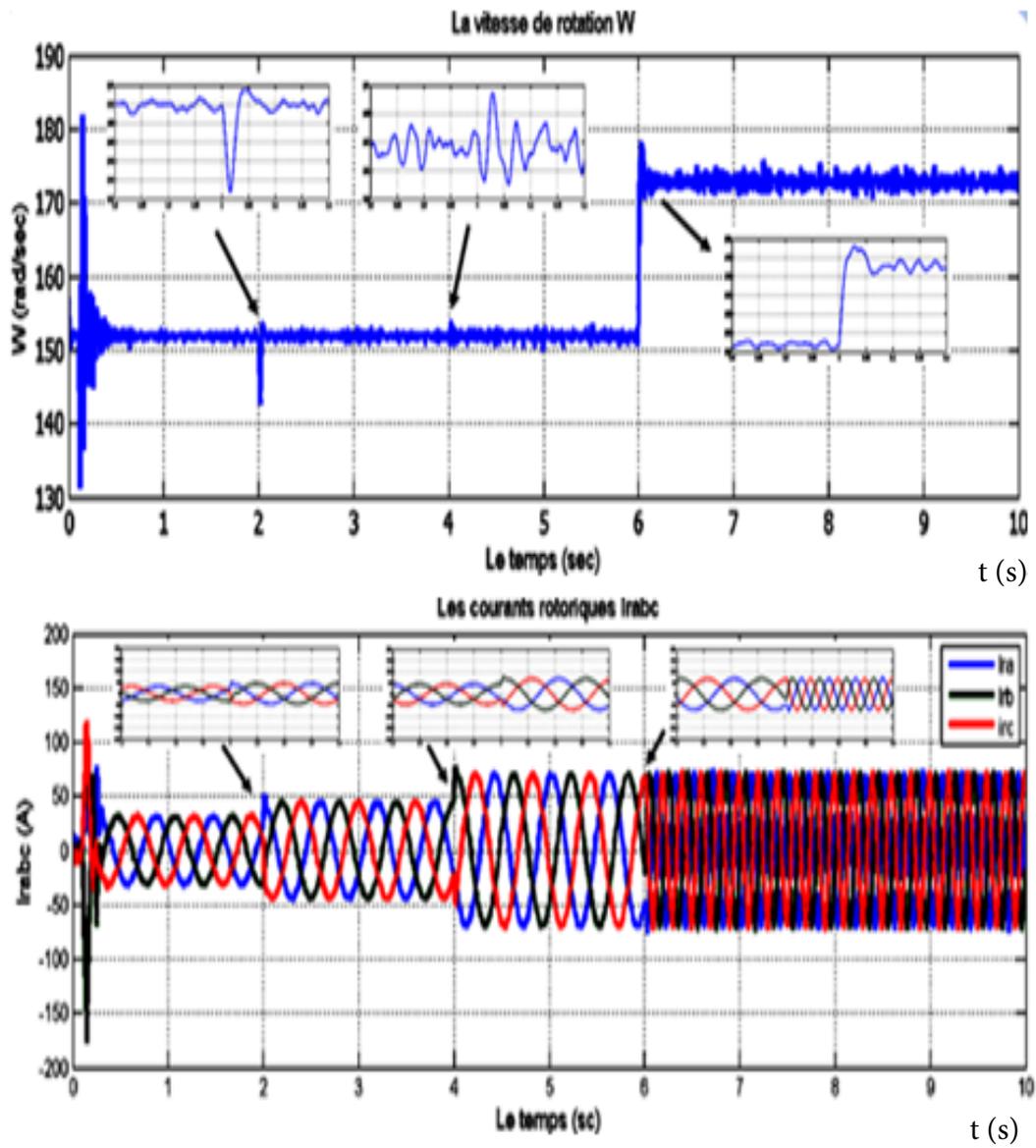


FIGURE I.17 – variation des puissances active et réactive avec régulateur PI

FIGURE I.18 – variation du courant statorique I_s , la vitesse ω_m avec régulateur PI

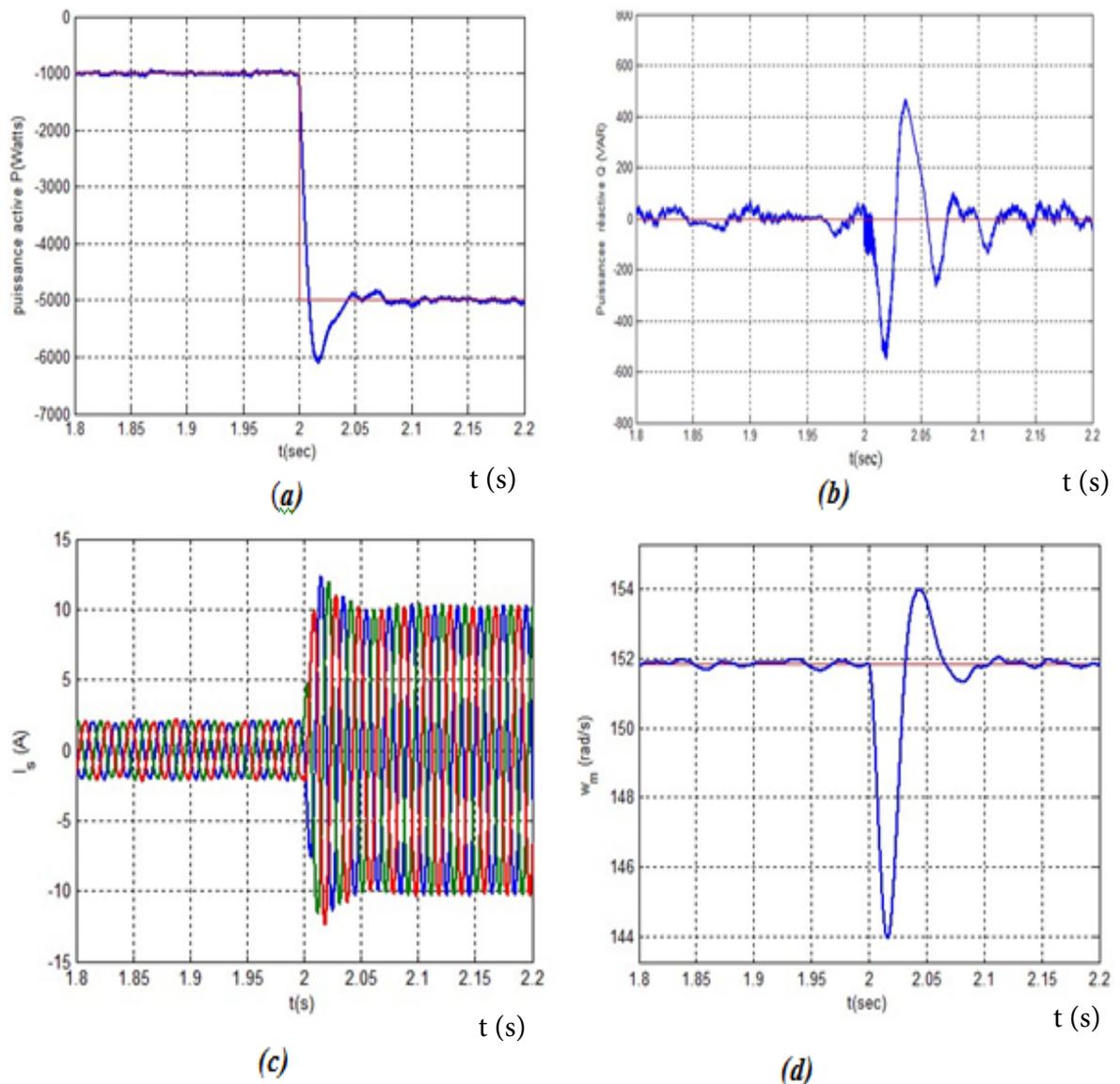


FIGURE I.19 – évolution des paramètres de la commande côté MADA à $t = 2$ s (a) : $P(W)=f(t)$, (b) : $Q(VAR) =f(t)$, (c) : $I_s(A) =f(t)$, (d) : w_m (rad/s) $=f(t)$

pour $t=2$ s.

Figure I.19 (a) : À l'application de la consigne à $t=2$ s la puissance active présente un dépassement de 20%, à partir de $t=2.05$ s la puissance se stabilise...

Figure I.19 (b) : On voit un régime transitoire sur la puissance réactive à l'instant $t = 2$ s, atteignant un maximum de $Q_{max} = 590$ VAR et un minimum de $Q_{min} = -600$ VAR.

Figure I.19 (c) : On voit que la forme du courant statorique est sinusoïdale, et à l'application d'échelon de la puissance active le courant I_s change son amplitude.

Figure I.19 (d) : À cause de la variation de la puissance active à l'instant $t = 2$ s, on voit un régime transitoire sur la vitesse ω_m qui présente un pic minimal de 143rad/s et un pic maximal de 153rad/s, puis à l'instant $t = 2.1$ s la vitesse se stabilise.

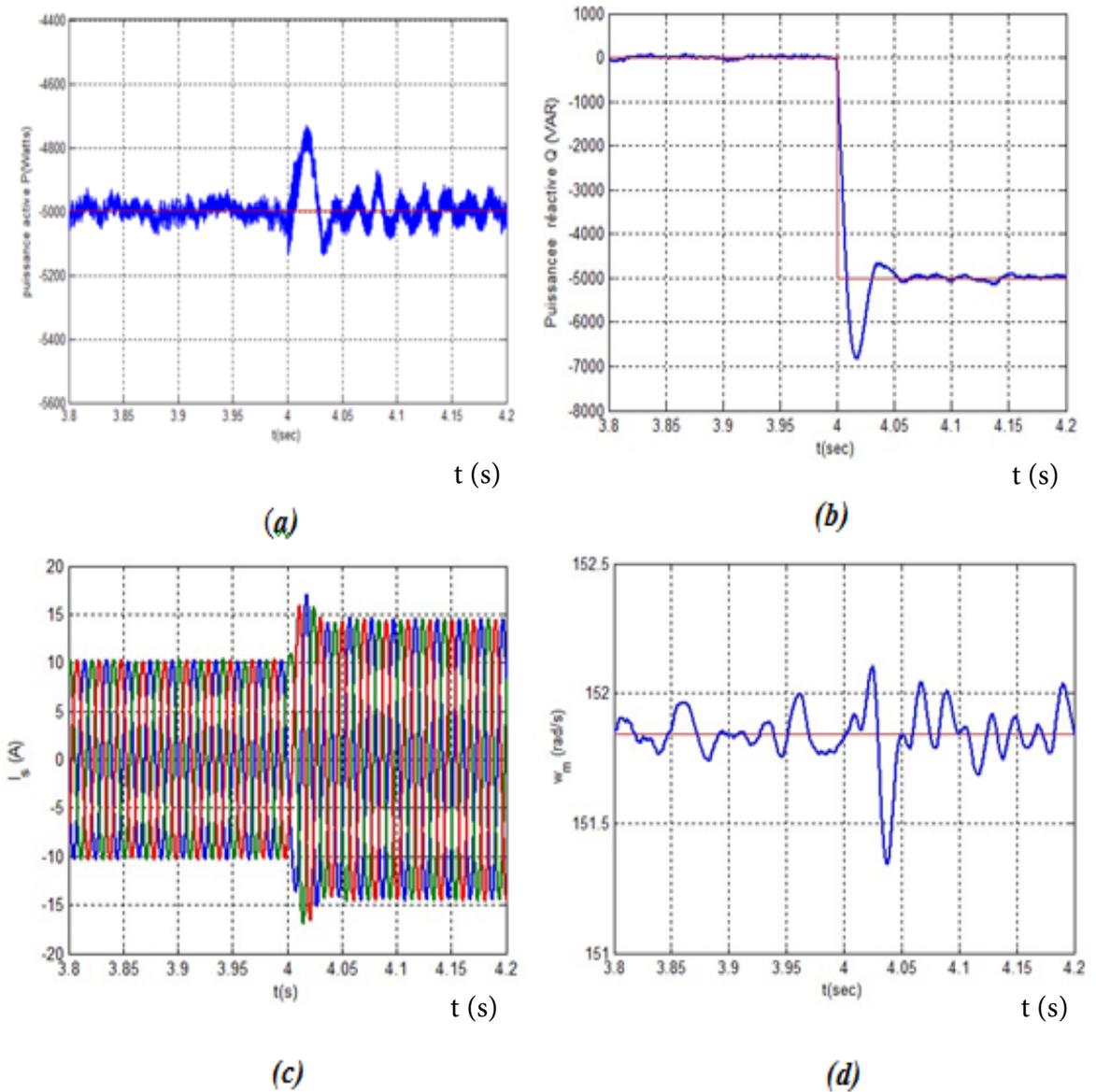


FIGURE I.20 – évolution des paramètres de la commande côté MADA à $t = 4$ s (a) : $P(W)=f(t)$, (b) : $Q(VAR) =f(t)$, (c) : $I_s(A) =f(t)$, (d) : ω_m (rad/s) = $f(t)$

pour $t=4s$.

Figure I.20 (a) : On voit un régime transitoire sur La puissance active, à l'instant $t=4s$ la puissance présente un pic maximal de $-4750W$ à cause de variation de la puissance réactive

Figure I.20 (b) : À l'application dene consignée à l'instant $t=4s$ on voit un dépassement de 36% sur la puissance réactive, après le temps $t = 4.06s$ la puissance suive sa référence.

Figure I.20 (c) : On voit que le courant statorique est sinusoïdal, et a l'ap-plication de l'échelon de la puissance réactive à $t = 4 s$, l'amplitude du courant change.

Figure I.20 (d) : La vitesse de rotation de la MADA à $t = 4s$ est au tour de la valeur de $151.7rad/s$, remarquant une faible oscillation due à l'application de la puissance réactive et après un temps environ $t = 4.1s$ elle se stabiliser.

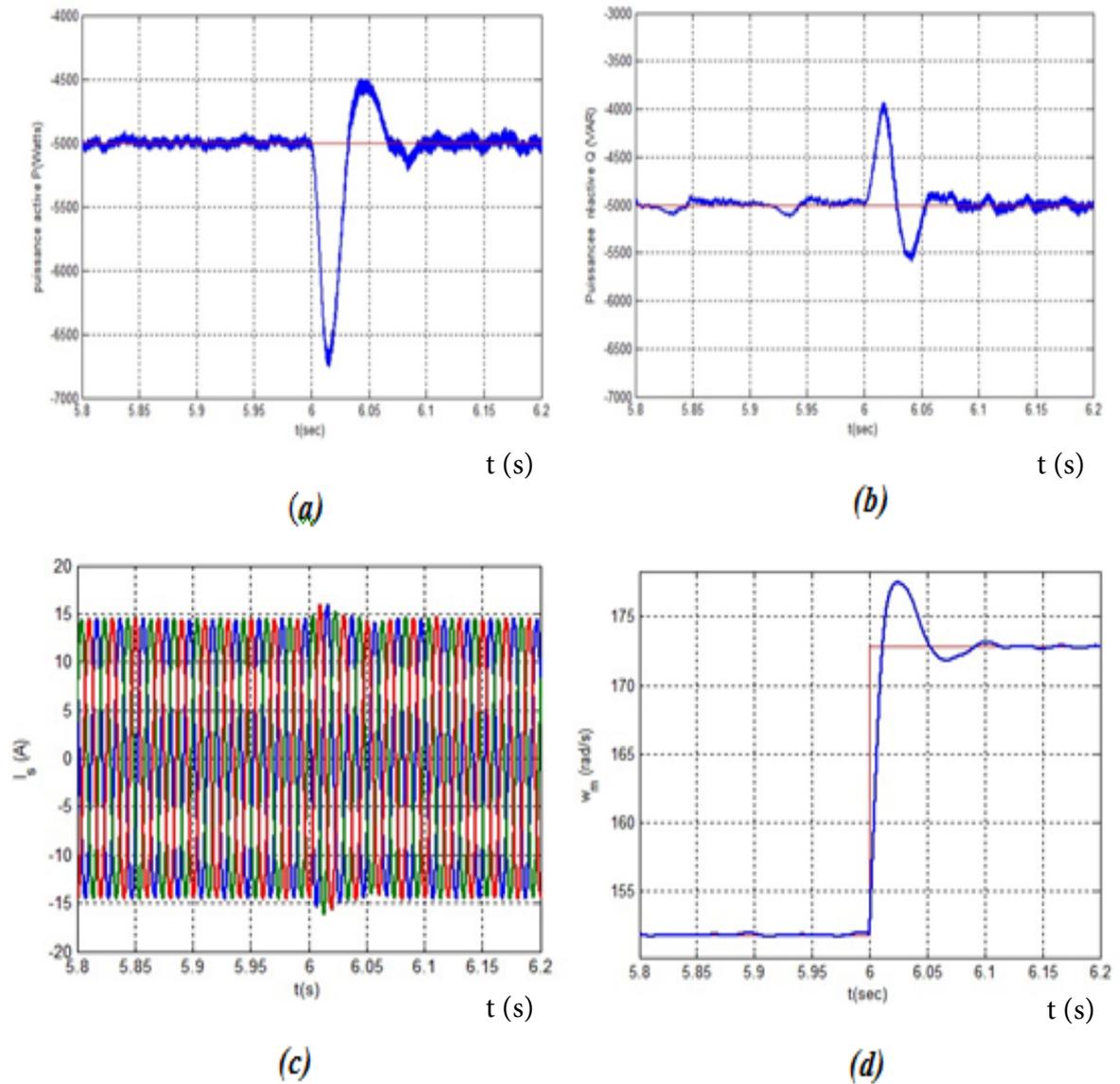


FIGURE I.21 – évolution des paramètre de la commande coté MADA a $t = 6s$ (a) : $P(W)=f(t)$, (b) : $Q(VAR) =f(t)$, (c) : $I_s(A) =f(t)$, (d) : w_m (rad/s) $=f(t)$

pour $t=6s$.

Figure I.21 (a) : À l'instant $t = 6s$ la vitesse variée de 1450 tr/min à 1650 tr/min . cette variation influe sur la puissance active et présente un pic minimal de -6800w et un pic maximal de -4500W, puis à l'instant $t = 6.08s$ la puissance se stabiliser.

Figure I.21 (b) : On voit que la puissance réactive suit sa référence mais à l'instant $t = 6s$ la puissance présente un régime transitoire où la puissance atteint une valeur maximale de -3900V AR et une valeur minimale de -5550V AR.

Figure I.21 (c) : On voit que l'allure de courant statorique est sinusoidale est

présent un pic à l'instant $t = 6s$ à cause de la variation de la vitesse.

Figure I.21 (d) : À l'application due signalée de référence de La vitesse à l'instant $t = 6s$ on voit que la vitesse augmente de 151.7rad/s à 172.7rad/s est présent un dépassement de 19%, puis se stabilise à l'instant $6.1 s$

I.8 Conclsion

Dans ce chapitre, on a présenté une brève étude sur la machine asynchrone à double alimentation, sa structure, ses différentes modes de fonctionnement. Ensuite, on a modélisé le système d'alimentation qui comporte l'onduleur et redresseur. Pour ce dernier, on a présenté les résultats de simulation.

Chapitre II

Étude et simulation de la sociation d'un FAP a un réseau de puissance

SOMMAIRE

II.1 INTRODUCTION	26
II.2 STRUCTURE DU FILTRE ACTIVE DE PUISSANCE	26
II.3 ONDULEURS	26
II.3.1 Présentation des stratégies de commande	27
II.4 MÉTHODES DE COMMANDE	28
II.4.1 Commande directe :	28
II.5 STRATÉGIE DE COMMANDE INDIRECTE	30
II.5.1 Méthode basée sur les puissances réelle et imaginaire instantanées :	30
II.5.2 Principe de fonctionnement de la p.L.L	32
II.5.3 Dimensionnement de l'inductance L_f	32
II.5.4 Dimensionnement des condensateurs	34
II.5.5 Commande par hystérésis	35
II.6 SIMULATION DE L'ENSEMBLE CHARGE NON-LINÉAIRE - FAP	35
II.6.1 la commande directe	36
II.6.2 la commande indirecte	39
II.7 CONCLUSION	42

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous proposons de mettre en évidence les performances de compensation d'un filtre actif parallèle à trois bras à l'aide de deux méthodes d'identification des courants de référence. [41]

Nous nous intéresserons en premier lieu à présenter la structure générale d'un filtre actif parallèle à trois bras ainsi que son circuit de commande, de sorte que les points ci-dessous seront mis en relief ;

- l'identification des courants perturbés avec différentes méthodes
- régulation de la tension continue
- la régulation du courant du filtre actif parallèle

II.2 Structure du filtre active de puissance

Un filtre actif de puissance est constitué principalement par deux blocs (puissance et commande) la partie puissance est constituée par [7];

- un onduleur de tension de puissance à IGBT avec des diodes en antiparallèle ;
- un circuit de stockage d'énergie ;
- un filtre de sortie.

la partie commande est basée sur :

- le choix une méthode d'identification des courants perturbés ;
- la régulation de la tension appliquée aux éléments de stockage d'énergie
- la régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension

le filtre activé de puissance parallèle a pour but d'empêcher les courants perturbateur (harmonique, réactifs et déséquilibrés) produits par les charges polluantes de circuler à travers l'impédance du réseau en amont du point de connexion du filtre actif [32][24][9][49][16][40]

II.3 Onduleurs

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continu - alternatif. Alimenté par le côté continu.

Le type d'onduleur utilisé est l'onduleur de tension. Soit un onduleur triphasé à structure tension illustré par la figure ci-dessus à base d'IGBT munit d'une diode en antiparallèle, constituée de trois bras avec des semi-conducteurs de puissance bidirectionnelle en courant commandé à la fermeture et à l'ouverture. Par l'intermédiaire d'un filtre passif, l'onduleur de tension est connecté au réseau électrique.

Le stockage d'énergie ce fait par un système capacitif représenté par un condensateur C jouant le rôle d'une source de tension continue.[11] La qualité de compensation d'un filtre actif parallèle et sa dynamique se répercute sur le choix des paramètres du système. [51] [23][25][48][39]

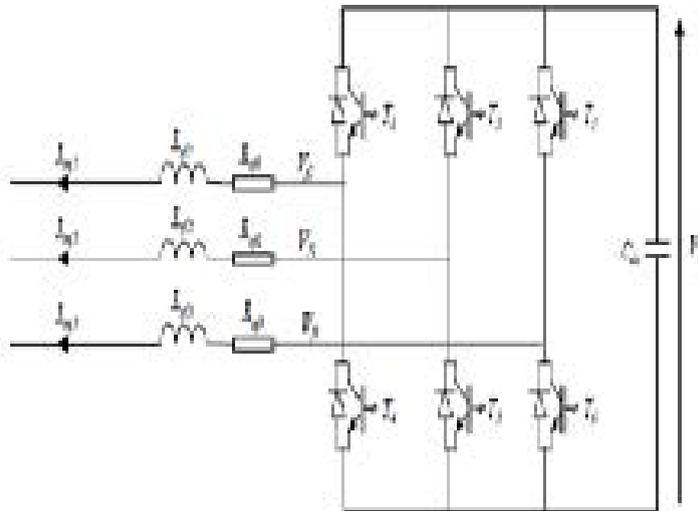


FIGURE II.1 – onduleur de tension triphasé

II.3.1 Présentation des stratégies de commande [3]

Après présentation des différentes topologies de compensation des réseaux électriques, nous étudierons quelques commandes appliquées aux filtres actifs de puissance parallèle pour identifier les harmoniques de courants des charges non linéaires.[10][9][42][47][52]

Depuis leur apparition en 1976 [18], elles n'ont cessé d'évoluer aboutissant à la compensation de l'énergie réactive et des harmoniques de courant lorsque le système est équilibré [33].

À ce jour, les chercheurs continuent à améliorer ces commandes afin d'obtenir de meilleurs résultats, tant du point de vue d'une meilleure extraction des perturbations - amélioration du régime dynamique, diminution du T.H.D, etc. que du développement de nouvelles stratégies de commandes pour une meilleure adaptation et robustesse de ces dernières face aux différents types de charges non linéaires. [53] [54][50][38][44] Il existe deux stratégies de commande, à savoir ;

La commande dite directe dont le principe est basé sur la comparaison du courant de référence $i_{ref}(t)$ obtenu par une méthode appropriée, au courant injecté au réseau par le filtre actif de puissance $i_f(t)$, comme le montre la figure II.2.

La commande dite indirecte dont le principe est basé sur la comparaison du courant de référence $i_{ref}(t)$ obtenu par une méthode appropriée, au courant injecté au réseau par le filtre actif de puissance $i_f(t)$, comme le montre la figure II.3.

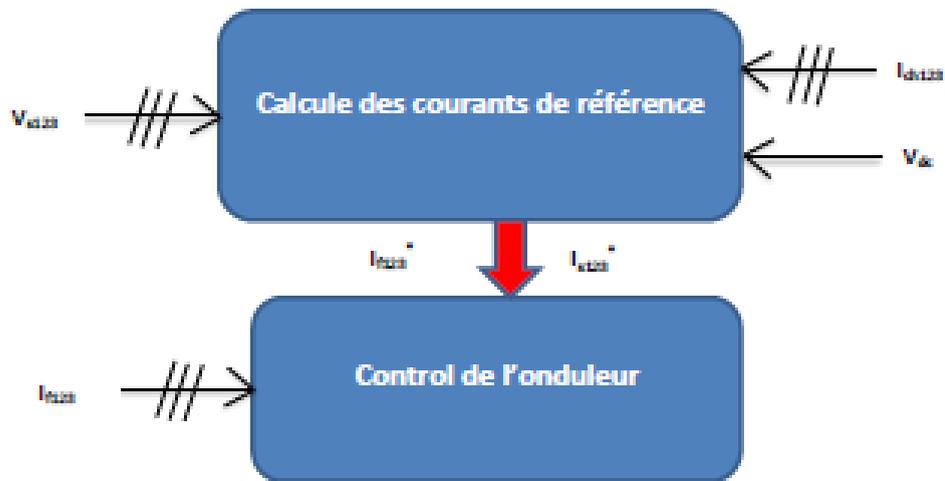


FIGURE II.2 – principe de la commande directe d'un filtre actif de puissance

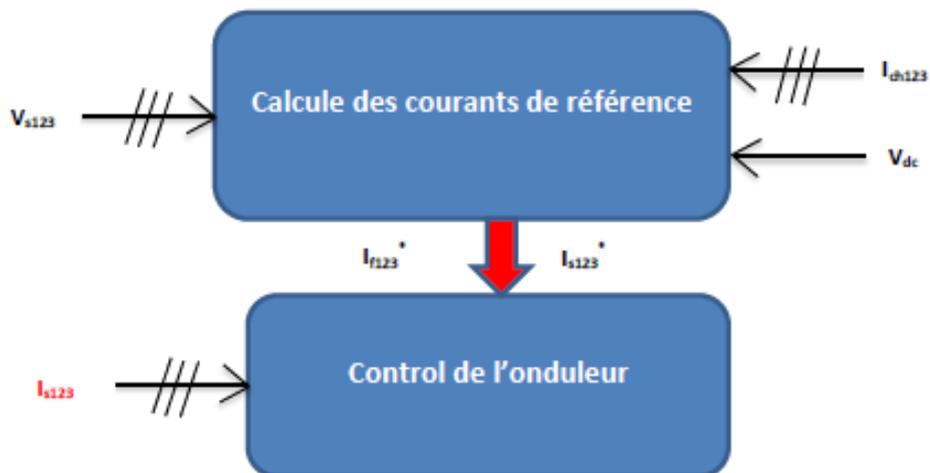


FIGURE II.3 – principe de la commande indirecte d'un filtre actif de puissance

II.4 Méthodes de commande

II.4.1 Commande directe

La méthode des puissances instantanées introduite par Hakagui. [21][19], exploite la transformation de Concordia des tensions simples et des courants de ligne, afin de calculer les puissances réelles et imaginaires instantanées. La composante fondamentale est transformée en une composante continue et les

composantes harmoniques en composantes oscillatoires.

Cette transformation est nécessaire si nous voulons éliminer l'une des composantes de sorte qu'elle soit facile à mettre en œuvre

Généralement, pour la méthode classique on utilise un filtre passe haut ou un filtre passe bas pour garder la composante harmonique du signal le schéma suivant présente cette méthode[20],[43].

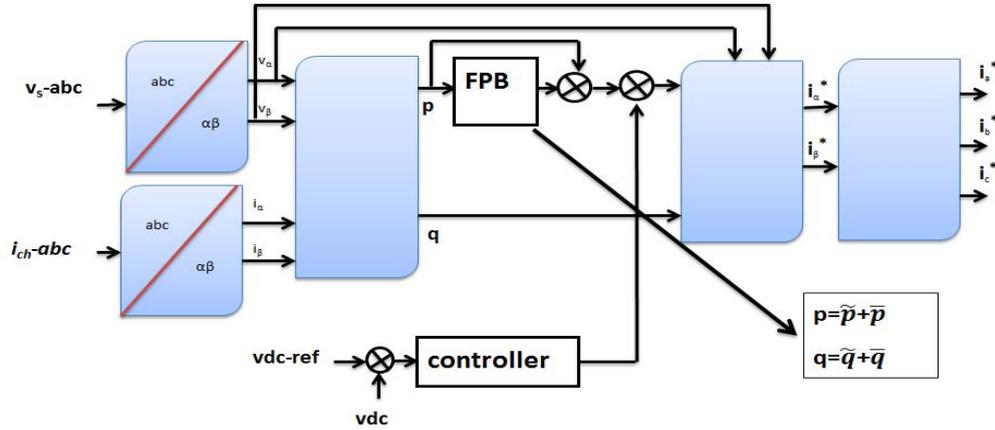


FIGURE II.4 – méthode d'identification des puissances instantanées

Soient respectivement les tensions simples et les courants de ligne d'un système triphasé, $v_{s1}(t)$, $v_{s2}(t)$, $v_{s3}(t)$ et $i_{c1}(t)$, $i_{c2}(t)$, $i_{c3}(t)$. À l'aide de la transformation de Concordia le système triphasé équilibré peut être ramené à un système diphasé dont les axes sont en quadrature comme montré dans la relation suivante : [6], [3],[15],[43]

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha} \\ v_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.1})$$

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.2})$$

Si on néglige les harmoniques de tension, les puissances instantané réelle p et imaginaire q sont exprimées par ;

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

On peut exprimer les puissances actives et réactives instantanées comme la somme d'une composante continue et oscillatoire ;

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{p} + \tilde{p} \\ \bar{q} + \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

avec

\bar{p} et \bar{q} les composantes continues de p et q ,

\tilde{p} et \tilde{q} les composantes alternatives de p et q .

A partir de l'équation suivante, nous pouvons déduire les expressions des composantes du courant de charge selon les axes ($\alpha\beta$) :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha - v_\beta \\ v_\beta \quad v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{q} \end{bmatrix} + \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha - v_\beta \\ v_\beta \quad v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

Nous pouvons compenser les harmoniques de courant et l'énergie réactive ou uniquement l'une des deux. Le tableau suivant nous donne les possibilités de compensation.

	Compensation des harmoniques de courant seul	Compensation de l'énergie réactive	Compensation des harmoniques de courant et de l'énergie réactive
paramètres de contrôle	$p_f = \tilde{p}$ et $q_f = \tilde{q}$	$p_f = 0$ et $q_f = \bar{q}$	$p_f = \tilde{p}$ et $q_f = \bar{q}$

Tableau I-1 Les compensation de la commande .

Pour compenser les harmoniques de courant et l'énergie réactive en même temps, équation devient :

$$\begin{bmatrix} i_{f\alpha}^* \\ i_{f\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha - v_\beta \\ v_\beta \quad v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ q \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

Les courants perturbateurs de référence selon les axes (abc) peuvent être déterminés en utilisant la transformation inverse de Concordia :

$$\begin{bmatrix} i_{s1}^* \\ i_{s2}^* \\ i_{s3}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{s\alpha}^* \\ i_{s\beta}^* \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

II.5 Stratégie de commande indirecte

II.5.1 Méthode basée sur les puissances réelle et imaginaire instantanées :

[19][53], le calcul de la puissance réelle instantanée se fait à l'image de la commande directe. En plus, les composantes alternatives de la puissance instantanée seront éliminées afin de

ne laisser que la composante continue.

Cette méthode permet de compenser les harmoniques de courant et l'énergie réactive indirectement.

Son principe est énoncé comme suit :

soit les tensions simples et les courants de ligne d'un système triphasé sans homopolaire, $v_{s1}(t)$, $v_{s2}(t)$, $v_{s3}(t)$ et $i_{c1}(t)$, $i_{c2}(t)$, $i_{c3}(t)$. on obtient par la transformation de Concordia :

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

Si on tien pas compte des harmonique, la puissance réelle p est donnée par :

$$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \quad (\text{II.10})$$

Sachant que :

$$p = \bar{p} + \tilde{p} \quad (\text{II.11})$$

Les composantes de courant dans le repère (α, β) sont données par les formules suivantes :

$$i_\alpha = \frac{v_\alpha}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p \quad (\text{II.12})$$

$$i_\beta = \frac{v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p \quad (\text{II.13})$$

En introduisant l'équation (I.11) dans les équations (I.12) et (I.13), les courants suivant les axes (α, β) deviennent :

$$i_\alpha = \frac{v_\alpha}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \bar{p} + \frac{v_\alpha}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \tilde{p} \quad (\text{II.14})$$

$$i_\beta = \frac{v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \bar{p} + \frac{v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \tilde{p} \quad (\text{II.15})$$

La fonction que nous pouvons donner au filtre actif de puissance est uniquement la compensation simultanée de l'énergie réactive et des courants harmoniques. Ainsi, nous obtenons :

$$i_{s\alpha}^* = \frac{v_\alpha}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p_f \quad (\text{II.16})$$

$$i_{s\beta}^* = \frac{v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p_f \quad (\text{II.17})$$

Les courants de référence sont donnés comme précédemment par la transformation inverse de concordia :

$$\begin{bmatrix} i_{s1}^* \\ i_{s2}^* \\ i_{s3}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{s\alpha}^* \\ i_{s\beta}^* \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

	filtrage des harmonique uniquement	compensation de l'énergie réactive uniquement	filtrage des harmonique de compensation de l'énergie réactive en même temp
commande directe théorie des puissance instantanées	Oui	Oui	Oui
commande indirecte théorie des puissance instantanées	Non	Non	Oui

Tableau I-2 .

II.5.2 Principe de fonctionnement de la p.L.L

Nous générerons les signaux trigonométrique $\cos(\theta)$ et $\sin(\theta)$ obtenu à partir de la tension fondamentale du réseau par l'intermédiaire de la *P.L.L* insensible aux perturbations, son principe est basé sur la transformation de Park des tensions $v_{s123}(s)$, mesurées au point de raccordement du filtre actif parallèle, nous permettant d'extraire θ , $\sin(\theta)$ et $\cos(\theta)$

II.5.3 Dimensionnement de l'inductance L_f [26]

Le convertisseur de tension à deux niveaux composant le FAP doit fournir un courant capable de suivre sa référence avec une ondulation de courant acceptable. La tension v_f généré par le convertisseur pour chaque phase en négligeant la résistance du filtre est donnée par :

$$V_f = V(t) + L_f \frac{di(t)}{dt} \quad (\text{II.19})$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{v_f = v(t)}{l_f}$$

Pour réduire l'ondulation du courant il est nécessaire d'augmenter la valeur de l'inductance l_f à une valeur acceptable en accord avec les contraintes de réalisation pratique.

On peut calculer l'ondulation maximum du courant en négligeant la résistance de l'inductance à partir de l'expression approximée de la dérivée du courant ;

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{v_f = v(t)}{l_f} \quad (\text{II.20})$$

Si on considère une modulation MLI scalaire, dans chaque demi-période de modulation, la valeur moyenne de la tension de sortie du convertisseur sera égale à sa consigne.

Si on suppose que le convertisseur essaye de reproduire exactement la tension réseau (c'est-à-dire la consigne de courant nul), on peut calculer l'intervalle d'application de tension positive (T+) et négative (T-) de du convertisseur comme suit [13]

$$t + (\omega t) = \frac{T_{sw}}{2} \left(\frac{2 \cdot E(\omega t) \pm V_{dc}}{2V_{dc}} \right) \quad (\text{II.21})$$

$$t - (\omega t) = \frac{T_{sw}}{2} \left(\frac{-2 \cdot E(\omega t) \pm V_{dc}}{2V_{dc}} \right) \quad (\text{II.22})$$

La variation du courant entre chaque intervalle est donné par :

$$\Delta I + (\omega t) = \frac{T^+}{l} \left(\frac{V_{dc}}{2} - E(\omega t) \right) = \frac{T_{sw}}{8 \cdot l \cdot V_{dc}} (V_{dc}^2 - 4 \cdot E^2(\omega t)) \quad (\text{II.23})$$

$$\Delta I - (\omega t) = \frac{T^-}{l} \left(\frac{V_{dc}}{2} + E(\omega t) \right) = \frac{T_{sw}}{8 \cdot l \cdot V_{dc}} (V_{dc}^2 - 4 \cdot E^2(\omega t)) \quad (\text{II.24})$$

On constate que les deux variations sont identiques ; donc l'ondulation maximum pic à pic sera donné par :

$$\Delta i_{max} = \frac{T_{sw} \cdot V_{dc}}{8 \cdot l_f} \quad (\text{II.25})$$

La valeur minimum de l'inductance est donnée par :

$$l_{f-min} = \frac{T_{sw} \cdot V_{dc}}{8 \cdot \Delta i_{max}} \quad (\text{II.26})$$

II.5.4 Dimensionnement des condensateurs

Afin de dimensionner le(s) condensateur(s) alimentant le filtre actif, différentes approches ont été proposées [19] [36][26] [35].

En réalité, les changements transitoires dans la puissance instantanée absorbée par la charge provoquent des fluctuations dans la tension Vdc aux bornes du (des) condensateur(s).

L'amplitude de cette fluctuation peut être contrôlée par un choix judicieux de la valeur du condensateur. La surtension maximale que peut subir le condensateur est donnée par [26] :

$$vdc_{max} = \int_{(\theta_1/\omega)}^{(\theta_2/\omega)} idc(t)dt + vdc \quad (II.27)$$

Avec :

θ_1, θ_2 étant deux angles appartenant à l'intervalle $[0, 2\Pi]$, et ω étant la pulsation du réseau ($\omega = 2.\Pi.f$, par exemple: $f = 50Hz$).

La capacité du condensateur C s'exprimera ainsi :

$$C = \frac{1}{\Delta vdc} \int_{(\theta_1/\omega)}^{(\theta_2/\omega)} idc(t)dt \quad (II.28)$$

La valeur moyenne du courant idc absorbé par le condensateur est donnée par [26] :

$$\int_{(\theta_1/\omega)}^{(\theta_2/\omega)} idc(t)dt = I_{FAM} \int_{(\theta_1/\omega)}^{(\theta_2/\omega)} [\sin(\omega t) + \sin(\omega t + 2\Pi/3)]dt \quad (II.29)$$

I_{FAM} étant l'amplitude max du courant i_{FAM} . Si on prend $\theta_1 = 0$ et $\theta_2 = \Pi/6$ rad, la capacité du condensateur sera alors formulée par :

$$C = \frac{I_{FAM}}{2.\Delta vdc.\omega} \quad (II.30)$$

À titre indicatif, avec une fluctuation Vdc de 5%.Vdc, telle que Vdc= 840 V, et un courant maximal I_F A de 40 A, la valeur numérique de C est 1520 μf .

L'approche de [36] considère la fréquence de commutation au niveau de la capacité d'expression :

$$C = \frac{12.I_{FAM}}{\Delta vdc.\Pi.\omega s} \quad (II.31)$$

Une autre approche, exposée dans la référence [35], détermine la valeur du condensateur à partir de l'ondulation de la tension continue à ses bornes ;

$$\Delta vdc_{conduteur} = \frac{Idc_{conduteur}}{C.\omega} \quad (II.32)$$

II.5.5 Commande par hystérésis

La commande par hystérésis, appelée aussi commande en tout ou rien, possède des avantages : rapidité, robustesse, et surtout simplicité de mise en œuvre. C'est une commande non linéaire qui utilise l'erreur existant entre le courant de référence et le courant produit par l'onduleur [13][29]. L'erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis, dès que l'erreur atteint la bande inférieure ou supérieure, un État de commande est transmis pour maintenir cette erreur à l'intérieur de la bande, elle se caractérise aussi par le fait que les commutations évoluent librement à l'intérieur de la bande d'hystérésis. La simplicité de la mise en œuvre, comme le montre la figure II-5, est le principal atout de cette technique. En revanche, les commutations évoluant librement à l'intérieur de bande d'hystérésis, on ne peut maîtriser correctement le spectre haute fréquence dû aux fréquences de commutation.

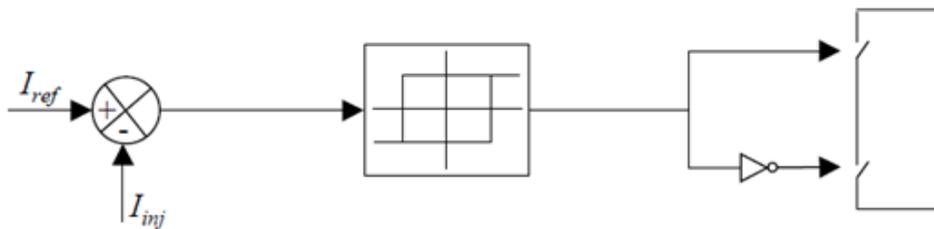


FIGURE II.5 – Principe de commande des courants par hystérésis

II.6 Simulation de l'ensemble charge non-linéaire - FAP

Les simulations sont faites à l'aide du logiciel MATLAB/SIMULINK et spécialement le Tool-box Power System permettant de gérer la simulation des réseaux électriques [31].

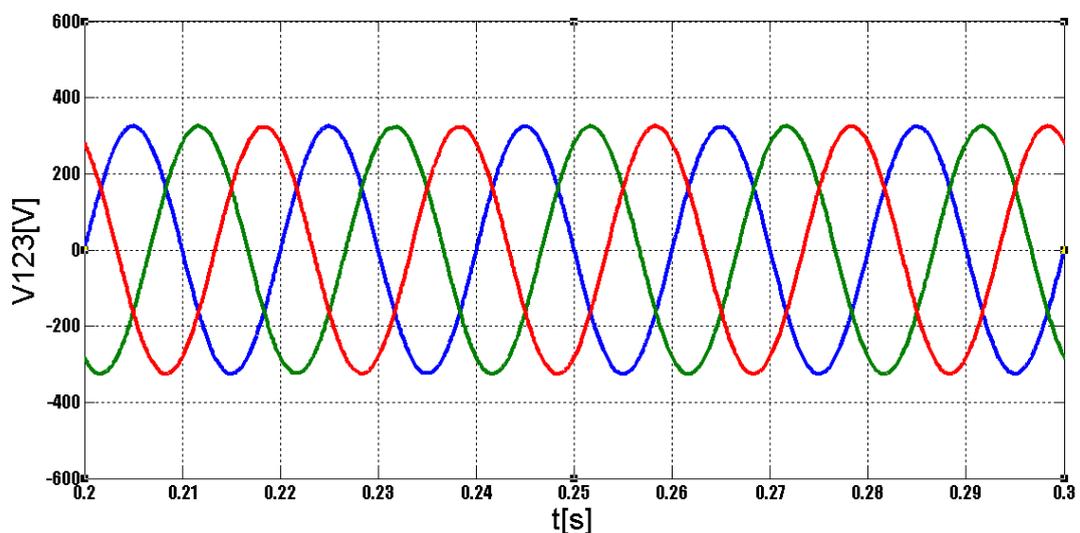
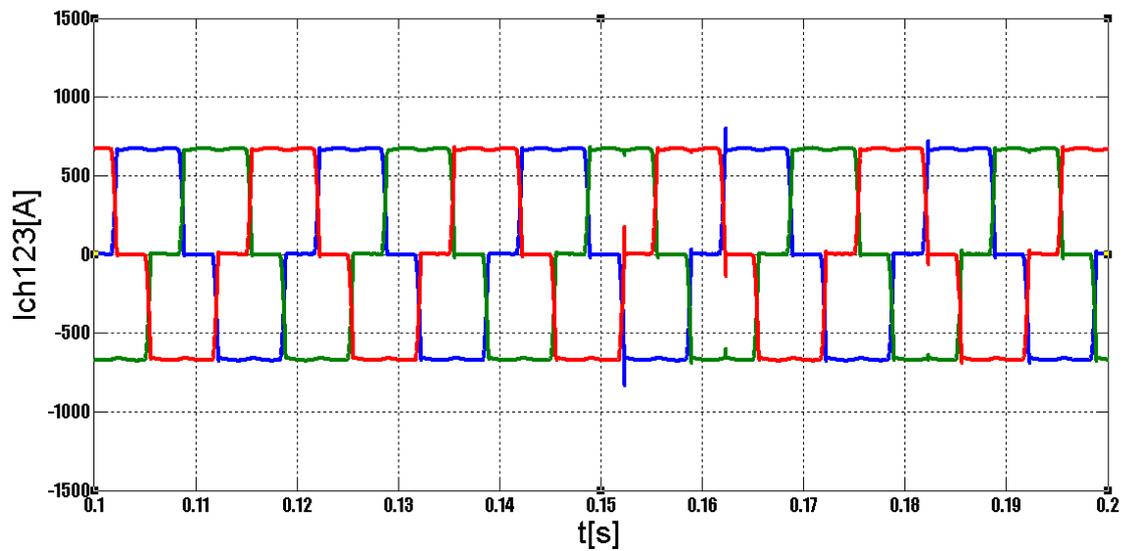


FIGURE II.6 – les tensions de réseau V_{123}

FIGURE II.7 – les courant de charge i_{ch123}

II.6.1 la commande directe

Dans ce paragraphe, nous allons présenter quelques résultats obtenus par les filtres actifs de puissance parallèle.

Les figures montrent les résultats obtenus lorsque nous utilisons la commande directe p-q, afin de commander un filtre actif de puissance parallèle à trois bras. Le THD après filtrage est égal à 0.64%.

i_{ch} : courant de charge de la 1ère phase avant filtrage,

i_f : courant injecté par le filtre actif de puissance à trois bras,

i_s : courant de source de la 1ère phase après filtrage.

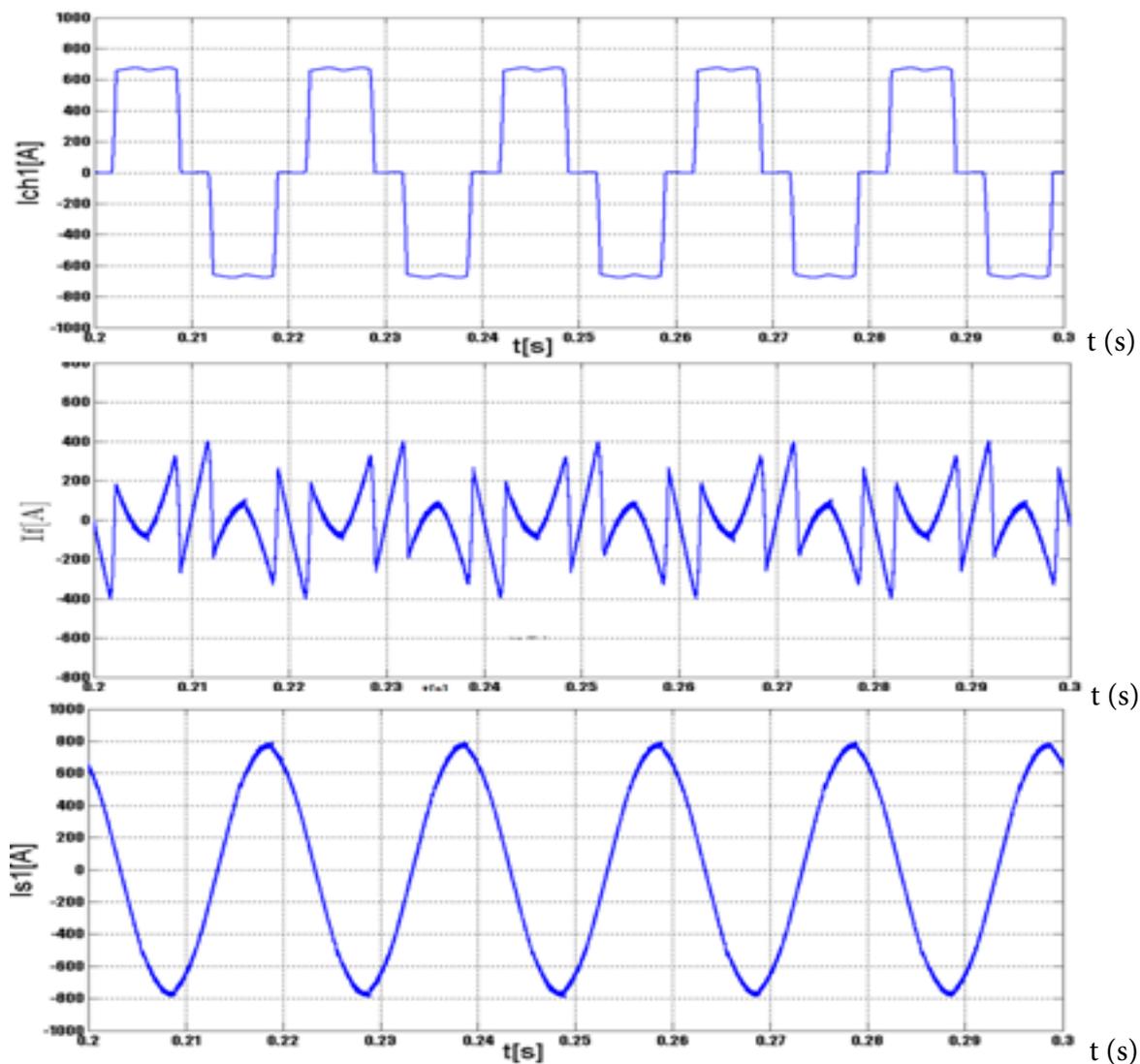


FIGURE II.8 – Compensation des courants harmoniques d'un pont redresseur alimentant une charge R-L en utilisant un filtre actif de puissance à trois bras et une commande directe p-q

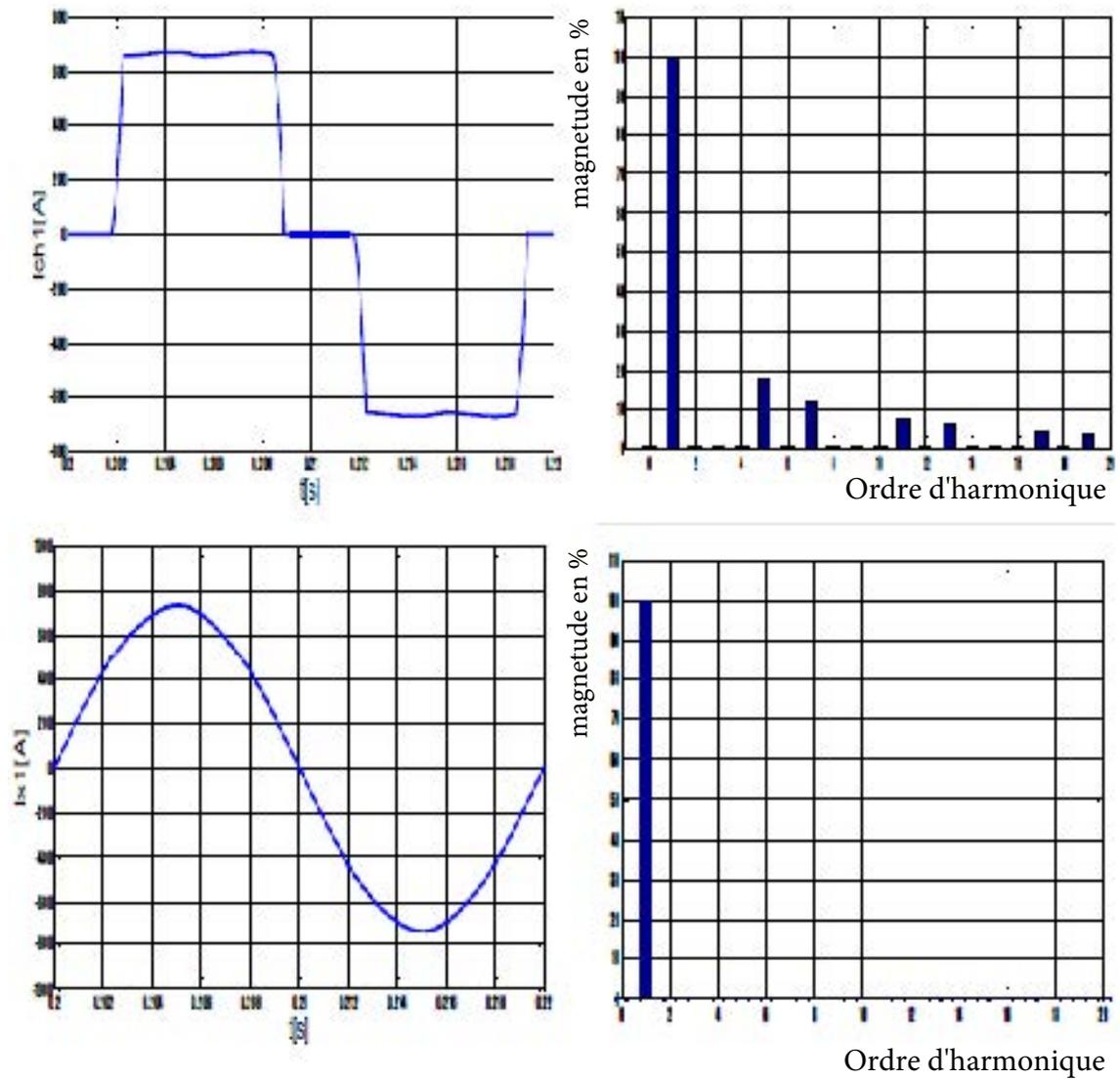
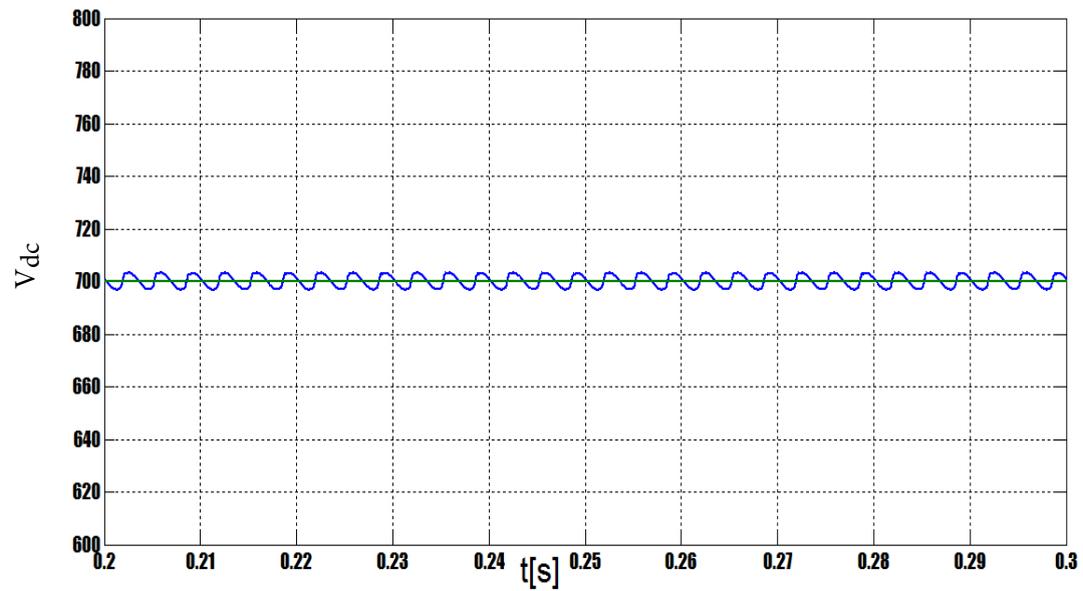


FIGURE II.9 – Résultats de simulation des courant de source avant et après filtrage avec leur FFT

FIGURE II.10 – évolution de la tension V_{dc}

II.6.2 la commande indirecte

Les figures montrent des résultats obtenus pour la commande indirecte p-q, appliquée à un filtre actif de puissance à trois bras.

Le THD après filtrage est égal à 1.97 %.

i_{ch} : courant de charge de la 1^{er} phase avant filtrage,

i_f : courant injecté par le filtre actif de puissance à trois bras,

i_s : courant de source de la 1^{er} phase après filtrage.

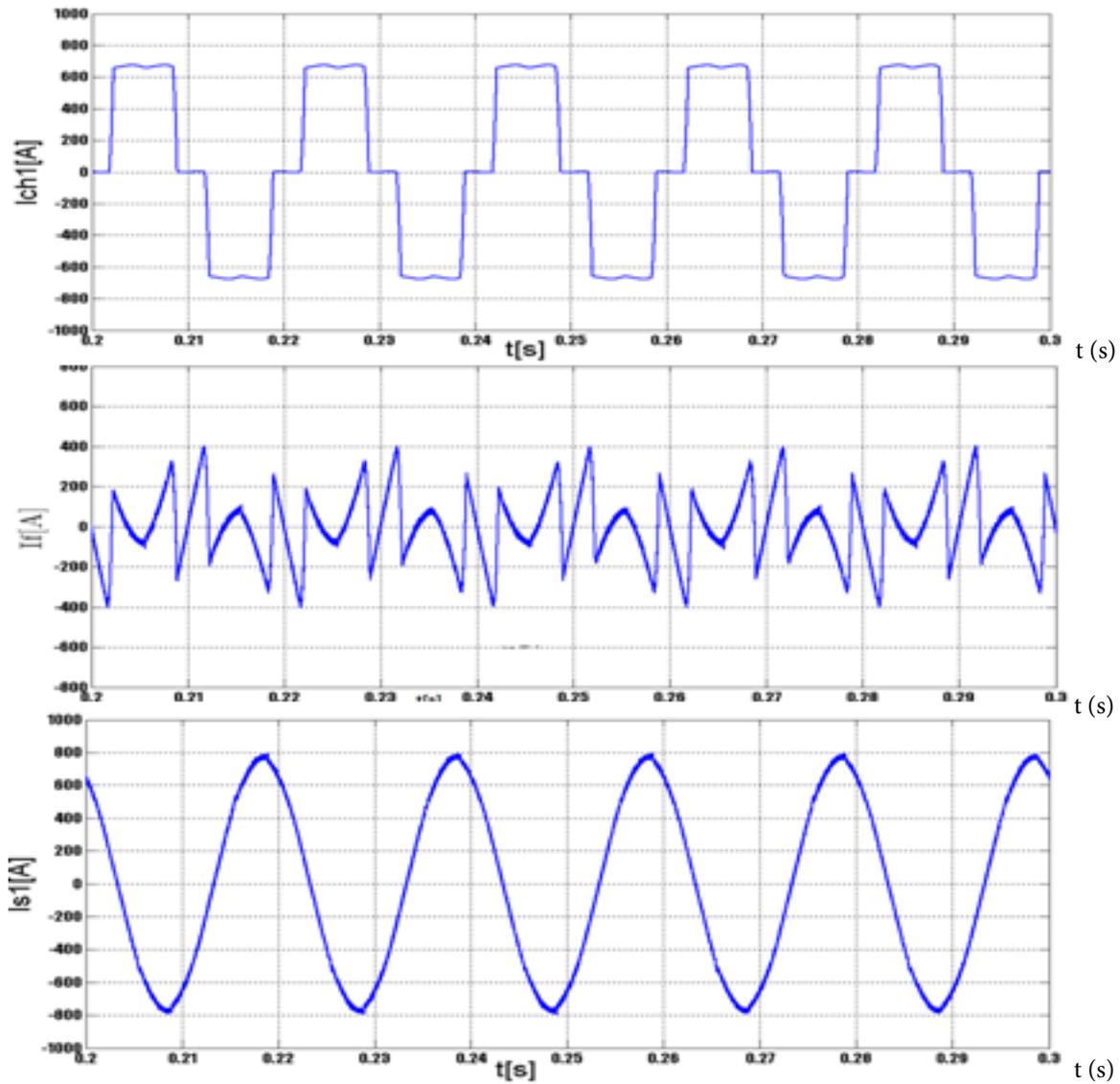


FIGURE II.11 – compensation des courants harmoniques d'un pont redresseur alimentant une charge R-L en utilisant un filtre actif de puissance à trois bras et une commande indirecte p-q

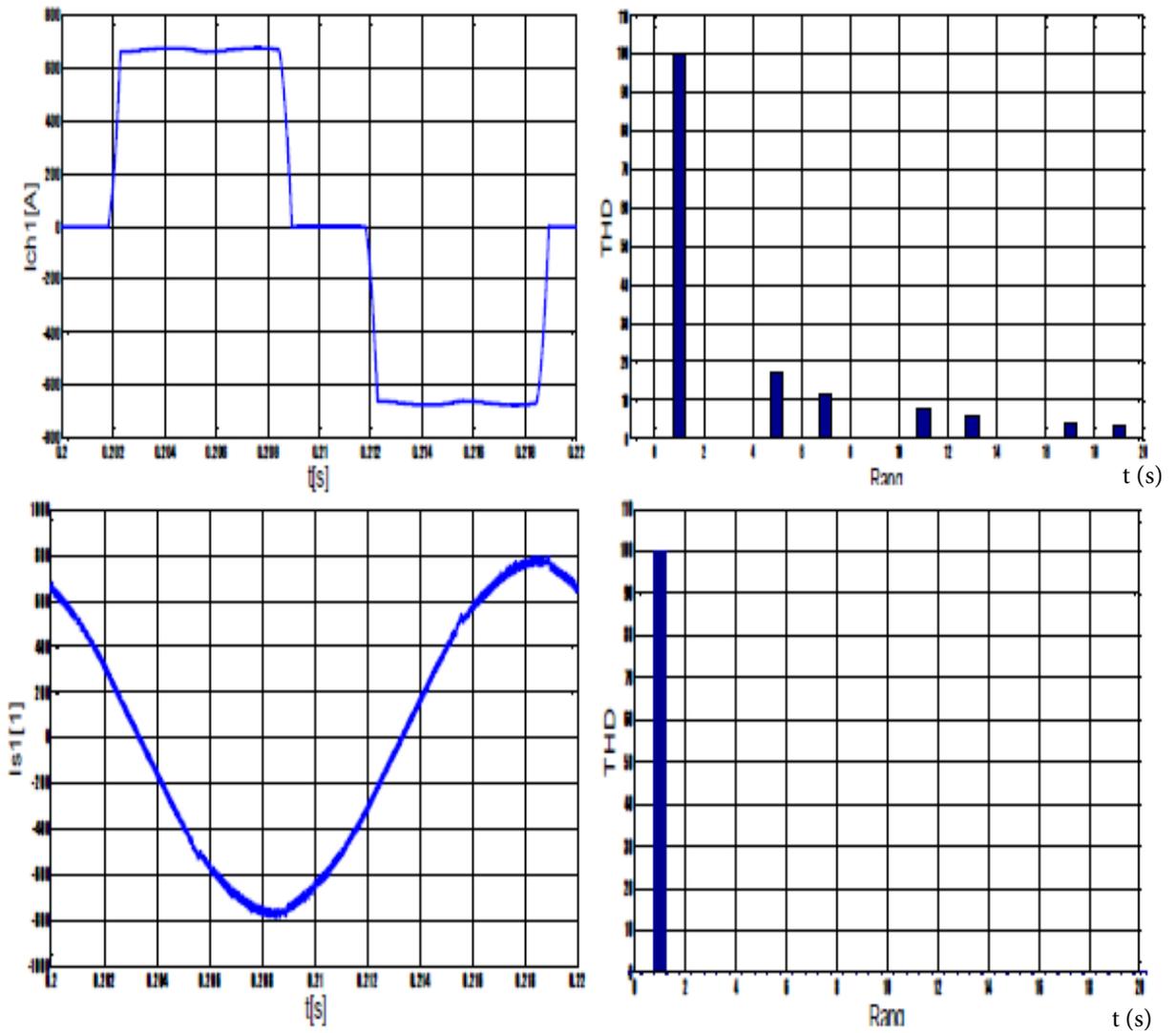
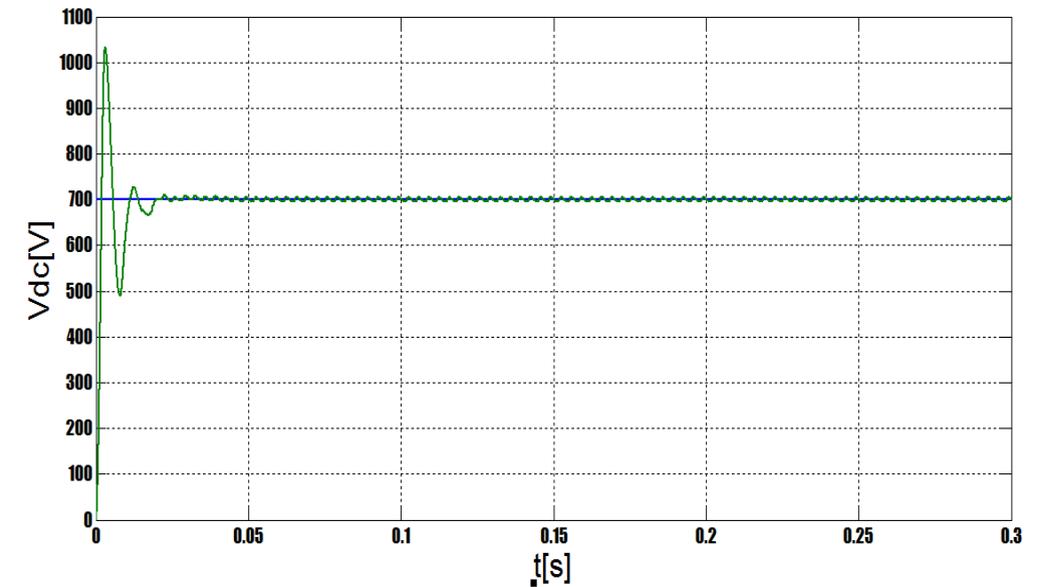


FIGURE II.12 – résultats de simulation des courant de source avant et après filtrage avec leur FFT

FIGURE II.13 – évolution de la tension V_{dc}

Selon les résultats de simulation obtenus, on remarque que le facteur de puissance est presque unitaire, la tension et le courant de source sont parfaitement en phase (compensation de la puissance réactive). Le contenu harmonique du courant source est considérablement réduit en utilisant le FAP proposé, ceci se traduit par la diminution du taux d'harmonique de distorsion THD de 29.96% à 0.64%, une valeur nettement inférieure à 5% (Norme IEEE standard 519). La stratégie de contrôle adoptée permet une parfaite identification des courants de compensation.

La réponse du FAP en régime dynamique est satisfaisante en particulier lors de l'introduction d'une perturbation soudaine dans la charge. Le régulateur proportionnel intégral permet de maintenir la tension continue aux bornes du condensateur C_{dc} constante et égale à sa valeur de référence $V_{dc-Réf} = 700$ V.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la topologie de filtres actifs de puissance parallèle à structure tension et les deux stratégies de commande (directe et indirecte) destinées à compenser les harmoniques de courants générés par des charges non linéaires dans un réseau électrique triphasé.

Nous avons ensuite présenté la méthode d'identification des courants de référence à savoir la méthode des puissances active et réactive instantanées.

En ce qui concerne la poursuite des courants de référence, nous avons rappelé la technique principale de contrôle par hystérésis pour un fonctionnement à fréquence de commutation fixe. La suite du travail est réservée aux travaux de simulation numérique en utilisant le logiciel MATLAB-Simulink des différents modèles de FAP développés en fonction de la topologie du convertisseur utilisé, de la stratégie du contrôle adoptée et de la technique de contrôle des courants de référence appliquée. Pour chaque configuration une analyse et une évaluation des performances en régime permanent et dynamique sont élaborées.

Les résultats de simulation montrent que les différents modèles de FAPs proposés à base des deux stratégies de contrôle utilisées donnent des résultats très satisfaisants en matière de réduction du THD. Les contrôleurs à hystérésis assurent parfaitement leur fonction. Nous remarquons que quelle que soit la stratégie de commande utilisée, le filtre actif de puissance à trois bras donne toujours de meilleurs résultats, car la structure à trois bras apporte un réglage plus fin que d'autres structure. Cependant, si nous comparons le THD entre la commande directe p-q et la commande indirecte p-q, quelle que soit la topologie du filtre actif, nous remarquons que le THD de la commande indirecte p-q est meilleur que celui de la commande directe p-q.

Chapitre III

Étude et simulation du système équilibré

SOMMAIRE

III1 INTRODUCTION	45
III2 DESCRIPTION DU SYSTÈME À TRAITÉ	46
III3 RÉSULTATS DES SIMULATIONS	46
III3.1 Système sans filtre active parallèle :	46
III3.2 Système avec filtre active parallèle :	48
III4 CONCLUSION GÉNÉRALE	58

III.1 Introduction

Nous nous proposons dans ce chapitre de mettre en évidence les performances d'un filtre actif de puissance parallèle en présence de deux sources d'énergie (la première conventionnelle au travers du réseau électrique et la seconde à base d'une génératrice asynchrone à double alimentation) débitant sur une charge non linéaire..

Soit le modèle d'étude suivant :

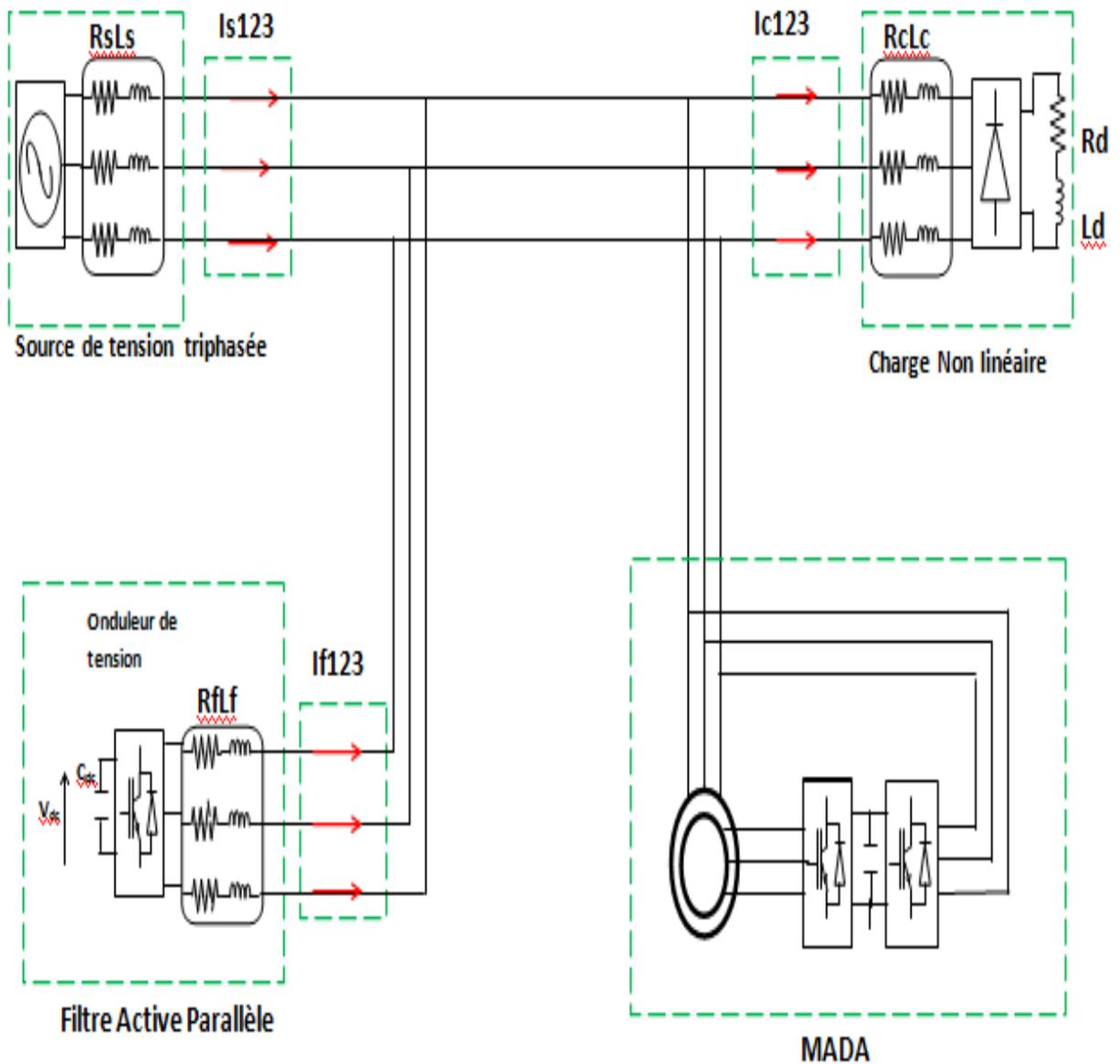


FIGURE III.1 – représentation du model de simulation (réseau-Filtre actif parallèle-charge non linéaire-MADA)

III 2 Description du système à traité

Nous considérons les paramètres de notre simulation identique aux chapitres I et II.

Les figures ci-dessous représentent l'évolution des différents paramètres : courants (sources charges filtrent), puissance active et réactive, THD.

Il est à noter que le THD du courant de source sans le filtre actif de puissance est de 23.86% (établis au chapitre I), notons aussi que les perturbations courantes sont générées à la fois par la charge non linéaire ainsi que le générateur asynchrone à double alimentation (MADA).

Il est clair que les harmoniques les plus dominantes sont celles de rangs 5, 7 et 11, qu'on retrouve lors de l'intégration, à titre d'exemple : redresseur triphasé débitant sur une charge R-L.

Le THD ainsi calculé prend en compte les vingt premiers harmoniques conformément . Le but du filtrage actif est de ramener ce THD à une valeur inférieure à 5%.

Nous nous proposons d'effectuer des simulations de sorte que la commande proposée (directe et indirecte) pour le filtre puisse éliminer en temps réel l'ensemble des perturbations courantes ainsi que la puissance réactive produite par le réseau coté charge vue par le filtre actif parallèle, déjà développé dans le chapitre II.

$$p = \bar{p}$$

$$q = \bar{q} + \tilde{q}$$

Après les deux simulations intégrant la commande directe et indirecte en régime équilibré, nous effectuerons une étude comparative.

Pour ce qui est de la robustesse de nos régulateurs, nous effectuerons des variations de puissance au niveau de notre génératrice.

III3 Résultats des simulations

III3.1 Système sans filtre active parallèle

Nous avons modélisé puis simulé un réseau électrique triphasé à trois fils connectés avec MADA et avec une charge non linéaire du type pont redresseur triphasé à diodes débitant sur une charge RL (traiter au chapitre I).

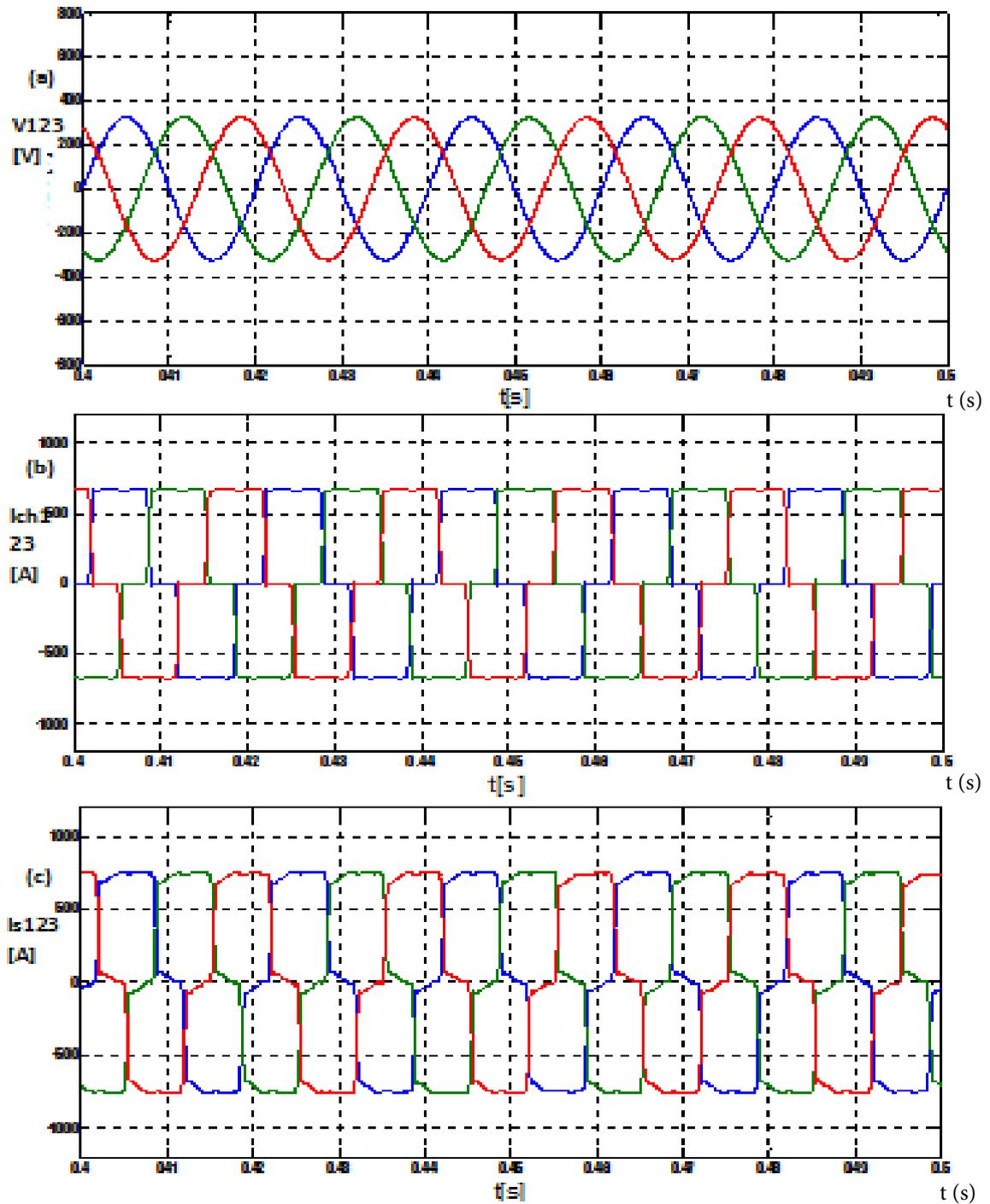


FIGURE III.2 – résultats des simulations du système équilibré (filtre actif de puissance réseau électrique - charge non-linéaire MADA)

- (a): Les tensions de source V_{123} de système, (b): courants de charge I_{ch123} de système, (c): courant de la source I_{s123}

III.3.2 Système avec filtre active parallèle :

III. 3.2-a Stratégie de commande directe p-q

Les figures suivantes illustrent les résultats de simulation obtenus pour cette commande.

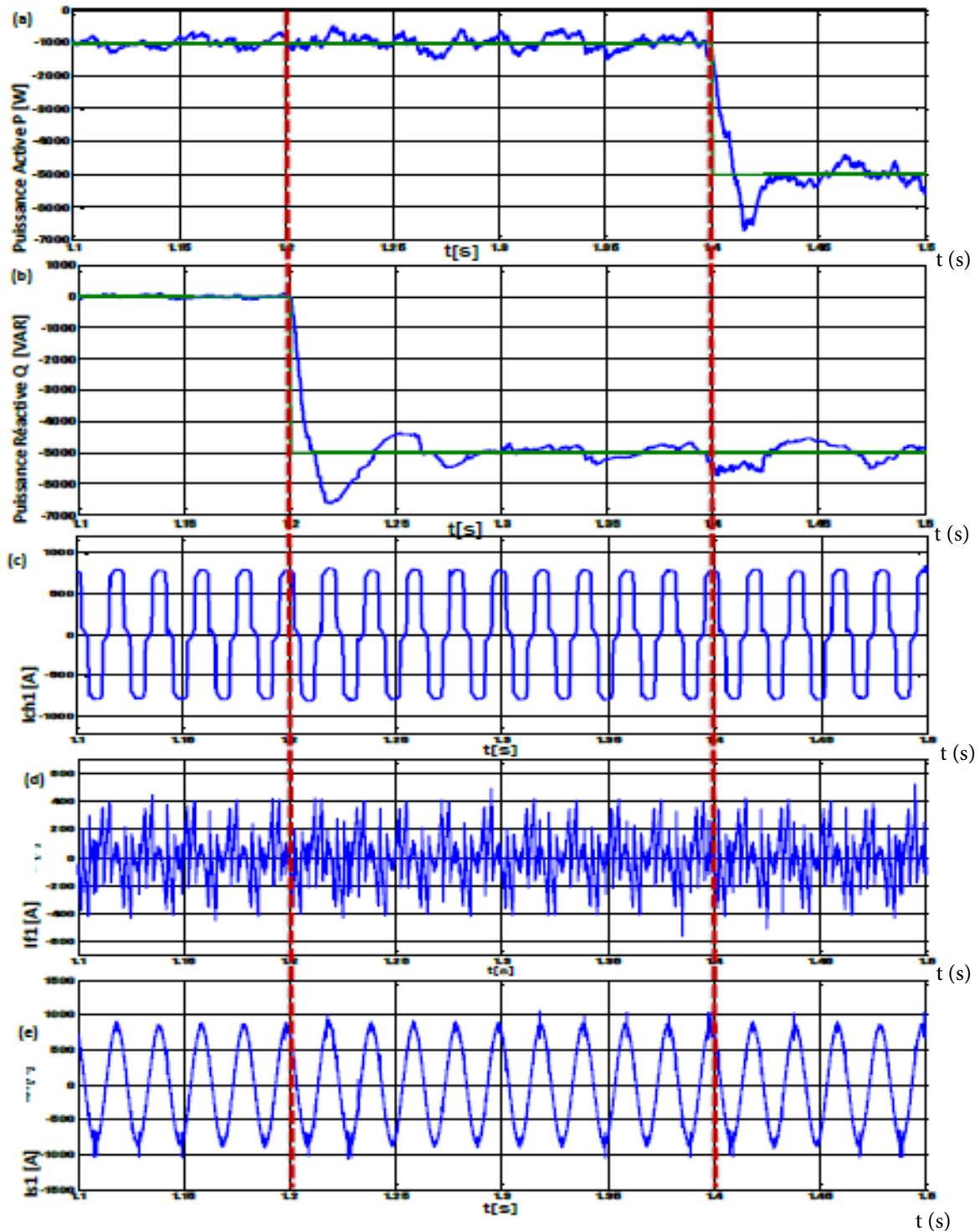


FIGURE III.3 – résultats des simulations du système équilibré de la commande directe

On remarque qu'une fois le filtre actif parallèle devient opérationnel, le courant de sources est quasi sinusoïdal.

Le fait que le courant de source ai récupéré son allure sinusoïdale, ce qui nous permet de dire que notre filtre actif parallèle « FAP » basé sur (p-q direct) assure pleinement ses missions. Ce qui est bien illustré au travers de la comparaison des THDs du courant de source avec et après application du FAP.

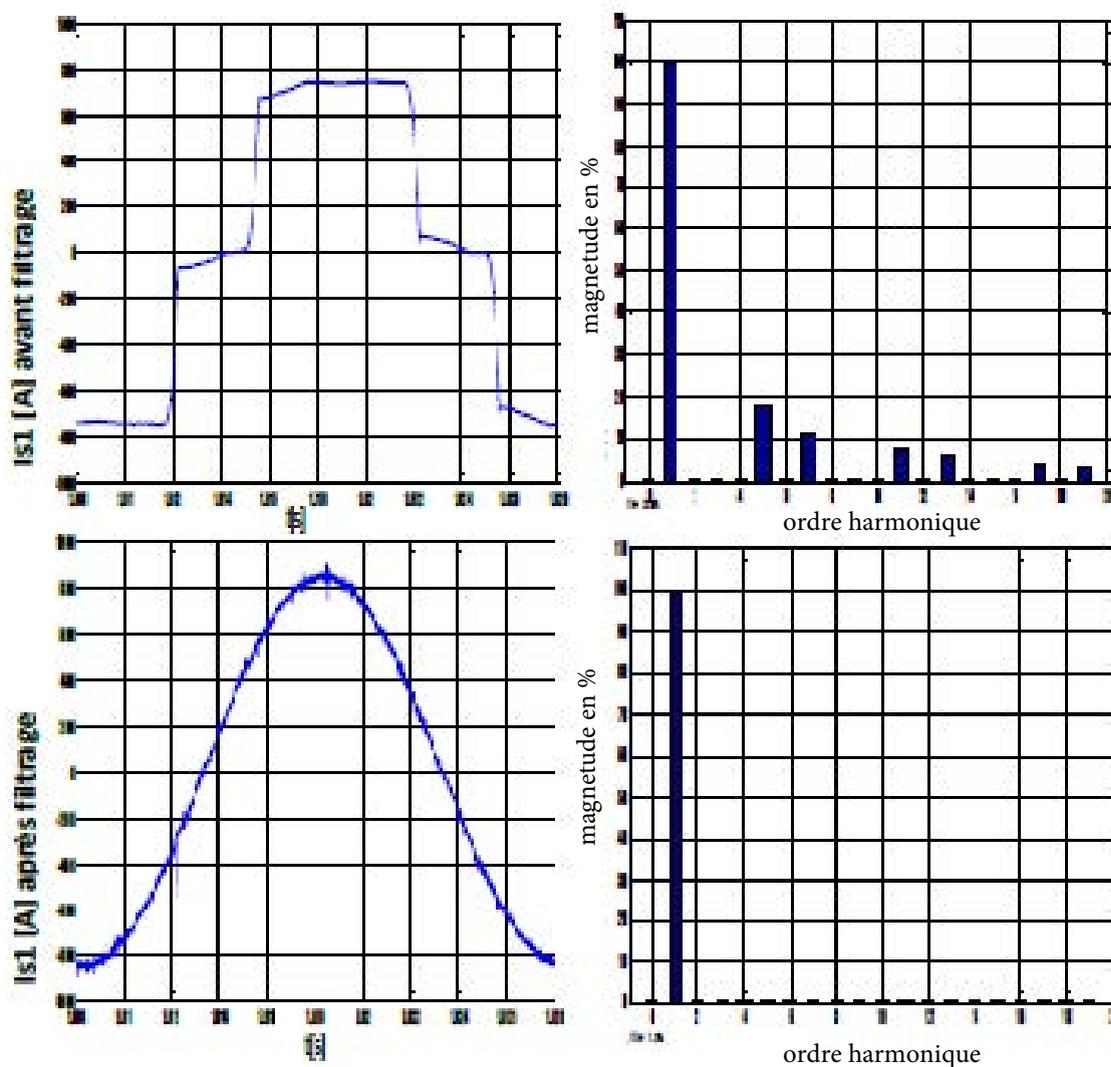
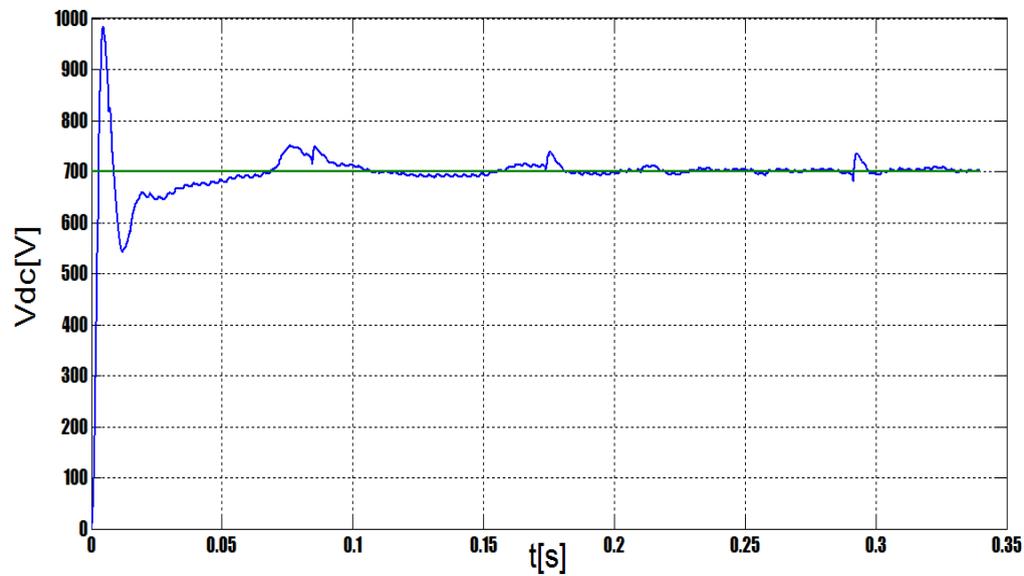


FIGURE III.4 – résultats de simulations des courants de sources avant et après filtrage THD

Les deux figures présentent l'évolution du courant de source de phase $i_{s1}(t)$ avec son spectre «FFT» et ce avant et après filtrage des harmoniques.

Le THD avant filtrage est de : 23.86 %.

Le THD après filtrage est de : 1.33 %.

FIGURE III.5 – évolution de la tension V_{dc}

Nous nous proposons de vérifier dans notre simulation l'influence des variations de puissance active et réactive sur les performances de notre filtre actif. Pour cela nous présenterons les simulations autour de $t = 1.2$ s (Figure II-19) et $t = 1.4$ s (Figure II-20).

A $t = 1.2$ s

À cet instant, nous avons effectué une variation de la valeur de référence de la puissance réactive de 0 VAR à -5000 VAR et suite à cela, nous n'avons observé aucun effet sur les performances de notre filtre vu que les courants sont restés identiques, que ce soit avant ou après variation de Q

A $t = 1.4$ s

À cet instant nous avons effectué une variation de la valeur de référence de la puissance active de 0 VAR à -5000 VAR et suite à cela nous n'avons observé aucun effet sur les performances de notre filtre vu que les courants sont restés identiques, que ce soit avant ou après variation de P.

donc

suite à la variation de puissance active et réactive, les paramètres de notre système et du filtre ne présente aucun phénomène transitoire et pour les courants de sources après et avant filtrage leur amplitude reste la même.

pour ce qui est des courants de filtre, la variation de la puissance active et réactive a aucune influence visible.

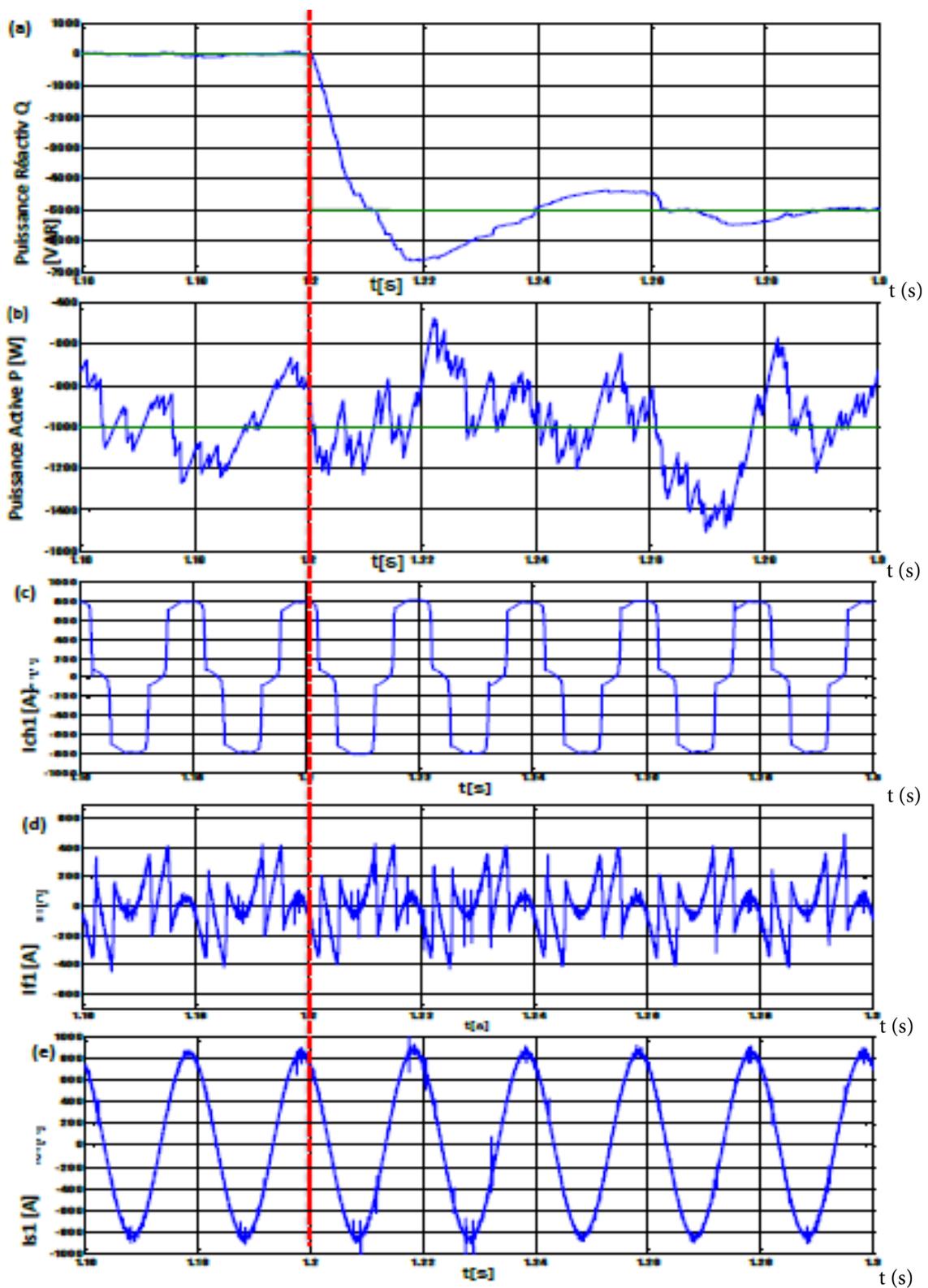


FIGURE III.6 – résultats de simulations sur l'influence des puissances réactive sur la puissance active

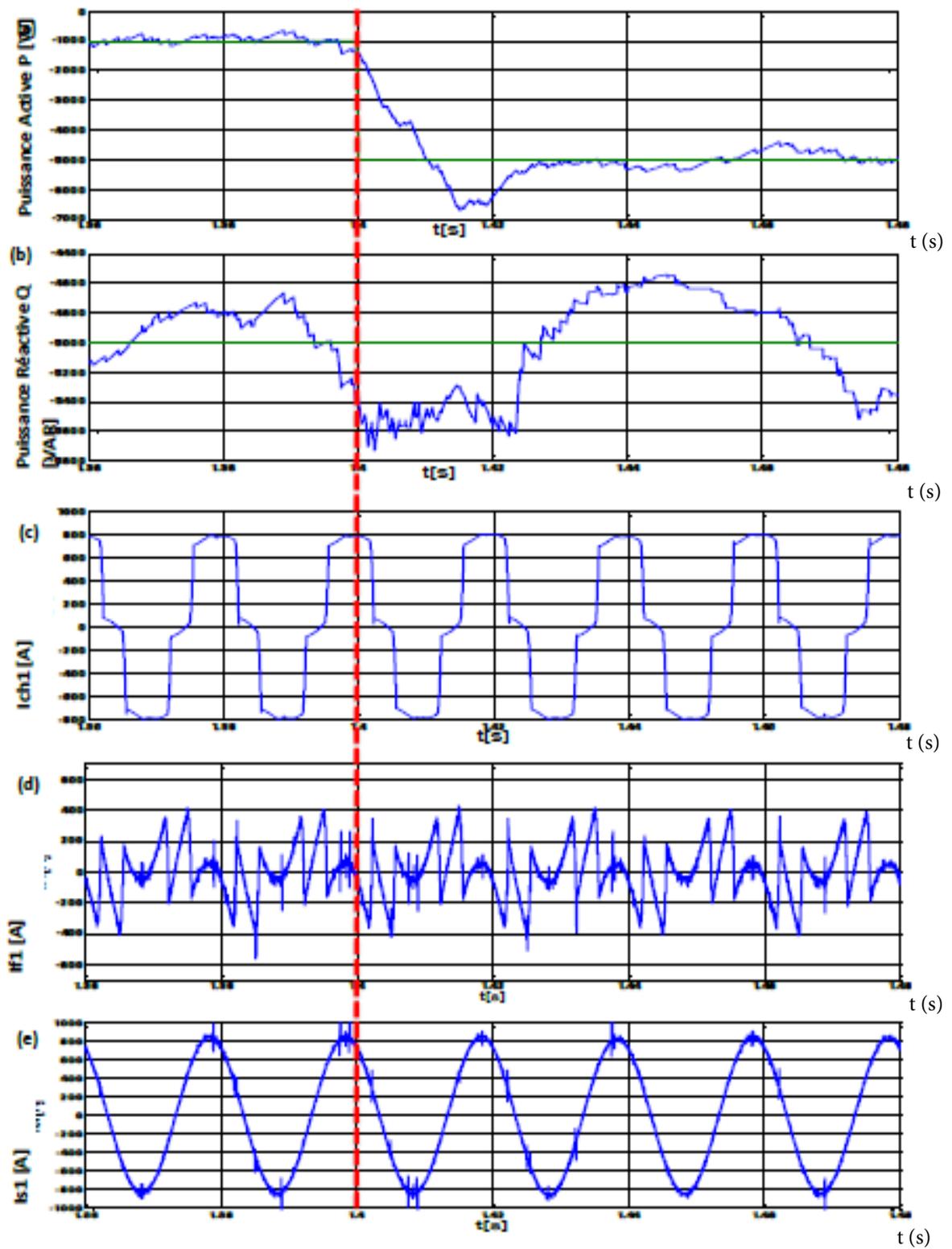


FIGURE III.7– résultats de simulations, sur l'influence de la puissance active par rapport à la puissance réactive

III 3.2-b Stratégie de commande indirecte

Les figures suivantes illustrent les résultats de simulation obtenus pour cette commande.

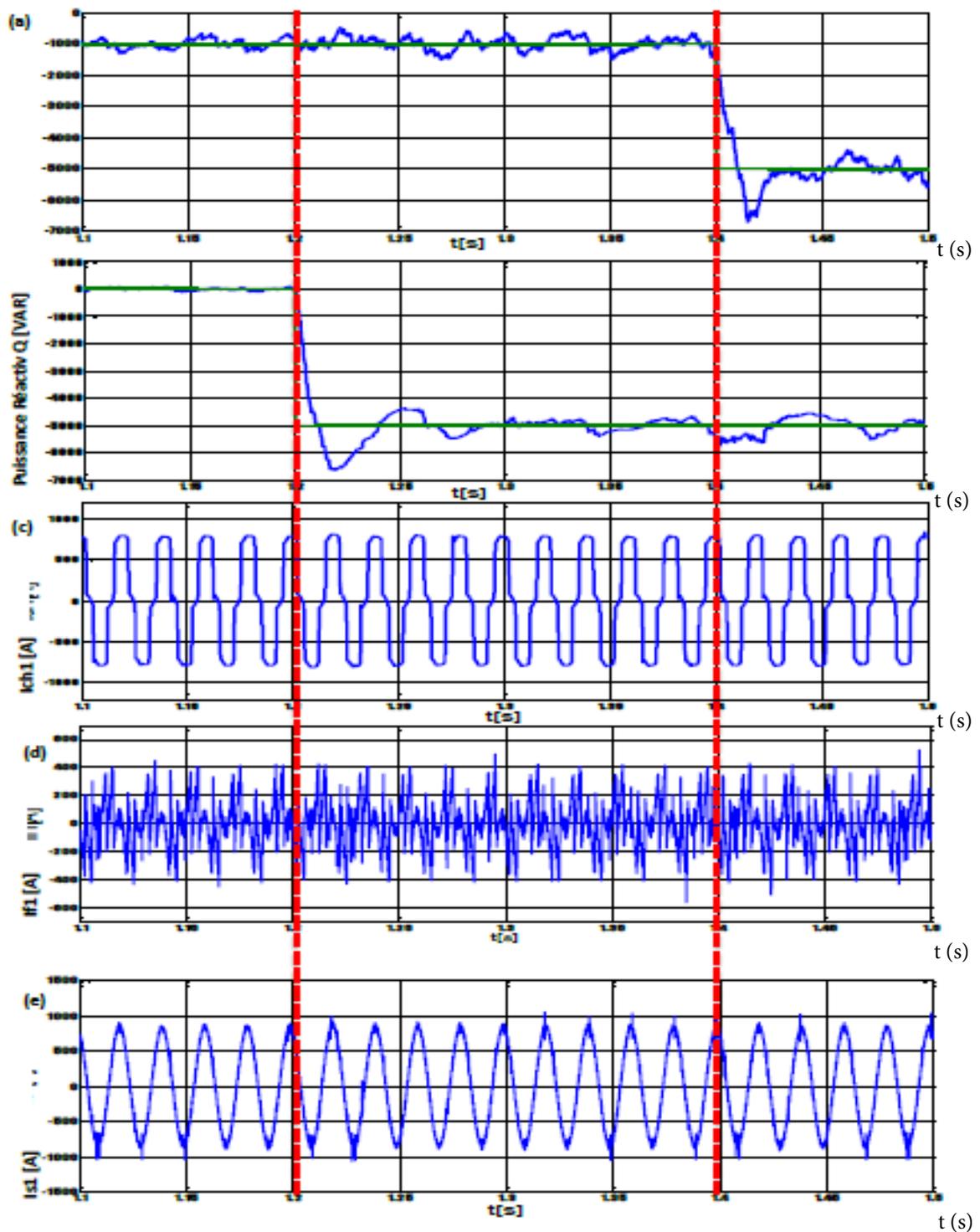


FIGURE III.8 – résultats des simulations du système équilibré de la commande indirecte

On remarque qu'une fois le filtre actif parallèle devient opérationnel, le courant de sources est quasi sinusoïdal.

Le fait que le courant de source ai récupéré son allure sinusoïdale, ce qui nous permet de dire que notre filtre actif parallèle « FAP » basé sur (p-q direct) assure pleinement ses missions. Ce qui est bien illustré au travers de la comparaison des THDs du courant de source avant et après application de filtre.

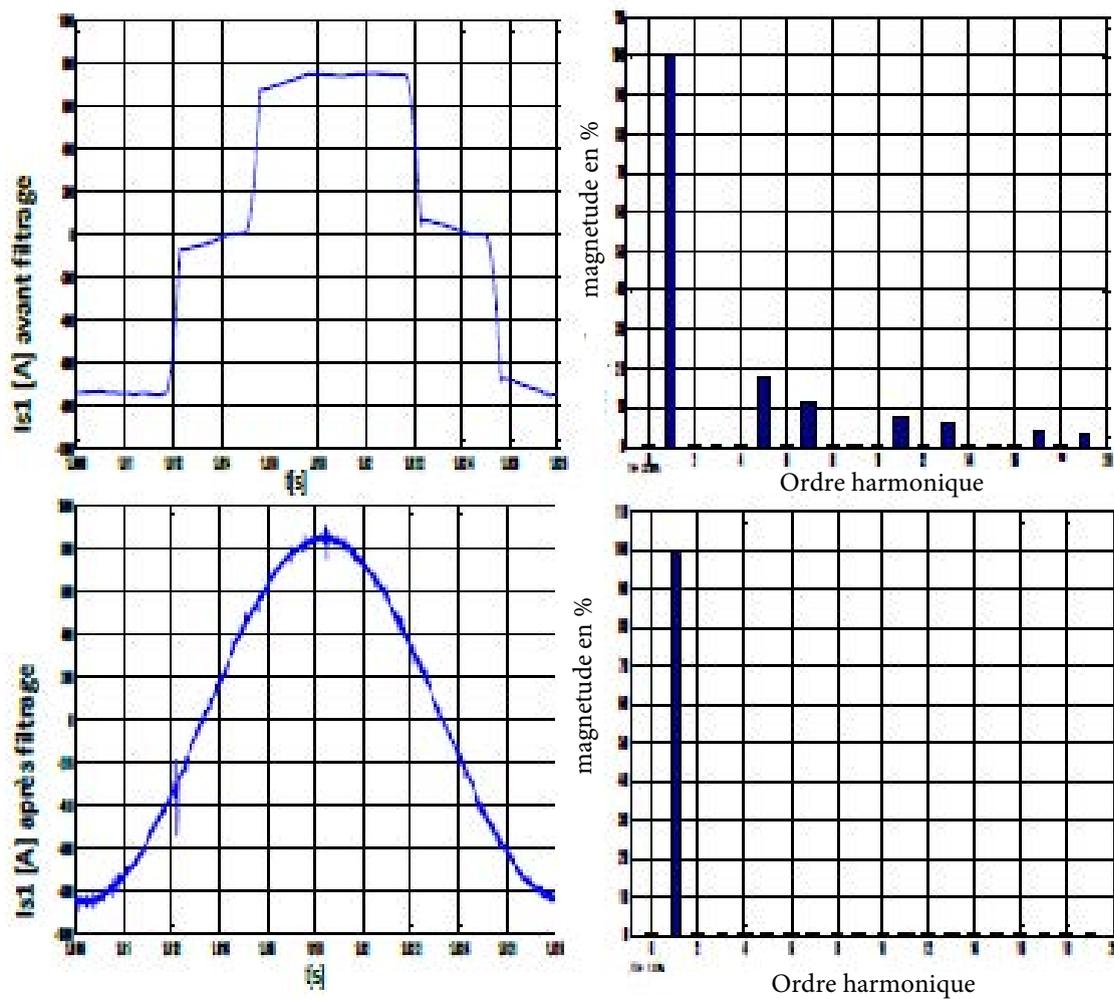


FIGURE III.9 – résultats de simulations des courants de sources avant et après filtrage THD

Les deux figures illustrent le courant de ligne d'une phase $i_{s1}(t)$ et son spectre avant et après filtrage harmonique.

Le THD avant filtrage est de : 23.86 %.

Le THD après filtrage est de : 0.33 %.

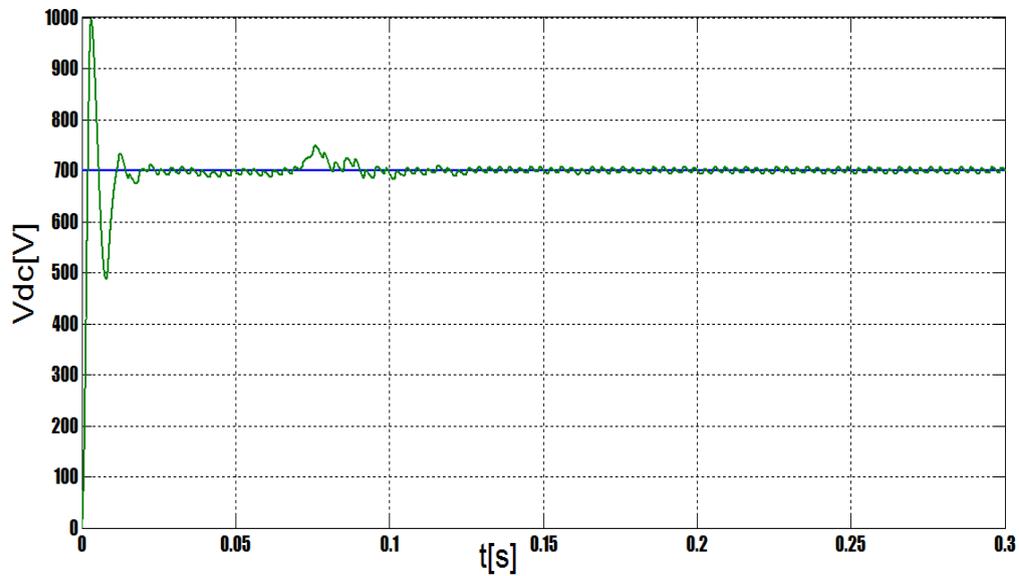


FIGURE III.10 – Evolution de la tension Vdc

Nous nous proposons de vérifier dans notre simulation l'influence des variations de puissance active et réactive sur les performances de notre filtre actif.

Pour cela nous présenterons les simulations autour de $t = 1.2$ s (Figure II-20) et $t = 1.4$ s (Figure II-21).

A $t = 1.2$ s

À cet instant, nous avons effectué une variation de la valeur de référence de la puissance réactive de 0 VAR à -5000 VAR et suite à cela, nous n'avons observé aucun effet sur les performances de notre filtre vu que les courants sont restés identiques que ce soit avant ou après variation de Q .

A $t = 1.4$ s

À cet instant, nous avons effectué une variation de la valeur de référence de la puissance active de 0 VAR à -5000 VAR et suite à cela nous n'avons observé aucun effet sur les performances de notre filtre vu que les courants sont restés identiques que ce soit avant ou après variation de P .

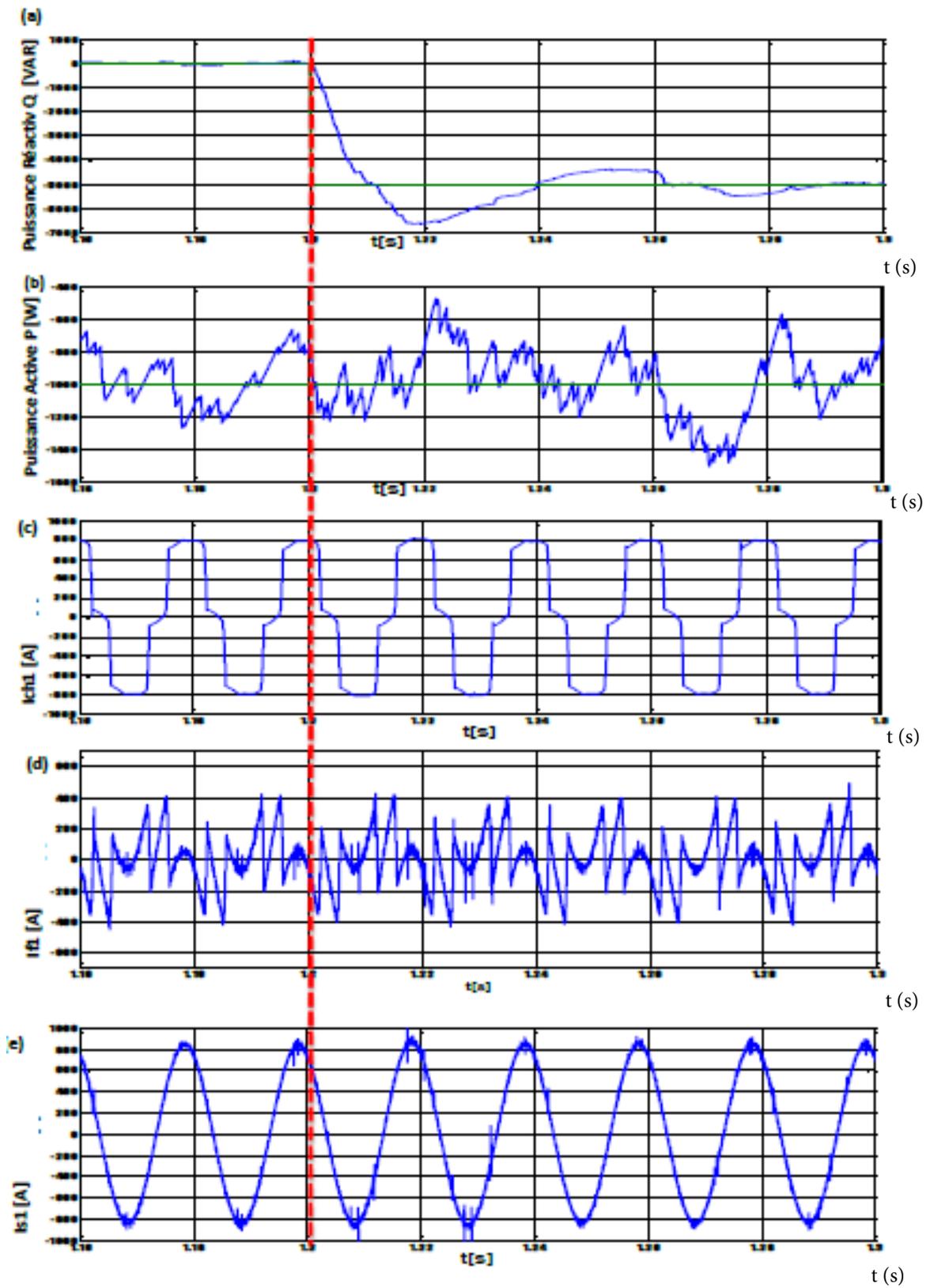


FIGURE III.11 – influence de la puissance réactive sur la puissance active

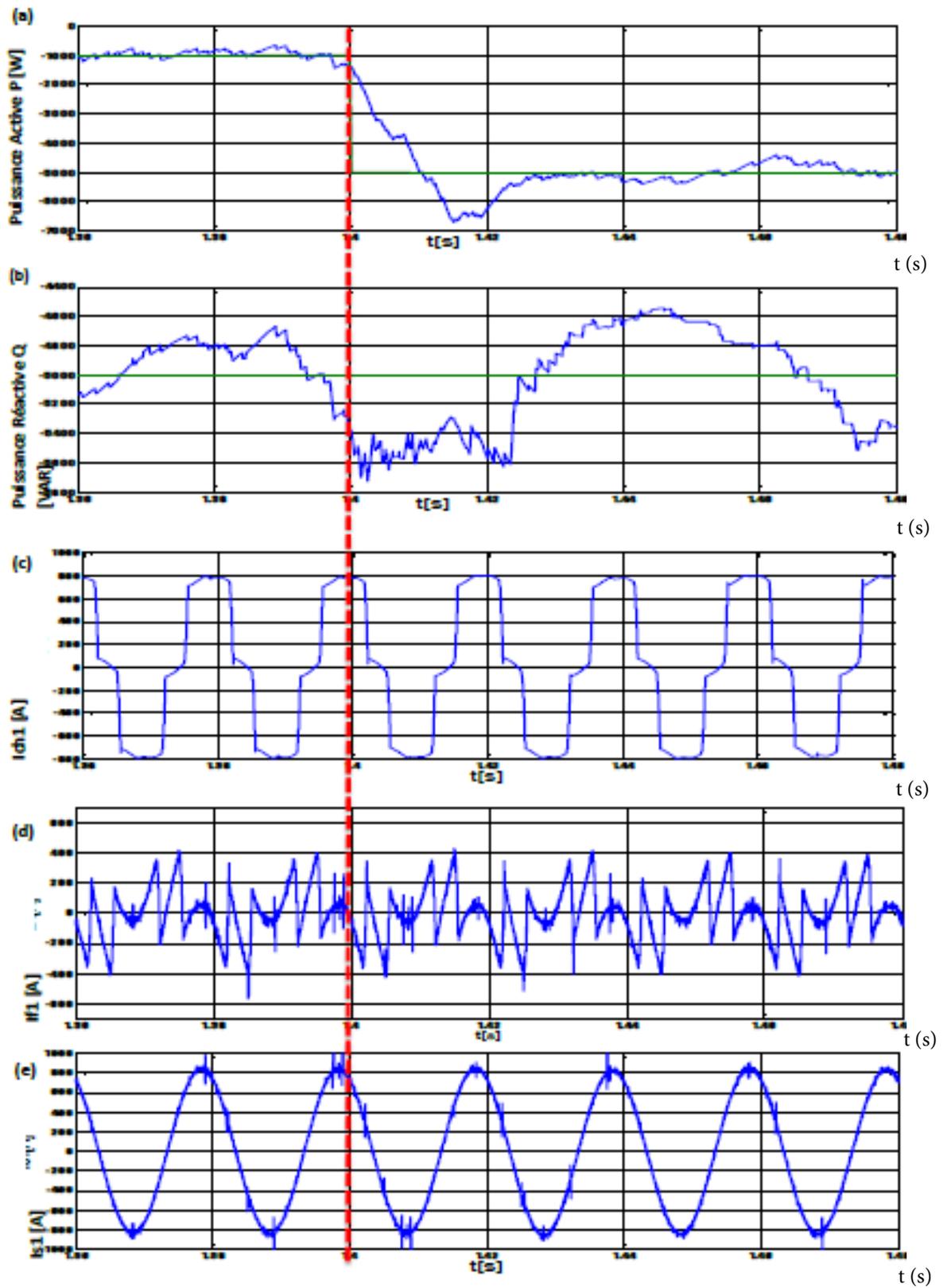


FIGURE III.12 – influence de la puissance active sur la puissance réactive

donc, suite à la variation de puissance active et réactive les paramètres de notre système intégrant le FAP ne présente pas un phénomène transitoire.

Pour ce qui est des courants de filtre .

La variation des puissances active et réactive au niveau de la MADA n'ont eu aucune influence visible sur le courant de source.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué deux simulations relatives aux deux méthodes d'extraction des courants de références (directes et indirectes) suivant un système équilibré.

Il s'est avéré que notre filtre actif de puissance parallèle assure correctement ses missions, à savoir éliminer les courants harmoniques et la puissance réactive côté charge (à droite du filtre).

Un deuxième intérêt s'est porté sur les performances de notre filtre (robustesse des régulateurs du filtre) à la suite de variations des puissances actives et réactives de notre génératrice (MADA). Aucune variation tangible n'a été observée.

Dans le chapitre suivant, nous nous proposons d'effectuer les mêmes simulations en régime déséquilibré.

Chapitre IV

Étude et simulation du système déséquilibré

SOMMAIRE

IV. 1 INTRODUCTION	60
IV. 2 DESCRIPTION DU SYSTÈME TRAITÉ	61
IV. 3 RÉSULTATS DES SIMULATIONS	61
IV. 3.1 Système sans filtre active parallèle	61
IV. 3.2 Système avec filtre active parallèle	63
IV. 4 CONCLUSION	75

IV. 1 Introduction

Nous nous proposons dans ce chapitre de mettre en évidence la performance d'un filtre actif de puissance parallèle en présence de deux sources d'énergie (réseau électrique triphasé équilibré et une génératrice asynchrone à double alimentation) alimentant une charge non linéaire

Soit la configuration suivant, choisie comme model d'études :

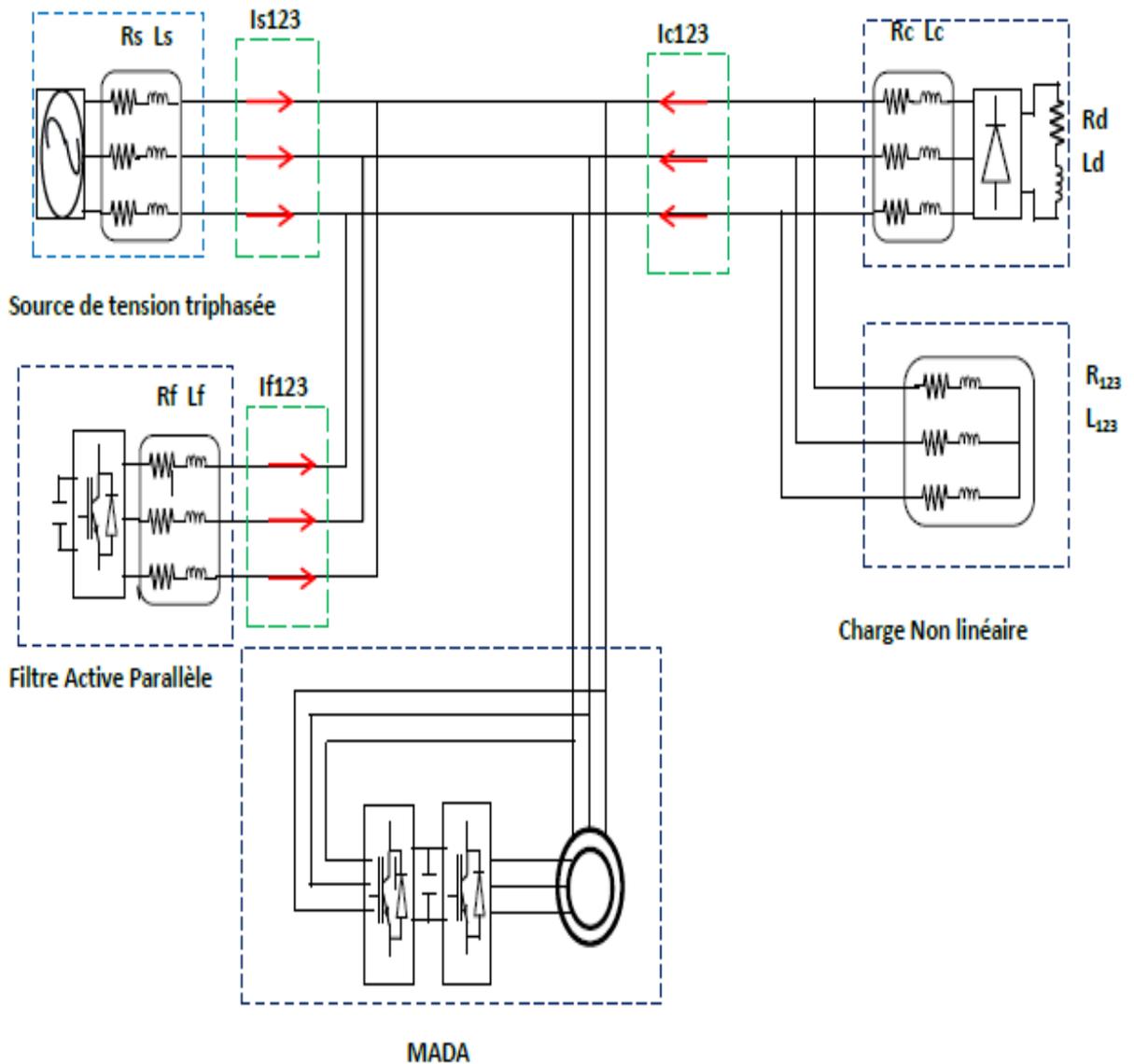


FIGURE IV.1 – représentation du model de simulation
(Réseau-Filtre actif parallèle-charge non linéaire déséquilibré-MADA)

IV.2 Description du système traité

les paramètres de notre système correspondant au chapitre 1 et 2.

Pour $R1 = 0.2(\Omega)$ $R2 = 0.6(\Omega)$ $R3 = 0.8(\Omega)$

Les figures suivantes présentent les courants absorbés par la charge polluante i_{ch123} des phases et les courant de source i_{s123}

Le THD des courants pour cette charge est de 13.86 %.

les perturbations sont générées à la fois de notre charge non linéaire ainsi que s'elle produite par notre générateur asynchrone à doublé alimentation "MADA", on voit que les harmoniques les plus dominants sont ceux des rangs 5, 7 et 11, c'est le cas d'un redresseur triphasé alimentant une charge R-L raccorder avec une MADA.

Maintenant, nous allons présenter les résultats de simulation avec le filtre actif et ce pour les deux méthodes de contrôle présentées auparavant. On applique le filtrage sur le redresseur triphasé alimentant une charge R-L connectée avec la MADA.

Notre intérêt se porte aussi sur les performances de notre régulateur lors de la variation de puissance appliquée à notre générateur.

IV.3 Résultats des simulations

IV.3.1 Système sans filtre active parallèle

La simulation est très importante dans notre projet, car elles nous aide à confirmer la valider et l'exactitude de la partie théorique de l'étude. Nous avons modélisé puis simulé un réseau électrique triphasé à trois fils connecter avec MADA débitant sur une charge non linéaire déséquilibrée. Nous présentons dans ce qui suit, les résultats obtenus des simulations du système complet « réseau électrique - charge non-linéaire déséquilibré - MADA ».

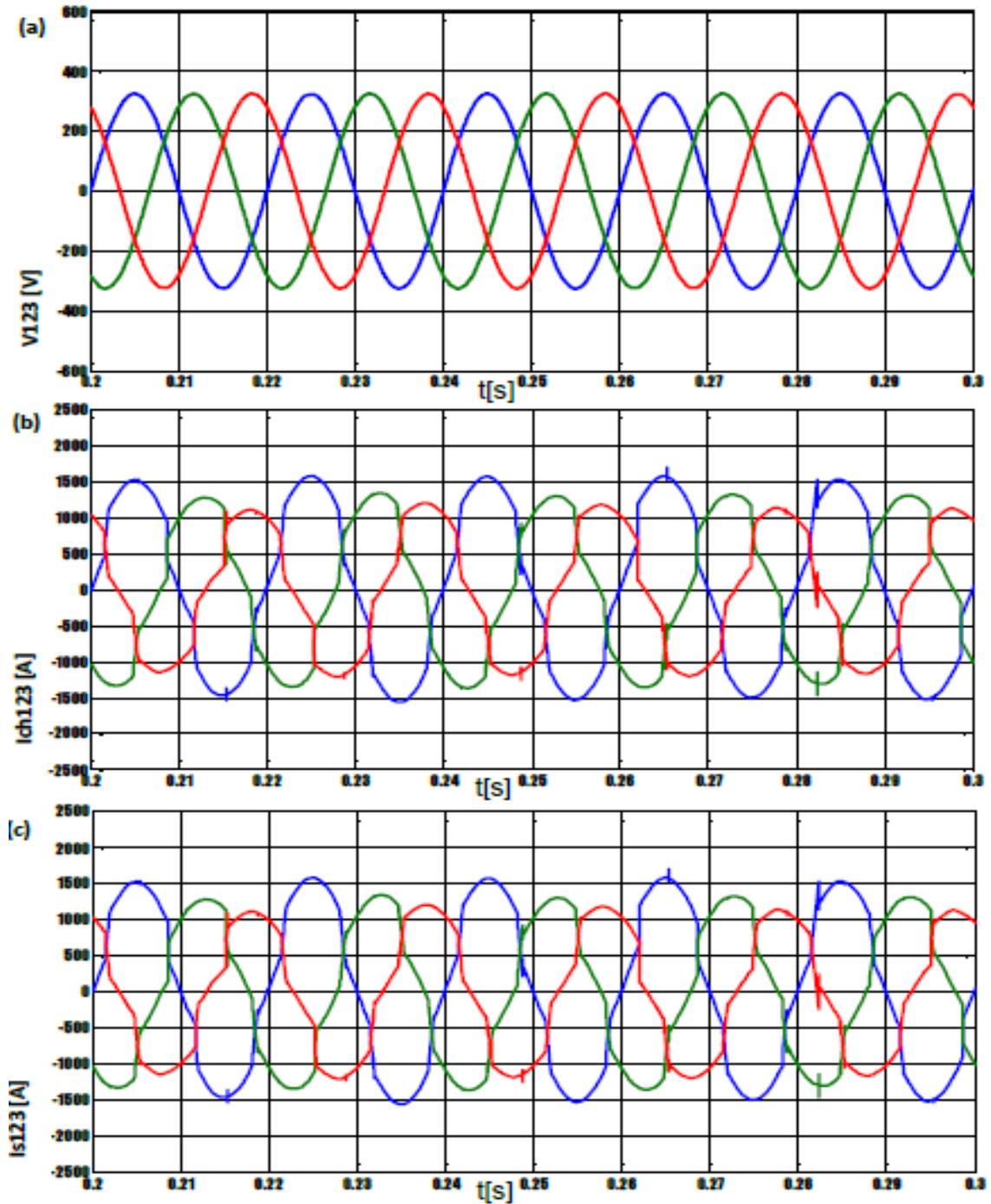


FIGURE IV.2 – résultats des simulations du système déséquilibré (filtre actif de puissance réseau électrique - charge non-linéaire déséquilibré MADA)
(a) Les tensions de source v_{123} de système (b) courants de charge i_{ch123} de système
(c) courant de la source i_{s123}

IV 3.2 Système avec filtre active parallèle

IV 3.2-a Stratégie de commande directe

Première phase : les figures suivantes illustrent les résultats de simulation obtenus de cette commande pour la phase 1.

On a remarquer qu'une fois le filtre actif parallèle est mis en fonctionnement, les courants de sources sont quasi sinusoïdal et libérer de toutes perturbations harmoniques malgré la présence de la MADA .

Le fait que le courant de source ai récupéré son allure sinusoïdale, nous confirmons que le filtre actif parallèle FAP (p-q direct) a généré un courant qui suit bien sa référence. Pour s'assurer du bon fonctionnement du système de filtrage, nous avons montré dans la figure ci-dessous la superposition de courants identifié et injecté.

On varie la puissance active P et réactive pour voir leur influences sur le courant de filtre et source Lorsque la puissance réactive à $t = 1.2$ s varie, on remarque qu'un pic sur les courants de filtrage et courant de source apparait et c'est la même chose pour la puissance active à $t = 1.4$ s on remarque un petit pic sur i_{f1} et i_{s1}

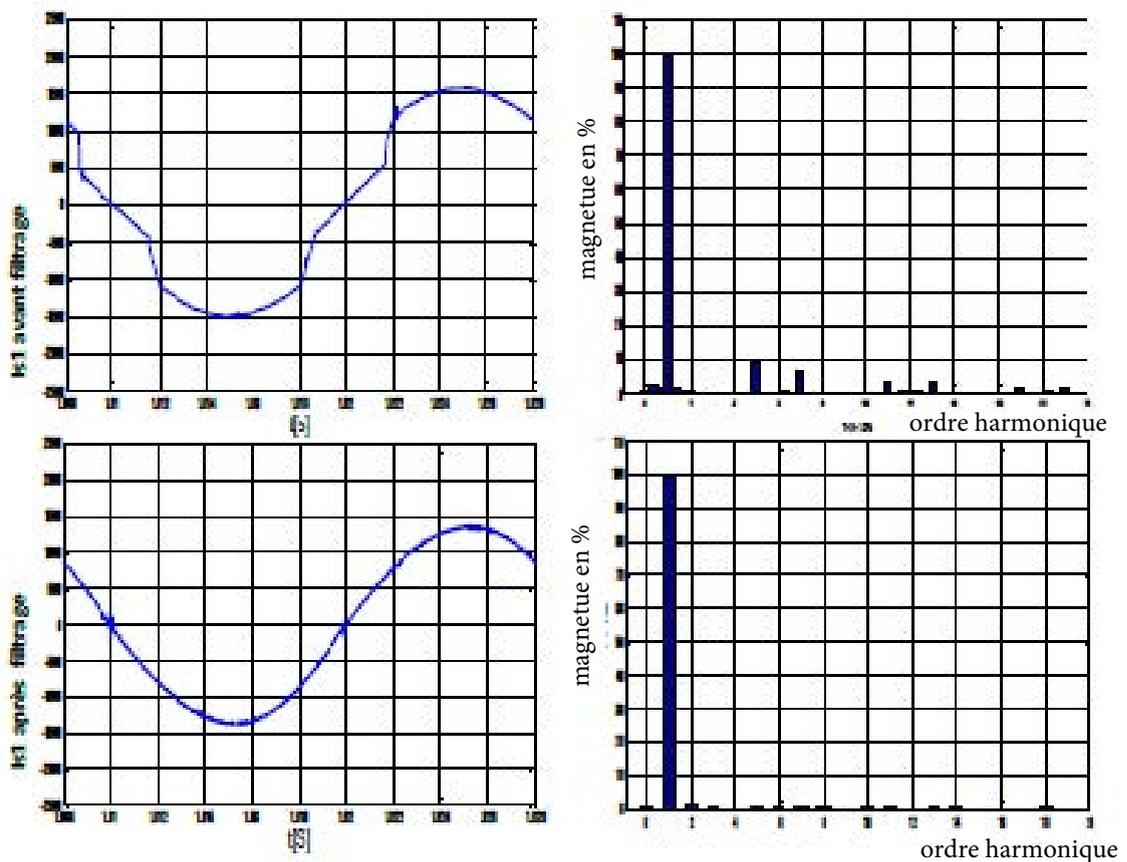


FIGURE IV.3 – résultant sdes simulations du système déséquilibré des courant de source avant et après filtrage avec THD

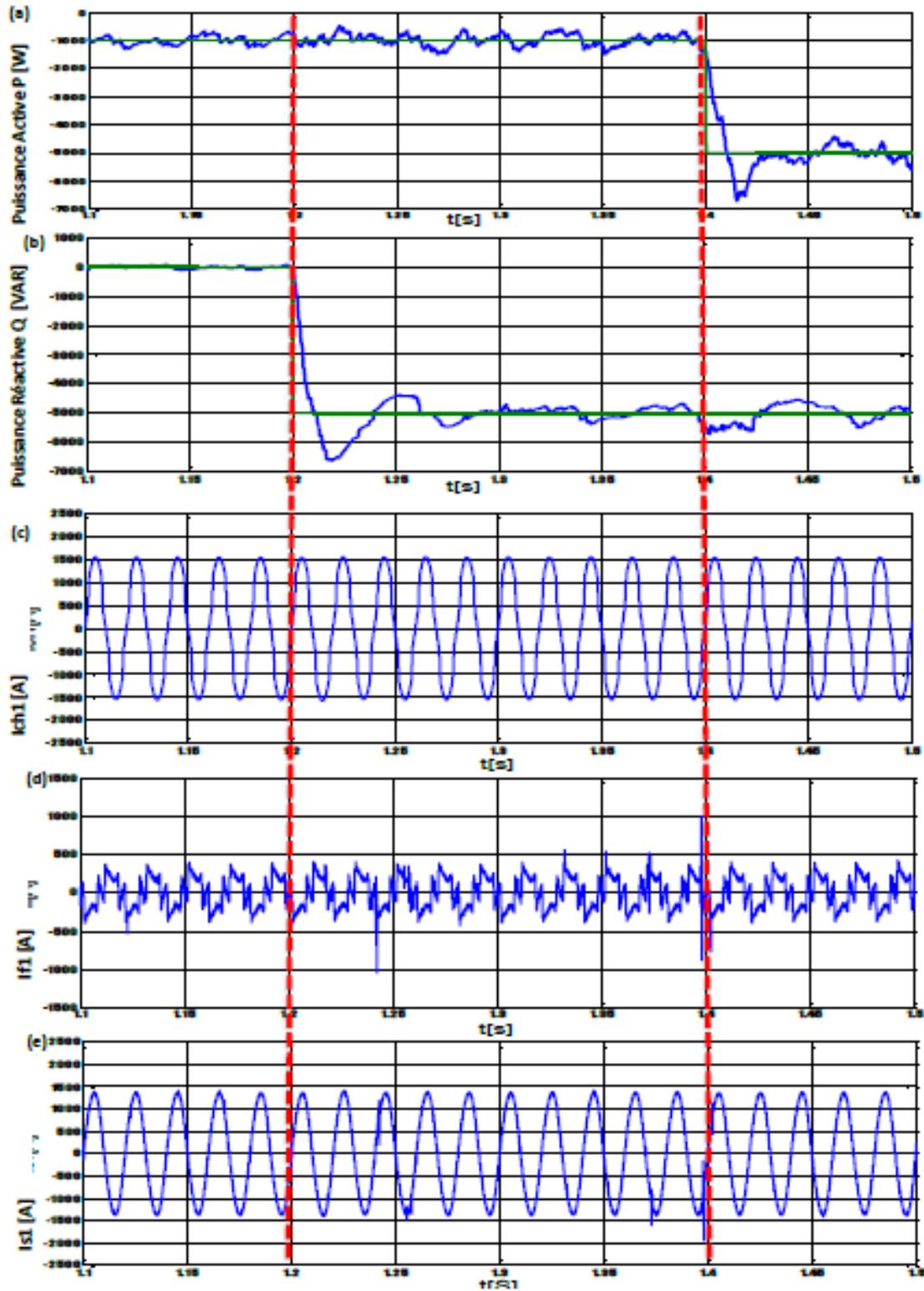


FIGURE IV.4 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive

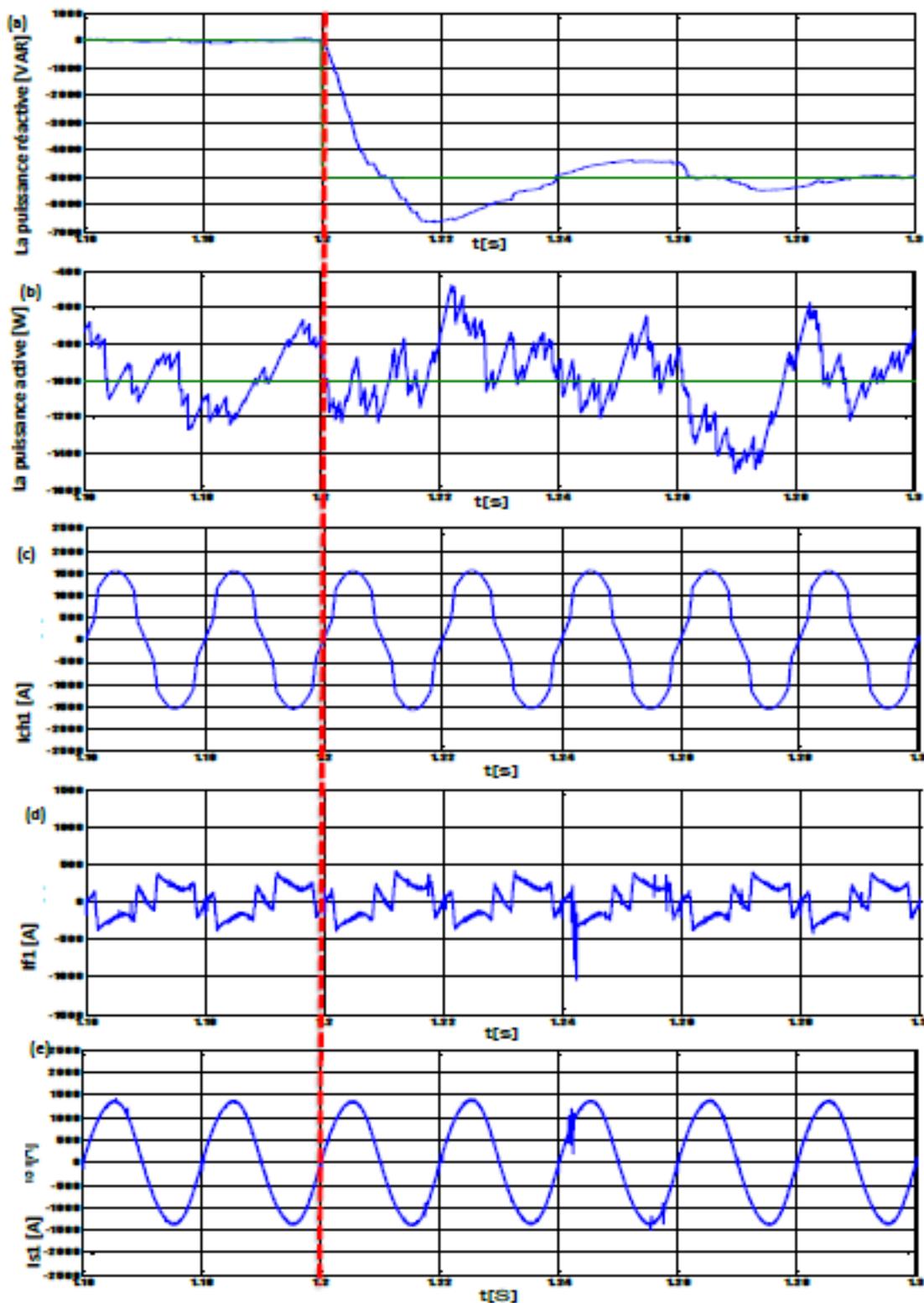


FIGURE IV.5 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active

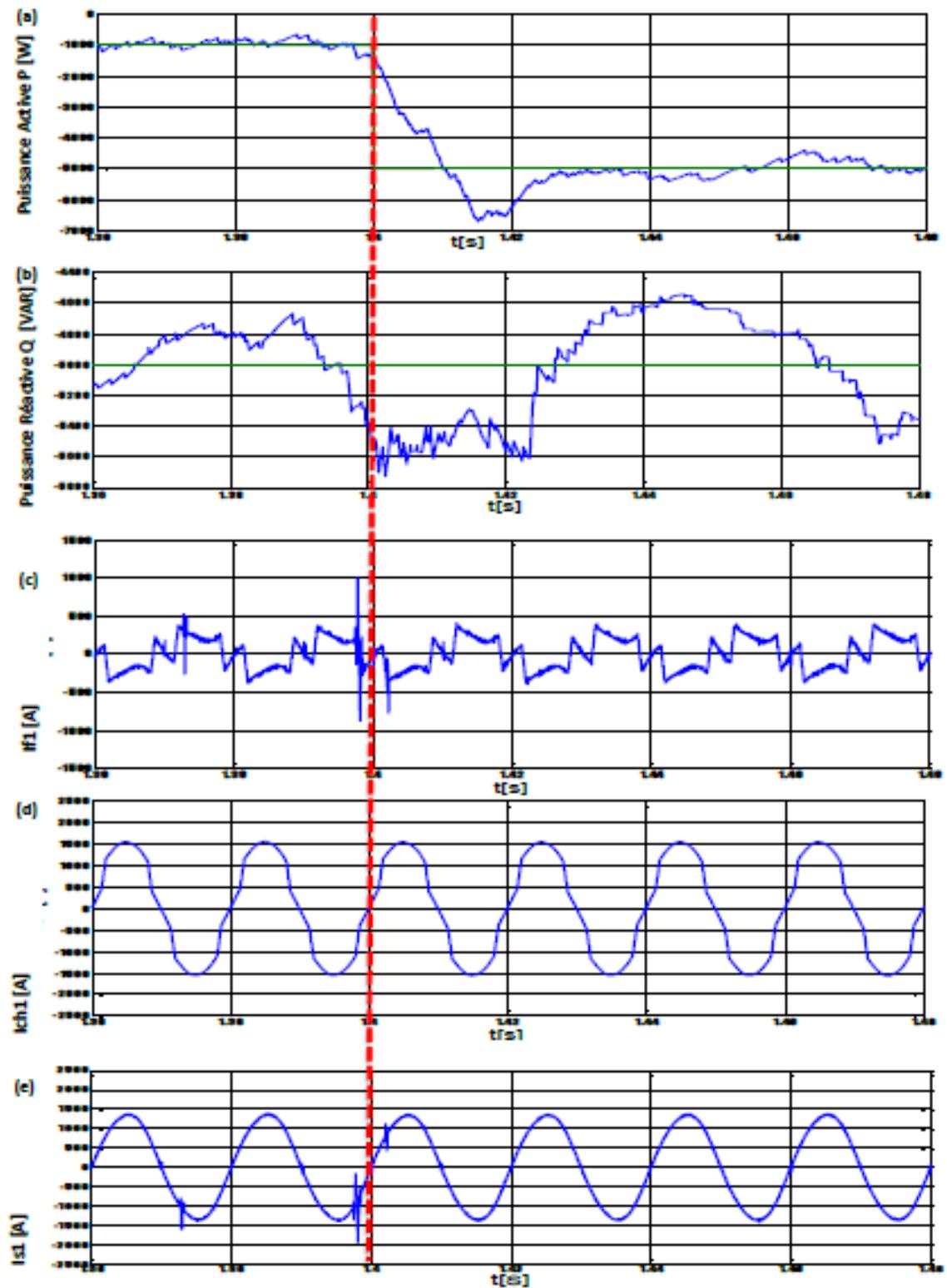


FIGURE IV.6. – Résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active

Deuxième phase : les figures suivantes illustrent les résultats de simulation obtenus de cette commande pour la phase 2.

On a déduit les mêmes observations que pour la phase 1, qu'une fois le filtre actif parallèle est mis en fonctionnement, le courant de source est quasi sinusoïdal et libéré de toutes perturbations harmoniques malgré la présence de la MADA .

Le fait que le courant de source à récupérer son allure sinusoïdale nous confirmons que le filtre actif parallèle FAP (p-q direct) a généré un courant qui suit bien sa référence. P

On varie la puissance active P et réactive Q de façon indépendante pour voir leur influence sur le courant de filtre et source. Lorsque la puissance réactive à $t = 1.2s$ fonctionne, on peut remarquer un pic sur les courants de filtrage et courant de source et c'est la même chose pour la puissance active à $t = 1.4 s$, on remarque un petit pic sur i_{f1} et i_{s1}

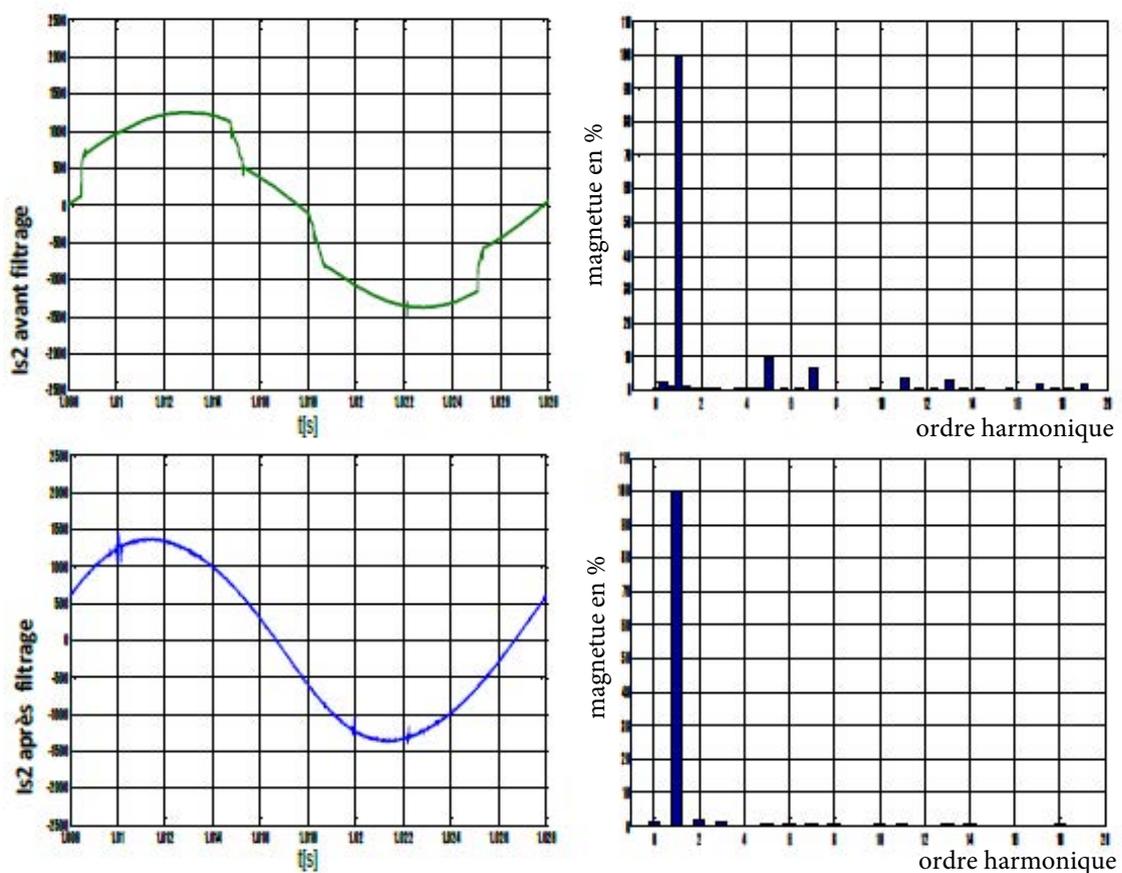


FIGURE IV.7 – résultant des simulations du système déséquilibré des courant de source avant et après filtrage avec son THD

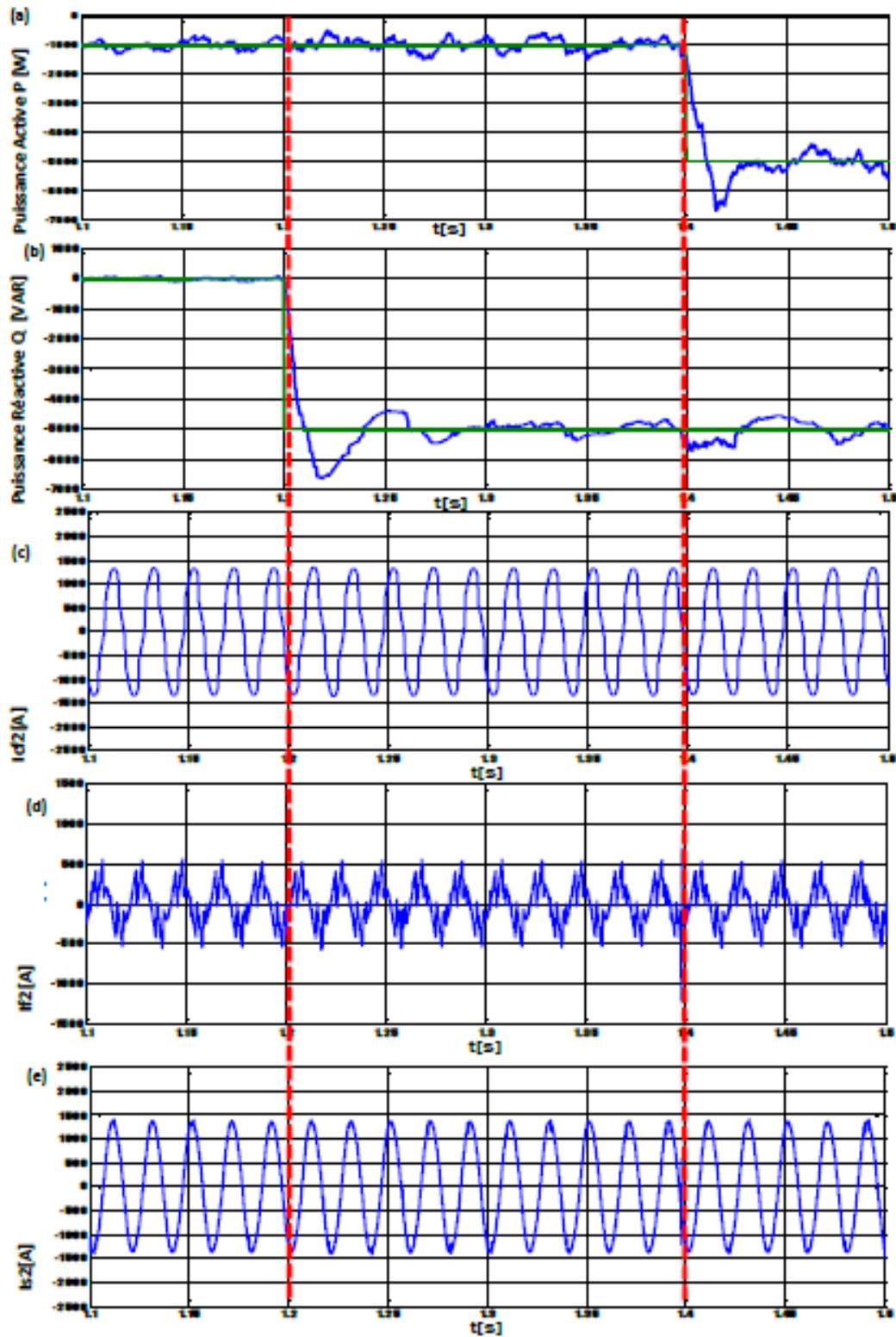


FIGURE IV.8 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive

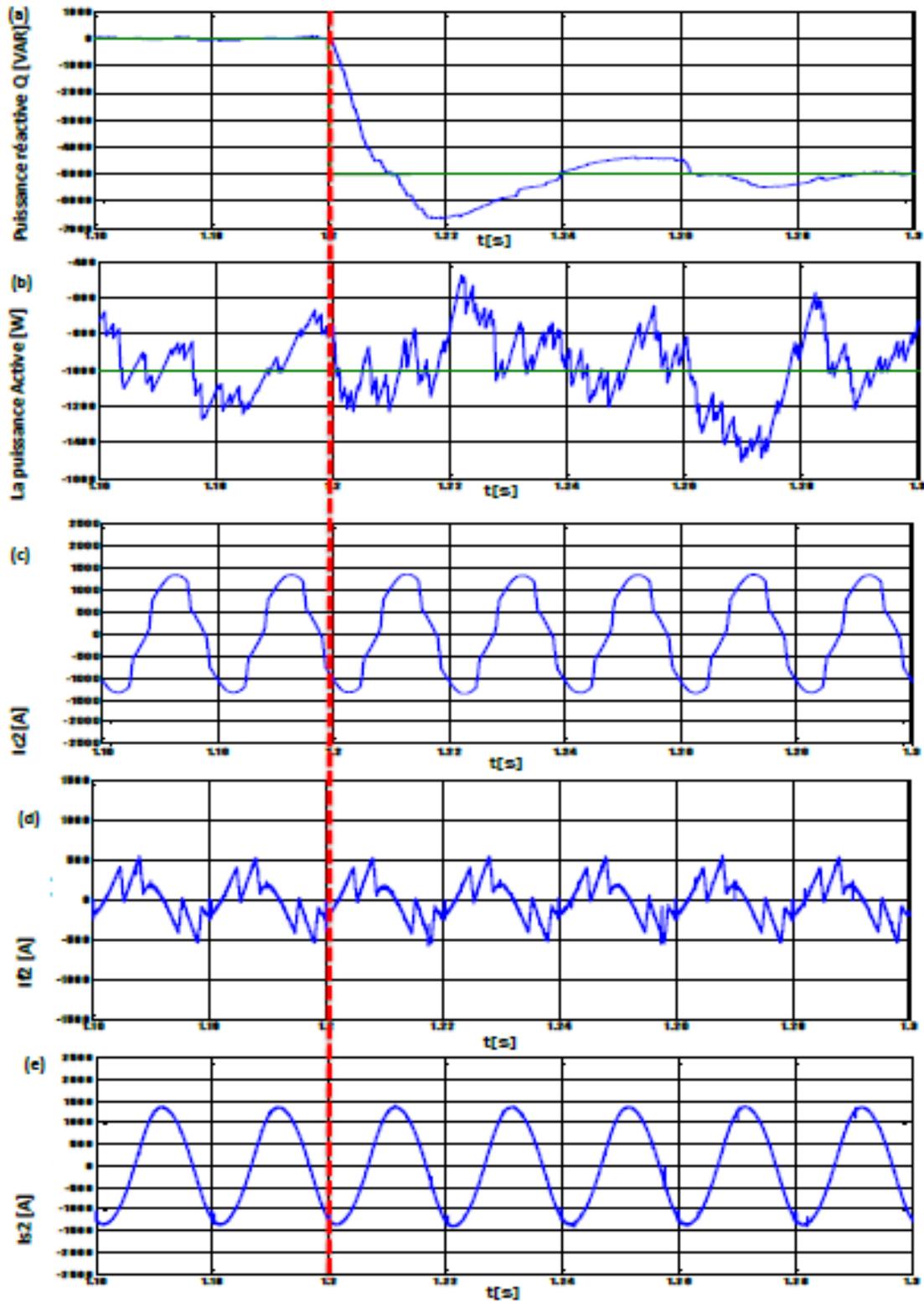


FIGURE IV.9 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active

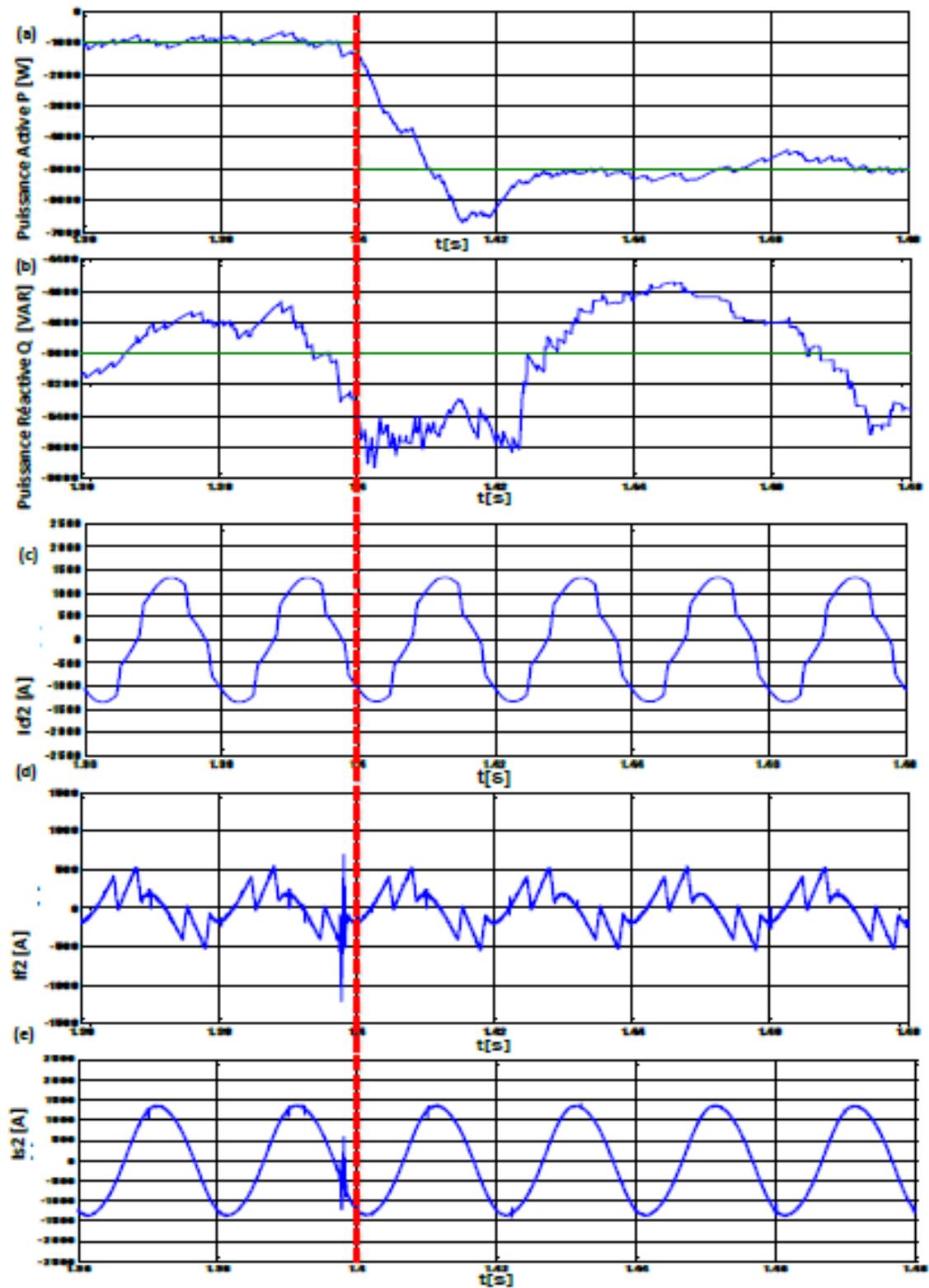


FIGURE IV.10 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active

Troisième phase : les figures suivantes illustrent les résultats de simulation obtenus de cette commande pour la phase 3.

On a déduit les mêmes observations que la phase 1 et 2, qu'une fois le filtre actif parallèle est mis en fonctionnement, les courants de sources sont quasi sinusoïdal et libérés de toutes perturbations harmoniques malgré la présence de la MADA.

Le fait que le courant de source ait récupéré son allure sinusoïdale, notre filtre actif parallèle FAP (p-q direct) a généré un courant qui suit bien sa référence. Pour s'assurer du bon fonctionnement du système de filtrage, nous avons montré dans la figure ci-dessous la superposition de courant identifié et injecté.

On varie, la puissance active P et réactive Q de façon indépendante pour voir leur influence sur les courants de filtre et source.

Lorsque la puissance réactive à $t = 1.2s$ varie, on remarque un pic sur les courants de filtrage et courant de source et c'est la même chose pour la puissance active à $t = 1.4s$ on remarque un petit pic sur $if1$ et $is1$

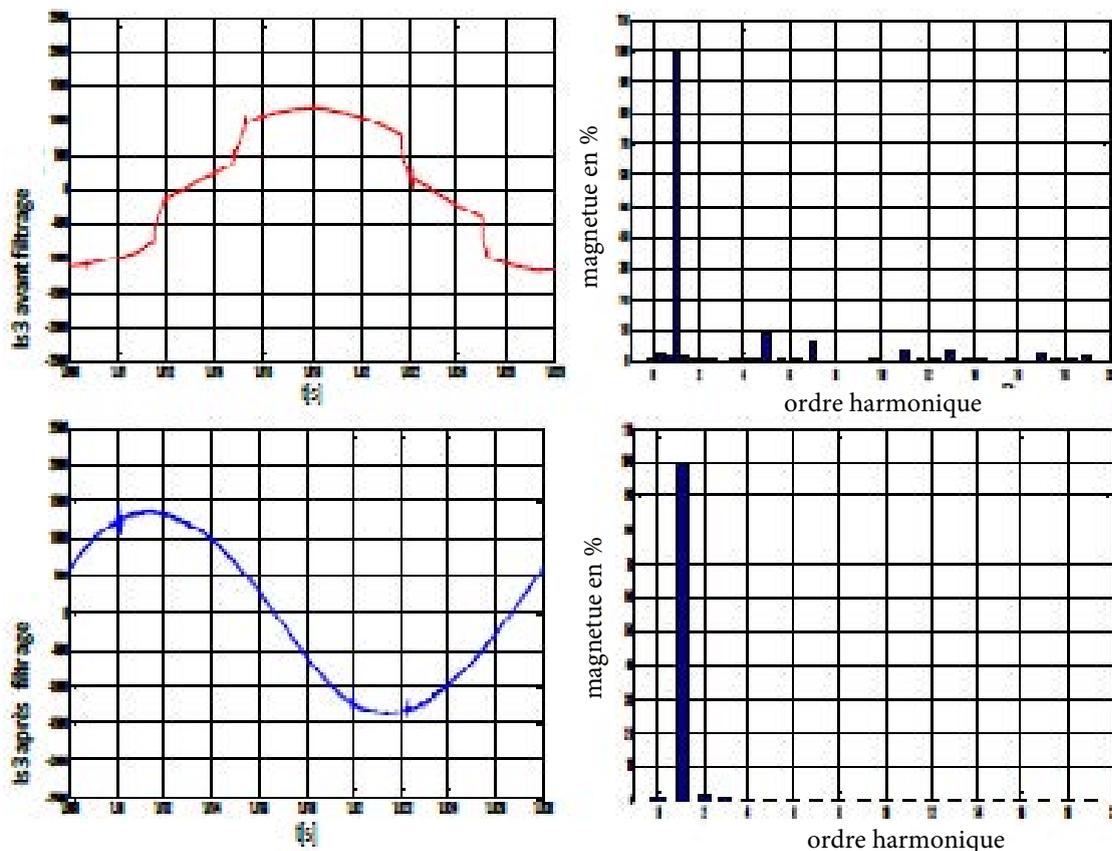


FIGURE IV.11 – résultant des simulations du système déséquilibré des courant de source avant et après filtrage avec son THD

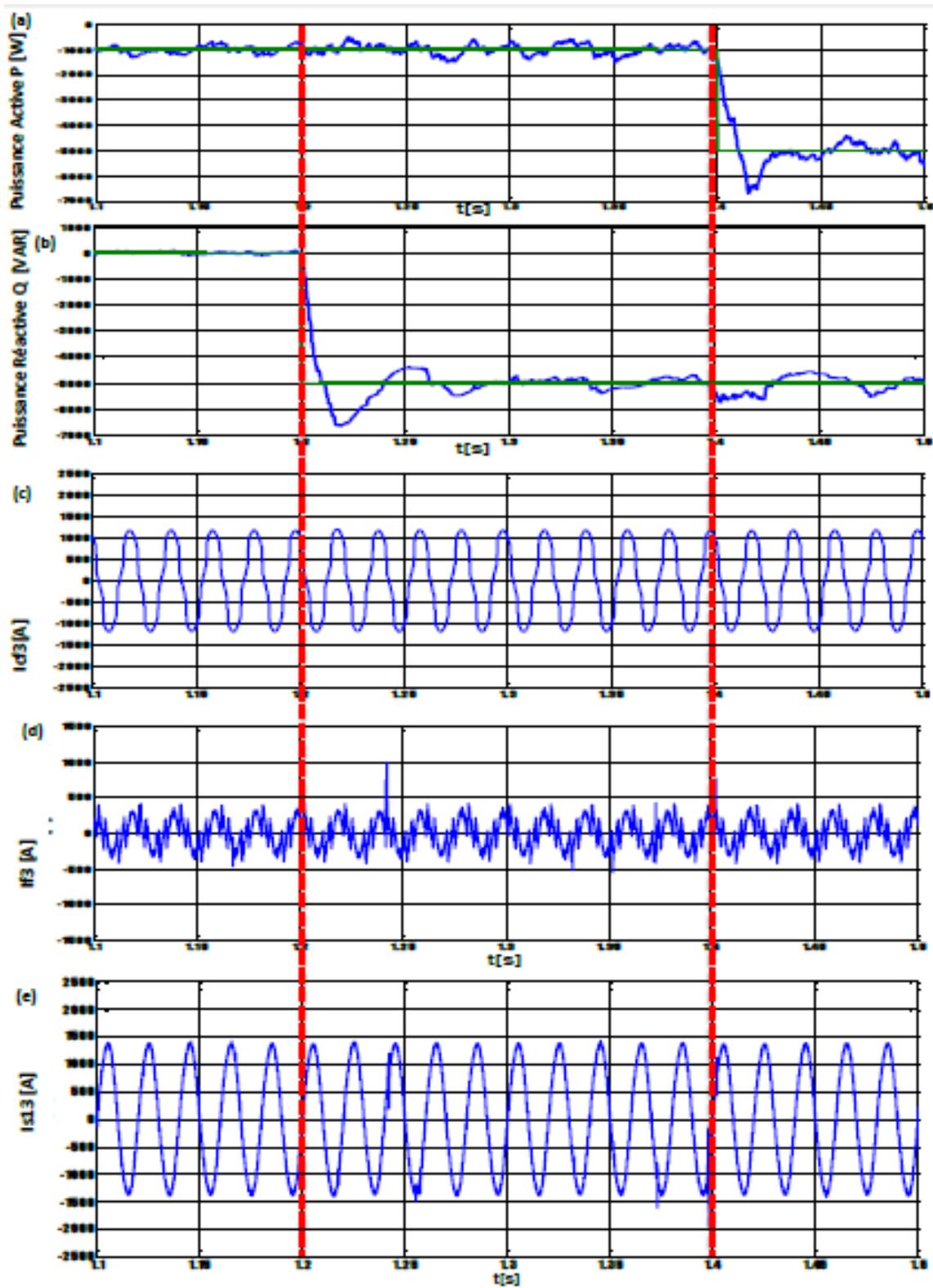


FIGURE IV.12 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance active sur la puissance réactive

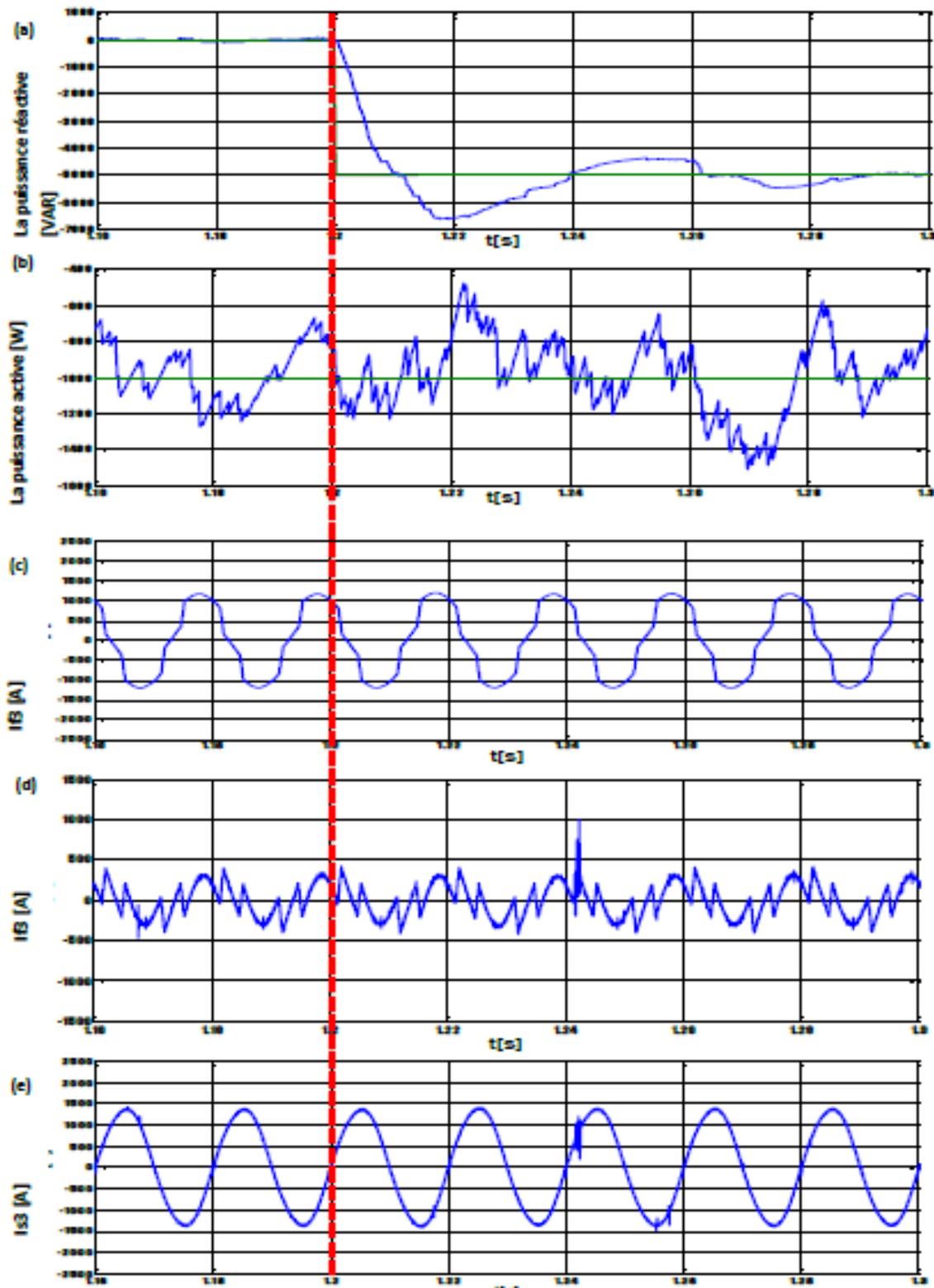


FIGURE IV.13 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active

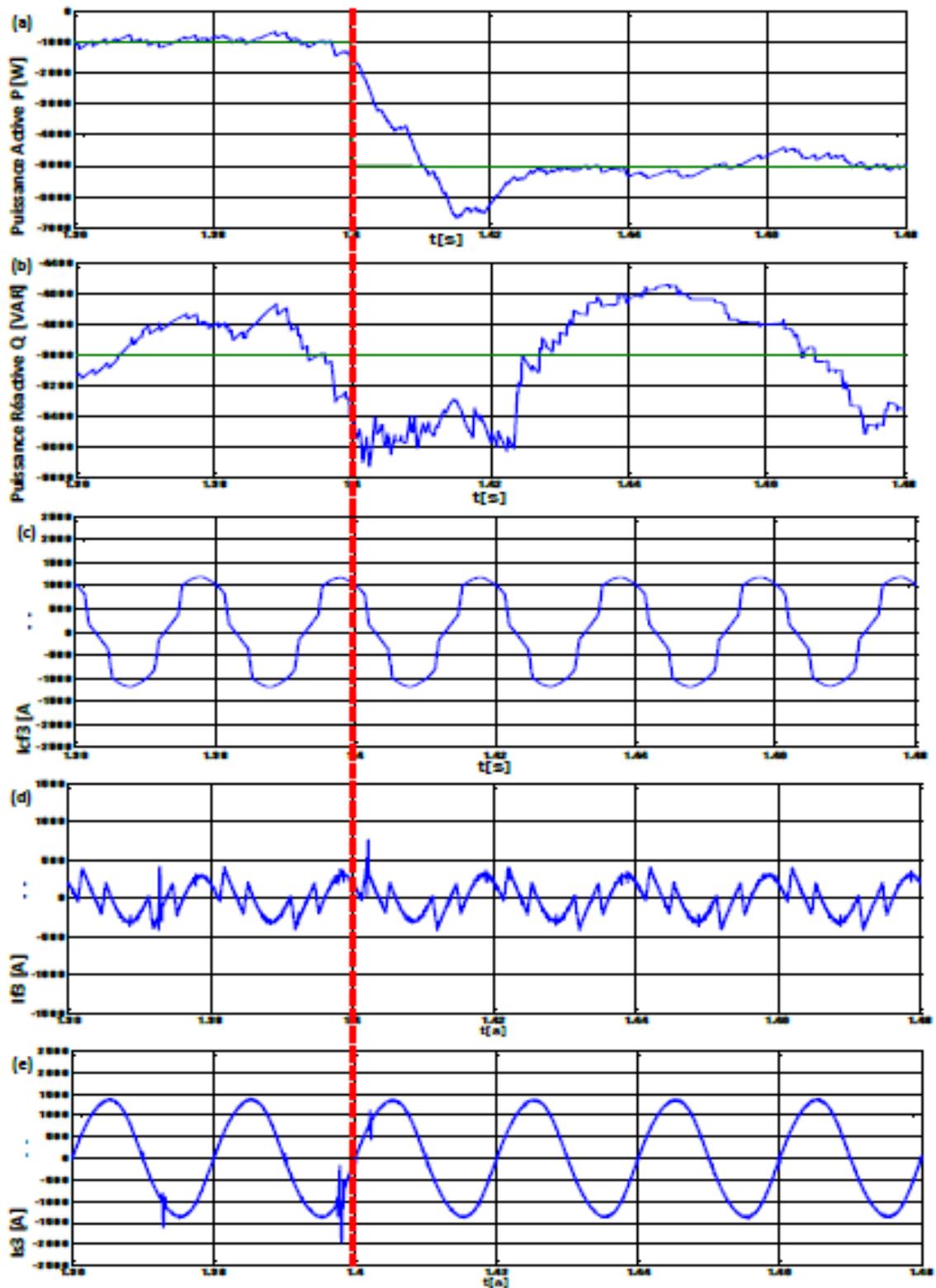


FIGURE IV.14 – résultats de simulations sur l'influence de la puissance réactive sur la puissance active

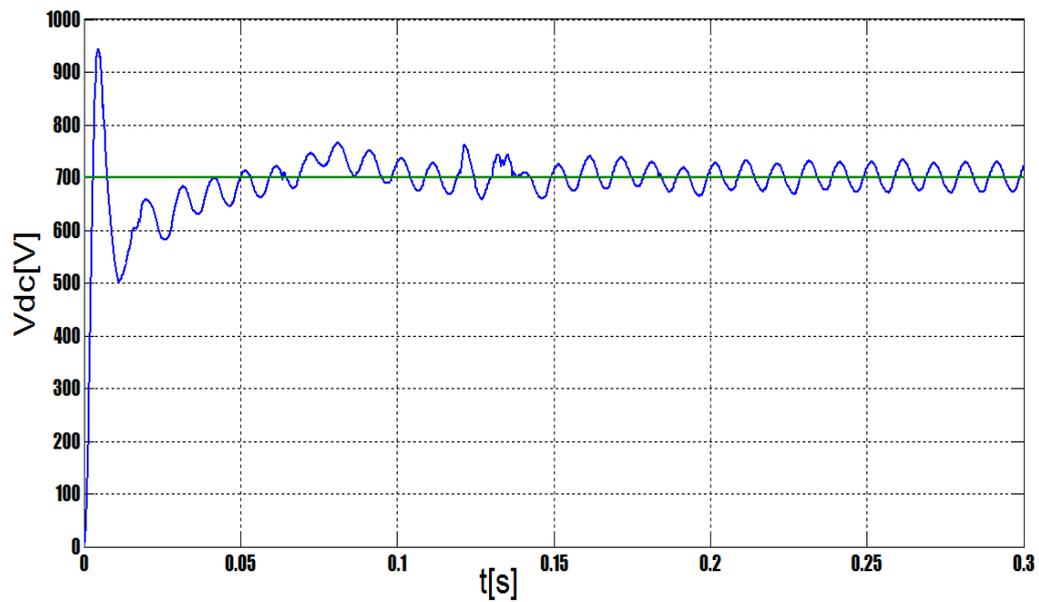


FIGURE IV.15 – Evolution de la tension Vdc

IV. 4 Conclusion

Suite à la variation de puissance active et réactive, les paramètres de notre système et filtre présente un phénomène transitoire lorsqu'il fonctionne à $t = 1.2$ s pour la puissance réactive (Q) et à $t = 1.4$ s pour la puissance active (P)

les allures des courants de sources après et avant filtrage pour les trois phases n'ont pas changé, ils ont gardé la même amplitude, pour ce qui est des courants de filtre, la variation de la puissance active et réactive a changer, illustrée par de petits pics.

Conclusion Générale

Les pollutions électriques sont principalement causées par des charges non linéaires, ces charges à base de convertisseurs de puissance offrent de l'énergie sous plusieurs formes et sont de plus en plus utilisées dans l'industrie.

Une des solutions les plus efficaces pour éliminer ces perturbations de natures courantes est l'utilisation des filtres actifs parallèles, de dépolluer le réseau et de compenser l'énergie réactive. Ce qui nous permettra d'avoir un réseau plus stable avec un facteur de puissance unitaire.

Lors de notre étude, nous avons modélisé le système global de génération d'électricité à partir d'une éolienne. Celle-ci a été suivie d'une commande adaptée en vue d'atteindre les meilleures performances.

Et nous nous sommes intéressé aux perturbations du type courant créés par deux types de charge : non linéaire équilibrée et déséquilibrée, dans le but de mesurer les performances des régulateurs de notre filtre.

Dans le premier chapitre, suite une étude effectuée avec simulation d'une machine asynchrone à double alimentation connecté au réseau électrique débitant sur une charge non linéaire. Ce qui nous a permis d'appliquer une commande directe à la machine avec l'emploi de régulateurs PI classique pour la CCR ou CCM. De très bons résultats de performance de nos régulateurs ont été observés à la suite des variations effectuées au niveau des puissances actives, réactives et vitesse à notre machine de sorte que notre système a toujours suivi la consigne, et le découplage des puissances a bien été observé.

Dans le second chapitre, une étude avec simulation d'un filtre actif parallèle connecté au réseau électrique débitant sur une charge non linéaire a été établie. On a utilisé deux méthodes d'extraction de courants de référence se basant sur la théorie des puissances instantanées directes et indirectes

Certes. Suite à quoi il s'en est suivi une étude comparative sur les performances et qualité des courants de sources ainsi obtenue, en comparant leur THD : sans filtre 23.86 %, après filtrage : méthode p-d directe : 0.33 % , méthode p-q indirecte : 1.33 %

Dans le troisième chapitre, on a présenter une étude avec simulation d'un système combinant à la fois le FAP et la MADA en mode équilibré débitant sur une charge non linéaire. Pour cela, nous avons effectué deux simulations relatives aux deux méthodes d'extraction des courants de références (directe et indirecte) qui ont présenté de bon spectre des courants de sources à la suite de variations des puissances actives et réactives de notre génératrice (MADA). Les THD ainsi obtenues avant filtrage : 13.80%, après filtrage : p- directe : ; p-q indirecte :

Dans le quatrième chapitre, nous avons travaillé avec le même modèle du chapitre trois mais en mode déséquilibré du fait qu'on ait additionné avec la charge initiale une charge triphasée résistive déséquilibrée. Les performances de notre filtre sont très satisfaisantes de sorte que les THD ainsi obtenue avant filtrage et après filtrage sont netements sont conforme aux noems , inferieur à 5%.

Comme perspective :

- faire la même étude avec une MADA de forte puissance .
- faire la même étude en utilisant un compensateur universel.

Bibliographie

- [1] A.BOYETTE. «*contrôle et commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec un système de stockage pour la production éolienne* ». thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy I, 2006.
- [2] S.EL AIMANI. «*modélisation de différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension* ». thèse de doctorat, L2EP de l'école centrale de Lille, 2004.
- [3] M.A.E. Alali. «*Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension* ». Thèse Doctorat. Université Strasbourg, I 2002.
- [4] N.GHEDBANE ET A.MEDJADI. «*commande de la machine asynchrone à double alimentation à base d'un régulateur rst*». Master's thesis, université Med Boudiaf de M'silla, 2005.
- [5] N.GHEDBANE ET A.MEDJADI. «*Commande de la Machine Asynchrone à Double Alimentation à base d'un régulateur RST*». Mémoire d'ingénieur université Med Boudiaf de M'sila, 2005.
- [6] Gaillard Arnaud. «*Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service* ». Thèse de Doctorat en génie électrique, Université Henri Poincaré, (France), 2010.
- [7] S. Beaulieu. «*Étude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de l'alimentation électrique*». Mémoire présentée comme exigence partielle de la maîtrise en ingénierie Université du Québec à Chicoutimi., 2007.
- [8] F. Becker. «*Emulation d'une chaîne éolienne de conversion d'énergie* ». Mémoire Master Systèmes Embarqués et énergie. Université Henri Poincaré, Nancy I, 2011.
- [9] C.Lott. «*filtrage actif parallèle des harmonique de courant sur des réseaux industriels :étude théorique et réalisation d'une maquette à GTO* ». thèse de doctorat de l'Institut Polytech.de lorraine, 1995.
- [10] M.Aredes E.H.Watanabe. «*compensation of non -periodic current using the instantaneous power theory* ». In *IEEE,2000,Power engineering summer meeting*, volume IEE vol.2., july 2000.
- [11] M.D. Epanya. «*Application du filtrage actif pour une mise en oeuvre de méthode de prédiction et de contrôle d'harmoniques dans un réseau de distribution*

- électrique*». Mémoire comme exigence partielle de la maîtrise en génie électrique. Université du Québec, 2010.
- [12] G.DJAMEL et A .A.SAMIR. «éolienne à vitesse variable basée sur une machine asynchrone à double alimentation». Master's thesis, Mémoire d'ingénieur Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2007.
- [13] I. Etxeberria-Otadui. « *Sur les Systèmes de l'Electronique de Puissance dédiés à la Distribution Electrique Application à la Qualité de l'Energie* ». Thèse de Doctorat de l'Institut Nationale Polytechnique de Grenoble (France), 2003.
- [14] K. ABED ET H. BENALLA F. KENDOULI, K. NABTI. « modélisation, simulation et contrôle d'une turbine éolienne à vitesse variable basée sur la génératrice asynchrone à double alimentation », *revue des énergies renouvelables*, vol. 14 n°1 (2011) 109-120, université Mentouri, Constantine, 2007.
- [15] Mekri Fatiha. « *Commande robuste des conditionneurs actifs de puissance* ». Thèse de Doctorat en génie électrique, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, (France), 2007.
- [16] F.MEKRI. « *étude et commande d'un filtre actif parallèle à structure tension* ». Master's thesis, Mémoire de magister USTO-MB, 2001.
- [17] F.POITIERS. « *Etude et commande de génératrice asynchrone pour l'utilisation de l'énergie éolienne -Machine asynchrone à cage autonome Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau* ». thèse de doctorat de l'Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, 2003.
- [18] E. C GYUGYI, L. ; STRYCLAR. « active ac power filters ». In *IEEE IAS Annual meeting*, volume vol. 19-c, pp. 529-535, 1976.
- [19] A. Nabae S. Atoh H. Akagi. « control strategy of active power filters using multiple voltage-source pwm converters ». In *IEEE Trans. Ind. Appl.*, volume vol. IA-22, pp. 460-465, 1986.
- [20] Y. KANAZAWA H. AKAGI and A. NABAE. « generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits ». In *Proceeding International power electronics conference. Tokyo, Japan*, volume PP. 1375-1386, 1983.
- [21] A.NABEA H.AKAGI, Y.KANAZAWA. « *Généralized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuit* ». IPEC-Tokyo, 1983.
- [22] F. Hamoudi. « *Contribution aux stratégies de commande avancées d'un filtre actif shunt à quatre fils* ». Thèse Doctorat. Université de Batna, 2012.
- [23] H.BUHLER. « *Électronique de puissance* ». In *Presses polytechnique Romandes*, volume XV.
- [24] J.L.Dalmasso. « *Cour d'électrotechnique :2.traitement de l'énergie électrique(convertisseur statique)* ». Edition Belin, 1984.
- [25] J.P.Cambronne. « *synthèse de la commande d'un onduleur de tension* ». In *journal de physique*, volume pp-757-778, 1996.
- [26] R. R. Wallace L. A. Morán, J. Dixon. « a three-phase active power filter operating with fixed switching frequency for reactive power and current harmonic compensation ». In *IEEE Trans. Ind. Electron*, volume vol. 42, No. 4, pp. 4024-408, August 1995.

- [27] M.S. Merzoug. « *Etude comparative des performances d'un DTC et d'un FOC d'une Machine synchrone à aimants permanents (MSAP)* ». Mémoire Magister Université de Batna, 2008.
- [28] A. Mirecki. « *Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance* ». Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse,, 2005.
- [29] E.Ozdemir M.Kale. « a novel adaptative hysteresis band current controller for shunt active power filter ». In *IEEE2003*, volume PP 1118-1123, 2003.
- [30] M.MESSAOUD. « contribution à la modélisation de l'aérogénérateur synchrone à aimants permanents ». Master's thesis, Université de Batna, 2008.
- [31] M.Rivoire-J-1.Ferrier. « *Simulation stateflow avec des exercice d'automatique résolus* ». EditionS TECHNIP.
- [32] N.Bruyant. « *Etude et commande généralisées de filtres actifs parallèles* ». thèse de doctorat de l'Université de Nantes, 1999.
- [33] A. Salem Nia. « *Contribution à l'étude théorique et expérimental d'un filtre actif parallèle à commande analogique et numérique temps réel* ». Thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 1996.
- [34] XAVIER P. « *Production de l'énergies électrique par les énergies renouvelables, éolienne* ». Mémoire, diplôme d'ingénieur c.n.a.m.conservatoire national des arts et métiers centre régional de Nancy, 2006.
- [35] I. Pitel P. Enjeti, W. Shireen. « analysis and design of an active power filter to cancel harmonic currents in low voltage electric power distribution systems ». In *in Conf. Rec. of the Int. Conf. on Power Electron. and Motion Control IECON*, volume vol. 1, pp. 368 373, 9- 13 November 1992.
- [36] E. H. Watanabe P. G. Barbosa, J. A. Santisteban. « shunt series active power filter for rectifiers ac and dc sides ». In *IEE Proc.-Electric Power Appl*, volume vol. 145, No. 6, pp. 577584, 1998.
- [37] F. Poitiers. « *Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne : Machine asynchrone à cage autonome, Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau* ». Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes, France, 2003.
- [38] G.D.Marques P.Verdelho. « four wire active power filter with predictive current control ». In *Power electronic and variable speed drives conference*, volume N°456,PP 34-39, IEE 1998.
- [39] R.Bausiere-F.Labrique-G.Seguirier. « *les Convertisseurs de l'électronique de puissance* ». Edition technique et Documentation (Lavoisier), 2000.
- [40] R.Ottersten. « *Analysis and control of shunt active power filter* ». Chalmers university of technology Goteborg,Sweden, 1997.
- [41] N. Senthilnathan. « a novel control strategy for line harmonic reduction using three phase shunt active filter with balanced and unbalanced supply ». In *European Journal of Scientific Research*, volume pp.456-466, Vol.67, No.3,, 2012.

- [42] S.Guffon. « *Modélisation et commandes à structure variable de filtre actifs de puissance* ». institut polytech.de Grenoble, 2000.
- [43] Karimi Shahram. « *Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage FPGA in the loop : application au filtre actif parallèle* ». Thèse de Doctorat de l'Institut Nationale Polytechnique de Grenoble (France), 2009.
- [44] S.Ponnaluri. « an optimum control methode for active filters ». In *power electronics and drive systemes,proceeding*, volume Vol 2,pages :829-834, 2001.
- [45] N. Mohan T. K. A. Brekken. « control of a doubly fed induction wind generator under unbalanced grid voltage conditions ». In *IEEE Transactions on Energy Conversion*, volume Vol. 22, No. 1, pp. 129-135, 2007.
- [46] S.A. Tadjer. « *Etude d'un système de compensation d'harmonique en utilisant un générateur photovoltaïque 'GPV'* ». Mémoire de Magister. Université de Boumerdes, 2008.
- [47] T.C.Green and J.H.Marks. « ratings of active power filters ». In *IEE Proc-Electr Power Appl*, volume Vol.150,N°5, Septembre 2003.
- [48] Ti.L.Skvarenina. « *the power electronic hanbook :Industrial electronic series* ». Edition CRC Press, 2001.
- [49] T.Lequeu. « *Étude de filtrage actif de puissance : application à la réalisation d'un compensateur parallèle* ». thèse de doctorat de l'Université d'Aix Marseille III, 1996.
- [50] V.M.Moreno. « reference current estimation under distorted line voltage for control of shunt active power filter ». In *Membre, IEEE,Alberto pigazo lopez,and ramon ignacio diego garcias IEEE transaction on power electronics*, volume Vol .19,N°4 July, 2004.
- [51] Miao-Xin Wang. « *Filtrage actif de puissance : Etudes et réalisation d'un filtre actif à commande numérique temps réel* ». Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 18 Décembre 1992.
- [52] Y.Jiang. « *Active and reactive power control for transmission système with voltage source converters* ». Degree of doctor of technology,stockholm, 1997.
- [53] T.Kawabata Y.Komatsu. « *Characteristics of three phase active power filter using extension pq theory* ». ISIE'97-Guimaraes,Portugal, 1997.
- [54] S.H.Ko Y.S.Kim. « three phase tree wire serie active power filter,which compensates for harmonic and reactive power ». In *IEE Proc-Elect.power Appl*, volume Vol 151, N°3,may, 2004.

Annexe A : Conception des cartes

A.1 Régulateur de type PI

Les régulateurs Proportionnel-Intégral PI sont largement utilisés dans l'industrie en raison de leur performance et de leur rapidité de calcul. Leur principe de fonctionnement est de comparer les valeurs réelles mesurées avec les valeurs de référence et de stabiliser le système à réguler.

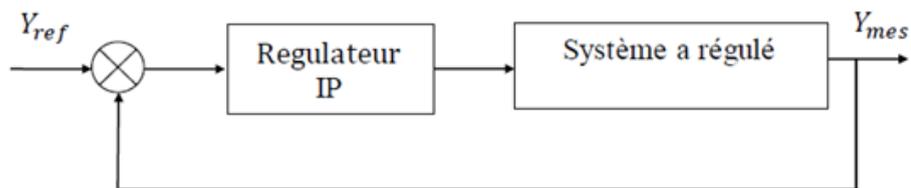


FIGURE A.1 – Principe d'un régulateur PI

A.2 Régulation de vitesse

Le régulateur de vitesse permet de déterminer couple de référence, afin de maintenir la vitesse correspondant.

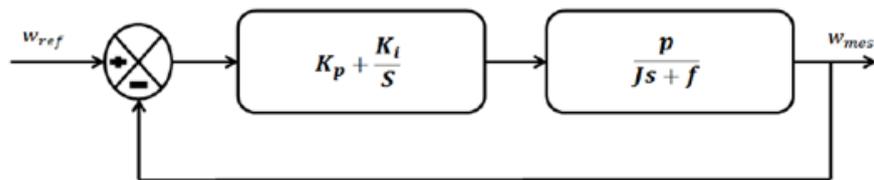


FIGURE A.2 – Schémas d'un régulateur PI de vitesse

A.3 Régulation de la tension du bus continue :Vds

La régulation des transites de puissance permet d'imposer le courant capacitif au bus continu. Le réglage du bus continu est alors réalisée au moyen d'une boucle

de régulation, permettant de maintenir une tension constante du bus continu, avec un correcteur PI générant la référence de la tension a injecté dans le condensateur C.

Il est à noter que le réglage du bus continu est donc réalisé par une boucle externe de régulation .

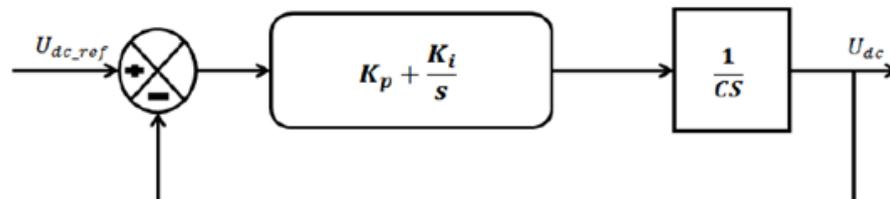


FIGURE A.3 – Commande en boucle fermée avec régulateur PI

Annexe B : Documentation technique

B.1 Calculs du régulateur :

Le schéma bloc de régulation de puissance active et réactive avec un régulateur PI représente par la figure 20

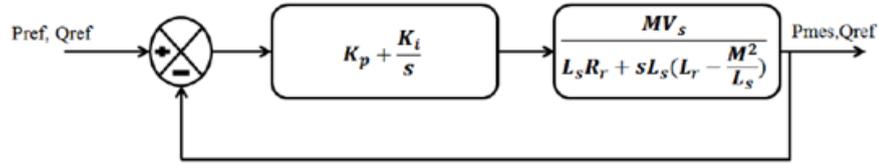


FIGURE B.1 – Boucle de régulation d'une MADA avec un PI en commande direct

L'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte suivant les axes d et q avec régulateur PI est :

$$FTBO = \frac{(k_p s + K_i) MV_s}{s[L_s R_r + sL_s(L_r - \frac{M^2}{L_s})]} \quad (33)$$

$$FTBF = \frac{(k_p s + K_i) MV_s}{sL_s R_r + s^2 L_s(L_r - \frac{M^2}{L_s}) + (k_p s + K_i) MV_s} \quad (34)$$

$$FTBF = \frac{(k_p s + K_i) MV_s}{s(L_s R_r + k_p MV_s) + s^2 L_s(L_r - \frac{M^2}{L_s}) + s + K_i MV_s} \quad (35)$$

$$FTBF = \frac{\frac{(k_p s + K_i) MV_s}{L_s(L_r - \frac{M^2}{L_s})}}{s^2 + s \frac{L_s R_r + k_p MV_s}{L_s(L_r - \frac{M^2}{L_s})} + \frac{K_i MV_s}{L_s(L_r - \frac{M^2}{L_s})}} \quad (36)$$

(34) est une équation du second ordre, que nous allons identifier à l'équation (35) :

$$FT = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2} \quad (37)$$

Nous obtiendrons les expressions du coefficient d'amortissement et la pulsation de coupure, tel que :

$$2\xi \omega_n = \frac{L_s R_r + K_p MV_s}{L_s(L_r - \frac{M^2}{L_s})} \quad (38)$$

$$L_s R_r + K_p M V_s = L_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) 2\xi \omega_n \quad (39)$$

$$K_p = \frac{L_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) 2\xi \omega_n - L_s R_r}{M V_s} \quad (40)$$

Le coefficient d'amortissement ξ du système en boucle fermée est donné généralement dans la nomenclature de façon optimale au environ de 0,707

$$\omega_n^2 = \frac{K_i M V_s}{L_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right)} \quad (41)$$

$$K_i = \frac{\left(L_r - \frac{M^2}{L_s} \right) \omega_n^2}{M V_s} \quad (42)$$

Résumé

L'utilisation croissante des systèmes commandée à base d'électronique de puissance affecte grandement la qualité de l'énergie dans les réseaux électrique. Les perturbations de nature courant sont dû principalement à la présence des charges non linéaires mais l'avènement de nouvelles sources décentralisées à bases d'énergies renouvelables tel que les éoliennes, qui à leurs tours utilisent des convertisseurs statiques pour leur commandes, injectent plus de perturbations aux réseaux.

Il est nécessaire d'intégrer des dispositifs de compensation qui arrivent à rendre insensible la qualité de l'énergie émissent par les source quelque soit les équipements introduits dans le réseau électrique. Pour cela en applique des commande d'identification des différentes perturbations qui nous permettent d'avoir un filtrage actif performant pour la compensation des courant harmonique et déséquilibré. Dans le cas de cette problématique, notre mémoire a été initié. Notre choix s'est porté sur l'utilisation d'un filtre active parallèle.

Dans un premier temps, nous avons présenter une étude de la MADA avec une commande directe puis il s'en est suivie l'étude de commandes des filtres actifs parallèle à 3bras, ce qui nous permis d'établir en troisieme lieu une étude avec simulation de l'association de ses deux dispositif que ce soit en mode équilibré ou déséquilibré. La partie relative aux simulations s'est effectué avec MATLAB Simulink / Sim Power

Mots clés

FAP -PQ instantanée - Commandes vectoriel -MADA-Régulateur (PI).

Abstract

The increasing use of systems controlled power electronic base greatly affects the quality of energy in electric networks. The current nature of disturbances are due mainly to the presence of non-linear loads, but the advent of new decentralized sources of renewable energy bases such as wind turbines which, in turn use static converters for their orders it to inject more disruption networks.

It is necessary to integrate compensation devices in our common cases that hap-pen to make it insensitive to power quality émissent by any source equipment is introduced into the electricity grid.To apply the identification command different disturbances that allows us to have a successful FA for compensation of harmonic and unbalanced current.In the case of this problem, a thesis was initiated in selected as a solution to use the parallel active filter subjected to load type.

We will study as a first step a general vision on direct MADA and the second will contain a vision about command active filters has 3bras parallel, en suite as a third chapter is a study and simulation and interpretation of the system balance and end also is a study and simulation and interpretation of unbalance system.Two current methods for identifying references to compare their performance .the variation of these methods is done by simulation from MATLAB Simulink.

Keywords

SAPF- PQ instante- vectoriel cammand -DFIG-Regulator PI.

تزايد استخدام أنظمة لتحكم قوة قاعدة إلكترونية يؤثر بشكل كبير على نوعية الطاقة في الشبكات الكهربائية. الطبيعة الحالية من الاضطرابات تعود أساسا إلى وجود الأحمال غير الخطية، ولكن ظهور مصادر جديدة للمركزية قواعد الطاقة المتجددة مثل توربينات الرياح التي تستخدم بدورها المحولات ثابتة لأوامره ما يؤدي المزيد من التعطيل الشبكات.

فمن الضروري دمج الأجهزة التعويض في الحالات المشتركة التي تحدث لجعلها حساسة لنوعية الطاقة الانبجعات من قبل أيمن المعدات مصدر وأدخلت شبكة الكهرباء.

لتطبيق الأمر تحديد الاضطرابات المختلفة التي تتيح لنا أن يكون ناجحا المرشح لتعويض التيار التوافقي وغير متوازن. في حالة هذه المشكلة، بدأ طرق وحل في اختيار كحل لاستخدام فلتر موازن نشط تعرض للتحميل النوع سندرس كخطوة أولى رؤية عامة على مدى المباشر وسيحتوي الثانية رؤية حول عوامل تصفية نشطة القيادة لديها ثلاث ادرع موازاة ذلك جناح كفصل الثالث ودراسة ومحاكاة وتفسير الميزان النظام ونهاية هو أيضا دراسة ومحاكاة وتفسير نظام عدم الاتزان. يتم طريقتين الحاليين لتحديد المراجع لمقارنة به لاختلاف. وأداء هذه الطرق عن طريق المحاكاة منماتلاب.

