

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE
N° : RES-04



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : ELECTROTECHNIQUE
OPTION : RESEAUX ELECTRIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: BEY salim

Intitulé

Analyse des variables de diagnostic des défauts
d'un convertisseur DC-AC

Soutenu devant le jury composé de:

DJERIOU Ali	Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA	Président
BENYETTOU Lotfi	Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
BAHIDDINE Miloud	Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de cette mémoire .

Je tiens d'abord à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance à Monsieur Benyettou Loutfi , pour m'avoir encadré et soutenu durant la réalisation de ce travail.

Je le remercie aussi pour son aide précieuse, les conseils et les connaissances dont il a su me faire profiter. Il m'est difficile d'exprimer en quelques mots toute l'admiration que je lui porte.

Aussi, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à DAHDOUH Adel et BERRABAH Ahmed bahaeddine pour son aide, ses conseils précieux et ses encouragements incessants durant la préparation de ce travail.

Un gros merci à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation sans exception.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie toute ma famille, mes amis et aussi mes camarades .

Dédicaces

Je dédie mon travail à :

À ma chère mère, en lui exprimant mon amour, mon respect et vive gratitude pour sa patience, pour ses sacrifices tout les longs des années, qu' Allah la protège.

Ma famille, mes frères et sœurs

Mes chères amis et collègues

A la mémoire de mon père, qui a quitté la vie et laissant ses souvenir

Je Demande à Dieu d'avoir pitié et de pardonner mon cher père qui attendait ce moment pour partager ma joie .

BEY Salim

sommaire

Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste de nomenclature

Introduction générale

Chapitre I: Etat de l'art sur les filtres actifs et les perturbations dans les réseaux électriques

Introduction générale.....	01
I.1 Introduction.....	03
I.2. Qualité de l'énergie électrique.....	03
I.3. Problèmes de la qualité d'énergie électrique.....	04
I.4 Les perturbations électriques et leurs origines.....	05
I.4.1. Harmoniques et inter harmoniques.....	05
I.5. Les perturbations harmoniques en courant et/ou en tension	05
I.5.1. Définition des harmoniques05
I.5.1.1. Inter harmoniques	06
I.5.1.2. Infra harmoniques.....	06
I.6. Source d'harmoniques	06
I.7. Conséquences des harmoniques	08
I.7.1. Caractérisation des perturbations harmoniques.....	09

I.7.1.1. Le taux de distorsion harmonique	09
I.7.1.2. Le facteur de puissance	10
I.7.2. Conséquences de la distorsion harmonique.....	10
I.7.3. Normes et réglementations.....	11
I.8. Solutions de dépollution des réseaux électriques.....	13
I.8.1. Solutions traditionnelles de dépollution	13
I.8.2. Solutions modernes.....	16
I.8.2.1. Filtre actif parallèle.....	16
I.8.2.2. Filtre actif série.....	18
I.8.2.3. Filtre combiné parallèle-série.....	18
I.8.2.4. Filtre actif hybride.....	19
I.8.2.5. Filtre actif multi niveaux.....	20
I.9. Conclusion.....	20

Chapitre II: Etude et simulation d'un filtre actif parallèle à trois niveaux.

II.1. Introduction.....	21
II.2. Intérêt des onduleurs multi niveaux.....	21
II.3 Différentes topologies des onduleurs multi niveaux	22
II.4. Comment déterminer le niveau d'un onduleur	22
II.5 Application des onduleurs multi niveaux.....	23
II.6. Structure de SAPF à trois niveaux.....	23

II.6.1 Structure de l'onduleur à trois niveaux.....	24
II.7. Identification des courants harmoniques	25
II.7.1. Méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées.....	26
II.7.2. Principe.....	26
II.8. Modélisation du fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC a trois niveaux.....	29
II.8.1. Les Différentes configurations d'un bras d'onduleur à trois niveaux.....	30
II.8.2. Contrôle du SAPF à trois niveaux.....	34
II.8.3. Stratégie de commande de l'onduleur à trois niveaux.....	34
II.8.4. Résultats de simulation.....	34
II.9.Conclusion.....	37

Chapitre III: Diagnostic des défauts d'un filtre actif parallèle

III.1.Introduction.....	38
III. les différentes composantes d'un module de diagnostic.....	38
III.2. Méthodes de diagnostic.....	39
III.2.1. Diagnostic Par les méthodes internes.....	39
III .2.1.1.La méthode du modèle.....	.39
III .2.2.Diagnostic Par les méthodes externes.....	39
III.2.2.1. Méthodes basées sur l'intelligence artificielle (IA).....	39
III .2.2.1.2. Diagnostic par réseaux de neurones.....	40
III .2.2.1.3.Diagnostic par systèmes experts.....	40
III.3.Partie de simulation.....	41
Conclusion générale.	

Liste des figures

Figure (I.1). Harmoniques.....	05
Figure (I.2). Représentation spectrale d'un signal périodique.....	06
Figure.(I.3). Structure du pont dodécaphasé.....	14
Figure (I.4). Structure du filtre résonant.....	15
Figure (I.5). Montage du filtre amorti.....	15
Figure. (I.6). Filtre actif parallèle.....	17
Figure.(I.7). Filtre actif série.....	18
Figure. (I.8). Filtre combiné parallèle-série (UPQC).....	19
Figure. (I.9). Filtre actif hybride.....	19
Figure (II .1). Les différentes techniques de modulation des onduleurs multi niveaux.....	22
Figure (II .2). Circuit de puissance du filtre actif parallèle à trois niveaux proposé.....	24
Figure (II- 3). Schéma d'un onduleur NPC à 3 niveaux.....	25
Figure (II.4). Schéma représentant le principe de séparation des puissances.....	28
Figure. (II.5). Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées.....	28
Figure. (II-6). Un bras de l'onduleur à trois niveaux de type NPC.....	29
Figure (II- 7). Interrupteur bidirectionnel équivalent de la paire diode-transistor.....	30
Figure. (II-8). 1ère configuration du 1er bras.....	31
Figure. (II-9). 2ème configuration du 1er bras.....	32
Figure. (II-10). 3ème configuration du 1er bras.....	33
Figure (II-11). Forme d'onde de la tension de sortie d'un bras d'onduleur à trois niveaux de type NPC.....	33
Figure (III.1). Les composantes d'un système de diagnostic.....	39
Figure (III.2). principales méthodes utilisées en diagnostic des systèmes physiques.....	41
Figure (III.3): Ia,Ib,Ic Valeur moyenne injecter par le filtre a l'etat sain .	
Figure (III.4): La valeur moyenne au point milieu.	
Figure (III.5): La valeur efficace au point milieu.	
Figure (III.6): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T1.	

Figure (III.7): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T2.

Figure (III.8): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T3.

Figure (III.9): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T4.

Figure (III.10): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T1T2.

Figure (III.11): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T3T4.

Figure (III.12): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T1

Figure (III.13): Valeur moyenne au point milieu défaillant T1

Figure (III.14): Valeur efficace au point milieu défaillant T1

Figure (III.15): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T2

Figure (III.16): Valeur moyenne au point milieu défaillant T2

Figure (III.17): Valeur efficace au point milieu défaillant T2

Figure (III.18): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T3

Figure (III.19): Valeur moyenne au point milieu défaillant T3

Figure (III.20): Valeur efficace au point milieu défaillant T3

Figure (III.21): Valeur Moyenne Ia , Ib , Ic défaillant T4

Figure (III.22): Valeur moyenne au point milieu défaillant T4

Figure (III.23): Valeur efficace au point milieu défaillant T4

Figure (III.24): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T1T2

Figure (III.25): Valeur moyenne au point milieu défaillant T1T2

Figure (III.26): Valeur efficace au point milieu défaillant T1T2

Figure (III.27): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T3T4

Figure (III.28): Valeur moyenne au point milieu défaillant T3T4

Figure (III.29): Valeur efficace au point milieu défaillant T3 T4

Tables de nomenclature

A₀ : la composante continue.

n : un entier compris entre 1 et l'infini, il définit le rang de l'harmonique.

A_n : l'amplitude de l'harmonique de rang n.

φ_n : le déphasage relatif au fondamental de la composante harmonique de rang n.

f_n : fréquence de harmonique

f₁ : fréquence fondamentale

n : harmonique de rang

y : signale déformé d'harmonique

ω : pulsation électrique

H₅, H₇ : harmonique de rang

THD : taux de distorsion harmonique

F : facteur de puissance

I_{eff} : la valeur efficace de courant

I_h : le courant harmonique

I_{ch} : courant de charge

I_s : courant de source

D : puissance Déformante

S : puissance apparente

P : puissance active

Q : puissance réactive

f : la fréquence

V_a, V_b, V_c : les tensions simples du réseau triphasé de l'axe a b c

V_α, V_β : la tension biphasée l'axe α β

$P(t)$: la puissance réelle instantanée

$P_0(t)$: la puissance homopolaire instantanée.

\bar{P} : une puissance continue liée à la composante fondamentale active du courant et de la tension.

\bar{q} : une puissance continue liée à la composante fondamentale réactive du courant et de la tension.

\tilde{P} & \tilde{q} : des puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices du courant et de la tension.

$U_{an, bn, cn}$: les tensions de référence

u_{a0}, u_{b0}, u_{c0} : les tensions d'entrées de l'onduleur

MLI : modulation de largeur d'impulsion

U_c : la tension continue du redresseur

Introduction générale

L'utilisation croissante dans l'industrie de systèmes commandés à base d'électronique de puissance entraîne de plus en plus de problèmes de perturbation au niveau des réseaux électriques. Ainsi, on assiste à une augmentation régulière, de la part des utilisateurs, des taux d'harmonique et de déséquilibre des courants, ainsi qu'à une importante consommation de la puissance réactive. La circulation de ces mêmes courants perturbés va également provoquer des harmoniques et des déséquilibres de tension, lesquels vont se superposer à la tension nominale du réseau électrique. De plus, des incidents du type coups de foudre ou un brusque démarrage d'une machine tournante à forte puissance peuvent causer une chute soudaine et importante de tension. On nommera ce type d'incident : creux de tension. Ces perturbations ont bien entendu des conséquences néfastes sur les équipements électriques, lesquelles peuvent aller d'un fort échauffement ou d'un arrêt soudain des machines tournantes jusqu'à la destruction totale de ces équipements. De ce fait, les distributeurs de l'énergie électrique se voient donc obligés d'imposer des normes et de se protéger contre ces perturbations. Des normes sur les harmoniques ont été proposées par la commission internationale d'électrotechnique IEC61000, et par les recommandations IEEE Std. 519-1992 [1], [2].

Suite à ces réglementations, différentes méthodes de dépollution ont émergées. La solution la plus classique est à base de filtres passifs, cependant, cette dernière se voit pénalisée par son encombrement, ses problèmes de résonance, ainsi que de son manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge [3]. Cette contrainte a conduit à d'autres solutions plus modernes et plus efficaces. En effet, celles qui répondent le mieux aux contraintes industrielles d'aujourd'hui sont les filtres actifs parallèle, série et la combinaison parallèle-série (appelé aussi Unified Power Quality Conditioner-UPQC) [4].

Les filtres actifs parallèles (FAP) sont à ce jour les solutions avancées de dépollution les plus adéquats tant au niveau de la production que de la distribution. Leur réponse est instantanée et ils s'adaptent automatiquement aux évolutions des perturbations introduites par les charges du réseau électrique. Ils s'insèrent dans un réseau de distribution électrique sans imposer d'aménagement particulier [05].

L'objectif visé par ce mémoire consiste à introduire les structures de filtre actif parallèle à base d'onduleurs multi niveaux. Ces structures permettent d'obtenir une meilleure forme de la tension de sortie, tout en réduisant le taux de distorsion harmonique et les brusques variations de la tension lors des commutations. Il est à signaler que la qualité et les performances de la compensation des harmoniques sont étroitement liées à l'algorithme utilisé pour déterminer les grandeurs de référence. On présentera une solution efficace à la pollution des réseaux produite par des charges non linéaires. De manière à atteindre ces objectifs, ce mémoire sera divisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous abordons en premier lieu les différents problèmes affectant la qualité de l'énergie électrique, ce qui tend à montrer leurs origines et leurs conséquences sur les installations. Nous focalisons le point sur celui des harmoniques, compte tenu de sa gravité avec la prolifération des charges non-linéaires. Ensuite nous passons aux moyens de luttés et les différentes solutions traditionnelles et modernes de dépollution harmonique existantes. Dans la dernière partie de ce chapitre on présente un état de l'art actuel sur les filtres actifs.

le deuxième chapitre est consacré à la description de la loi de commande implantée pour le contrôle du filtre actif à base d'onduleur a trois niveaux. Tout d'abord, nous présentons brièvement quelques structures d'onduleurs a trois niveaux existants, leur évolution technologique et leur principe de fonctionnement. Puis, la structures des filtres parallèles multiniveaux à trois niveaux est présentée et analysée en détail. De plus on va étudier, dans ce chapitre, l'importance de l'utilisation des onduleurs multi niveaux, notamment leurs avantages en terme de réduction de THD (Total Harmonic Distortion) du courant de la source. Nous exposons, également, la méthode des puissances réelles et imaginaires instantanées pour identifier les courants de référence. Enfin de ce chapitre les résultats de simulation montreront l'efficacité du filtrage actif parallèle à trois niveaux.

Le troisième chapitre est consacré au diagnostique des défauts d'un filtre actif parallèle. Dans une première partie, nous présentons Les différents méthodes utilisées pour le diagnostique, leur évolution technologique et leur principe de fonctionnement. Puis dans une deuxième partie les différents résultats de simulations seront présentés.

**Etat de l'art sur les filtres actifs et les
perturbations dans les réseaux électriques**

I.1. Introduction :

L'énergie électrique, principalement produite et distribuée sous forme de tensions triphasées sinusoïdales, permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux différents consommateurs d'énergie électrique. Dans le cas idéal, cette énergie doit être fournie sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé équilibré, qui possède quatre caractéristiques principales : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie. Cependant cet objectif semble idéal et n'est jamais facile à assurer, car le réseau électrique aujourd'hui est appelé à fonctionner sous un environnement de plus en plus perturbateur.

Le regain d'acuité de cette perturbation provient de la prolifération récente d'emploi des charges non linéaires, notamment les convertisseurs statiques. En effet, ces dispositifs consomment des courants non-sinusoïdaux, même s'ils sont alimentés par une tension sinusoïdale : ils se comportent comme des générateurs de courants harmoniques. La circulation de ces courants à travers les diverses impédances du réseau jusqu'à l'utilisateur final fait apparaître des tensions harmoniques superposées à l'onde fondamentale. Les conséquences sont néfastes tant pour le distributeur de l'électricité que pour l'utilisateur.

Pour faire face à ce problème, il est indispensable de comprendre l'origine des perturbations des réseaux électriques et de chercher les solutions appropriées permettant l'atténuation des effets les plus nuisibles.

Ce chapitre est consacré à la présentation des principales perturbations électriques. Dans sa première partie nous présenterons les origines et conséquences de ces perturbations sur le réseau. Dans sa deuxième partie, seront représentées les solutions usuelles de compensation de ces perturbations, avec un intérêt particulier pour les différents types de filtrage.

I.2. Qualité de l'énergie électrique : critères et définitions :

Les critères de qualité de l'électricité sont directement issus de l'observation des perturbations électromagnétiques des réseaux électriques. On parle de Compatibilité Electromagnétique (C. E. M.) afin de caractériser l'aptitude d'un appareil, d'un dispositif [1], à fonctionner normalement dans un environnement électromagnétique sans produire lui-même des perturbations nuisibles aux autres appareils ou dispositifs.

La CEM classe ces perturbations selon deux groupes :

- basses fréquences (< 9 kHz) ;
- hautes fréquences (> 9 kHz)

Les phénomènes observés sont nombreux : creux de tension et coupures, sur tensions, temporaires ou transitoires, fluctuations lentes de la tension (flicker, variations de la fréquence, déséquilibres du système triphasé, harmoniques et inter harmoniques, tensions continues dans les réseaux alternatifs, ...

Ils peuvent être regroupés en quatre catégories selon qu'ils affectent :

- La fréquence,
- L amplitude des trois tensions,
- La forme d'onde,
- Le déséquilibre.

I.3. Problèmes de la qualité d'énergie électrique :

Les problèmes de la qualité encerclent une large gamme de perturbations qui peuvent interrompre l'opération, ces problèmes seront brièvement discutés

- Interruptions courtes.
- Creux de tension.
- Baisses de tension.
- Tension et/ou courant transitoire.
- Perturbations harmoniques en courant et/ou en tension.
- Déséquilibre de tension.
- Saut d'angle de phase (déséquilibre d'angle de phase) [2]

I.4 Les perturbations électriques et leurs origines

L'énergie électrique est généralement distribuée sous la forme de trois tensions constituant un système sinusoïdal triphasé. Un des paramètres de ce système est la forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. [3]

Les perturbations électriques affectant l'un des quatre paramètres cités précédemment peuvent se manifester par : un creux ou une coupure de tension, une fluctuation de tension, un déséquilibre du système triphasé de tension, une variation de la fréquence, la présence d'harmoniques et/ou d'inter harmoniques.

I.4.1. Harmoniques et inter harmoniques :

Les harmoniques sont une superposition sur l'onde fondamentale à 50 Hz, d'ondes également sinusoïdales mais de fréquences multiples entières de celle du fondamental. La figure(I.5) montre la superposition de l'harmonique d'ordre 3 sur un courant fondamental de fréquence 50 Hz. La principale source de la présence des harmoniques dans les réseaux électrique est l'utilisation de plus en plus croissante d'équipement de l'électronique de puissance à base de thyristors et de transistors.[4]

Les inter harmoniques sont superposées à l'onde fondamentale mais ne sont pas des multiples entières de la fréquence du réseau. L'apparition des inter harmoniques est en augmentation et leurs origines principales sont les convertisseurs de fréquence, les variateurs de vitesse et d'autres équipements similaires de contrôle-commande.

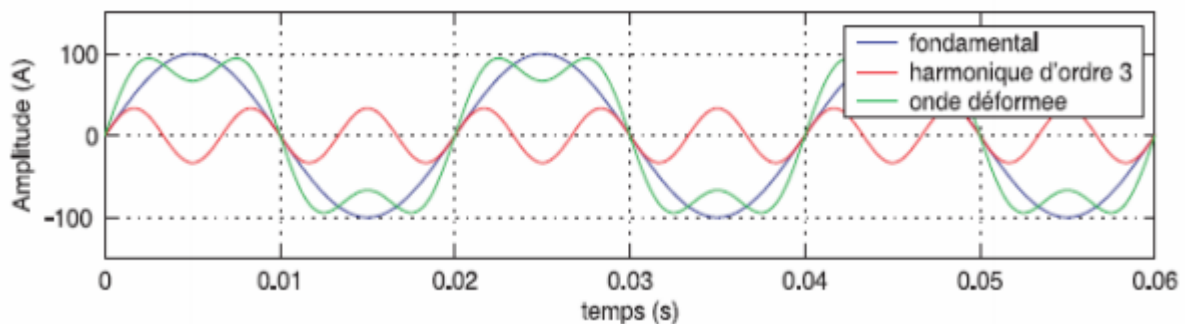


Figure (I.1) : Harmoniques

I.5. Les perturbations harmoniques en courant et/ou en tension :

I.5.1. Définition des harmoniques :

Le concept d'harmonique est introduit par Joseph Fourier qui démontra que tout signal périodique non sinusoïdal peut être représenté par une somme ou série de sinusoïdes de fréquences discrètes [5]

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n * \cos(\omega_n * t + \varphi_n) \quad (I.1)$$

-Un signal sinusoïdal à la fréquence fondamentale. Courbe fondamentale) (I1).h=1

- Une éventuelle composante continue (I_0).

- Le reste des composantes de la série de Fourier sont appelées harmoniques de rang h.

$$I_{nh}(t) = \sum_{n=2}^{\infty} I_n * \cos(\omega_n * t + \varphi_n) \quad (I.2)$$

I.5.1.1. Inter harmoniques :

Les inter-harmoniques sont des composantes sinusoïdales qui ne sont pas des fréquences entières de celle du fondamental.[6]

La grande majorité des tensions et courants inter harmoniques sur le réseau est générés par Des convertisseurs de fréquence statiques, tels les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones qui renvoient vers le réseau des multiples de la fréquence de sortie de l'onduleur.

I.5.1.2. Infra harmoniques :

Ce sont des composantes sinusoïdales qui sont à des fréquences inférieurs à celles du Fondamental : 10Hz, 20Hz .Dans ce cas, le signal n'est pas périodique à T

(T : période du Fondamental)

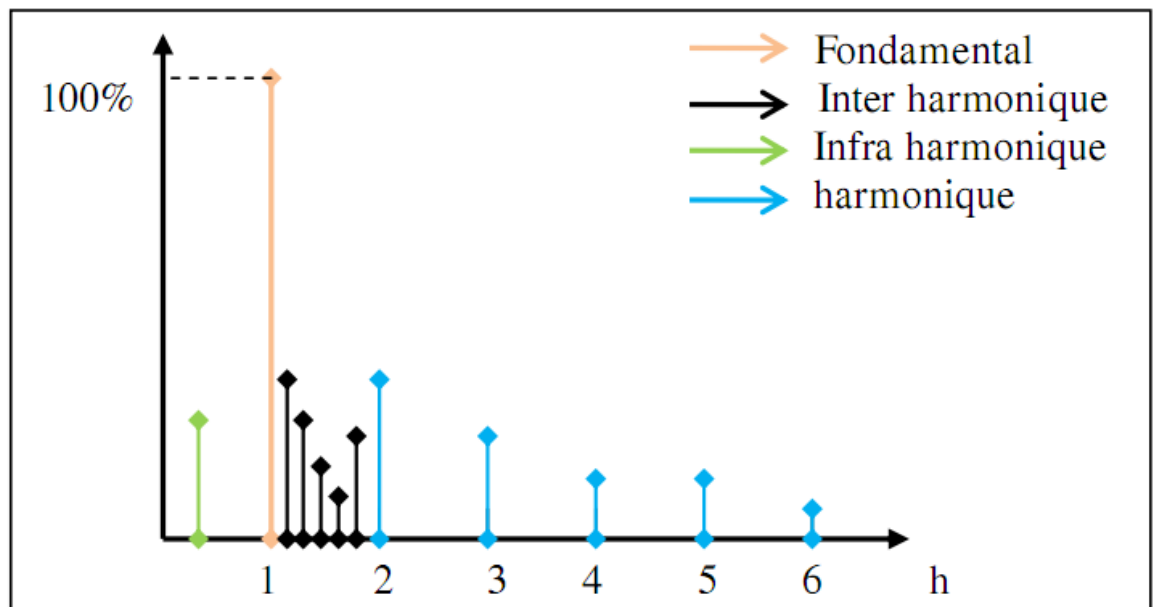


Figure (I.2) : Représentation spectrale d'un signal périodique

I.6. Source d'harmoniques :

La cause principale de l'existence des harmoniques est l'injection des courants non sinusoïdaux par des charges non linéaires, ainsi les charges déséquilibrées bronchées au réseau. les charges industrielles arrivent logiquement en première position et il est possible de recenser les applications suivantes [6]

- Systèmes utilisant des redresseurs à diodes ou à thyristors tels que les variateurs des moteurs électriques (à courant continu, asynchrones, synchrones), les fours à induction, les chargeurs de

batterie, les électrolyseurs, les alimentations de secours,...

- Les récepteurs utilisant l'arc électrique : fours à arc ou soudure à arc,

- Les variateurs de lumières à base de gradateurs,

- Les ballasts électroniques : lampes fluorescentes, à décharge ou à vapeur métallique (sodium, mercure), Pour les charges électrodomestiques les plus couramment rencontrées sont : Téléviseurs et éléments périphériques , Micro-informatique ,Four à micro-ondes , Aspirateurs ,Robots ménagers

Le tableau (I.1) montre quelques sources d'harmoniques.

Type de charge	Appareils concernés	Courant absorbé	Spectre harmonique Correspondant
Gradateurs monophasé (commande par angle de phase).	<ul style="list-style-type: none"> - Régulation de puissance de fours à résistances, - Modulation de puissance des lampes halogènes. 		
Redresseur triphasé à thyristors.	<ul style="list-style-type: none"> - Variateur de vitesse des moteurs à courant continu et des moteurs synchrones. 		
Moteur asynchrone.	<ul style="list-style-type: none"> - Machines-outils, - Appareils électroménagers, - Ascenseurs. 		

Tableau. (I.1):Principales charges polluante

I.7. Conséquences des harmoniques :

Les courants harmoniques se propagent dans le réseau électrique, déforment l'allure du courant de la source et polluent les consommateurs alimentés par ce même réseau. Ils peuvent occasionner des incidents au niveau de l'appareillage du client ce qui donne lieu à des surcoûts de production d'énergie importants. On peut classer les effets engendrés par les harmoniques en deux type: les effets instantanés et les effets à terme.[4]

a) Effets instantanés :

Les effets instantanés apparaissent immédiatement dans certains appareillages

Défauts de fonctionnement de certains équipements électriques: En présence d'harmoniques, la tension et le courant peuvent changer plusieurs fois de signe dans une demi -periode . Les appareils dont le fonctionnement est basé sur le passage à zéro des grandeurs électriques peuvent être affectés.

Troubles fonctionnels des micro-ordinateurs: Les effets sur ces équipements peuvent se manifester par la dégradation de la qualité de l'image et par des couples pulsatoires des moteurs d'entraînement de disque

Erreurs dans les appareils de mesure: Certains appareils de mesure et les compteurs d'énergie à induction présentent des dégradations de mesure des erreurs de lecture supplémentaires en présence d'harmoniques .

Vibrations et bruits: Les courants harmoniques génèrent également des vibrations et des bruits acoustiques principalement dans les appareils électromagnétiques (transformateurs , inductances et machines tournantes).

b) Effets à terme

Ils se manifestent après une exposition plus ou moins longue à la perturbation harmonique .L'effet à terme le plus important est de nature thermique, il se traduit par l'échauffement. Il conduit à une fatigue prématurée du matériel, des lignes et amènent un déclassement des équipements.

Echauffement des câbles et des équipements: Ces effets peuvent être à moyen terme (de quelques secondes à quelques heures) ou à long terme (de quelques heures à quelques années) et concernent les câbles qui peuvent être le siège du sur échauffement du neutre et les enroulements comme pour les transformateurs ou les moteurs

Echauffement des condensateurs: L'échauffement est causé par les pertes dues au phénomène d'hystérésis dans le diélectrique. Les condensateurs sont donc sensibles aux

surcharges, quelles soient dues à une tension fondamentale trop élevée ou à la présence d'harmoniques. Ces échauffements peuvent conduire au claquage

Echauffement due aux pertes supplémentaires des machines électriques et des transformateurs: L'échauffement est causé par les pertes dans le stator des machines électriques et principalement dans leurs circuits rotoriques à cause des différences importantes de vitesse entre les champs tournants inducteurs harmoniques et le rotor.

Les harmoniques génèrent aussi des pertes supplémentaires dans les transformateurs, par effet Joule dans les enroulements, accentuées par l'effet de peau et des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans les circuits magnétiques.

I.7.1. Caractérisation des perturbations harmoniques

Plusieurs critères sont définis pour caractériser les perturbations. Le taux de distorsion harmonique et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.

I.7.1.1. Le taux de distorsion harmonique

On utilisera le terme THD (Total Harmonic Distortion) pour désigner le taux de distorsion Harmonique . Le THD s'exprime par rapport à la fréquence fondamentale et caractérise l'influence des harmoniques sur l'onde de signal déformée. Deux taux de distorsion harmonique sont distingués [7] :

- le taux de distorsion harmonique en courant, noté THD_i ;
- le taux de distorsion harmonique en tension, noté THD_v ;

Le premier s'exprime sous la forme :

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (I,3)$$

Avec : I_1 la valeur efficace du courant fondamental et I_h les valeurs efficaces des différentes harmoniques du courant.

Le THD_i ne dépend que des valeurs efficaces du courant de charge. En revanche, le THD_v est fonction des courants harmoniques, caractérisant la charge, et de l'impédance de court circuit, imposée par le réseau :

$$THD_v = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{|Z_{cc}^h| I_h}{V_1} \right)^2} \quad (I,4)$$

V_1 : désigne la valeur efficace de V_1

Ainsi, plus les impédances z_{cc}^h ($h > 1$) sont faibles, plus la distorsion en tension est faible.

I.7.1.2. Le facteur de puissance

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

Dans le cas où il y a des harmoniques, une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante (D) entre en considération. Elle est donnée par la relation [8] :

$$D = V \cdot \sqrt{\sum_{n \neq 1}^{\infty} I_{sn}^2} \quad (\text{I,5})$$

Le facteur de puissance est donc égale :

$$F_P = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (\text{I,6})$$

Avec :

$$P = V I_{s1} \cos \varphi_1 \quad (\text{I,7})$$

$$Q = V I_{s1} \sin \varphi_1 \quad (\text{I,8})$$

On peut aussi calculer le facteur de puissance de la manière suivante :

$$F_p = \frac{V \cdot I_{s1} \cdot \cos \varphi_1}{V \cdot I_s} = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varphi_1 \quad (\text{I,9})$$

On constate que la puissance déformante et la puissance réactive contribuent à la dégradation du facteur de puissance.

I.7.2. Conséquences de la distorsion harmonique

De nombreux effets des harmoniques sur les installations et les équipements électriques peuvent être cités. Les effets les plus importants sont l'échauffement, l'interférence avec les réseaux de télécommunication, les défauts de fonctionnement de certains équipements électriques et le risque d'excitation de résonance [7] :

- **Echauffement**

Les pertes par effet Joule se décomposent en la somme des pertes issues du fondamental et de celles engendrées par les harmoniques :

$$P_j = RI^2 = RI_1^2 + R \sum_{h=2}^{\infty} I_h^2 \quad (I-10)$$

Ces pertes supplémentaires occasionnées par la présence des courants harmoniques réduisent le rendement des équipements tels que les moteurs, les transformateurs,...etc.

- **Dysfonctionnement de certains équipements**

En présence d'harmoniques, le courant et la tension peuvent changer plusieurs fois de signe au cours d'une demi-période. Par conséquent, les équipements sensibles au passage par zéro de ces grandeurs électriques sont perturbés.

- **Interférences dans les systèmes de communication**

Le couplage électromagnétique entre les réseaux électriques et de communication peut provoquer des interférences. Le courant circulant dans le réseau électrique engendre un champ magnétique qui induit un courant dans les conducteurs des réseaux de communication. L'importance des interférences est fonction de l'amplitude et de la fréquence des courants électriques ainsi que de l'importance du couplage électromagnétique entre les réseaux.

- **Excitation des résonances**

Des équipements constitués de capacités ou d'inductances peuvent avoir des fréquences de résonance proches de celles des harmoniques. Ainsi, les harmoniques sont amplifiées et il peut apparaître des surtensions ou des surintensités qui détériorent les câbles, font disjoncter les fusibles.

I.7.3. Normes et réglementations

Afin de limiter les dysfonctionnements occasionnés par les harmoniques et en même temps pour limiter l'influence des charges sur le réseau de façon à éviter la modification de ses caractéristiques, des normes sur la qualité de l'énergie ont été imposées.

La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) et l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) sont les deux principaux organismes de normalisation internationaux dans le domaine de l'électrotechnique. La CEI est un organisme officiel composé de comités nationaux de 63 pays, tandis que l'IEEE est une association professionnelle. Ces deux organismes réalisent la principale activité de normalisation dans le domaine des perturbations électriques au niveau mondial mais n'ont pas une uniformité de critères en ce qui concerne la définition des interactions entre le réseau et les charges connectées [9].

Afin de faciliter la connaissance des normes pour chaque domaine, les normes CEI qui couvrent tous les domaines de l'électrotechnique sont numérotées et référencées comme par exemple CEI 61000 sur la compatibilité électromagnétique et CEI 60063 qui définit les séries de valeurs normalisées pour les résistances et condensateurs.

Au niveau international (CEI), les normes CEI-1000 définissent les niveaux des courants et des tensions harmoniques à respecter. Le Tableau I.1 présente la norme CEI-1000-3-2 qui fixe la limitation des courants injectés dans un réseau public basse tension pour des équipements dont le courant par phase est inférieur à 16 A. Il s'agit là des appareils du domaine domestique. Aussi, du fait de leur puissance, les équipements industriels sont exclus du champ d'application de cette norme [10].

Harmoniques impaires		Harmoniques paires	
Rang	Courant harmonique admissible maximal (A)	Rang	Courant harmonique admissible maximal (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq h \leq 40$	$0.23 * 8/h$
11	0.33		
13	0.21		
$15 \leq h \leq 39$	$0.15 * 15/h$		

Tableau (I.2) : Limites des composantes harmoniques en courant.

Les limitations en tension harmonique que les clients de EDF doivent respecter sont [11] :

- pour un harmonique pair : $\frac{v_h}{v_1} \leq 0.6\%$;
- pour un harmonique impair : $\frac{v_h}{v_1} \leq 1\%$;
- pour le taux de distorsion global de tension : $THD \leq 1.6\%$;

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

D'autre part, la norme principale, IEEE 519-1992, recommande practices and requirements for harmonic control in power Systems, détermine la procédure pour contrôler les harmoniques présents sur le réseau électrique. Elle impose également les limites recommandées de la pollution harmonique générée par les clients et de distorsion harmonique totale sur le réseau . Cette norme limite la distorsion harmonique THD du courant des réseaux < 69 kV à 5 %.

I.8. Solutions de dépollution des réseaux électriques

Plusieurs solutions ont été envisagées pour réduire la propagation des harmoniques et améliorer la qualité d'énergie électrique. Elles peuvent être classées en deux types :

Traditionnelles et modernes

I.8.1. Solutions traditionnelles de dépollution :

A fin de dépolluer les réseaux électriques, plusieurs solutions ont été proposées dans la littérature, dont le but est de limiter la propagation et l'effet des harmoniques dans les réseaux électriques..

Ce sont des techniques qui doivent être connues par tous les électriciens. Elles apportent une solution facile et rapide pour certains cas de perturbations bien localisées et utilisent des composants passifs (inductances, condensateurs, transformateurs) et/ou des branchements qui modifient le schéma de l'installation.[12]

I. a) L'augmentation de la puissance de court circuit du réseau .
L'impédance de court-circuit en un point du réseau est inversement proportionnelle à la puissance de court-circuit disponible en ce point. Aussi l'impact des harmoniques sera d'autant plus réduit si la puissance de court circuit est grande.[13],

I. b) Utilisation d'inductances anti-harmoniques Cette disposition consiste à protéger les condensateurs, destinés à améliorer le facteur de puissance, en plaçant une inductance en série. Cette inductance est calculée de façon à ce que la fréquence de résonance ne corresponde à aucun des harmoniques présents

I. C) Le pont dodécaphasé : La structure dodécaphasée présente des caractéristiques très intéressantes par rapport à celle hexaphasée. Cependant, le nombre de semi-conducteurs

utilisés et le transformateur à deux enroulements au secondaire rendent cette solution onéreuse

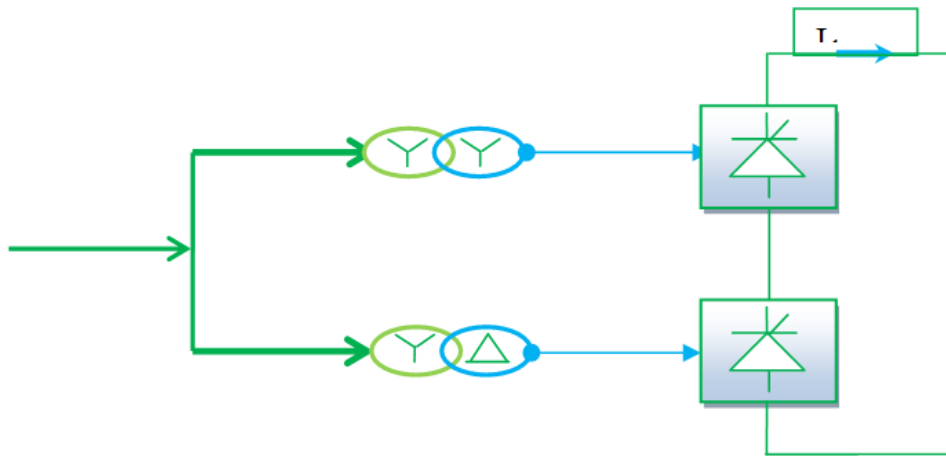


Figure.(I.3). Structure du pont dodécphasé

I.d.) Les filtres passifs :

La deuxième solution de dépollution consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau. Parmi les dispositifs du filtrage les plus répons, on distingue le filtre passif résonnant Figure (I.4) et le filtre passif amorti Figure (I.5) ou passe-haut.

Cette solution, connue depuis fort longtemps, est la plus répandue surtout en forte puissance et sous haute tension. Néanmoins, elle présente deux inconvénients majeurs :

1) Le phénomène de résonance avec le réseau qui est à l'origine de l'amplification de tout harmonique à des fréquences voisines de celle de la résonance.

2) La dépendance des performances du filtre passif des caractéristiques du réseau sur lequel il est connecté [14]

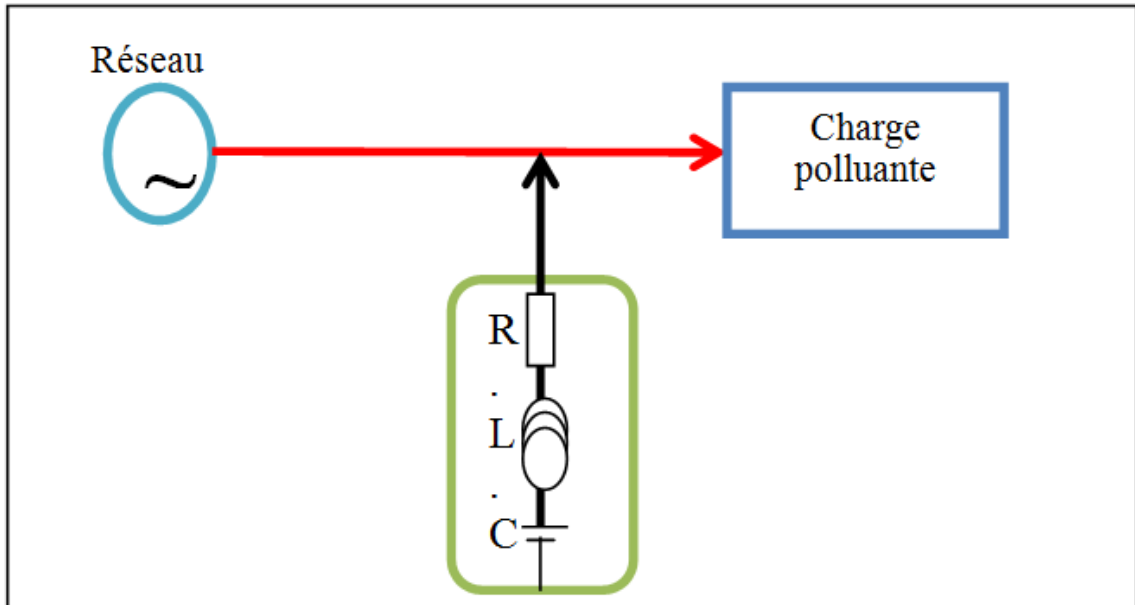


Figure (I.4) : Structure du filtre résonant

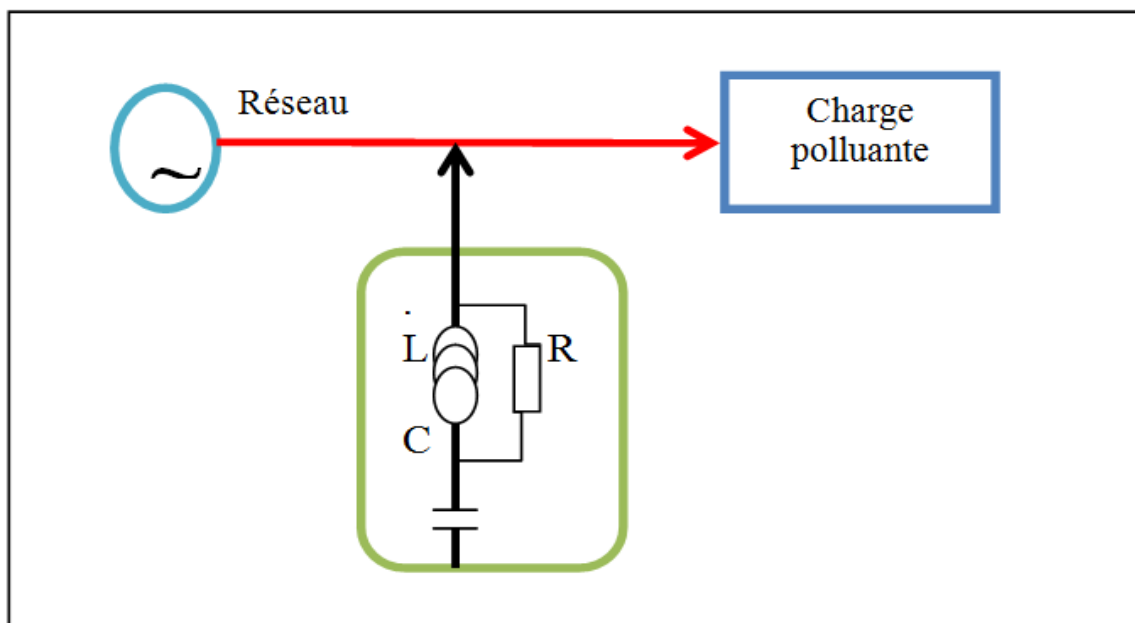


Figure (I.5) : Montage du filtre amorti

On peut installer un filtre pour une charge ou pour un ensemble de charges. Sa conception nécessite une étude approfondie du réseau électrique et un travail de conception de bureau d'étude. Le dimensionnement dépend du spectre harmonique de la charge et de l'impédance de la source d'énergie.

Cette solution est la plus simple et la moins chère mais sans doute, elle n'est pas la plus efficace. [15]

I.8.2. Solutions modernes

Le remarquable progrès dans le domaine des semi-conducteurs rapides de puissance à permis la promotion de nouvelles structures de convertisseur telles les filtres actifs et les redresseurs à MLI. Leurs utilisations permettent d'éviter des problèmes aux équipements à base d'éléments passifs. De plus, ces nouvelles techniques sont économiques et deviennent de plus en plus intéressantes [16].

Les avantages de ces filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants [17] :

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

Pourtant, ils possèdent aussi quelques inconvénients

- leur coût élevé a limité leur implantation dans l'industrie
- l'absence de réglementation spécifique n'incite pas leur intégration
- les pertes sont légèrement plus élevées.

Le but de ces filtres est d'engendrer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant et la tension soient rendus sinusoïdaux [7]. Le filtre actif est connecté en série ou en parallèle suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques.

I.8.2.1. Filtre actif parallèle

Le filtre est constitué d'un onduleur de tension et d'un filtre inductif en sortie. Ainsi, l'inductance en sortie de l'onduleur donne la nature de source de courant au filtre actif. Dans le cas où le réseau alimente plusieurs charges polluantes, il est préférable d'utiliser un seul filtre actif pour toutes les charges, car dans ce cas, le coût du filtrage est moindre. Cependant, lorsque la puissance des charges polluantes est élevée, la solution d'un filtre actif par charge s'avère nécessaire. Cette dernière méthode est bien sûr plus coûteuse mais elle possède l'avantage d'éviter que la stabilité des harmoniques vienne perturber le réseau dans le cas où un filtre actif est défectueux. Pour la suite de l'étude, la solution de dépollution choisie sera le filtre actif parallèle en raison de son efficacité et de sa forte utilisation .

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau, comme le montre la figure , est le plus souvent commandé comme un générateur de courant. Il injecte dans le réseau des courants perturbateurs égaux à ceux absorbés par la charge polluante. Mais en opposition de phase

avec ceux-ci. Le courant côté réseau est alors sinusoïdal, figure . Ainsi l'objectif du filtre actif parallèle consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés), produits par des charges polluantes, de circuler à travers l'impédance du réseau, située en amont du point de connexion du filtre actif. La figure (I.6) représente la structure générale du filtre actif parallèle,

laquelle se présente sous forme de deux parties : la partie puissance et la partie contrôle-commande [11] .

La partie puissance est constituée :

- 1- d'un onduleur de tension à base d'interrupteurs de puissance, commandés à l'amorçage et au blocage (GTO, IGBT,...etc.) avec des diodes en antiparallèles ;
- 2- d'un circuit de stockage d'énergie, souvent capacitif ;
- 3- d'un filtre de couplage.

La partie contrôle-commande quant à elle est constituée :

- 1- de la méthode d'identification des courants perturbés ;
- 2- de la régulation de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie ;
- 3- de la régulation des courants injectés sur le réseau à partir de l'onduleur de tension ;
- 4- De la commande de l'onduleur de tension .

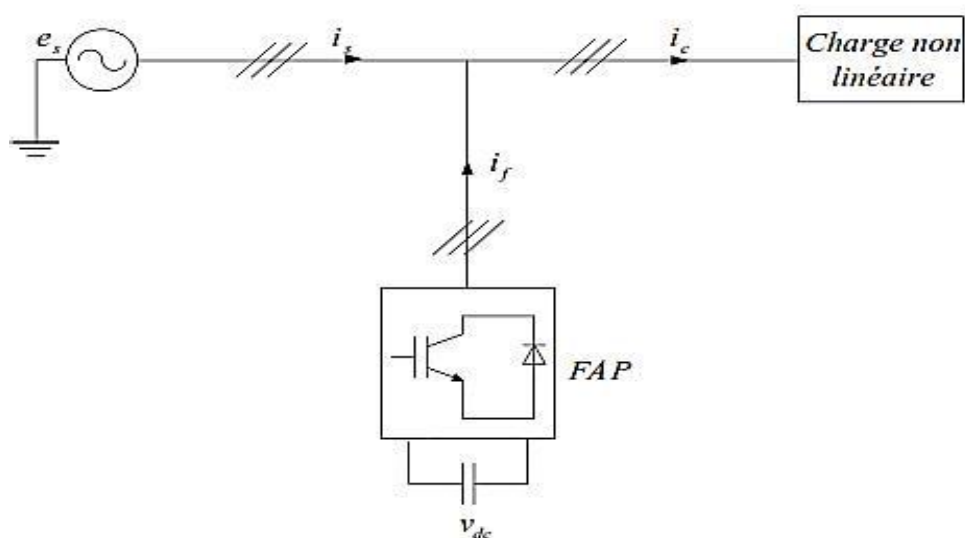


Figure. (I.6) Filtre actif parallèle.

I.8.2.2. Filtre actif série

Dans cette configuration, le filtre est placé en série sur le réseau comme le montre la Figure (I.7). Il se comporte comme une source de tension qui engendre des tensions harmoniques dont la somme avec la tension réseau est une onde sinusoïdale. Il est destiné à protéger les installations sensibles aux perturbations provenant du réseau telles que les harmoniques en tension, les surtensions, ... etc. En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge [7].

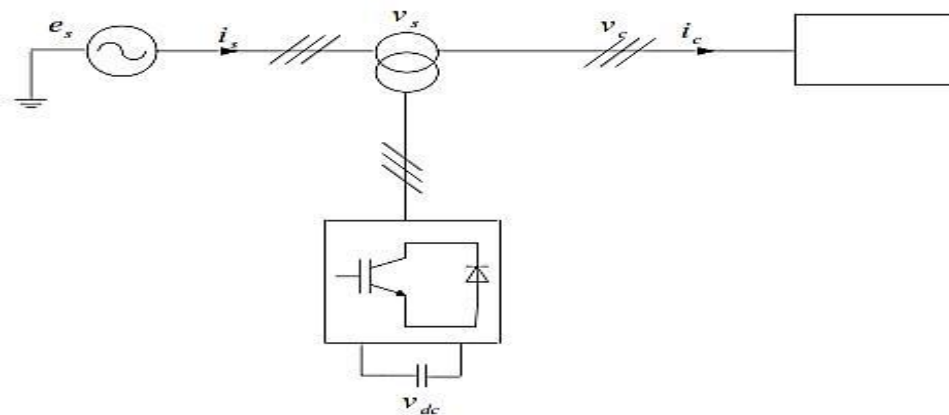


Figure.(I.7). Filtre actif série.

I.8.2.3. Filtre combiné parallèle-série

D'après ce qui précède, ni l'un ni l'autre des deux types de filtre actif n'est capable de réaliser un filtrage complet donnant une tension sinusoïdale côté charge et un courant côté réseau exempt d'harmonique. Cet objectif peut être réalisé en utilisant un filtre actif mixte composé de deux filtres actifs, l'un connecté en série avec la charge l'autre en parallèle avec celle-ci, comme le montre la Figure (I.8). Cette nouvelle topologie est appelée combinaison parallèle-série actifs ou Unified Power Quality Conditioner (UPQC). Les tensions harmoniques provenant du réseau sont éliminées par le filtre série fonctionnant en générateur de tension tandis que les courants harmoniques absorbés par la charge polluante sont compensés par le filtre actif parallèle, générateur de courant [18]

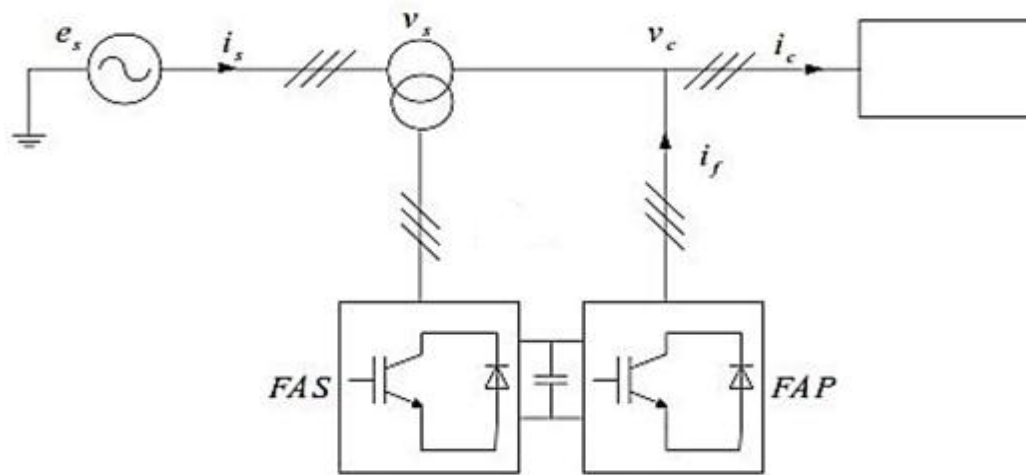


Figure. (I.8). Filtre combiné parallèle-série (UPQC).

I.8.2.4. Filtre actif hybride

Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent le prix des filtres actifs, l'association de filtres actifs de faible puissance à des filtres passifs peut être une solution. Plusieurs configurations sont possibles combinant éléments passifs et filtre actif série ou parallèle [19] :

- le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles ;
- le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles ;
- le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.

La Figure(I.9) montre l'une des configurations les plus récentes [20].

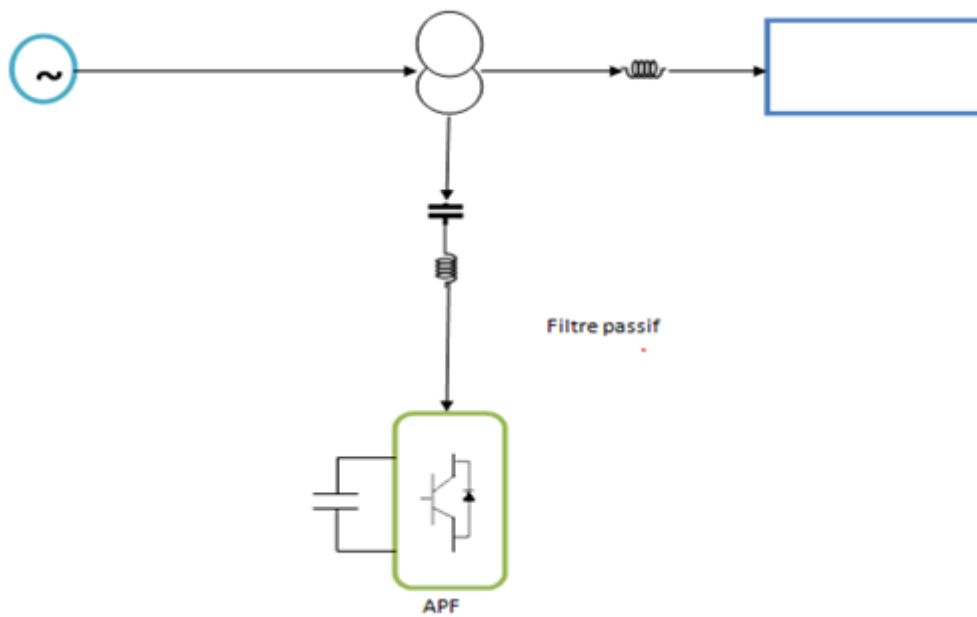


Figure. (I.9). Filtre actif hybride.

I.8.2.5. Filtre actif multi niveaux

L'utilisation limitée des filtres actifs est due en partie aux coûts structurels mais aussi à la limitation des interrupteurs de puissance à travailler à haute tension. Les onduleurs multi niveaux présentent comme principal avantage la réduction des contraintes en tension sur les interrupteurs de puissance [21].

Pour les applications de filtrage actif, ces topologies ont donc été sujets de recherche très tôt avec la topologie NPC . De nombreuses publications concernent les applications multi niveaux avec les différentes topologies NPC, multicellulaire, ou à convertisseurs imbriqués [22]. De nombreux configurations possibles des filtres actifs à base d'onduleur multi niveaux ont été étudiées dans la littérature

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes origines les harmonique affectant les réseaux électriques basse tension et les solutions de dépollution existantes., leurs caractéristiques, leurs influences sur les réseaux de distribution d'énergie et sur les récepteurs raccordés à un réseau pollué. Ces influences sont à l'origine d'échauffements et de dégradations du fonctionnement de ces équipements. Les normes imposées ont été également

présentées. Elles fixent les limites de la génération d'harmoniques. Ensuite, pour diminuer les effets de ces perturbations harmoniques, différentes solutions existantes, notamment les techniques de filtrage et compensation à base d'éléments passifs présentent de nombreuses inconvénients qui peuvent être l'origine de problèmes d'harmoniques supplémentaires. Afin de palier à ces problèmes, nous avons présente les différentes structures de filtre actif parallèle et série avec leurs combinaisons, en plus, la structure multi niveaux.

**Etude et simulation d'un filtre actif parallèle
à trois niveaux.**

II.1. Introduction :

La technologie de conversion de l'énergie du continu vers l'alternatif en utilisant les convertisseurs statiques est une partie de l'électronique de puissance en pleine croissance. Cela tient essentiellement à deux raisons .La première est l'étendue du domaine de leurs applications ; La seconde vient de l'amélioration des performances des semi-conducteurs de puissance et de l'apparition de nouveaux composants permettant l'implantation de nouvelles stratégies de commande plus performantes.

Un convertisseur à niveaux multiples ou convertisseur multi niveaux peut commuter chaque entrée ou sortie au moins entre trois niveaux de tension ou de courant . D'une manière générale, un onduleur multi niveaux implique l'association de semi-conducteurs de puissance et de sources de tensions capacitives. Le fonctionnement de ce type d'onduleur est alors basé sur l'idée de répartir les contraintes de tension (mise en série) ou de courants (mis en parallèle) sur les interrupteurs de puissance de façon à fournir en sortie des valeurs tensions / courants plus élevées; ceci permet d'une part de réduire les contraintes sur les interrupteurs électroniques et d'autre part d'améliorer la forme de la tension fournie par l'onduleur. Plusieurs chercheurs ont proposé son application dans le domaine du filtrage actif et la compensation de l'énergie réactive

Ce chapitre est consacré à la présentation des principales structures d'onduleurs de tension multi niveaux.

II.2. Intérêt des onduleurs multi niveaux

La structure de conversion multi niveaux offre d'énormes avantages relativement à une solution conventionnelle basée sur un convertisseur à deux niveaux, parmi les plus importants on mentionne [34],

- génération de tensions proches de la forme sinusoïde permet d'améliorer la qualité des formes d'ondes, qui se traduira par une réduction de la distorsion harmonique. Ceci peut entraîner des avantages considérables comme la diminution des pertes fer, l'augmentation de la durée de vie des isolants.
- le courant qui circule est lui aussi à faible taux de distorsion ;
- réduction des tensions du mode homopolaire et par conséquent des contraintes dans les paliers des moteurs électriques. En plus, l'utilisation de techniques de modulation sophistiquées peut totalement annuler ces tensions. Malgré leurs nombreux avantages, les onduleurs multi niveaux présentent certains inconvénients tels que

- l'accroissement du nombre de niveaux de tension, plus compliquée dévient la structure du convertisseur ;
- la complexité de sa commande rend son coût élevé et sa fiabilité réduite.

II.3 Différentes topologies des onduleurs multi niveaux

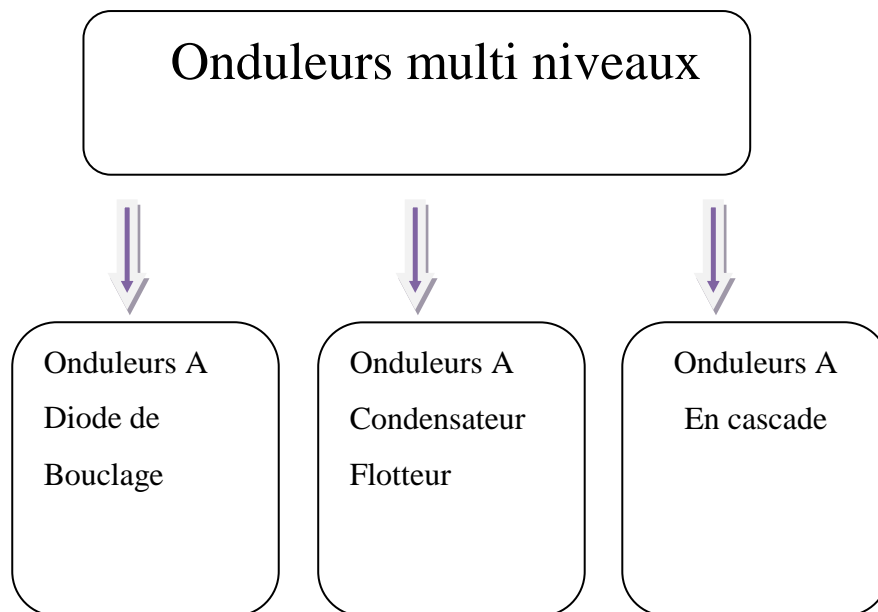


Figure (II .1) : Les différentes types des onduleurs multi niveaux.

Le concept de convertisseur multi niveaux peut être mis en œuvre par différentes Structures, La caractéristique commune de celle-ci sera sa capacité à fournir une forme d'onde qui puisse prendre plus de deux niveaux en sortie du convertisseur. Ainsi plusieurs structures de convertisseurs multi niveaux ont été proposées[38].

Les trois topologies qui attirent le plus d'intérêts sont les suivantes :

- ❖ Les convertisseurs à diodes flottantes (NPC – Neutral point Clamped).
- ❖ onduleur a capacités flottantes (multicellulaire série).
- ❖ Les onduleurs multi niveaux en cascade

II.4.Comment déterminer le niveau d'un onduleur

Le nombre de diodes croît avec le carré du nombre d'étages. Pour générer $m+1$ niveaux, m étages sont nécessaires, il faut m sources de tension en série, $2*m$ transistors et m^2+m diodes.

$2 \cdot m$ diodes sont généralement intégrées aux transistors, ce qui réduit à $m^2 - m$ le nombre de diodes additionnelles.

Le tableau (II-1) suivant représente le nombre de composants nécessaires pour déterminer le niveau d'un onduleur $(m+1)$ niveaux,[35]

Topologie	m	T	D	C	n	N _E
NPC	m	2m	m^2+m	$\frac{2m}{b}$	$m+1$	$m+1$
Cellules imbriqués	m	2m	2m	$\frac{m^2 - m}{2}$	$m+1$	2^m
Cascade	m	2m	2m	M	$m+1$	$3^{\frac{m}{2}}$
Pont simple	m	2m	2m	0	2	2

Tableau (II-1)

Avec :

- m : le nombre d'étages ou de cellules.
- b : le nombre de branches, 2 en monophasés, 3 en triphasé.
- T : le nombre de transistors.
- D : le nombre de diodes.
- C : le nombre de condensateurs.
- n : nombre de niveaux obtenus.
- NE: nombre d'états de commutation.

II.5 Application des onduleurs multi niveaux

Les onduleurs multi niveaux constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance. Ils sont présents dans des domaines d'applications les plus variés. Ils sont utilisés pour assurer la compensation d'harmoniques et de puissances réactive des charges alternatives. Par conséquent aident à améliorer leur facteur de puissance.

Dans le domaine du filtrage actif, les onduleurs multi niveaux permettent un fonctionnement à partir d'une tension réseau importante tout en garantissant une fréquence de découpage élevée. Ceci est obtenu grâce à l'utilisation conjointe de plusieurs composants à semi-conducteurs ayant une tenue en tension inférieure à la tension du réseau considérée.[35]

II.6. Structure de SAPF à trois niveaux

La deuxième topologie de filtre actif de puissance parallèle est à trois niveaux avec condensateurs à point milieu. Son schéma de principe est illustré sur la Figure II.2.

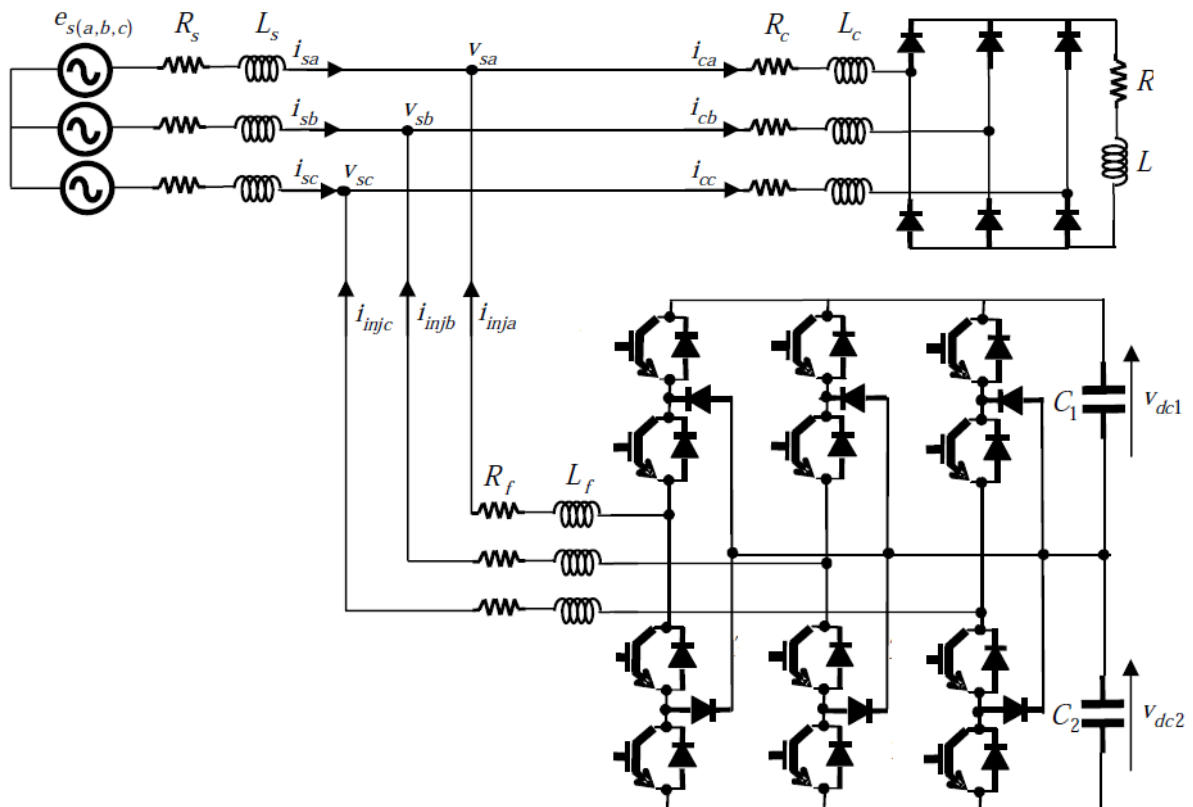


Figure (II .2) : Circuit de puissance du filtre actif parallèle à trois niveaux proposé.

II.6.1 Structure de l'onduleur à trois niveaux

L'idée de base de l'onduleur NPC est l'obtention d'une tension de sortie à trois niveaux par la superposition de deux interrupteurs élémentaires alimentés chacun par une source de tension continue distincte.

L'onduleur triphasé à trois niveaux utilisé est constitué de trois bras et de deux sources de tension continue. Chaque bras comporte quatre interrupteurs en série et deux diodes médianes. Chaque interrupteur est composé d'un transistor et une diode montée en tête bêche,

Le point milieu de chaque bras est relié à une alimentation continue, de force électromotrice (E). A l'aide d'un diviseur de tension capacitif formé par les condensateurs de filtrage C1 et C2 de même capacité, on obtient deux sources secondaires de tension continue délivrant chacune une demi tension (E/2). Étant connectés entre eux en un point neutre noté o. Ces derniers sont identiques de manière à éviter le déséquilibre de charge ($C1=C2$ ' est-à-dire $U_{c1}=U_{c2}$).

Le point o est connecté avec les deux diodes médianes (DDK1, DDK2), [36]. La figure (II.3) fournit une représentation schématique de cet onduleur.

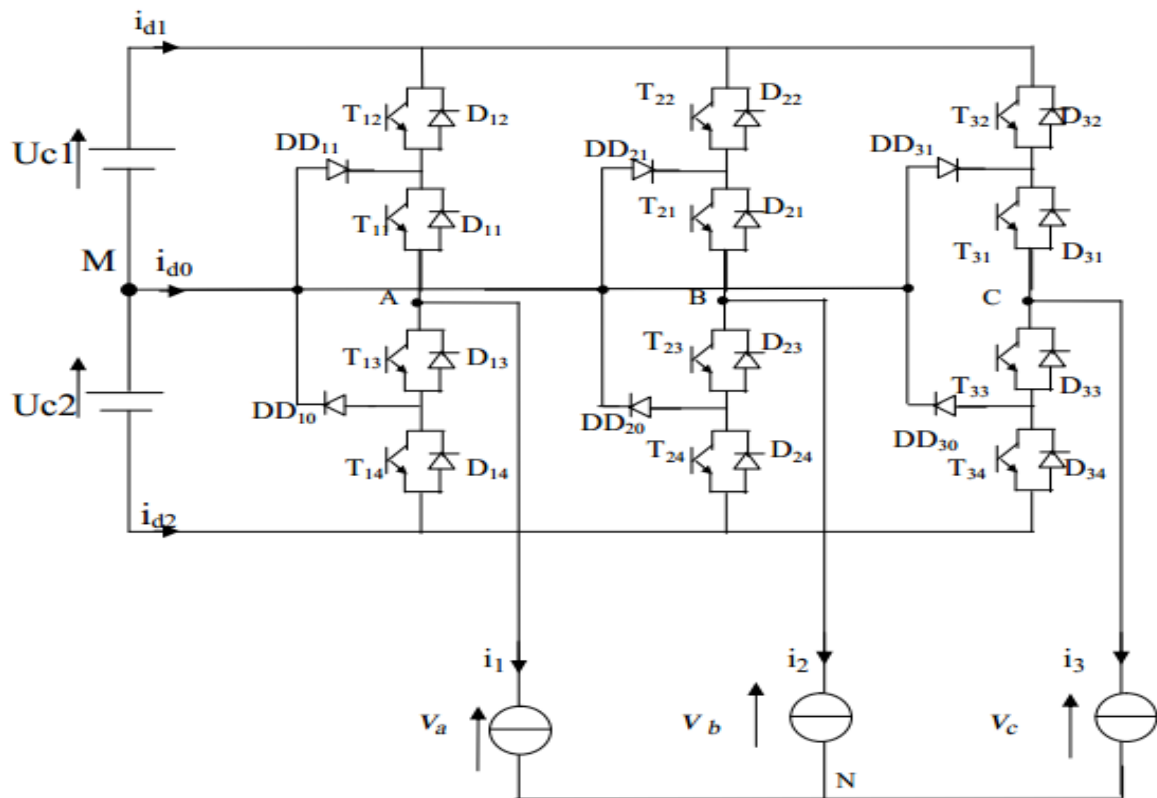


Figure (II- 3) : Schéma d'un onduleur NPC à 3 niveaux

II.7. Identification des courants harmoniques

Les méthodes d'identification des grandeurs harmoniques sont classées dans deux domaines, fréquentiel et temporel [24].

La première est basée sur la transformée de Fourier de la tension ou du courant non sinusoïdal pour en extraire les harmoniques de compensation. Cet algorithme présente la difficulté de nécessiter beaucoup de calcul surtout lorsque on augmente le nombre d'harmoniques à éliminer ; il en résulte un temps de réponse élevé [11].

La deuxième approche est basée sur la comparaison instantanée des grandeurs de compensation harmonique de référence, sous forme de tension ou de courant, aux grandeurs harmoniques réels. Beaucoup de méthodes entrent dans cette famille, notamment la méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées.

On distingue des méthodes d'extraction globale (tous les harmoniques à compenser sont présents dans la référence) et sélective (les harmoniques à compenser sont choisis et limités) [25]. Le choix de la méthode dépendra des objectifs fixés : compensation de tous les courants harmoniques, compensation sélective de certaines harmoniques, compensation des harmoniques

dans des cas de configurations défavorables susceptibles de survenir dans les réseaux triphasés industriels, car la tension du réseau est souvent perturbée ou déformée. Pour générer les courants de référence servant à la commande du filtre actif, nous avons opté pour la méthodes : méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées.

II.7.1. Méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées

Parmi toutes les méthodes présentées dans la littérature, nous avons choisi de mettre en œuvre la méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées, car elle est d'une grande souplesse en permettant de choisir la perturbation à compenser avec précision, rapidité et facilité d'implantation [11].

La méthode des puissances instantanées introduite par H. Akagi et al.[26], exploite la transformation de Concordia des tensions aux points de raccordement du filtre actif parallèle et des courants absorbés par la charge polluante, afin de calculer les puissances réelle et imaginaire instantanées.

Notons respectivement par (V_α, V_β) et (I_α, I_β) les composantes orthogonales de Concordia associées aux tensions V_{sk} T_{ki} (K=a, b, c) et aux courants I_{ck} . La transformation de Concordia permet d'écrire, les deux relations suivantes :

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ca} \\ I_{cb} \\ I_{cc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

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

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

En remplaçant les tensions et les courants diphasés par leur homologues triphasés, nous obtenons :

$$P = V_\alpha I_\alpha + V_\beta I_\beta = V_{sa} I_{ca} + V_{sb} I_{cb} + V_{sc} I_{cc} \quad (\text{II.10})$$

De même, pour la puissance imaginaire on a :

$$q = V_{\alpha} I_{\beta} + V_{\beta} I_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(V_{sc} - V_{sb}) I_{ca} + (V_{sa} - V_{sc}) I_{cb} + (V_{sb} - V_{sa}) I_{cc} \right] \quad (\text{II.11})$$

Les composantes des puissances réelle et imaginaire instantanées s'expriment comme la somme d'une composante continue et d'une composante alternative, ce qui nous permet d'écrire [27],

$$\begin{cases} p = \bar{p} + \tilde{p} \\ q = \bar{q} + \tilde{q} \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

Où :

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

P, q sont les composantes alternatives de p et q.

L'inverse de l'équation (II.9) des puissances active et réactive permet d'établir la relation (II.13) des courants I_{α} et I_{β} :

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{s\alpha}^2 + V_{s\beta}^2} \begin{bmatrix} V_{\alpha} & -V_{\beta} \\ V_{\beta} & V_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (\text{II.13})$$

En considérant les équations (II.12) et (I.13), nous pouvons séparer le courant dans le repère (α, β) en trois composantes, active et réactive à la fréquence fondamentale et somme des harmoniques. Ceci conduit à :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\hat{V}_{\alpha}^2 + \hat{V}_{\beta}^2} \begin{bmatrix} \hat{V}_{\alpha} & 0 \\ \hat{V}_{\beta} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{dc} \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{V_{\alpha}^2 + V_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{q} \end{bmatrix} + \frac{1}{V_{\alpha}^2 + V_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & -v_{\beta} \\ v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

Maintenant, si on souhaite également compenser la puissance réactive, ainsi que les Courants harmoniques générés par les charges non linéaires, le signal de référence du filtre actif parallèle doit inclure P, \bar{q} et q Dans ce cas, les courants de référence sont calculés par:

$$\begin{bmatrix} I_{ref\alpha} \\ I_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{\alpha}^2 + V_{\beta}^2} \begin{bmatrix} V_{\alpha} & V_{\beta} \\ V_{\beta} & -V_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ \bar{q} + q \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

Les courants triphasés sont obtenus à partir des courants diphasés $I_{ref\alpha}$ et $I_{ref\beta}$ par la transformation inverse de Concordia. Ces courants représentent les perturbations et deviennent les courants de référence qui sont à injecter en opposition de phase sur le réseau électrique pour éliminer les harmoniques.

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ref \alpha} \\ I_{ref \beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

Il est évident, d'après la relation (II.14), que pour identifier une des trois composantes, par exemple les courants harmoniques, les parties alternatives des puissances réelles et imaginaires doivent être séparées des parties continues. Cette séparation peut être réalisée en utilisant deux filtres, le premier pour isoler la partie \bar{P} e la puissance active instantanée, le second pour isoler la partie \bar{q} de la puissance réactive instantanée, comme le présente la Figure (II.4)

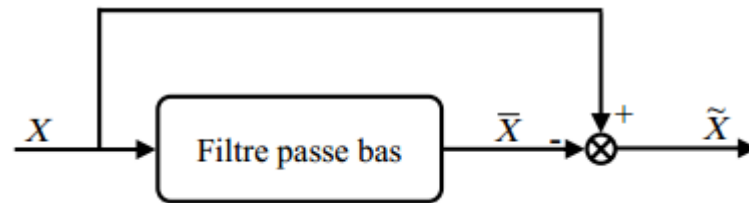


Figure (II.4). Schéma représentant le principe de séparation des puissances.

La relation suivante donne l'expression générale d'un filtre passe-bas du deuxième ordre

$$F(s) = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2} \quad (\text{II.17})$$

Avec: ,

$$\omega_0 = 2\pi f_0, \quad f_0 : \text{est la fréquence de coupure du filtre ;}$$

- s: l'opérateur de Laplace ;
- ξ : dépassement.

Le schéma de la Figure (II.5) illustre les différentes étapes permettant l'obtention des courants de référence par la méthode des puissances réelle et imaginaire instantanées.

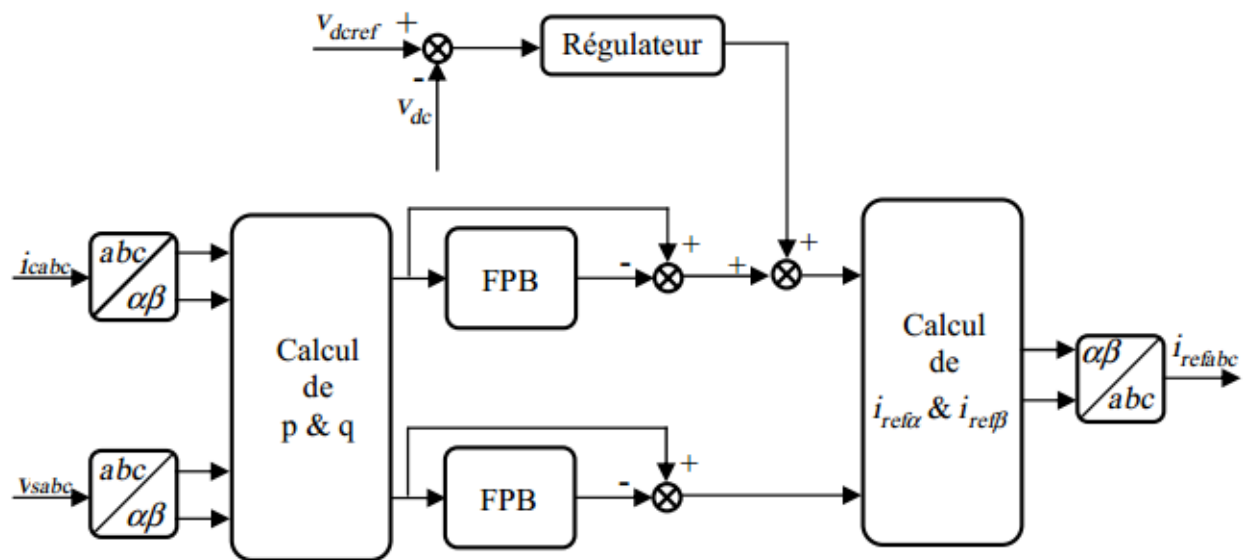


Figure. (II.5). Schéma de principe de la méthode d'identification des puissances instantanées

Suivant la fonction que nous donnons au filtre actif de puissance, nous pouvons compenser soit les harmoniques de courant et l'énergie réactive ou uniquement l'un des deux. Le Tableau (II.2) résume les modes de compensations possibles [28].

Paramètres de contrôle	
Compensation des harmoniques de courant	$P_f = P$ et $q_f = q$
Compensation de l'énergie réactive	$P_f = 0$ et $q_f = \bar{q}$
Compensation des harmoniques de courant et de l'énergie réactive	$P_f = P$ et $q_f = q$

Tableau (II.2) Les modes de compensation de la commande des puissances instantanées

II.8. Modélisation du fonctionnement d'un bras d'onduleur NPC a trois niveaux

L'onduleur à trois niveaux a une structure symétrique. Donc on procède par bras (figure (II.6)), ainsi, on définit en premier lieu un modèle global d'un bras sans à priori sur la commande. [11]

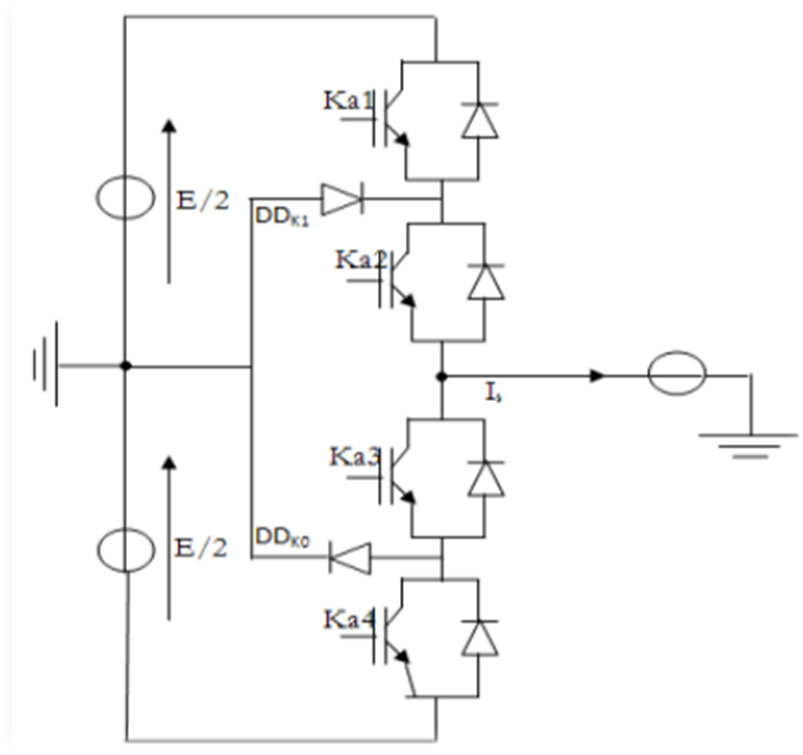


Figure. (II-6): Un bras de l'onduleur à trois niveaux de type NPC

L'ouverture et la fermeture des interrupteurs dépend de :

- La commande externe B_{ks} (l'ordre d'amorçage ou de blocage du semi-conducteur Bidirectionnel T_{ks}).
- Une commande interne définie par les signes du courant du bras.
- Pour éviter la mise en conduction simultanée des quatre interrupteurs d'un seul bras, qui provoque un court circuit aux bornes des sources continues et par conséquent le risque de distorsion des condensateurs et des composants semi-conducteurs par surintensité et qui peut engendrer la destruction par surtension des interrupteurs lors d'ouvertures simultanée de ces derniers, on adopte la solution classique suivante : On doit réaliser une commande complémentaire des différents interrupteurs d'un même bras de l'onduleur,

II.8.1. Les Différentes configurations d'un bras d'onduleur à trois niveaux

A fin d'élaborer un modèle du fonctionnement de ces onduleurs à trois niveaux sans a priori sur la commande ; on représente chaque paire transistor diode par un seul interrupteur bidirectionnel figure (II.7) et on procède par bras (grâce à la symétrie de l'onduleur triphasé) [37].

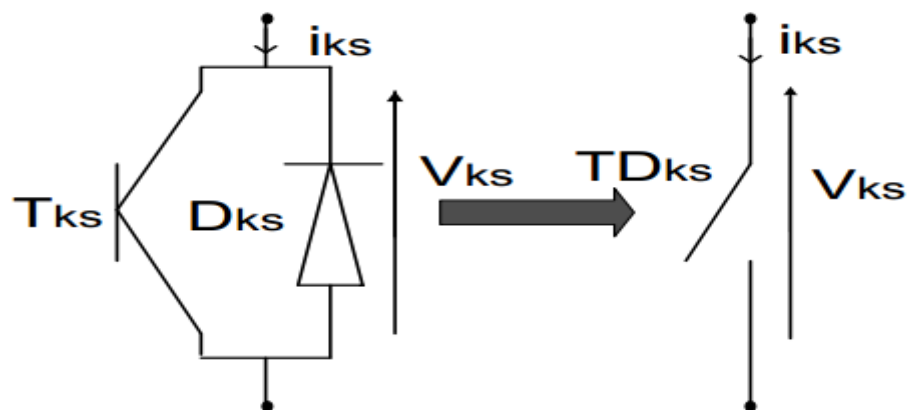


Figure (II- 7) : Interrupteur bidirectionnel équivalent de la paire diode-transistor

Il faut déterminer les valeurs que peut prendre la tension simple V_{ao} entre la borne (a) de la charge et le point neutre 0. Cette tension est entièrement définie par l'état (0 ou 1) des quatre interrupteurs K_{a1} , K_{a2} , K_{a3} et K_{a4} du bras. Sur les $2^4 = 16$ configurations possibles, seules trois configurations sont mises en œuvre.

Toutes les autres séquences ne sont pas fonctionnelles et sont donc à éviter. En effet, elles provoquent soit des court-circuit des sources de tension continue, soit elles provoquent la déconnexion de la charge.

L'onduleur à trois niveaux étant symétrique, l'étude peut se limiter au fonctionnement d'un seul bras, (où on distingue trois configurations possibles) On donne ci dessous le tableau récapitulatif tableau (II-2) représente la tension de sortie .

V_{ao} d'un onduleur NPC à trois niveaux en fonction de l'état des interrupteurs, la tension au borne des interrupteurs de puissance n'excède jamais la moitié du bus d'entrée, [37].

A la différence de l'onduleur à deux niveaux, chaque demi-bras de l'onduleur à trois niveaux utilisée non pas un interrupteur bidirectionnel mais deux, ce qui permet d'effectuer une commande décalée.

➤ **Première configuration {1100}**

K_{a1} , K_{a2} sont passants et K_{a3} et K_{a4} sont bloqués figure (II-6), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = +E/2 \quad (II-1)$$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka3} = V_{ka4} = +E/2 \quad (II-2)$$

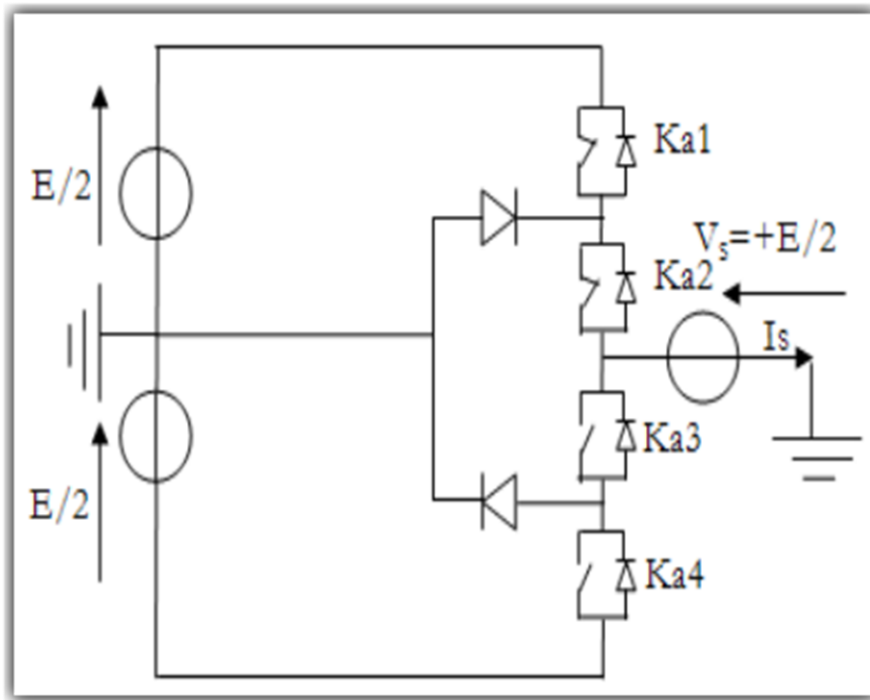


Figure. (II-8): 1ère configuration du 1er bras

➤ **Deuxième configuration {0110}**

Ka2, Ka3 sont passants et Ka1 et Ka4 sont bloqués figure (II-7), le point a est relié directement au point neutre 0. La tension simple Vao est nulle :

$$V_{ao} = 0 \tag{II-3}$$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka4} = +E/2 \tag{II-4}$$

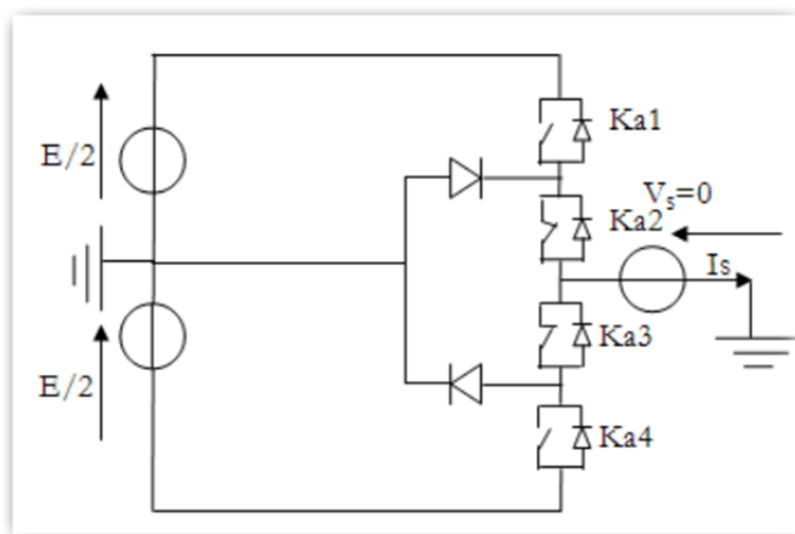


Figure. (II-9): 2ème configuration du 1er bra

➤ **Troisième configuration {0011}**

$$\begin{cases} B_{k1} = \overline{B_{k2}} \\ B_{k3} = \overline{B_{k4}} \end{cases}$$

Ka3, Ka4 sont passants et Ka1 et Ka2 sont bloqués figure (II-8), la valeur de tension simple V_{ao} est donnée par l'équation suivante :

$$V_{ao} = -E/2 \quad (\text{II-5})$$

La tension inverse aux bornes des interrupteurs bloqués est :

$$V_{ka1} = V_{ka2} = +E/2 \quad (\text{II-6})$$

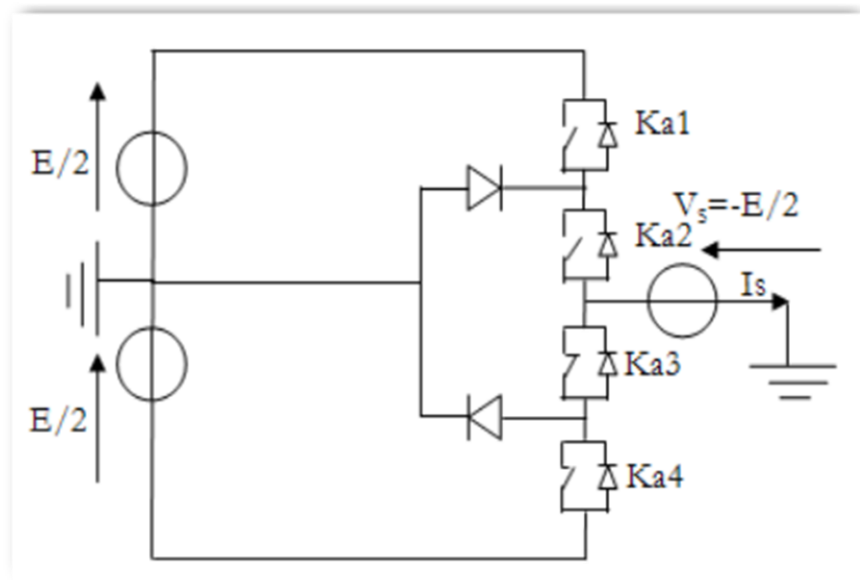


Figure. (II-10): 3ème configuration du 1er bras

Etat des interrupteurs				Tension de sortie V_{ao}
Ka1	Ka2	Ka3	Ka4	
1	1	0	0	$E/2$
0	1	1	0	0
0	0	1	1	$-E/2$

Tableau. (II-2): Grandeur connue pour chacune des configurations d'un bras de l'onduleur NPC à trois niveaux

Pour visualiser l'enchaînement des configurations décrites ci-dessus, la figure (II-9) représente les signaux de commande de chaque interrupteur, ainsi que la forme d'onde de la tension de sortie V_{ao} .

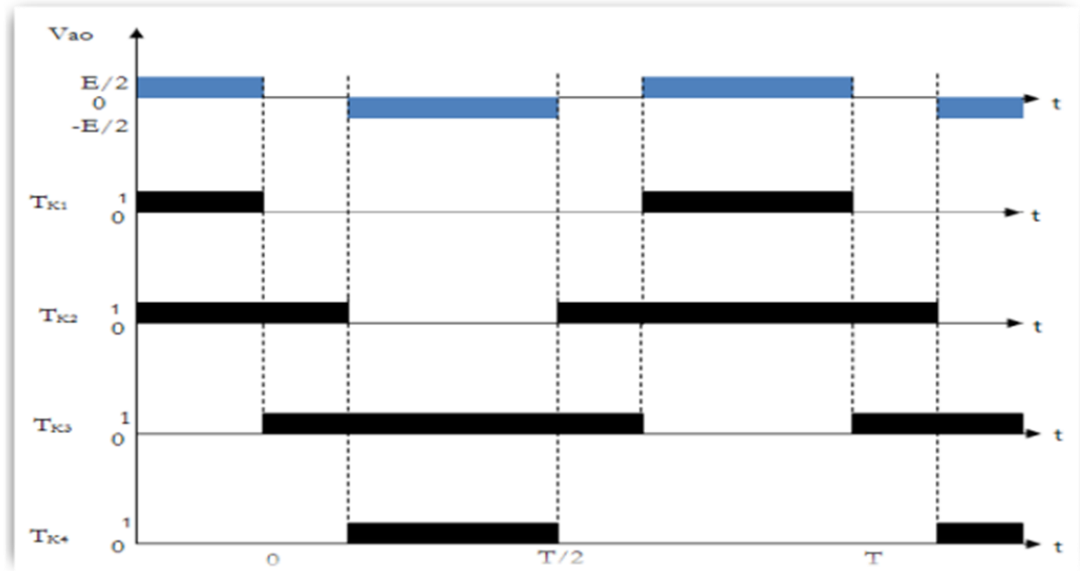


Figure (II-11): Forme d'onde de la tension de sortie d'un bras d'onduleur à trois niveaux de type NPC

II.8.2. Contrôle du SAPF à trois niveaux

Tout d'abord, nous allons établir dans ce paragraphe, comme au chapitre précédent, les deux régulateurs pour la tension continue et le courant. Pour la détection des courants de référence, on a appliqué la méthode des puissance réelle et imaginaire instantanées.

II.8.3. Stratégie de commande de l'onduleur à trois niveaux

Grâce à ses performances élevées, la technique à MLI sinusoïdale est la plus utilisée pour la commande des onduleurs à deux niveaux. Pour les mêmes raisons, elle est aussi utilisée dans les onduleurs multi niveaux.

II.8.4. Résultats de simulation

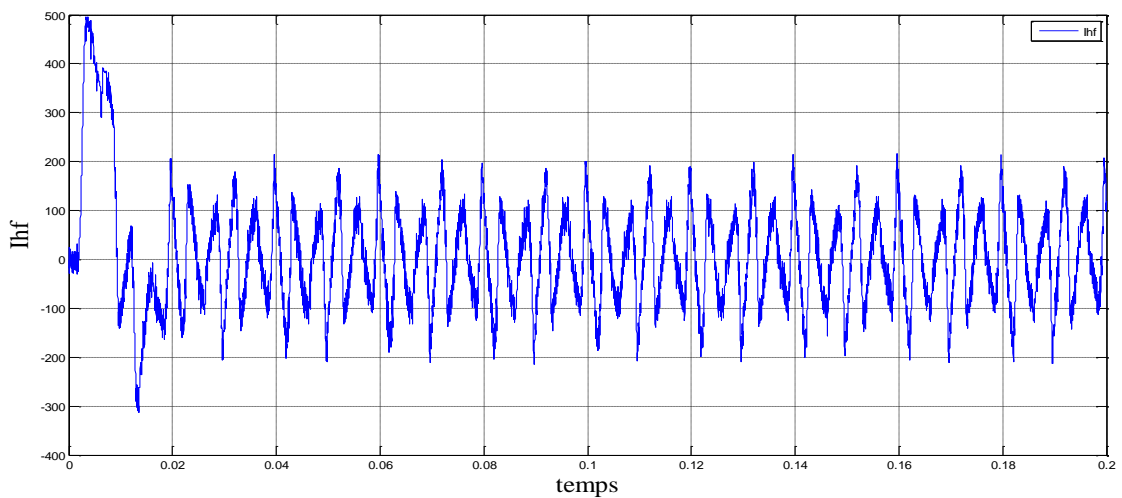
Pour la simulation du modèle de la Figure (II.15) sous *Matlab/Simulink*, on a utilisé les paramètres du Tableau (II.3) ci-dessous.

Paramètre	Valeur numérique	
Réseau électrique	E_s	240v
	Fréquence f	50 Hz
	Résistance R_s	3.63m Ω
	Inductance L_s	14.12 μ H
Charge perturbatrice	Résistance R_c	12.87m Ω
	Inductance L_c	105.98 μ H
	Résistance R_d	0.79 Ω
	Inductance L_d	450 μ H
Filtre actif parallèle	Résistance R_f	12.87 m Ω
	Inductance L_f	450 μ H
	Tension V_{dc}	400v

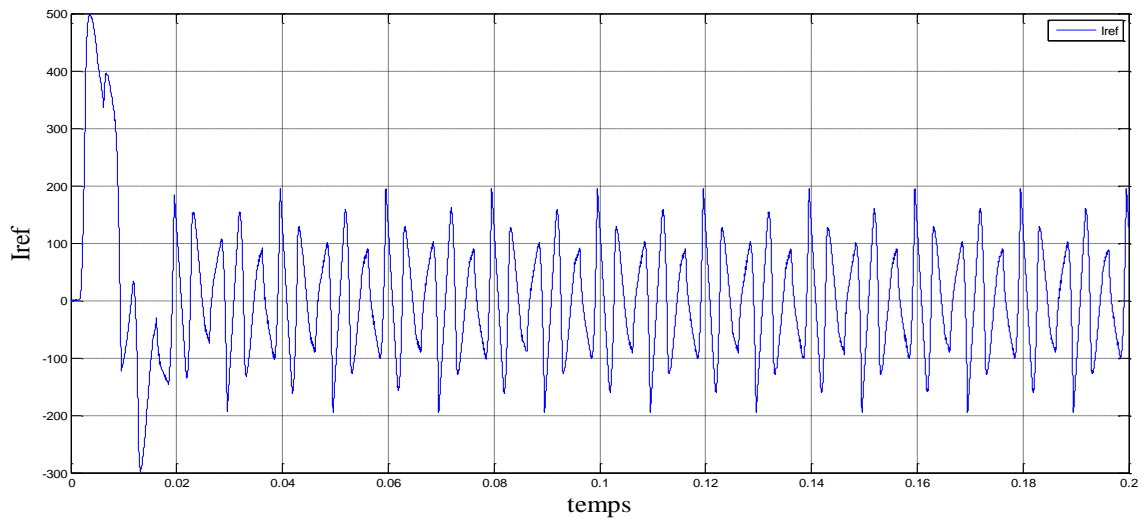
Tableau (II-3) : Paramètres de simulation d'un filtre actif à trois niveaux

La Figure (II.15) montre les résultats de simulation du filtre actif parallèle à trois niveaux en régime permanent de la phase (a). Le courant de la référence I_{ref} , le courant injecter par filtre I_f , et le courant de source après filtrage I_{sapr} , et le courant de référence et filtre, et l erreurs entre le courant harmonique de référence et courant filtre, sont représentés sur cette figure. Les spectres harmoniques du courant de source après compensation sont donnés aux Figure(II.13). Le THD du courant de source passe de 23.57 % avant compensation à 4.32 % après compensation. Après compensation, nous avons obtenu un courant de source quasi sinusoïdal comme indique la Figure(II.15.s.)

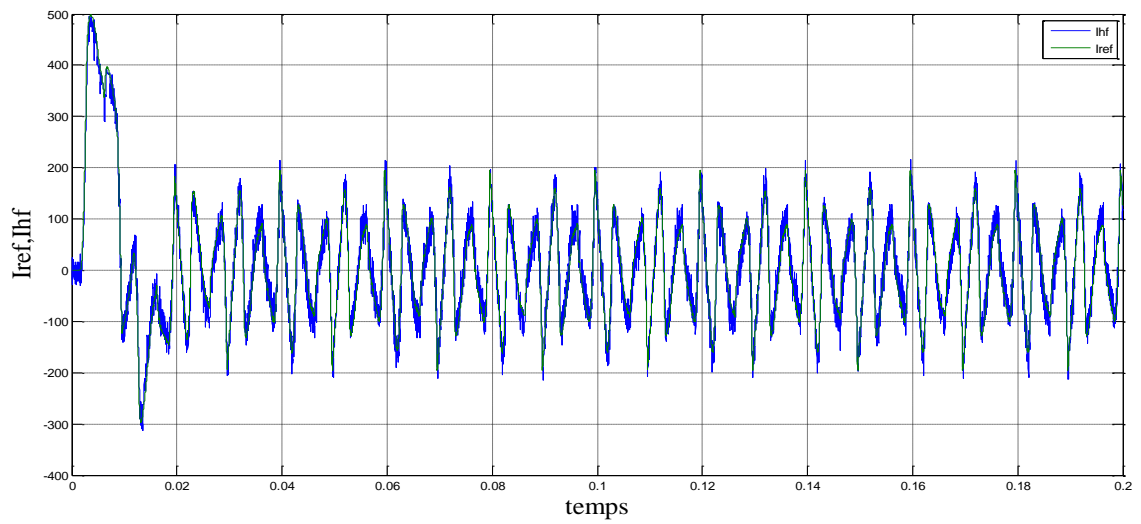
(b)



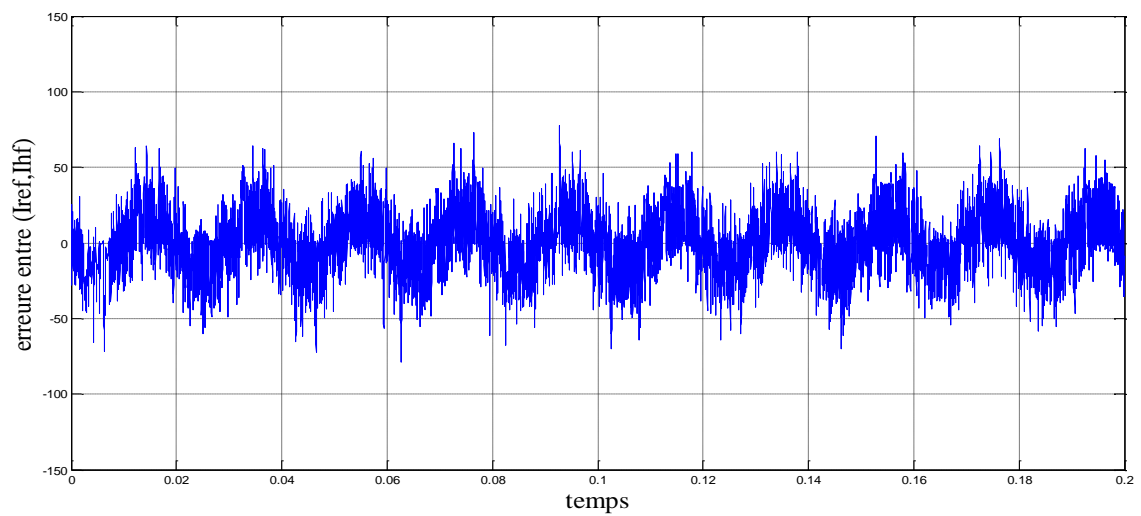
(a)



(c)



(k)



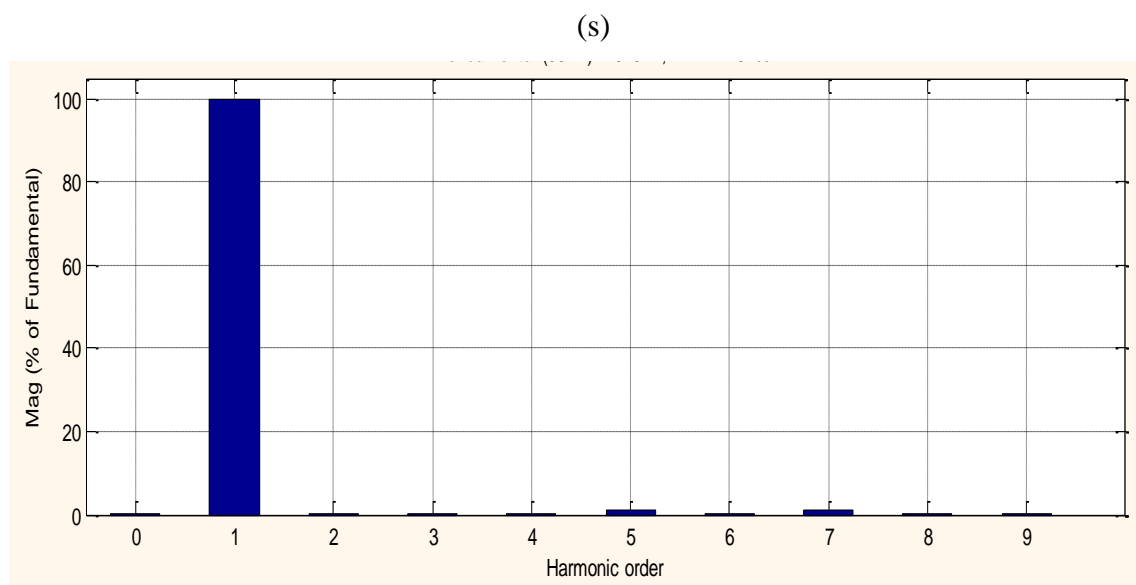
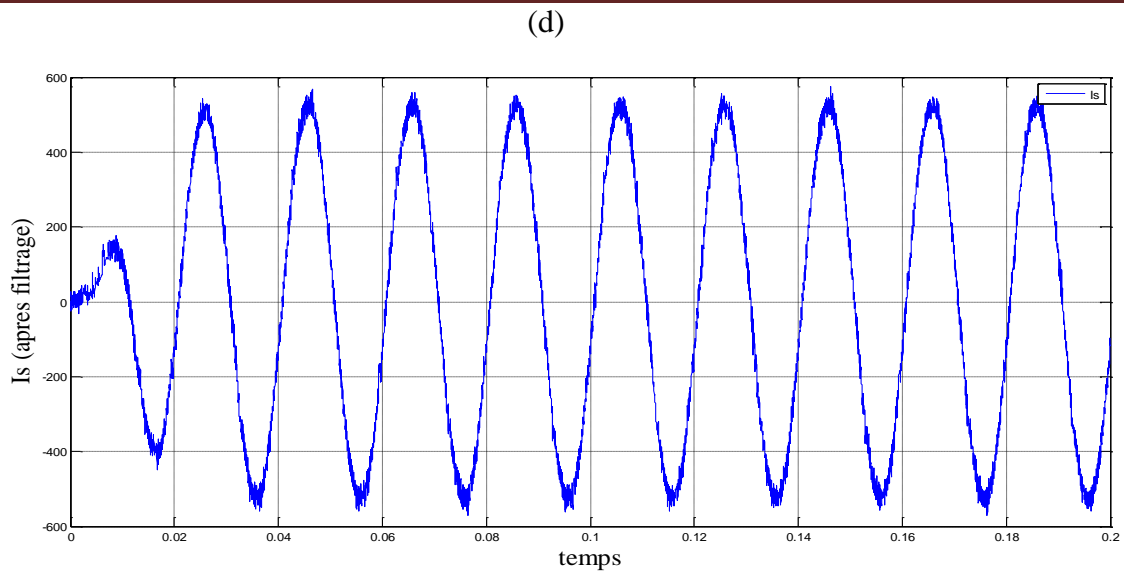


Figure. (II.15). Performances de la compensation des harmoniques par la méthode $p-q$ (tensions de source sinusoïdales équilibrées) ;

a) courant du référence ; b) courant injecter par filtre ; c) courant harmonique et référence, d) courant de source après filtrage, k) l erreurs entre le courant harmonique de référence et courant filtre ,s) spectre harmonique du courant de source après compensation

II.9.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié quelques configurations des filtres actifs multi niveaux. Ces derniers sont basés sur les onduleurs a trois niveau . Nous avons élaboré également un modèle instantané décrivant le fonctionnement de l'onduleur de tension triphasé à trois de type NPC (Neutral Point Clamped), en utilisant la notion des fonctions de connexion des interrupteurs.

Diagnostic des défauts d'un filtre actif parallèle

III.1.Introduction:

Un processus industriel, est conçu pour réaliser une tâche. Cette tâche peut être totalement ou partiellement remplie, cela dépend du mode de fonctionnement dans lequel le processus se trouve. Un mode de fonctionnement peut être :

- normal sous lequel la mission est totalement remplie,
- ou anormal correspond à un dysfonctionnement du système entraînant une réalisation partiellement ou complètement non conforme de la tâche pour laquelle le processus est conçu.

Le diagnostic d'un processus est l'identification du mode de fonctionnement à chaque instant, par ses manifestations extérieures. Son principe général consiste à confronter les données relevées au cour de fonctionnement réel du système avec la connaissance que l'on a de son fonctionnement normal ou défaillant [33], Si le mode de fonctionnement identifié est un mode défaillant, le système de diagnostic peut localiser sa cause.

LES DIFFERENTES COMPOSANTES D'UN MODULE DE DIAGNOSTIQU

Le diagnostic continu d'un processus industriel permet d'améliorer la productivité par l'augmentation de la disponibilité.

La figure (III.1) montre les différentes composantes d'un module de diagnostique [34].

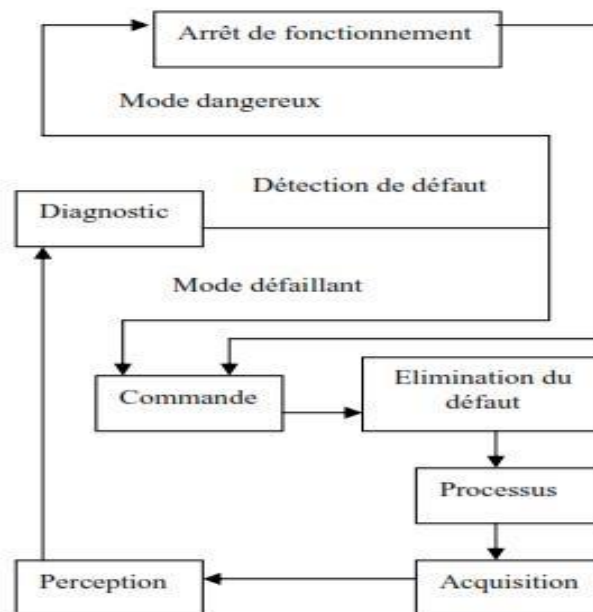


Figure (III.1): Les composantes d'un système de diagnostique

III.2. Méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic sont nombreuses et variées, elles correspondent à la diversité des problèmes rencontrés, si la prise de décision conduit à déclarer le processus défaillant, il convient alors de choisir une méthode de diagnostic. Les méthodes de diagnostique sont divisées en deux grandes familles : [35]

- les méthodes internes.
- les méthodes externes.

III .2.1. Diagnostic Par les méthodes internes

Le diagnostic de défaillances par des méthodes internes requiert un modèle du système à surveiller, et s'il n'y en a pas, en élaborer un qui convienne (fiable et suffisamment précis) ce modèle peut varier selon les objectifs. Il peut être plus ou moins agrégé, représentatif d'un modèle de bon fonctionnement ou de fonctionnement caractéristique d'une ou plusieurs défaillances. Habituellement un modèle est une description formelle (mathématique) du système à surveiller. Mathématiquement on peut avoir plusieurs modèles du même système qui comme en automatique.

III .2.1.1.La méthode du modèle

Cette méthode consiste à comparer les grandeurs déduites d'un modèle représentatif du fonctionnement des différentes entités du processus avec les mesures directement observées sur le processus industriel. La présence d'un écart fournit l'indication qu'en amont du module modélisé une anomalie est en cours d'apparition.

III .2.2.Diagnostic Par les méthodes externes

Ces méthodes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle et/ou les approches probabilistes.

III .2.2.1. Méthodes basées sur l'intelligence artificielle (IA)

En déception des diverses techniques citées précédemment, ces dernières années, la surveillance et la détection de défaut des machines électriques se sont éloignées des techniques traditionnelles pour s'orienter vers des techniques dites d'intelligence artificielle (IA). [36]

L'intelligence artificielle (IA) est une branche de l'informatique qui traite la reproduction par la machine de certains aspects de l'intelligence humaine tels qu'apprendre à partir d'une expérience passée à reconnaître des formes complexes et à effectuer des déductions.

Parmi ces méthodes nous pouvons citer :

III .2.2.1.2. Diagnostic par réseaux de neurones

Un réseau de neurone est un modèle de calcul dont la conception est très schématiquement inspirée du fonctionnement de vrais neurones humains donc Le principe s'inspire des neurones biologiques, pour identifier des défauts dans un système, le diagnostic réalisé par réseaux de neurones doit disposer d'un nombre suffisant d'exemples de bon fonctionnement et de défauts pour pouvoir les apprendre. Pendant la phase d'apprentissage, les exemples sont présentés au réseau en entrée avec les diagnostics correspondants à la sortie. [37]

- L'intérêt des réseaux de neurones dans le domaine du diagnostic se résume en deux points :
- 1) Le premier point est la faculté du réseau de neurones d'être utilisé en tant que règle de décision dans un processus d'automatisation de l'opération du diagnostic.
 - 2) Le second point est la faculté d'apprentissage et de mémorisation d'un grand volume d'information.

III .2.2.1.3. Diagnostic par systèmes experts

De manière générale, un système expert est un outil capable de reproduire les mécanismes cognitifs d'un expert, dans un domaine particulier. Cet outil est capable de répondre à des questions, en effectuant un raisonnement à partir de faits et de règles connus. Il peut donc servir d'outil d'aide à la décision, l'aide au diagnostic de systèmes industriels utilisant des systèmes experts possède l'intérêt et la propriété essentiels de pouvoir restituer à des non-experts les connaissances acquises par les spécialistes d'un domaine technique précis. « Un système expert est un système informatique destiné à résoudre un problème précis à partir d'une analyse et d'une représentation des connaissances et du raisonnement d'un (ou plusieurs) spécialiste(s) de ce problème». [38]

En fin, les méthodes de diagnostic utilisé pour la surveillance de la machine asynchrone sont résumés dans le diagramme suivant :

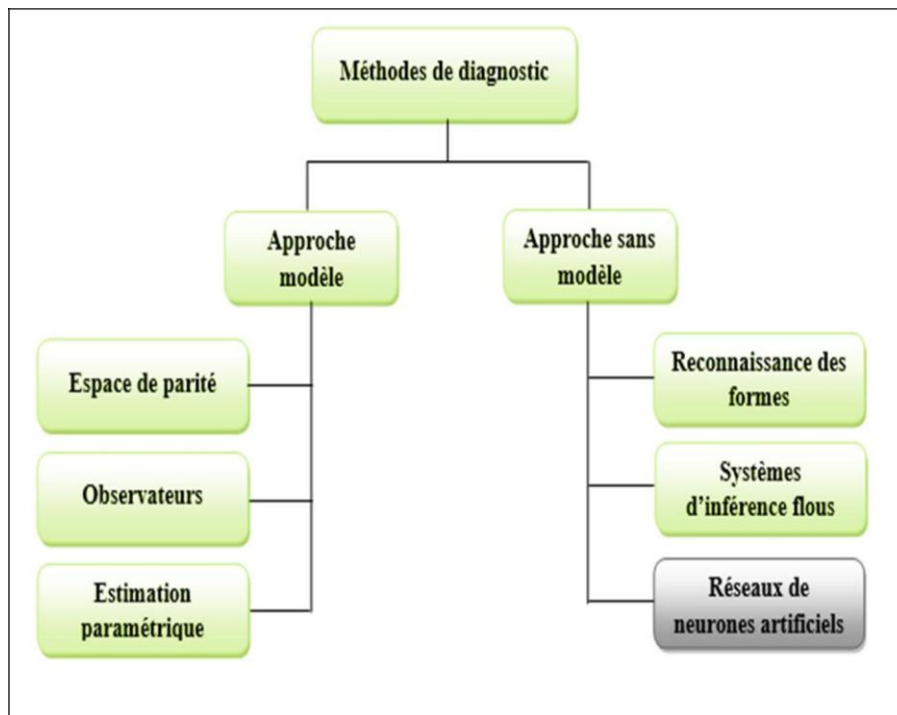


Figure (III.2): principales méthodes utilisées en diagnostic des systèmes physiques.

III.3.Partie de simulation:

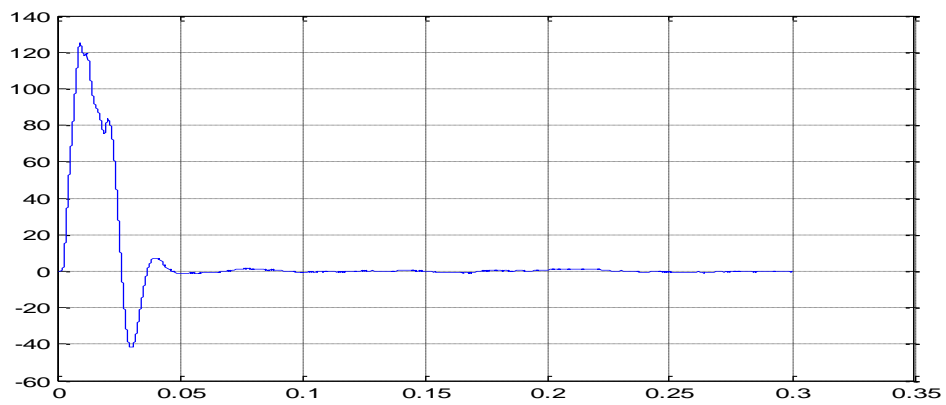
A la suite on travaille sur l'une des méthodes de diagnostic externes, à savoir la méthode par un algorithme comparatif.

Il y a deux états de simulation:

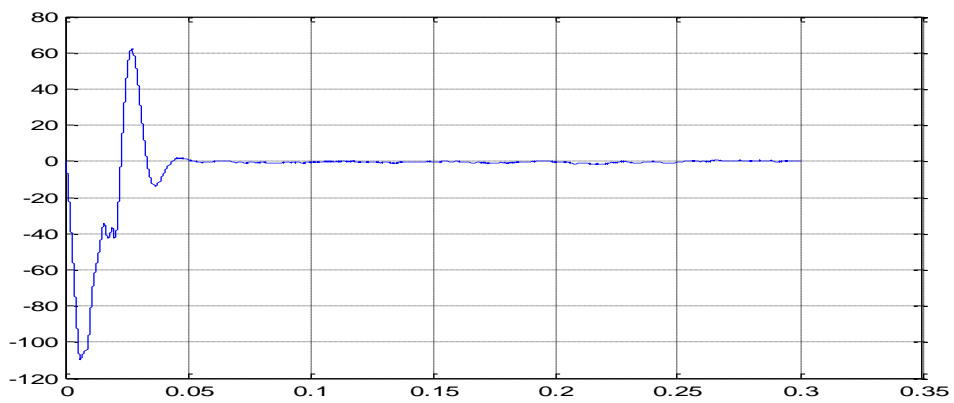
- **Etat sain:** aucun défaut trouvé lors le fonctionnement de l'onduleur de tension.
- **Etat défaillant:** On crée un défaut dans chacun des transistors de l'onduleur pendant le deuxième demi temps de simulation.

Etat sain:

(Ia)



(Ib)



(Ic)

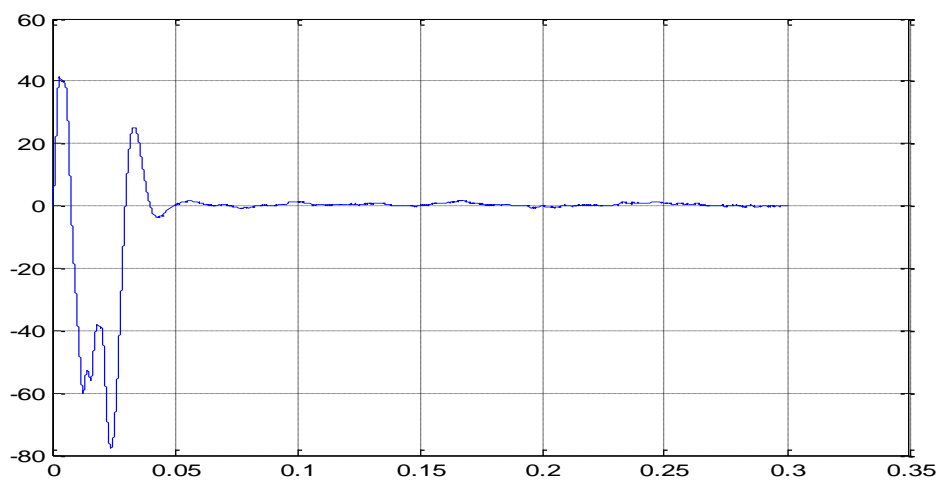


Figure (III.3): Ia,Ib,Ic Valeur moyenne injecter par le filtre a l'etat sain .

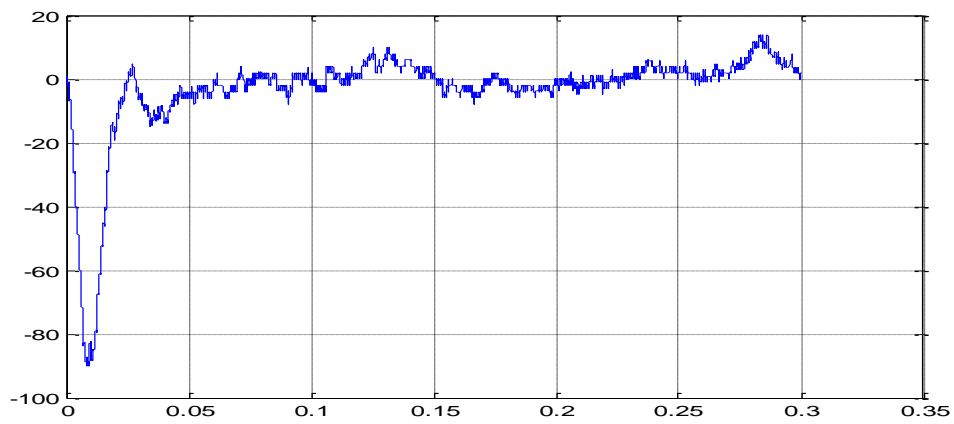


Figure (III.4): La valeur moyenne au point milieu.

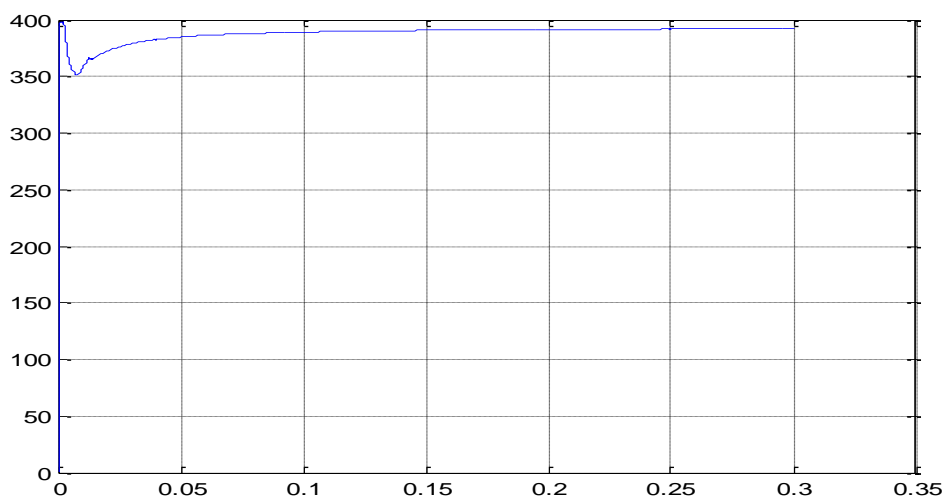
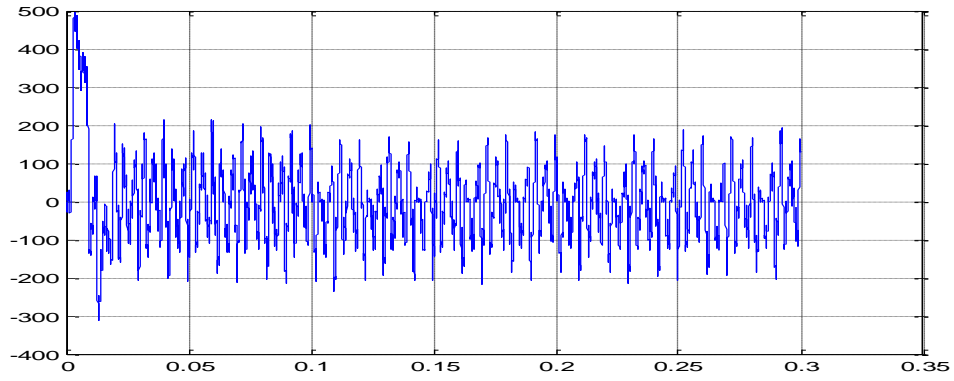


Figure (III.5): La valeur efficace au point milieu.

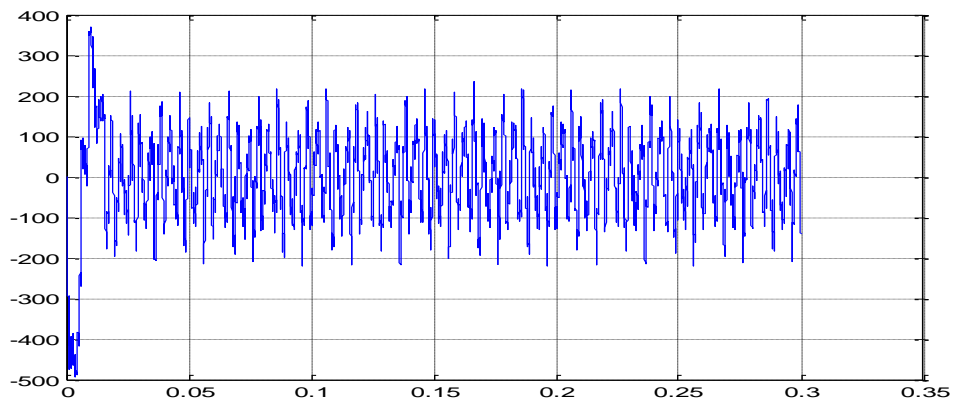
Etat défaillant:

défaillant T1:

(Ia)



(Ib)



(Ic)

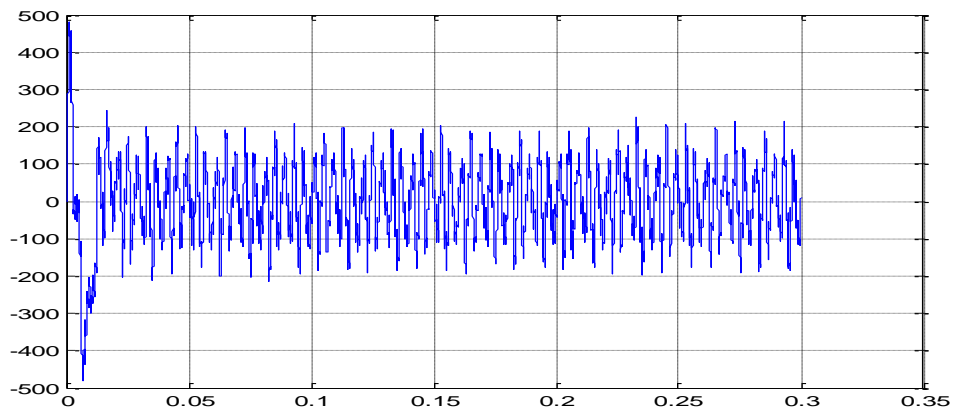
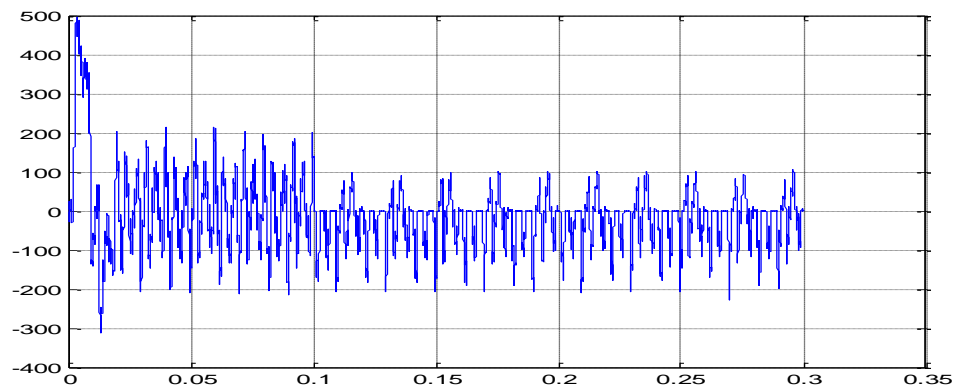


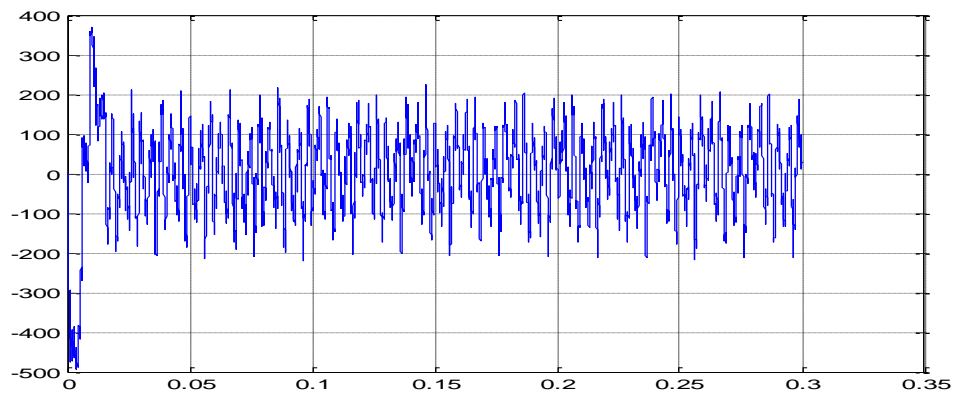
Figure (III.6): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T1.

défaillant T2:

(Ia)



(Ib)



(Ic)

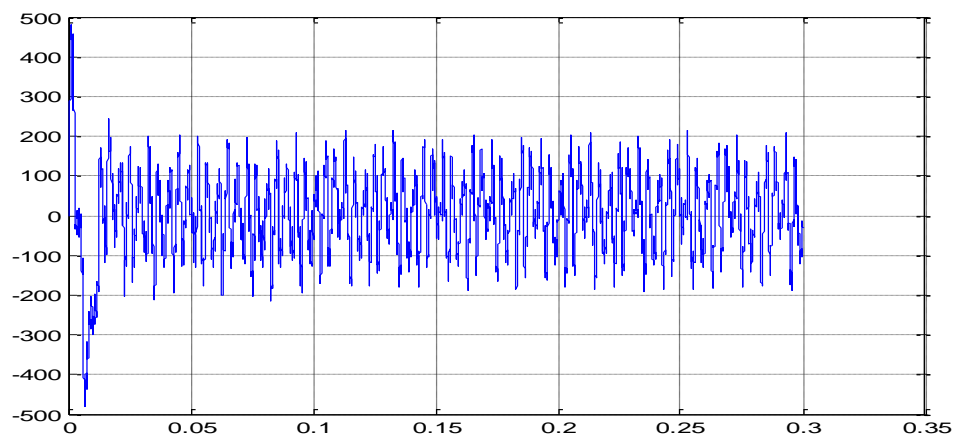
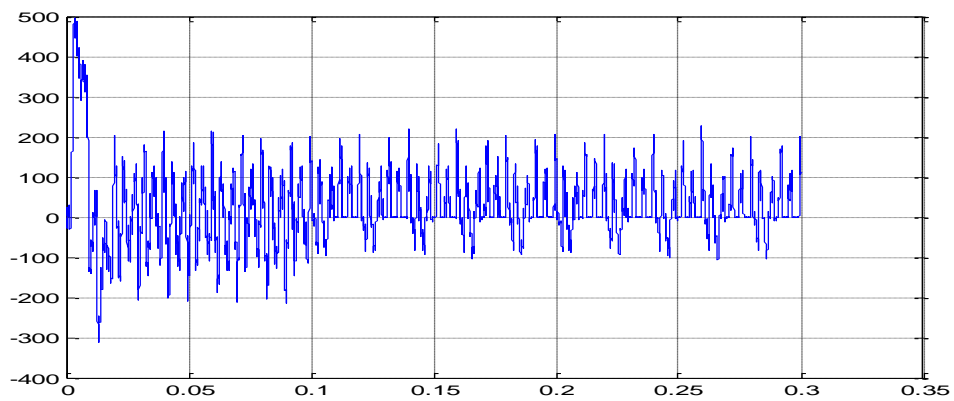


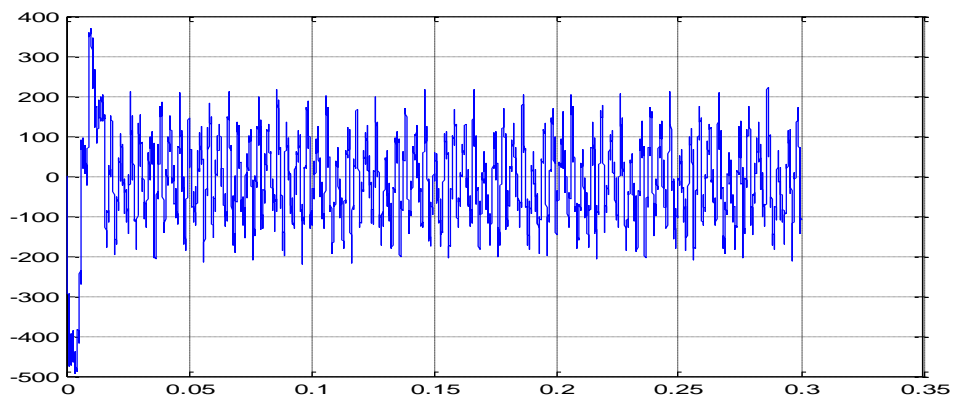
Figure (III.7): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T2.

défaillant T3:

(Ia)



(Ib)



(Ic)

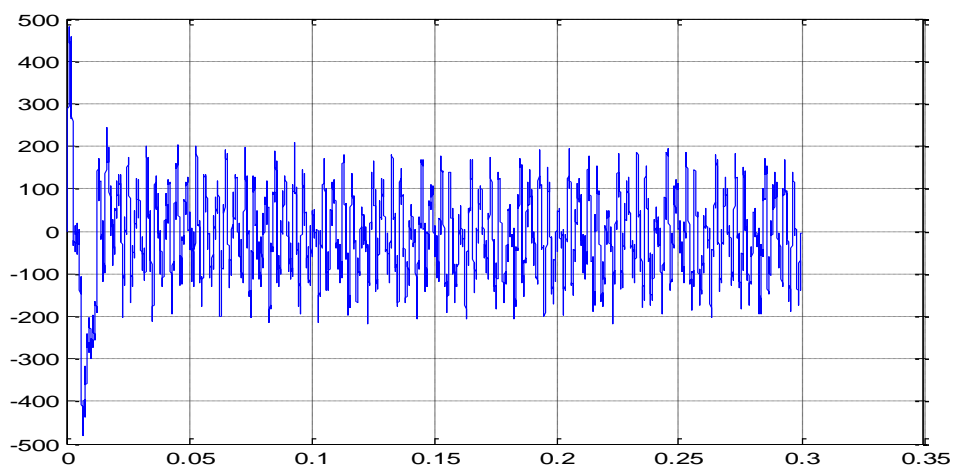
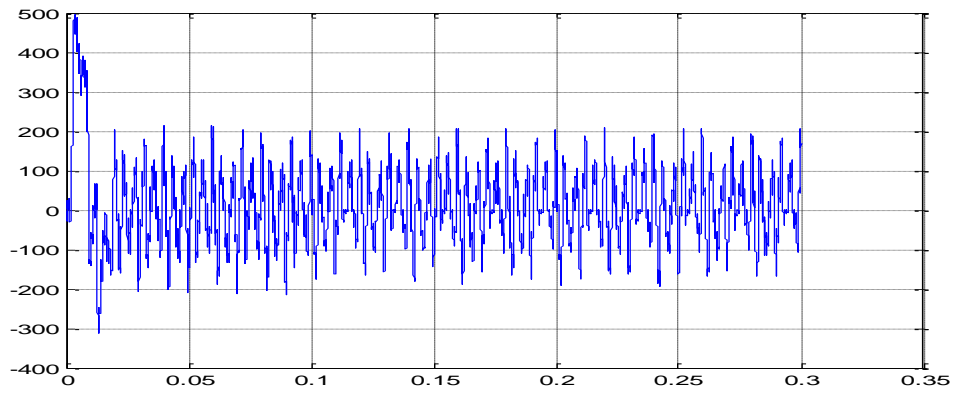


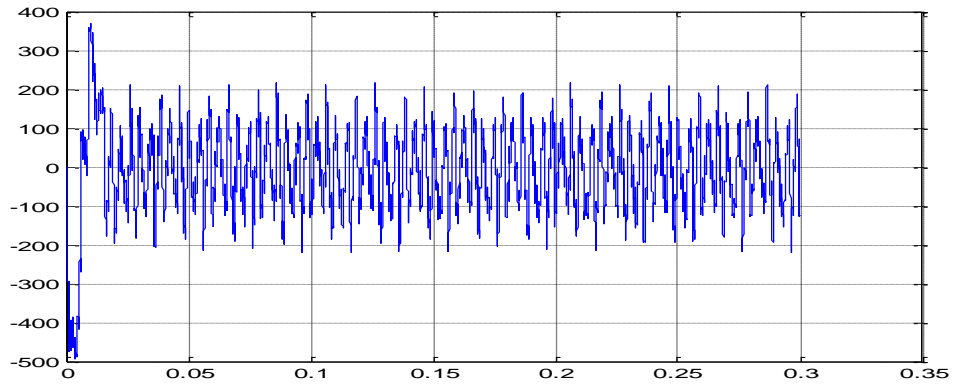
Figure (III.8): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T3.

défaillant T4:

(Ia)



(Ib)



(Ic)

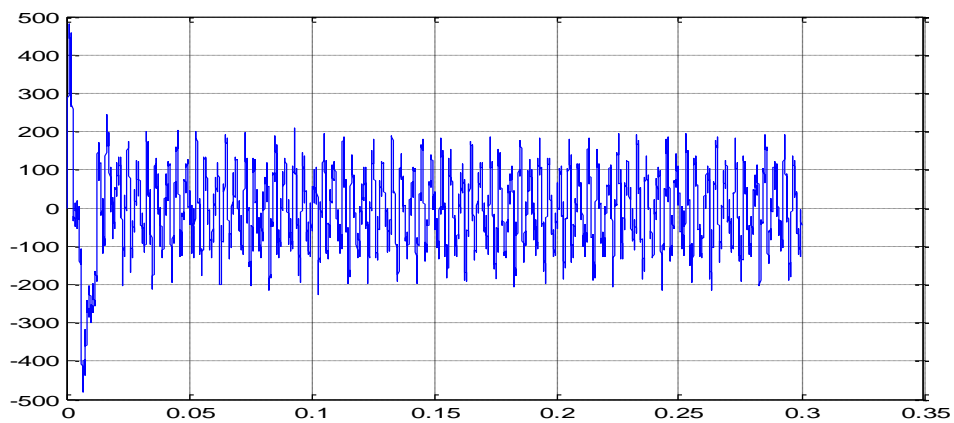
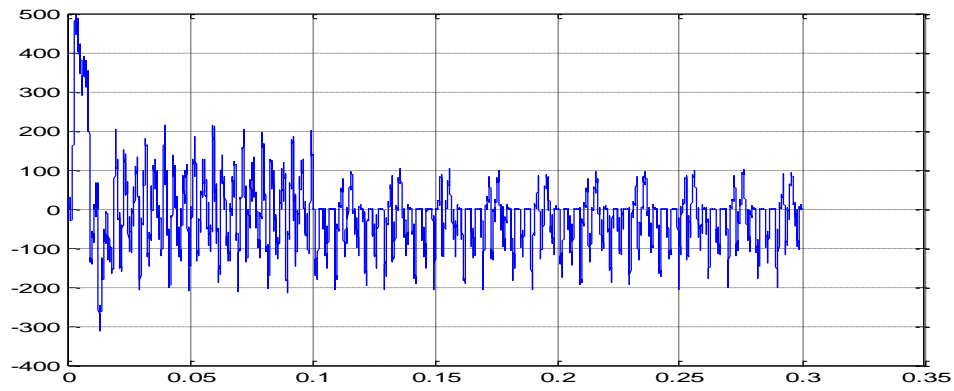


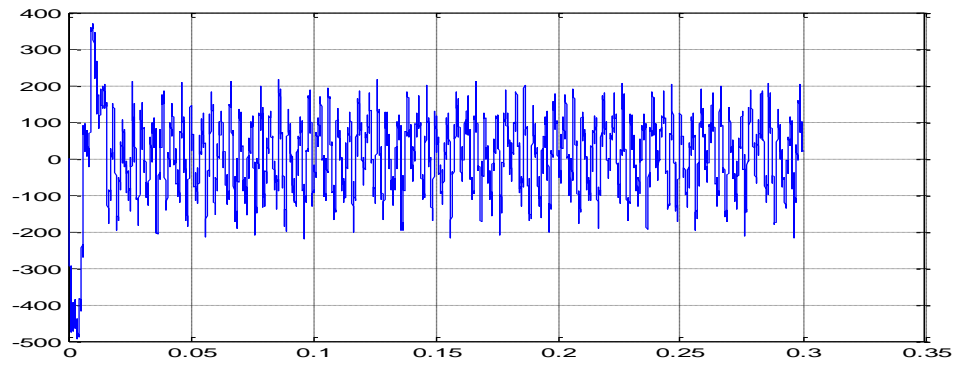
Figure (III.9): Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T4.

défaillant T1 T2:

(Ia)



(Ib)



(Ic)

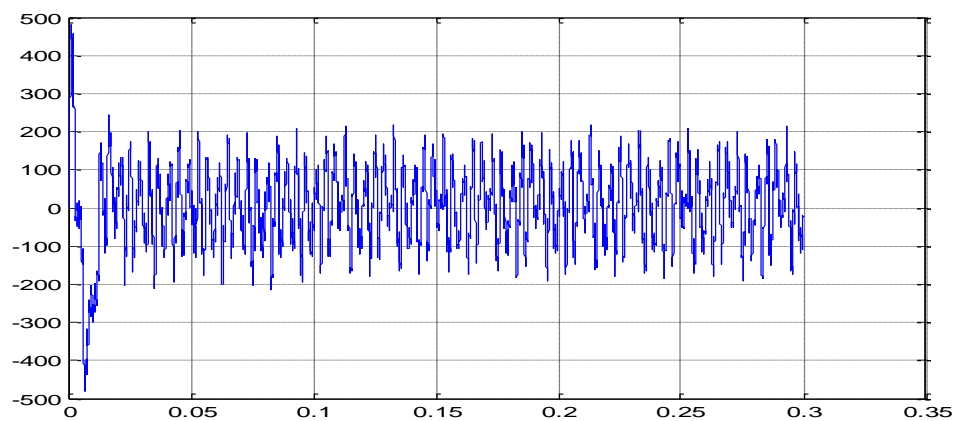
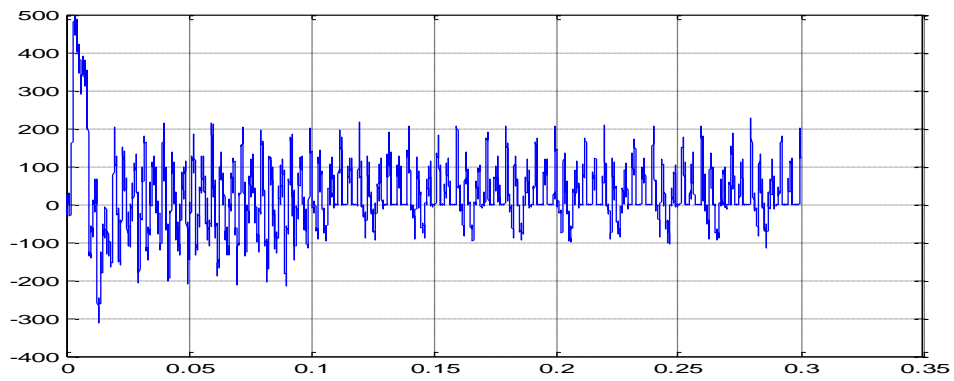
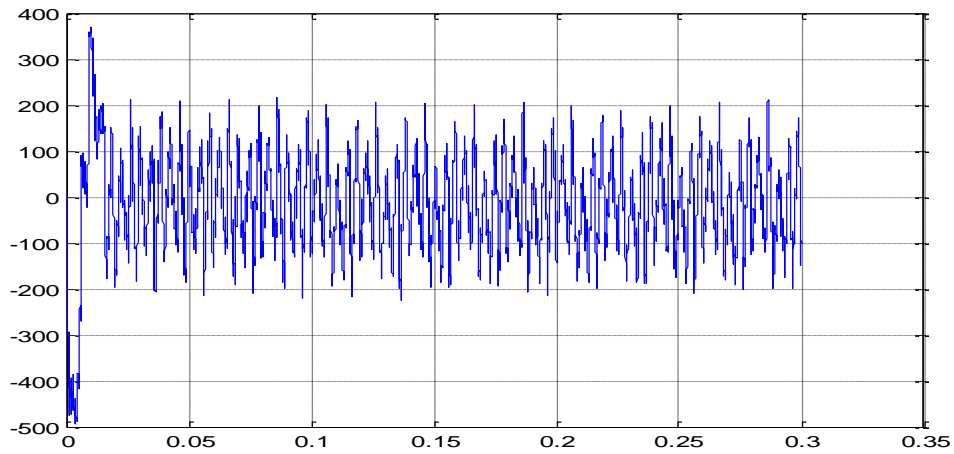
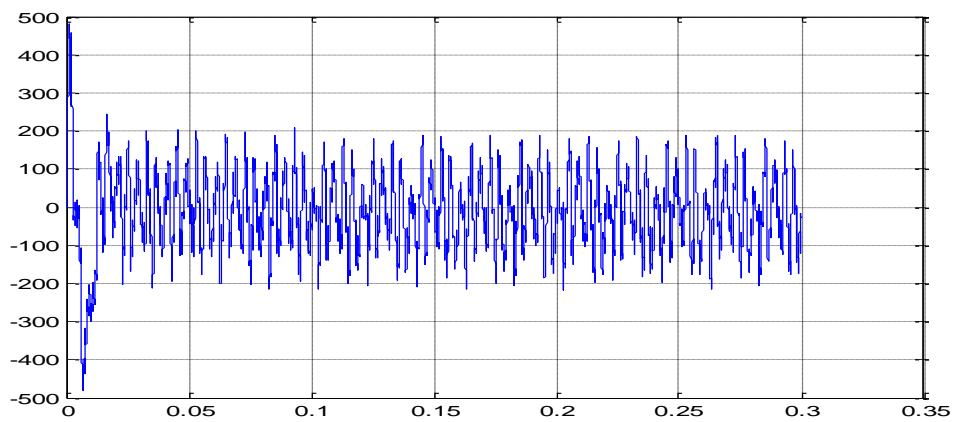
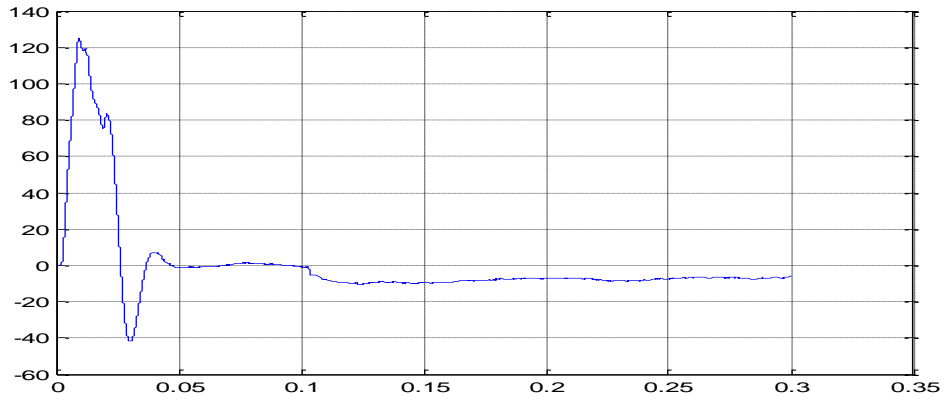


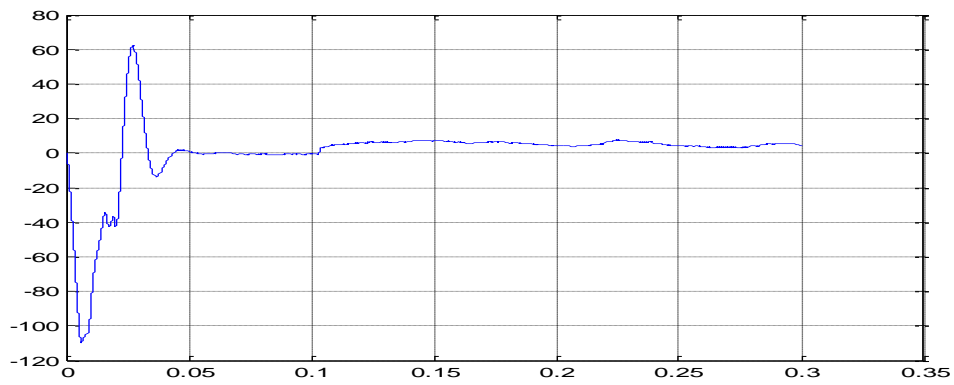
Figure (III.10): I_a , I_b , I_c courant injecter par filtre a défaillant T1T2.

Défaillant T3 T4:**(Ia)****(Ib)****(Ic)****Figure (III.11):** Ia, Ib, Ic courant injecter par filtre a défaillant T3T4.

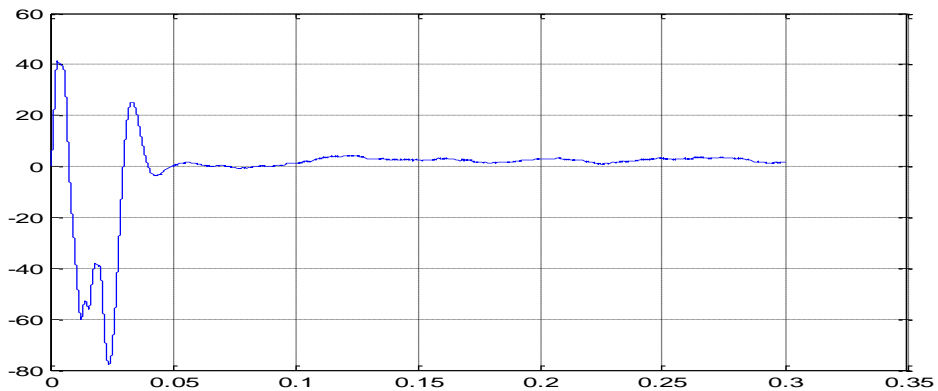
Valeur Moyenne T 1



Valeur Moyenne (Ia) défaillant T1



Valeur Moyenne (Ib) défaillant T1



Valeur Moyenne (Ic) défaillant T1

Figure (III.12): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T1

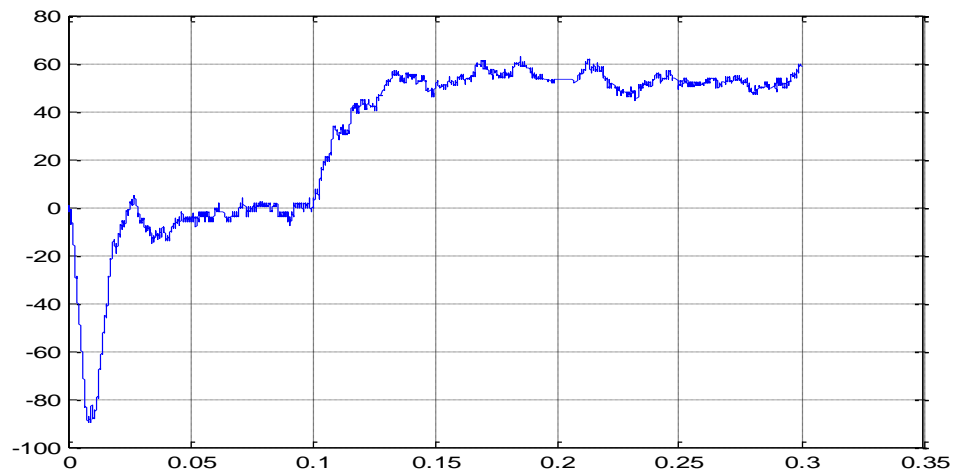


Figure (III.13): Valeur moyenne au point milieu défailant T1

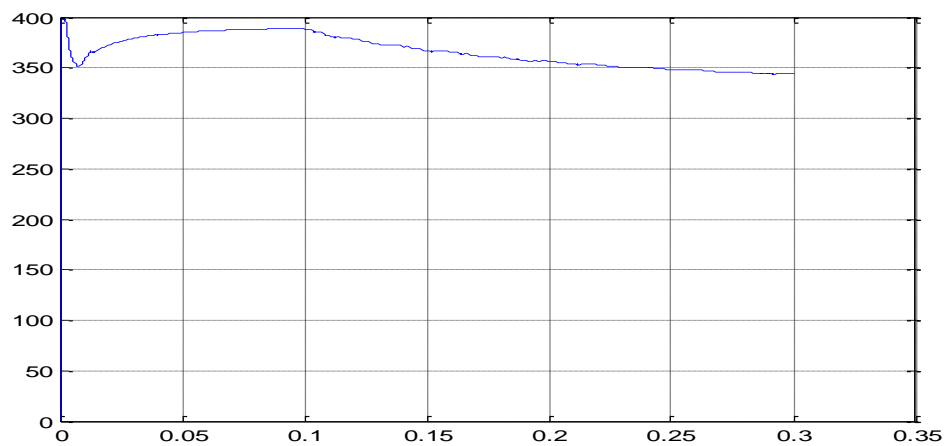
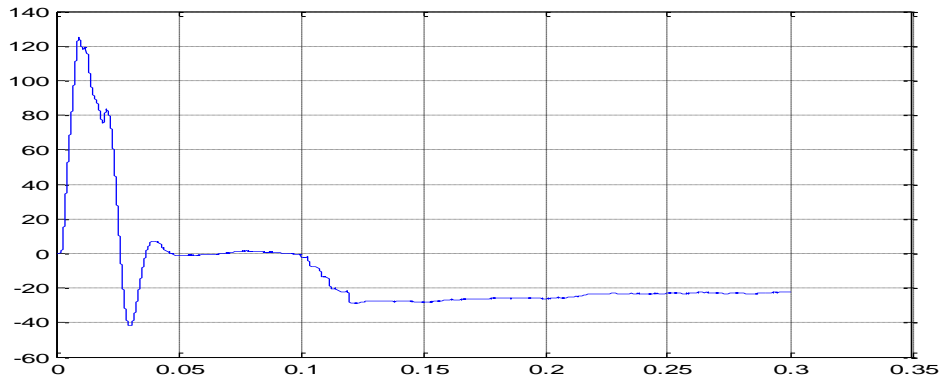
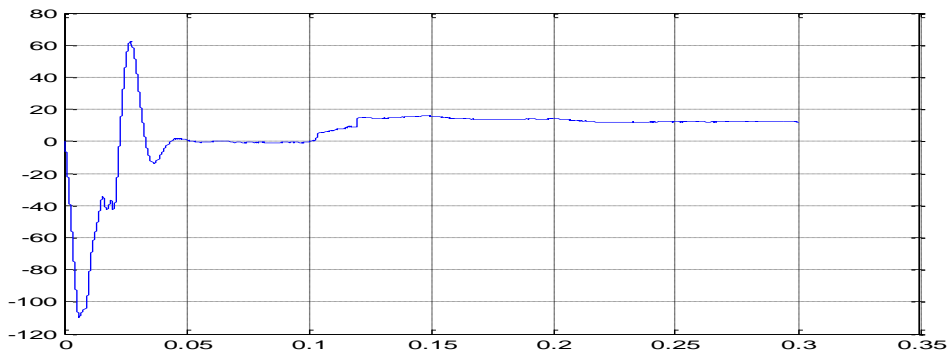


Figure (III.14): Valeur efficace au point milieu défailant T1

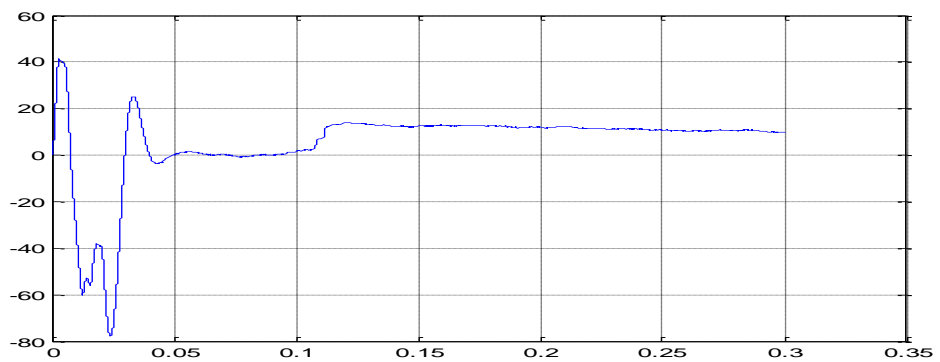
Valeur Moyenne T 2



Valeur Moyenne (Ia) défaillant T2



Valeur Moyenne (Ib) défaillant T2



Valeur Moyenne (Ic) défaillant T2

Figure (III.15): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T2

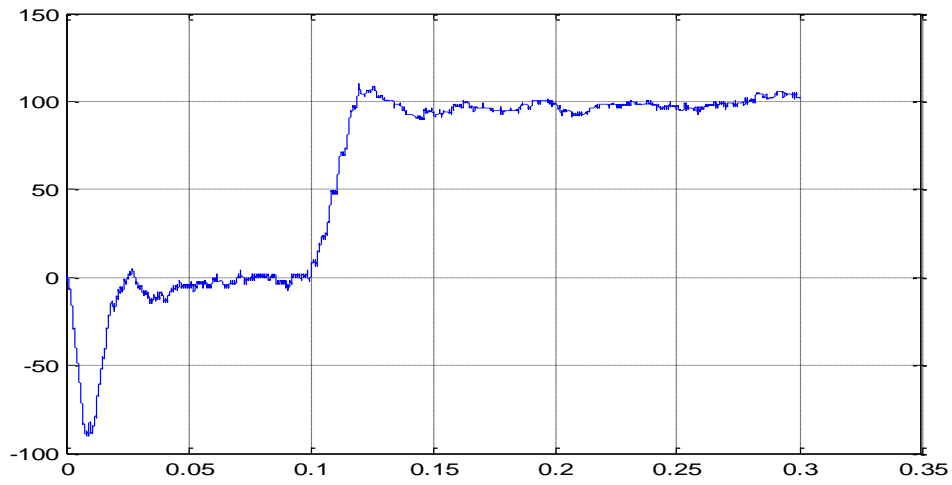


Figure (III.16): Valeur moyenne au point milieu défaillant T2

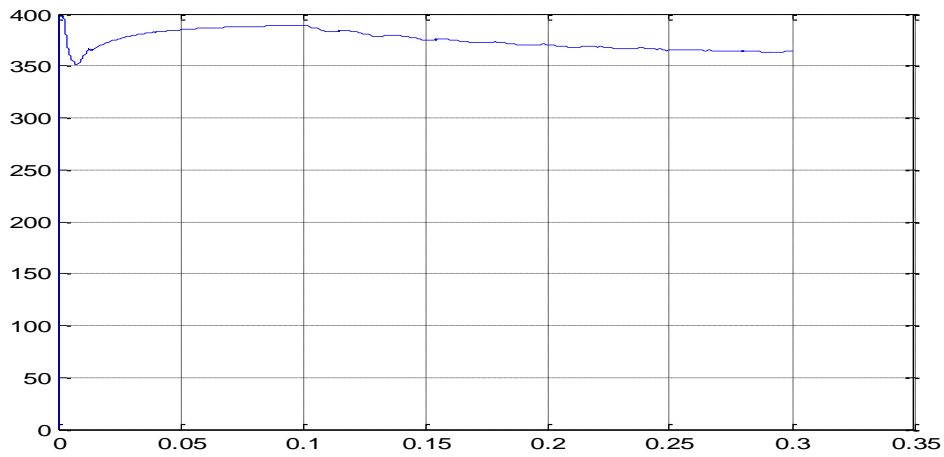
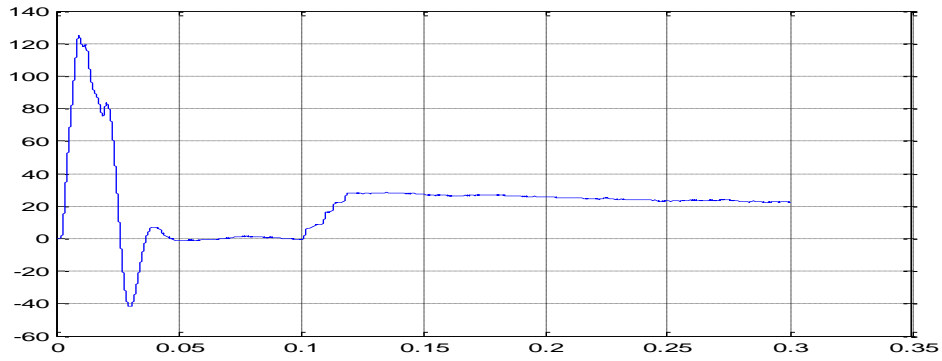
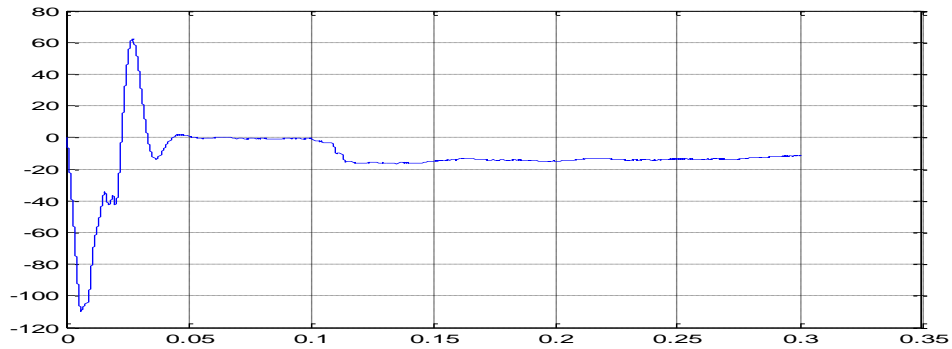


Figure (III.17): Valeur efficace au point milieu défaillant T2

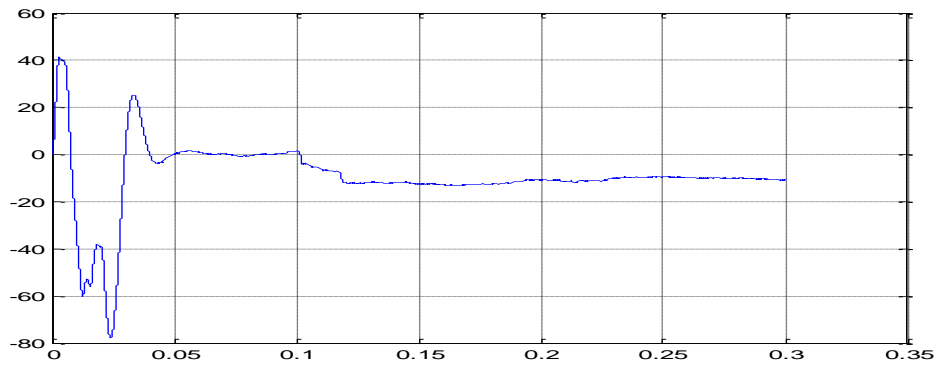
Valeur Moyenne T3



Valeur Moyenne (Ia) défaillant T3



Valeur Moyenne (Ib) défaillant T3



Valeur Moyenne (Ic) défaillant T3

Figure (III.18): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T3

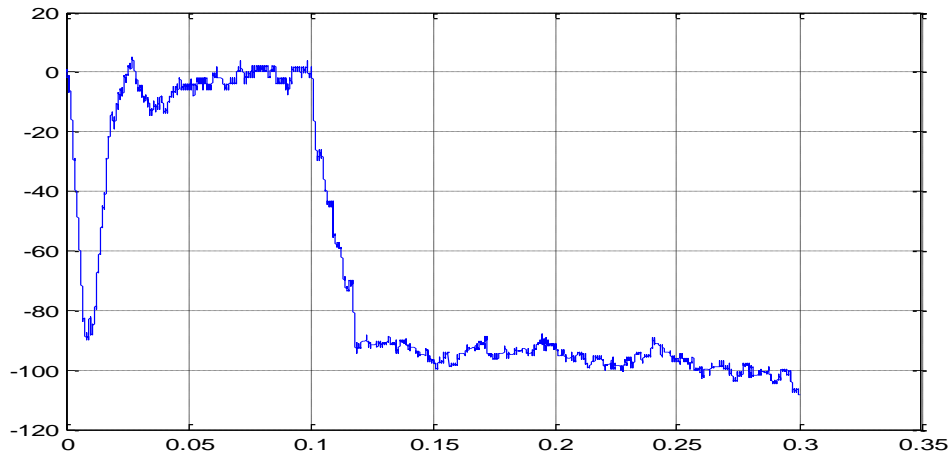


Figure (III.19): Valeur moyenne au point milieu défaillant T3

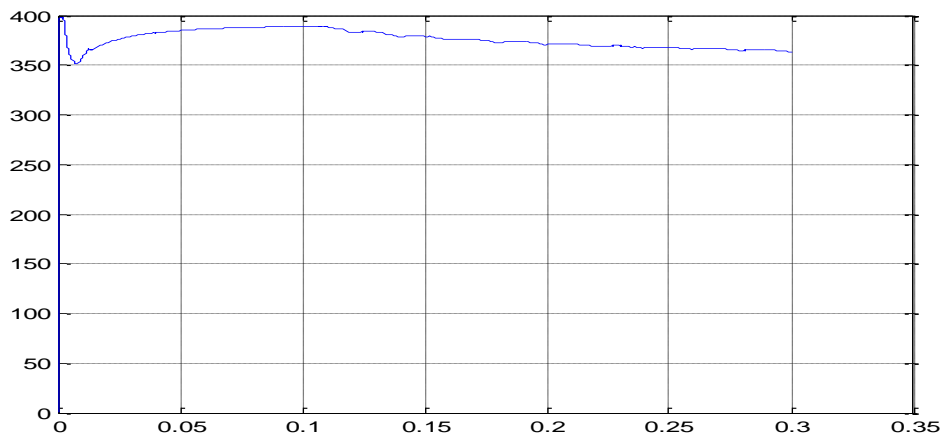
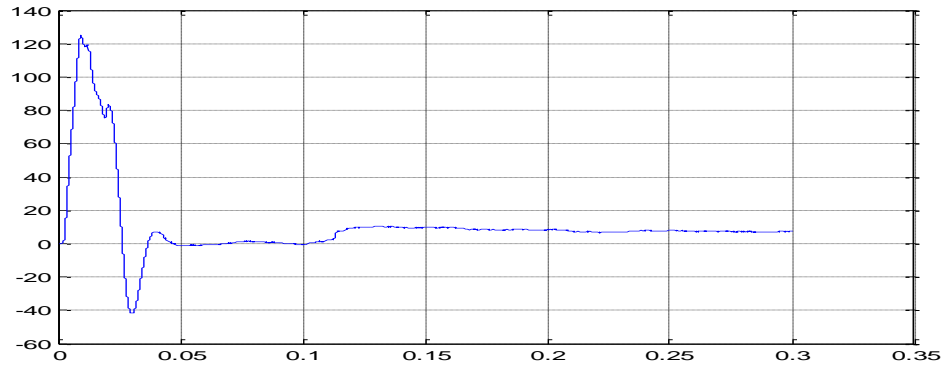
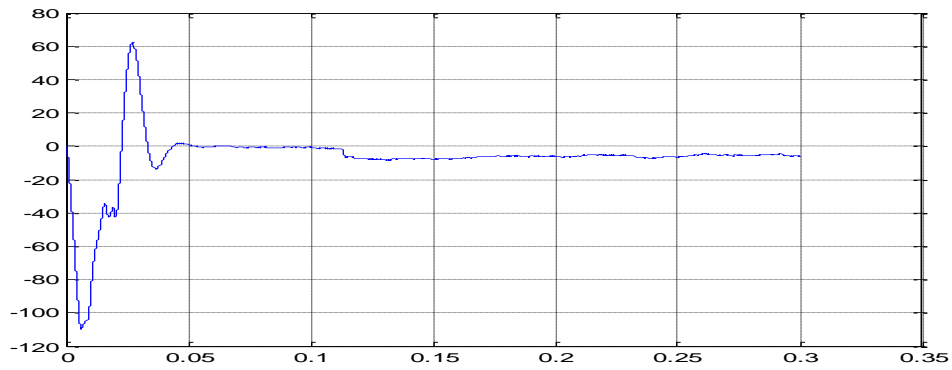


Figure (III.20): Valeur efficace au point milieu défaillant T3

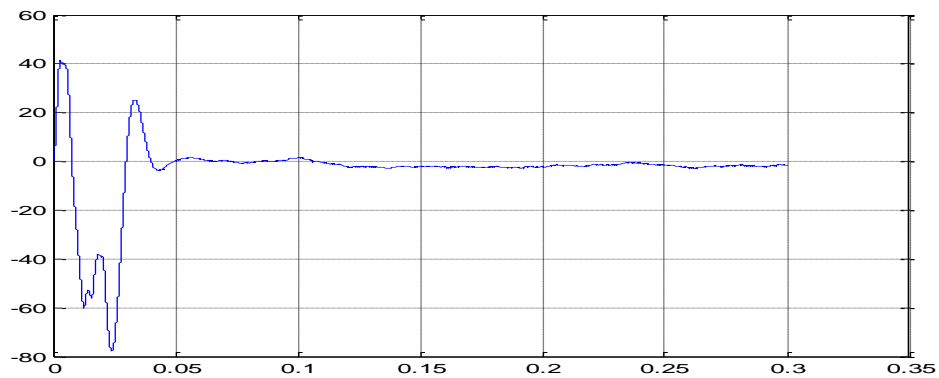
Valeur Moyenne T 4



Valeur Moyenne (Ia) défaillant T4



Valeur Moyenne (Ib) défaillant T4



Valeur Moyenne (Ic) défaillant T4

Figure (III.21): Valeur Moyenne Ia , Ib , Ic défaillant T4



Figure (III.22): Valeur moyenne au point milieu défaillant T4

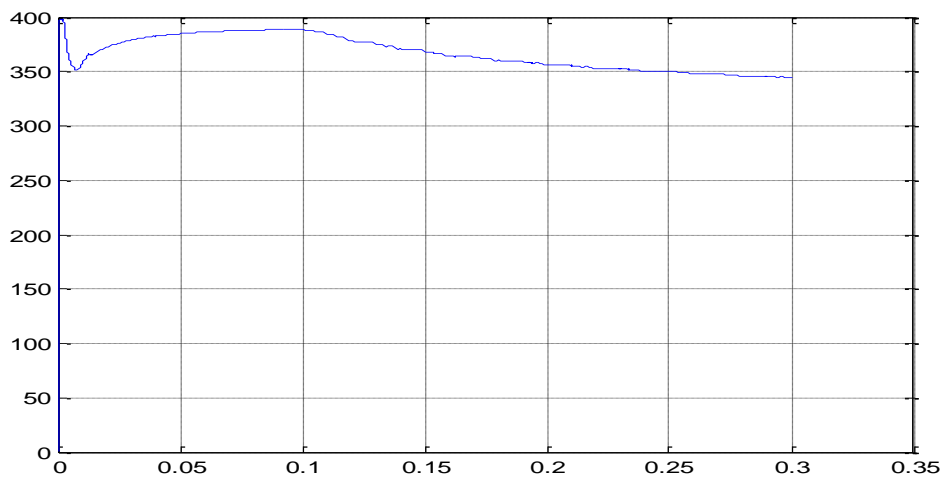
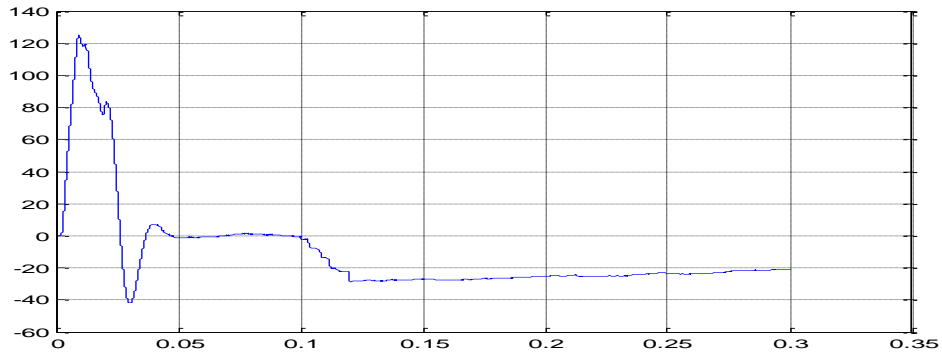
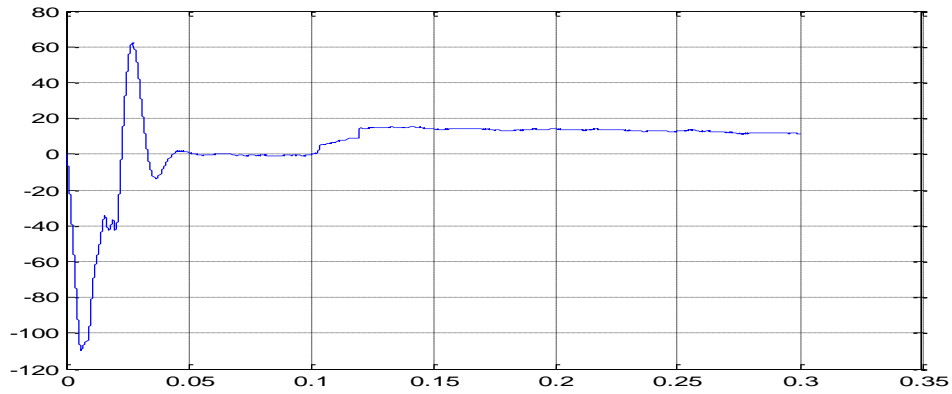


Figure (III.23): Valeur efficace au point milieu défaillant T4

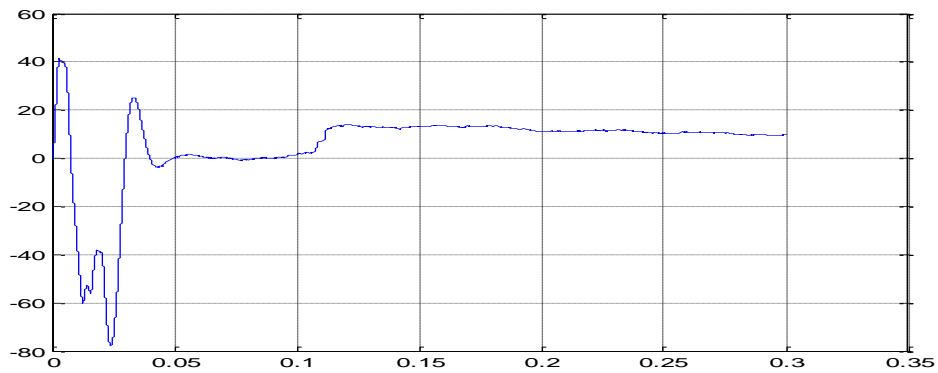
Valeur Moyenne T 1 T 2



Valeur Moyenne (Ia) défaillant T1T2



Valeur Moyenne (Ib) défaillant T1 T2



Valeur Moyenne (Ic) défaillant T1T2

Figure (III.24): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T1T2

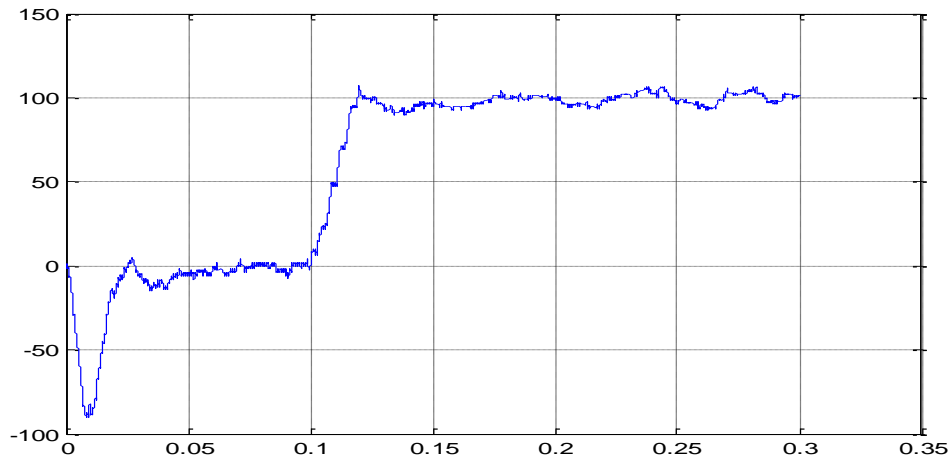


Figure (III.25): Valeur moyenne au point milieu défaillant T1T2

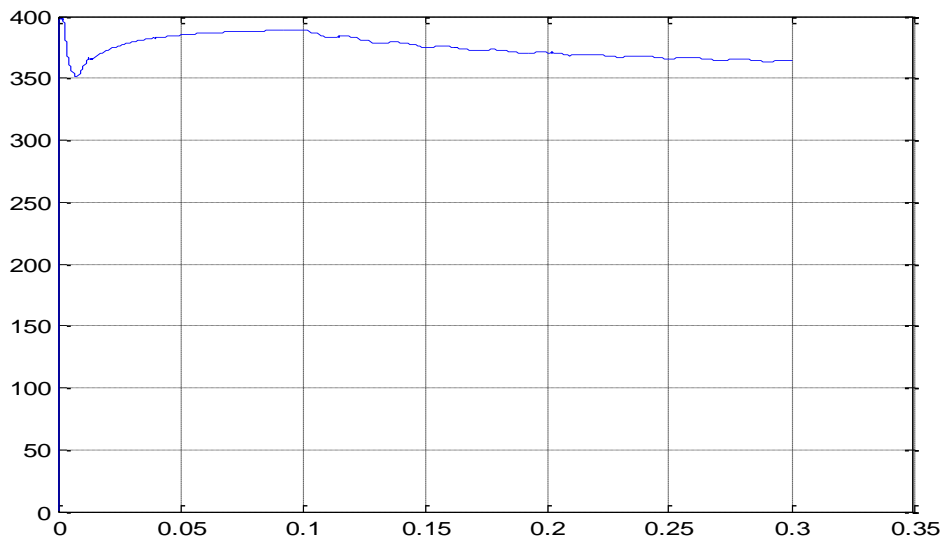
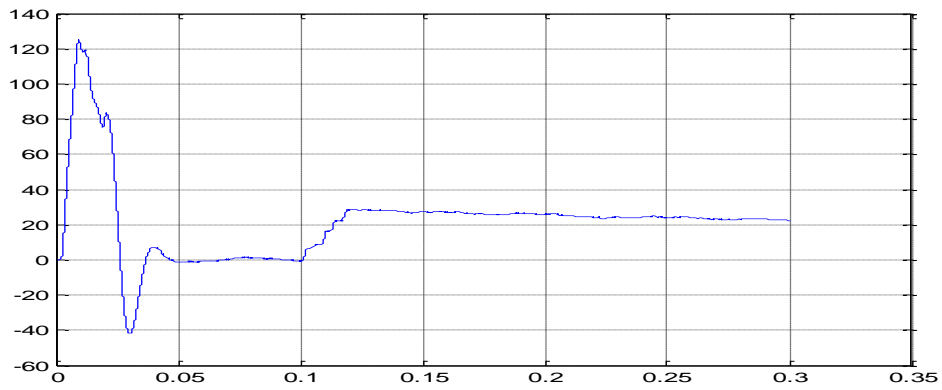
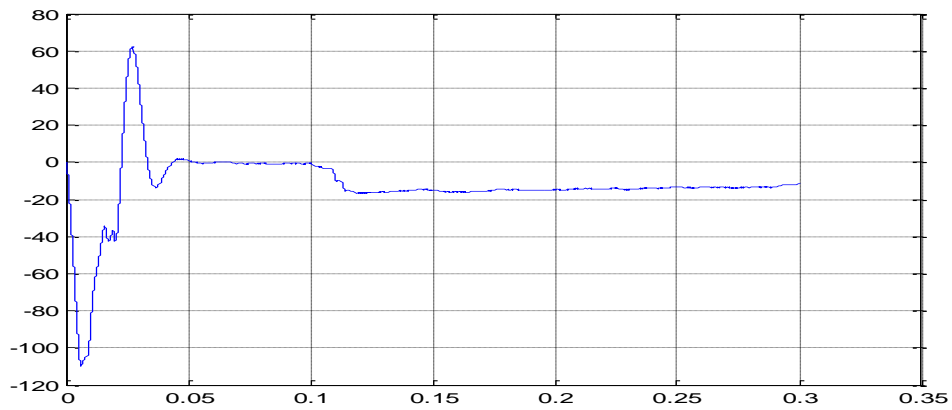


Figure (III.26): Valeur efficace au point milieu défaillant T1T2

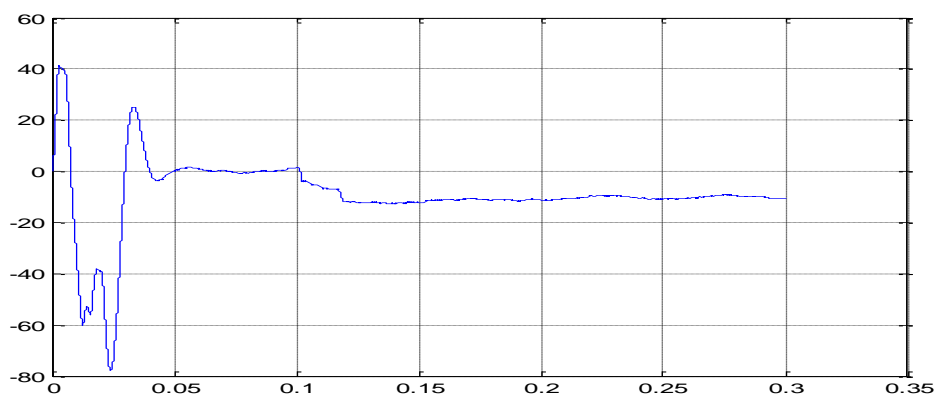
Valeur Moyenne T3 T4



Valeur Moyenne (Ia) défaillant T3T4



Valeur Moyenne (Ib) défaillant T3T4



Valeur Moyenne (Ic) défaillant T3T4

Figure (III.27): Valeur Moyenne Ia, Ib, Ic défaillant T3T4

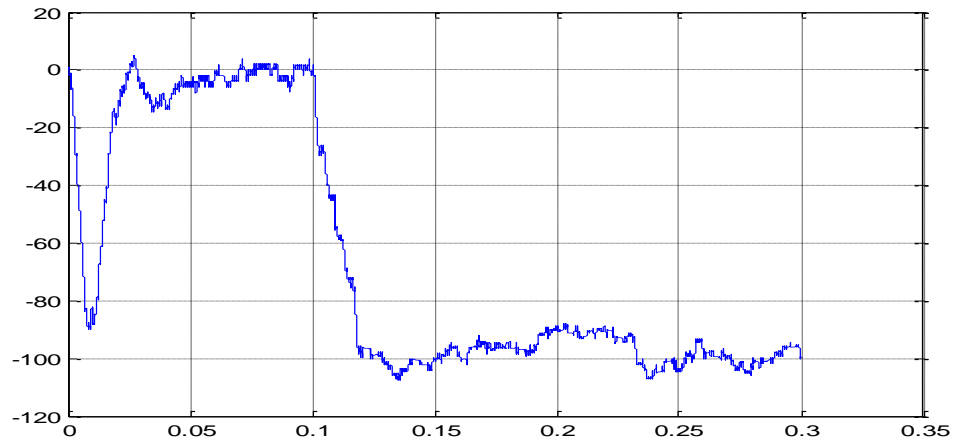


Figure (III.28): Valeur moyenne au point milieu défaillant T3T4

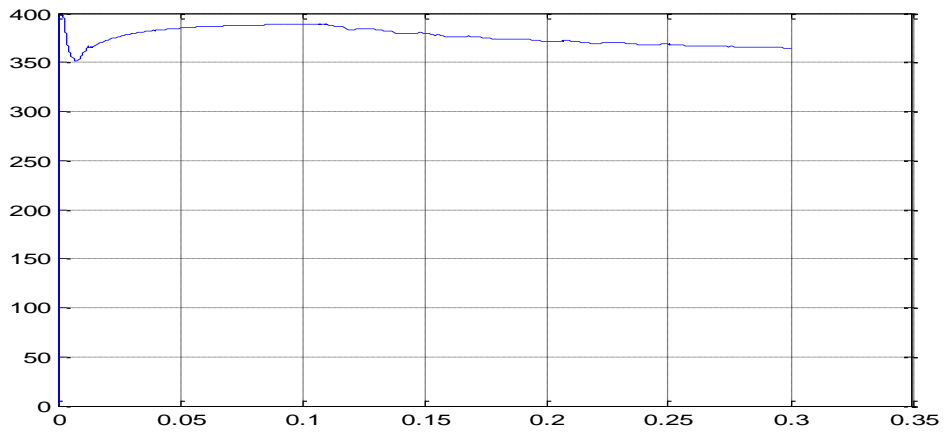


Figure (III.29): Valeur efficace au point milieu défaillant T3 T4

Résultat de simulation :

$V_c = E = 400$

Etats Transitoire	Vm(If)			Vm, Veff(p m)		
	If1	If2	If3	Veff	Vmoy	THD %
Etats sain	+	+	+	[350 ; 400]	[10 ; -10]	381,20
T 1	-	+	+	[340 ; 380]	[40 ; 60]	53,73
T 2	-	+	+	[360 ; 380]	[90 ; 100]	45,60
T 3	+	-	-	[320 ; 380]	[-90; -110]	181,04
T 4	+	-	-	[320 ; 380]	[-50 ; -60]	180,01
T1T2	-	+	+	[320 ; 380]	[90 ; 110]	169,80
T3T4	+	-	-	[320 ; 380]	[-90; -105]	118,64

Tableau (III.1) résultat de simulation.

III. Conclusion:

L'étude effectuée dans ce chapitre a été, particulièrement, dédiée à la simulation de fonctionnement en mode dégradé d'un FAP Pour la détection de défauts au niveau d'un onduleur à trois niveaux. Après une analyse détaillée d'évolution des différentes grandeurs électriques du FAP lors des différents défauts, les grandeurs indicatrices de défaut ont été bien choisies. Les valeurs moyennes des courants de phases du FAP peuvent être considérées comme indicateurs fiables de défaut.

Conclusion générale

De nos jours, la qualité de l'énergie est un domaine de la plus haute importance. À l'heure où l'économie des pays industrialisés repose sur leurs capacités à produire ou à acheter l'énergie, l'utilisation adéquate et sans perte inutile est capitale. Ce projet, bien que ne touchant qu'un de ces domaines de la qualité de l'énergie pourtant si vaste, a permis de faire un bref survol de la problématique liée à la perturbation et la pollution harmonique sur les réseaux électriques ainsi que des différents moyens de mitigation utilisés. Une bonne compréhension de la problématique des harmoniques, de leurs influences sur le réseau électrique, ainsi que des moyens de mitigation existant pour les minimiser est maintenant devenue essentielle pour tout ingénieur travaillant dans le domaine de l'électrotechnique.

Dans une première phase, nous avons effectué une étude théorique sur la problématique des perturbations harmoniques générées par des charges non linéaires connectées aux réseaux électriques. Puis, nous avons abordés différentes solutions, dont particulièrement le filtre actif parallèle. Des exigences de plus en plus strictes, des industries quant à la qualité de l'énergie, nous obligent à développer de nouvelles structures de filtres actifs plus performantes, afin d'obtenir de meilleurs résultats.

Dans la deuxième phase, nous avons étudié la commande des filtres actifs parallèles multi-niveaux. Les résultats nous montrent que l'augmentation de niveau de tension entraîne de meilleures performances de filtrage et une meilleure qualité du courant de source. Cela se confirme par les faibles valeurs du taux de distorsion harmonique obtenu comparées aux travaux antérieurs. La méthode choisie pour identifier les courants harmoniques est celle de l'identification des puissances réelle et imaginaire instantanée. Cette méthode nécessite des tensions de réseau saines pour identifier correctement les harmoniques du courant de charge.

La dernière phase a été consacrée au diagnostic d'un FAP à trois niveaux. La tâche la plus importante dans un système de diagnostic est le choix des variables indicateurs de défaut qui doivent être fiables pour les différentes conditions du système afin d'éviter toute confusion entre un défaut et autre. Dans ce mémoire une analyse est menée dans le but d'identifier ces variables indicateurs pour le diagnostic des défauts de transistor maintenu ouvert dans un FAP non-autonome à base d'onduleur de tension à 3 niveaux de type ponts en cascade. L'étude, effectuée dans ce mémoire, du FAP en mode sain et en mode défaut de transistor maintenu ouvert de différentes localisations et pour une charge non-linéaire a montré que :

- Les valeurs moyennes des tensions de sortie des ponts d'onduleur multi niveaux de tension (à 3 niveaux) de type ponts en cascade peuvent être considérées comme des indicateurs fiables.

- Les caractéristiques distinctives de chaque défaut par rapport aux autres ont été présentées. En se basant sur ces caractéristiques, un arbre de défaillance a été conçu, mais une en définition préalable des seuils des différentes grandeurs caractéristiques, séparant le mode défaillant et le mode sain de fonctionnement du FAP, est toujours nécessaire.

Parmi les possibles travaux futurs nous recommandons:

- Etendre et adapter l'approche de diagnostic proposée au FAP autonome (FAP autoalimenté avec régulation de la tension du bus continu).
- Appliquer avec adaptation de la technique de diagnostic proposée sur les filtres actifs Séries (FAS).

bibliographie

[1] **HILMY AWAD**, "Vector control of static séries compensator for mitigation of voltage dips" Chalmers University of Technology Gotburg, Sweden 2002

[3] **CHEBABHI Rabie et BOUDRAF Mustapha** , "Modélisation et commande des différentes topologies des filtres actifs parallèles"UNIVERSITE DE M'SILA

[4] **DJAFFAR OULD ABDESLAM**, "Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension", Thèse de doctorat de l'université de Haute-Alsace 08 décembre 2005

[5] **François Defaÿ** " commande prédictive directe d' un convertisseur multicellulaire triphasé pour une application de filtrage actif". l' institut national polytechnique de Toulouse ,décembre 2008

[6] **A, CHAOUI** "filtrage actif triphasé pour non linéaires"
thèse de docteur de l' université de Poitiers 2006

[7] **T. Gouraud**, "Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique", *Thèse de Doctorat*, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, Janvier 1997.

[8] **OMEIRI AMAR**, Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

[9] **F. Defaÿ**, "Commande prédictive directe d'un convertisseur multicellulaire triphasé pour une application de filtrage actif", *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse, Décembre 2008

[10] **M. M. Abdusalam**, "Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales", *Thèse de Doctorat*, Université Henri Poincaré, Nancy-I, Mai 2008.

[11] **M.A. Alali**, "Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension", *Thèse de Doctorat*, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, Septembre 2002.

[12] **D. OULD ABEDSLAM** "Technique neurométrique pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux basse tension " Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Haut Alsace, décembre 2005, France.

[13] **BOUFASSA Rabah et MEKARNIA Omar** "Modélisation et commande d'un UPFC utilisé en filtrage des harmoniques d'un réseau électrique " Mémoire d' ingénieur d' état en Électrotechnique. Juin 2007

[14] **A.ABOUBOU, S.E. ZOUZOU** "contribution a la compensation de la pollution harmonique en utilisant un filtre actif parallèle commande par logique floue" université Mohammed kheider , Biskra , n°03, janvier 2003

[15] **Ghennam Tarek** "Etude et réalisation d' un compensateur actif de puissance commandé par DSP" Mémoire de magister. Ecole militaire polytechnique, 2004.

[16] **K. Aliouane**, " Contribution à l'étude du filtrage des harmoniques des réseaux de distribution à l'aide de l'association des filtres passifs et filtres actifs ", *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Lorraine, Janvier 1995

[17] **A. Chaoui**, "Filtrage actif triphasé pour charges non linéaires", *Thèse de Doctorat*, Université Ferhat Abbas – Sétif, Octobre 2010

[18] **S.H. Shahalami**, "Filtrage hybride des perturbations harmoniques produites par des systèmes d'entraînement asynchrone à vitesse variable", *Thèse de Doctorat*, Université Henri Poincaré, Nancy-I, Novembre 2001.

[19] **B. Singh**, K. Al-Haddad, and A. Chandra, "A review of active filters for power quality improvement", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 46, no. 5, pp. 960–971, October 1999.

[20] **S. Srianthumrong** and H. Akagi, "A medium-voltage transformerless AC/DC power conversion system consisting of a diode rectifier and a shunt hybrid filter", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 874– 882, May/Jun 2003.

[21] **J. Rodriguez, J.S. Lai, and F.Z. Peng**, "Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 49, no. 4, pp. 724–738, August 2002.

[22] **W. Liqiao, L. Ping, L. Jianlin, and Z. Zhongchao**, "Study on shunt active power filter based on cascade multilevel converters", in *Proc. Power Electronics Specialists Conference*, vol. 5, pp. 3512–3516, 20-25 June 2004.

[23] **D. Lalili**, "MLI vectorielle et commande non linéaire du bus continu des onduleurs multiniveaux : application à la conduite de la machine asynchrone", *Thèse de Doctorat*, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique ENSP Alger, Avril 2009.

[24] **H. Buhler**, "Convertisseurs statiques", Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne ,1991.

[25] **C. Lascu, L. Asiminoaei, I. Boldea, and F. Blaabjerg** , "High performance current controller for selective harmonic compensation in active power filters", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 5, pp. 1826– 1835, September 2007.

[26] **H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae**, "Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits", in *Proc. International Power Electronics Conference*, pp. 1375–1386, Tokyo 1983.

- [27] **E.S. Gholipour**, “Apport de l’UPFC à l’amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques”, *Thèse de Doctorat*, Université Henri Poincaré, Nancy-I, Octobre 2003.
- [28] **M. C. Benhabib**, “Contribution à l’étude des différentes topologies et commandes des filtres actifs parallèles à structure tension : modélisation, simulation et validation expérimentale de la commande”, *Thèse de Doctorat*, Université Henri Poincaré, Nancy-I, Décembre 2004
- [29] **S , KARIMI** " Continuité de service des convertisseurs triphasés de puissance et prototypage "FPGA in the loop". application au filtre actif parallèle" Thèse de Docteur l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2009
- [30] **L. Malesani, P. Mattavelli, and P. Tomasin**, “High-performance hysteresis modulation technique for active filters”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 12, no. 5, pp. 876– 884, September 1997
- [31] **M.A. Nejad, S. Pierfederici, J.P. Martin, and F.M. Tabar**, “Study of an hybrid current controller suitable for DC-DC or DC-AC applications”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 6, pp. 2176–2186, November 2007.
- [32] **A. L. D. H. Bermeo**, “Commandes avancées des systèmes dédiés à l’amélioration de la qualité de l’énergie : de la basse tension à la montée en tension”, *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Grenoble, Novembre 2006.
- [33] **J. Xu**, “Filtrage actif parallèle des harmoniques des réseaux de distribution d’électricité ”, *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Lorraine, Janvier 1994.
- [34] **H. Djeghloud**, “Filtrage actif de puissance”, *Thèse de Doctorat*, Université Mentouri Constantine, Décembre 2007.
- [35] **KORICHE Abdelmadjid**“ modelisation et commande d’un onduleur de tension multi niveaux de type ponts en cascade”, universite de m’sila
- [36] **MOUCHAWEH S. M.**, „Conception d’un système de diagnostic adaptatif et prédictif basé sur la méthode Fuzzy Pattern Mathing pour la surveillance en ligne des systèmes évolutifs. Application à la supervision et au diagnostic d'une ligne de peinture au trempé”, Thèse doctorat en Genie Informatique, Automatique et traitement du signal, Université de Reims Champgne Ardenne, 2002.
- [37] **FRANK P. M.**,“Application of Fuzzy Logi to Process Supervision and Fault Diagnosis, IFAC Safeprocess”,Helsinki, finland, 1994, vol.2, pp. 531-538.

[38] SAYTER D., MARY N., SIROU F., THIELTGEN A., „Fault diagnosis in system using fuzzy logic“. IEEE 1994 pp 883-888.

[39] BOUMAGOURA.T« Recherche de signature électromagnétique que des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateur en vue du diagnostic», Ecole Doctorale électronique, électrotechnique, automatique de Lyon 2001

[40] BENNA .A, KHELIF .S et AOUICHAT .M « Détection des défauts de l'association convertisseur-moteur asynchrone a double stator par l'application des réseaux de neurones artificiels» Mémoire d'ingénieur, université de Mohamed Boudiaf M'sila, [2007]

[41] Caron .J.P et Hautier .J.P « Modélisation et commande de la machine asynchrone», Editions Technip, Paris, 1995.

Résume

Dans ce mémoire nous exposons le problème de la dégradation du courant dans les installations électriques, qui découle directement de la prolifération des charges non linéaires, pour le résoudre, nous avons utilisé un onduleur à trois niveaux comme filtre actif parallèle, qui injecte des courants harmoniques au point de connexion avec méthodes de compensation la méthode des puissances active et réactive instantanées. Nous mettrons en évidence une stratégie de commande par MLI. Les résultats de simulation utilisant Power System Blokset (PBS)/Simulink de Matlab montre une réduction du THD conformément à la norme IEEE-519 standard

Mots clés : qualité de l'énergie, harmoniques, filtre actif parallèle, charge non linéaire, Commande à MLI, diagnostique.

ملخص:

في هذه الأطروحة نكشف مشكلة تناقص التيار في التركيبات الكهربائية، والتي تنتج مباشرة عن زيادة الأحمال غير الخطية، لحلها استخدمنا عاكس ثلاثي المستوى كفلتر نشط متوازي، الذي يقوم بضغط التيارات التوافقية في نقطة الاتصال مع طرق التعويض، طريقة القوى النشطة والتفاعلية اللحظية. سنسلط الضوء على استراتيجية تحكم MLI. تظهر نتائج المحاكاة باستخدام نظام Power Blokset (PBS) / Simulink من Matlab اختصاراً في THD وفقاً لمعيار IEEE-519 القياسي.

كلمات مفتاحية : جودة الطاقة ، التوافقيات ، التصفية النشطة الموازية ، الحمولة غير الخطية ، التحكم MLI ، التشخيص.