

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
MASTER EN GÉNIE ELECTRIQUE

SPECIALITE:INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMÉCANIQUE

THÈME

Détection de défaut des convertisseurs de puissance
« Application au filtre actif parallèle »

Proposé par:

Mr. BENYETTOU Lotfi

Présenté par :

YAHIAOUI Ahmed Lamine

Année Universitaire: 2013 / 2014

N° d'ordre : ISE-118

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

rende mon profonde gratitude à Dieu le tout puissant qui je a aidé à réaliser ce travail.

*Ainsi, je tenue également à exprimer mon vif remerciement à mon encadreur
Mr : BENYETTOU.L pour avoir d'abord proposé ce thème, pour leur suivi continuel
tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui n'ont pas cessé de me donner leurs
conseils.*

*Je remercie tous les membres du jury qui acceptent de juger mon travail et pour
l'intérêt qu'ils l'ont porté.*

*Un grand merci à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation sans
exception.*

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donner le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères

A mes sœurs

A mes chers amis

A tous les amis d'études surtout ceux d'électromécanique promotion

2014

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE :	1
Chapitre I : Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèles.	3
I.1.Introduction	4
I.2.Principe de fonctionnement	4
I.3.Structure général du filtre active parallèle	5
I.4.Applications des filtres actifs parallèles	6
I.5.Classement des filtres actifs parallèles	7
I.6.Etude de partie puissance.....	7
I.6.1. Propriété de l'onduleur	8
I.6.2. Principe de fonctionnent	8
I.6.3. Les différents types d'onduleur	9
I.6.4.Onduleur de courant.....	9
I.6.5.Onduleur de tension	9
I.6.5.1. Cas d'un onduleur de tension deux niveaux à trois bras.....	10
I.6.5.2. Cas d'un onduleur de tension deux niveaux à deux bras :.....	13
I.7. Système de stockage de l'énergie :	17
I.8. Filtre de sortie	18
I.9. Etude de partie commande.....	18
I.9.1. Identification des courants harmoniques	18
I.9.2.Commande de l'onduleur.....	22
I.9.2.1. Commande des courants par hystérésis	22
I.9.2.2. Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)	25
I.9.2.3. Commande par MLI vectorielle.....	24
I.10.Conclusion	25
Chapitre II. Etat de l'art des méthodes de diagnostic des convertisseurs de puissance	26
II.1. Introduction	27
II.2. concepts d'un système du diagnostic.....	27
II.3.Généralité sur la détection et localisation de défaut	28
II.4.Classification du défaut	29
II.5. Méthodes de surveillance	30
II.5.1.Les approches de la surveillance sans modèle analytique	31
II.5.1.1. Analyse fréquentielle (Filtrage).....	31
II.5.1.2.Redondance matérielle	32
II.5.1.3.Capteurs spécifiques (capteurs détecteurs).....	32
II.5.1.4.Réseaux de neurones artificiels (RNA)	32
II.5.1.5.Systèmes d'Inférence Flous.....	32
II.5.2.Les approches de la surveillance à base de modèle analytique	33
II.6.Conclusion	36

Chapitre III. Détection de défaut des convertisseurs triphasés à structure tension à deux niveaux.....	37
III.1. Introduction	38
III.2. Convertisseurs triphasés à structure tension tolérant les défauts de semi-conducteurs et de drivers.....	38
III.3. Application de la méthode proposée au cas du FAP triphasé	39
III.5. Tests de validation.....	41
III.5.1. Les courants après le filtrage sans défaut :	41
III.5.2. Les courants après le filtrage avec défaut :	42
III.6. Conclusion	45
Conclusion générale	46

Table des figures

Figure (I.1): Filtre actif parallèle	5
Figure (I.2) Courant polluer, courant harmonique et courant filtré.....	5
Figure (I.3) : Structure générale du filtre actif parallèle	6
Figure (I.4) : Schéma de principe de l'onduleur.....	9
Figure (I.5) : Onduleur de tension à trois bras employé dans un FAP à structure de tension relié à un réseau électrique à trois fils.....	10
Figure (I.6) : Représentation vectorielle des tensions fournies par l'onduleur de tension à trois bras.....	13
Figure (I.7) : Onduleur de tension à deux bras employé dans un FAP à structure de tension relié à un réseau électrique à trois fils.....	13
Figure (I.8) : Représentation vectorielle des tensions générées par l'onduleur de tension à deux bras.....	15
Figure (I.9) : Schéma représentant le principe de séparation des puissances ($Y = p$ ou q).....	20
Figure (I.10) : algorithme d'identification des harmoniques.....	22
Figure (I.11) : Principe de la commande des courants par hystérésis	23
Figure (I.12) : Principe de commande des courants par ML.....	23
Figure (I.13): Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur.....	24
Figure (II.1) : Modules d'une procédure de diagnostic.....	28
Figure (II.2): Disposition des éléments nécessaires à la détection de défauts.....	29
Figure (II.3) : Etape du diagnostic à base du modèle analytique.....	33
Figure (II.4): Forme de calcul et d'évaluation des résidus.....	34
Figure (II.5): Méthodes utilisées en diagnostic à base de modèles analytiques.....	35
Figure(III.1) :les Courants (i_{af} , i_{bf} , i_{cf}) harmoniques identifiés valeurs instantanée.....	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1) : Tensions possibles à la sortie de l'onduleur à trois bras	12
Tableau (I.2) : Tensions générées par l'onduleur de tension à deux bras.....	15
Tableau (III.1) Comparaison des méthodes de détection de défaut au niveau des semi-conducteurs de puissance (fréquence fondamentale de 50 Hz).....	39
Tableau(III.2) : Caractéristiques des différents types de défauts.....	40

NOTATIONS UTILISEES

F.A.P	Filtrage actif parallèle
BT	base tension
MT	moyenne tension
I_{Sn}	courant de la source d'alimentation
V_{Sn}	tension au point de raccordement commun
V_{dc}	tension aux bornes du condensateur de l'onduleur
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion
V_s	tension de la source
V_f	tension imposée par l'onduleur
S	Etats des interrupteurs de l'onduleur
PLL	(En anglais: Phase locked loop).
IGBT	(En anglais: Insolated gate bipolar transistor).
GTO	(En anglais: Gate turn off thruster).
ω_h	la pulsation
P	Puissance active.
\bar{p}	Composante continue.
\tilde{p}	Composante alternative
q	Puissance réactive.
\bar{q}	Composante continue.
\tilde{q}	Composante alternative
V_{kom}	tensions mesurées
V_{koes}	tensions estimées
S_k	niveau de l'interrupteur
$P(t)$	la puissance réelle instantanée.
$P_0(t)$	la puissance homopolaire instantanée
$V_\alpha, V_\beta, I_\alpha, I_\beta$	de Composante Concordia.
V_{fn}, I_{fn}, L_f	tension, courant et inductance du filtre actif
δ_i, δ_j et e_{kn}	ordres de commande

INTRODUCTION GENERALE :

Les convertisseurs statiques triphasés à structure tension sont des éléments essentiels de nombreux systèmes d'électronique de puissance tels que les variateurs de vitesse des machines alternatives, les alimentations sans interruption et les filtres actifs. La sécurité de ces systèmes, leur fiabilité, leurs performances, la qualité de l'énergie et la continuité de service constituent aujourd'hui des préoccupations majeures dans le domaine de l'énergie. Les défaillances d'un convertisseur statique, qu'elles proviennent des drivers de sa commande rapprochée, d'un des composants de puissance commandables ou d'un des capteurs mis en œuvre, conduisent à la perte totale ou partielle du contrôle des courants de phase. Ces défaillances peuvent provoquer de graves dysfonctionnements du système, voire conduire à sa mise hors tension. En outre, si le défaut n'est pas rapidement détecté et compensé, il peut dans certains cas mettre en danger le système. Par conséquent, afin d'empêcher la propagation de défauts aux autres composants et assurer la continuité de service en toute circonstance en présence d'une défaillance du convertisseur, des méthodes efficaces et rapides de détection et de compensation de défaut doivent être mises en œuvre.

Pour assurer une efficacité énergétique, les industries utilisent des dispositifs statiques de conversion d'énergie appelés : convertisseurs statiques. Ces convertisseurs sont composés de semi-conducteurs de puissance. Ceux-ci sont considérés comme des charges non linéaires pour le réseau électrique et absorbent un courant dont la forme est non sinusoïdale. En plus de la composante fondamentale, cette forme d'onde présente un contenu harmonique, qui dans certain cas, peut être très important. Ces harmoniques se propagent de la charge vers le réseau et engendrent des chutes de tension harmonique qui s'ajoutent à la composante fondamentale de la tension délivrée par le réseau. Ce qui résulte en une tension affectée d'un contenu harmonique et qui pourrait causer de sérieux problèmes de compatibilité électromagnétique.

Il existe quelques méthodes permettant de minimiser la pollution harmonique provoquée par ces convertisseurs. Parmi les plus populaires et les plus efficaces, on retrouve le filtrage. Il existe deux voies pour le filtrage de la pollution harmonique, soit le filtrage passif et le filtrage actif. C'est cette dernière qui fera l'objet du présent projet de maîtrise .

De façon à atteindre ces objectifs, ce mémoire est subdivisé en trois chapitres organisés comme suit :

Dans ce mémoire, après présentation des concepts et des terminologies, ainsi que de l'organisation générale de la procédure de diagnostic, un rappel des généralités sur la détection et la localisation de défauts à l'aide de modèles est présenté. Une méthode de diagnostic d'un onduleur triphasé, Dans ce mémoire nous avons étudié un convertisseur triphasé à structure tension "fault tolérant". Ce convertisseur assure la continuité de service, en mode normal, en présence de défauts éventuels d'un semi-conducteur. Dans ces travaux, nous avons choisi comme cas d'application le

filtre actif parallèle (FAP) triphasé afin de valider la continuité de service du convertisseur "fault tolérant" lors de défauts.

ces objectifs, ce mémoire est subdivisé en trois chapitres organisés comme suit:

Dans le premier chapitre, est dédié à la représentation générale d'un FAP triphasé permettant de compenser les harmoniques de courant d'un réseau électrique triphasé à trois fils. Tout d'abord, nous introduirons les trois blocs principaux de la partie puissance, à savoir l'onduleur triphasé à structure tension, l'élément de stockage d'énergie et le filtre de sortie

Dans le second chapitre, nous présenterons quelques généralités sur la détection et localisation de défaut avec leur Classification des méthodes de surveillance

Dans le troisième chapitre, nous présentons un convertisseur triphasé de tension "fault tolérant" permettant de garantir la continuité de service lors des cas de défaillance les plus probables. Nous étudions les cas de défauts survenant au niveau d'un semi-conducteur ou d'un capteur de courant. Nous proposons notamment les tests de validation et de vérification de la détection et localisation de défaut par la approche de la surveillance sans modèle analytique qui basé sur le calcul de zéro composante harmonique (valeur, dc signifie offset) pour les semi-conducteurs de puissance inclus dans les courants de filtre actif.

Chapitre I : Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèles

I.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions la structure générale d'un FAP triphasé permettant de compenser les harmoniques de courant d'un réseau électrique triphasé à trois fils. Tout d'abord, nous introduirons les trois blocs principaux de la partie puissance, à savoir l'onduleur triphasé à structure tension, l'élément de stockage d'énergie et le filtre de sortie. Dans cette même chapitre, nous présentons les différentes topologies de FAP. Ensuite, nous examinons les trois blocs principaux de la partie contrôle, à savoir l'identification des courants de référence, la poursuite des courants de référence et la régulation de la tension continue[1].

I.2.Principe de fonctionnement

Les premiers principes du filtrage actif ont été présentés dès le début des années 1970 .Les premières familles de filtres actifs parallèles et série (solution adaptée à la compensation des tensions) apparaissent en 1976 et sont réalisés avec des onduleurs à transistors contrôlés en MLI Ces solutions sont proposées comme des solutions efficaces de dépollution des Réseaux électriques afin de traiter les inconvénients inhérents aux solutions traditionnelles comme les filtres passifs (non adaptatifs aux variations de la charge et du réseau, phénomènes de résonance). Parmi toutes les solutions modernes, on trouve deux types de structures classiquement utilisées . [5]

- Le filtre actif (série, parallèle ou bien encore associant les deux)
- Le filtre actif hybride (série, parallèle).

Le but de ces filtres actifs est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant ou la tension redevienne sinusoïdal. Le filtre actif est connecté au réseau soit en série (FAS), soit en parallèle (FAP) suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques, soit associé à des filtres passifs. [6]

Le FAP, également appelé compensateur shunt, est connecté en parallèle sur le réseau électrique. Les FAP sont constitués de convertisseurs statiques à base de semi-conducteurs de puissance (structures de type onduleur), associés à un dispositif de contrôle et de commande adapté. Ils peuvent être assimilés à des sources de courant qui compensent en temps réel les courants harmoniques en injectant au niveau du réseau des courants en opposition de phase avec les perturbations harmoniques identifiées. Un FAP est dit à structure courant ou à structure tension selon le type de stockage de l'énergie, réalisé par une inductance ou un condensateur. Cependant, les FAP à structure tension sont plus fréquemment mis en œuvre dans les applications industrielles pour la simplicité de leurs commandes, leur coût limité et leur taille physique réduite. Nous avons donc choisi de considérer la structure tension dans ce manuscrit.[1]

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

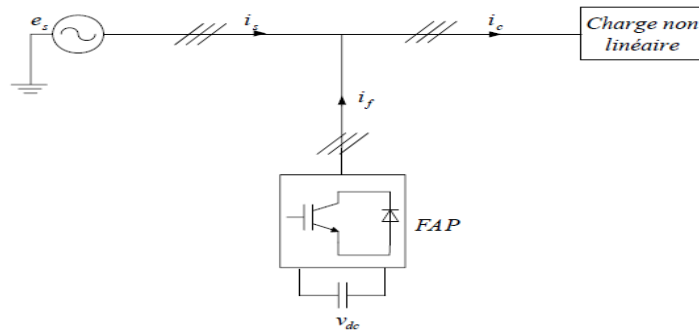


Figure (I.1) : Filtre actif parallèle.

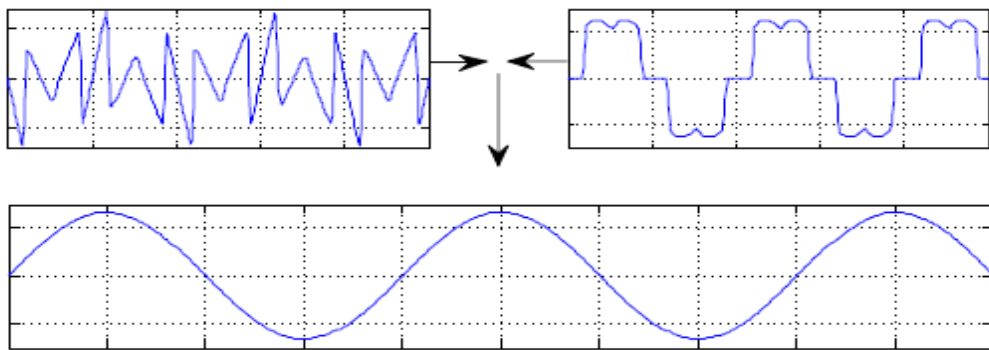


Figure (I.2) : Courant pollué, courant harmonique et courant filtré.

I.3. Structure général du filtre active parallèle

La Figure (I.3) donne la structure générale du filtre actif parallèle, laquelle se présente sous la forme de deux blocs : la partie puissance et la partie contrôle-commande. La partie puissance est constituée :

- d'un onduleur de tension à base d'interrupteurs de puissance, commandables à l'amorçage et au blocage (GTO, IGBT, ...etc.) avec des diodes en antiparallèle,
- d'un circuit de stockage d'énergie, souvent capacitif,
- d'un filtre de sortie.

La partie contrôle-commande quant à elle est constituée :

- de la méthode d'identification des courants perturbés,
- du système à base de PLL qui sera intégré dans la méthode d'identification des courants,
- de la régulation de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie,
- de la régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension,
- de la commande de l'onduleur de tension. [7]

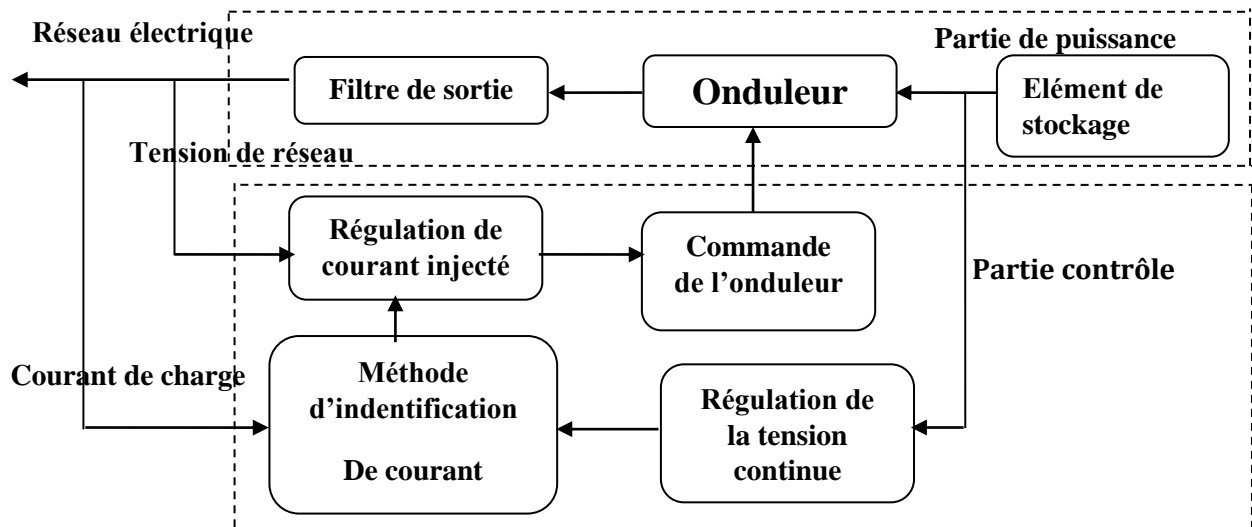


Figure. (I.3) : Structure générale du filtre actif parallèle

I.4.Applications des filtres actifs parallèles

La principale charge polluante, le redresseur à diodes ou à thyristors, est très utilisée que cela soit pour alimenter des charges continues à partir du réseau ou comme un élément d'interfaçage au réseau dans une conversion à étage intermédiaire continu. De plus en plus de dispositifs de ce type se connectent au réseau électrique. De ce fait, les filtres actifs parallèles sont un champ d'utilisation naturel dans les applications de réseau, notamment dans les réseaux avec plusieurs charges polluantes et dans les réseaux à courant continu en haute tension.

Les filtres actifs sont également utilisés dans des applications industrielles, afin de dépolluer une zone avec plusieurs charges non linéaires (redresseurs, certains éclairages, etc.). En fin, le filtrage actif est également employé dans les applications tertiaires car les filtres actifs peuvent être intéressants dans les bâtiments commerciaux, hôpitaux, etc. dans lesquels il y a de nombreuses charges polluantes comme des ordinateurs, éclairage économique. Ces filtres actifs compensent les courants harmoniques, les courants réactifs et les déséquilibres des charges.

Les applications réseau, industrielles, tertiaires, domestiques et en télécommunications apparaissent comme des environnements particulièrement pollués par les harmoniques. Les filtres permettent une compensation globale des harmoniques, souvent jusqu'à l'harmonique 50. Ces filtres actifs, en plus de réduire les courants harmoniques, améliorent le facteur de puissance et équilibrent les charges triphasées. L'utilisation de ces filtres produit une réduction des coûts d'exploitation et une prolongation de la durée de vie de l'installation [4].

I.5. Classement des filtres actifs parallèles

Il existe une grande variété de types de filtres actifs parallèles. Ils sont classés de différentes manières selon le nombre de phases, la technologie de l'onduleur et la topologie :

- Filtres actifs monophasés ou triphasés ;
- Filtres actifs avec ou sans neutre raccordé ;
- Filtres actifs basés sur l'onduleur de tension ou sur le commutateur de courant.

Même si les filtres actifs monophasés ont été largement étudiés dans la littérature, dans les applications industrielles, ce sont les filtres actifs triphasés qui sont les plus répandus (pour des applications de type variateurs ou redresseurs à dépolluer) du fait que les filtres monophasés sont normalement limités aux applications en basse puissance (les redresseurs des sources d'alimentation en continu), sauf dans le cas de la traction électrique. La deuxième classification se fait autour de la topologie utilisée, avec ou sans neutre raccordé. Les filtres actifs avec neutre raccordé ont été développés afin de pouvoir injecter et compenser les composantes homopolaires. Dans la littérature la plupart des filtres sont connectés sans neutre raccordé. Toutefois, on trouve plusieurs filtres avec neutre raccordé : certains avec un onduleur à trois bras et d'autres avec un onduleur à quatre bras ; en ce qui concerne la technologie de l'onduleur, les filtres actifs sont soit basés sur l'onduleur de tension avec un condensateur du côté continu et un filtre de raccordement inductif du côté réseau, soit sur un commutateur de courant avec une inductance du côté continu et un filtre de raccordement capacitif du côté réseau. Actuellement, même si l'on trouve des articles basés sur le commutateur de courant, l'onduleur de tension est généralement préféré à cause de son meilleur rendement, de son moindre coût et de son volume plus réduit (si l'on compare le condensateur et l'inductance du côté continu). Par ailleurs, les modules à IGBTs disponibles actuellement sur le marché sont bien adaptés aux onduleurs de tension car en général une diode en antiparallèle est rajoutée pour chaque IGBT. Le commutateur de courant a quant à lui besoin de mettre en série avec chaque IGBT une diode anti-retour. De plus, un aspect vient renforcer provisoirement le choix : le commutateur de courant ne peut pas être utilisé avec des topologies multi-niveaux classiques. En conséquence presque tous les filtres actifs qui sont sur le marché sont composés d'onduleurs de tension [4].

I.6. Etude de partie puissance

Le FAP est une structure de tension connectée en parallèle au réseau et représenté sur la Figure (I.5) Dans ce type de filtre le condensateur (C_{dc}) joue le rôle d'une source de tension continue. La tension à ses bornes (V_{dc}) est maintenue à une valeur quasi-constante. La fluctuation de cette tension doit être faible d'une part pour ne pas dépasser la limite en tension des semi-conducteurs et d'autre part pour ne pas dégrader la performance du filtre actif. Le filtre entre l'onduleur et le réseau est un filtre de premier ordre qui est en réalité une simple inductance mais avec des spécificités au niveau de son circuit magnétique (introduction de noyaux en ferrites). Il a deux objectifs

- générer des courants harmoniques à partir de la différence des tensions entre la sortie du pont onduleur et le réseau. A ce titre, l'inductance (L_f) intervient dans la commandabilité du courant du filtre.
- réduire au point de raccordement au réseau (PCC), l'amplitude des créneaux de tension générés.

Les interrupteurs sont bidirectionnels en courant. Ils sont formés par des composants semi-conducteurs commandés à la fermeture et à l'ouverture (IGBT, thyristors GTO), en antiparallèle avec une diode. Dans ce cas également, l'onduleur de tension est raccordé entre deux types de sources : source de courant côté alternatif et source de tension côté continu.

La présence de ces deux types de sources impose les conditions suivantes :

Un seul interrupteur d'un bras doit conduire pour éviter des court-circuits de la source de tension.

Le courant de ligne doit toujours trouver un chemin libre d'où la mise en antiparallèle des diodes avec les interrupteurs pour éviter l'ouverture du circuit de la source de courant

I_{Sn} , courant de la source d'alimentation

V_{Sn} , tension au point de raccordement commun

V_{fn} , I_{fn} , L_f , tension, courant et inductance du filtre actif .[3]

I.6.1. Propriété de l'onduleur

Un onduleur dépend essentiellement de la nature du générateur et du récepteur entre lesquels il est monté. Cela conduit à distinguer en respectant la règle de connexion des sources:

-Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continu.

-Les onduleurs de tension alimentés par une source de tension continue et alimentant Un récepteur de courant alternatif (exemple machine asynchrone), cas de notre étude. [9]

I.6.2. Principe de fonctionnement

L'onduleur triphasé est utilisé dans les applications de puissance. Le signal de gâchette de l'onduleur monophasé avancé ou retardé de 120° l'un par rapport à l'autre pour obtenir un système triphasé équilibré. Les enroulements du secondaire doivent être connectés en étoile ou en triangle. Il est préférable que le secondaire du transformateur soit connecté en étoile pour éliminer les harmoniques d'ordre impaires multiple de trois de la tension de sortie ($n=3, 6, 9, 12\dots$). Il est généralement clair que la performance d'un onduleur, avec toutes les stratégies de commutation, peut être liée avec le contenu d'harmonique de sa tension ou son courant de sortie. Les chercheurs de l'électronique de puissance ont toujours étudié beaucoup de techniques de commande pour réduire les harmoniques de tension de sortie. Aujourd'hui, il y a beaucoup de techniques de modulation qui sont appliquées aux topologies d'onduleur. [9]

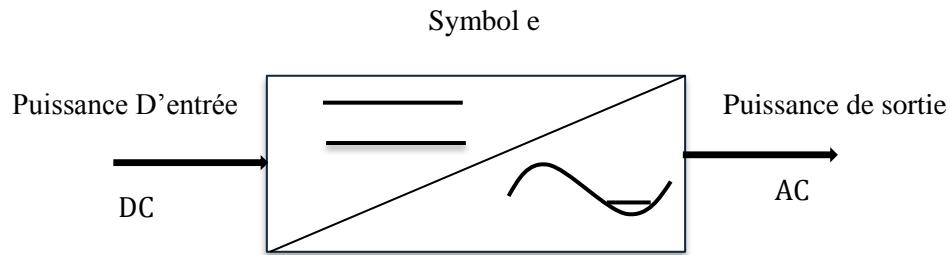


Figure. (I.4) : Schéma de principe de l'onduleur.

I.6.3. Les différents types d'onduleur

A variation de la vitesse de la machine est assurée grâce à leur alimentation par des convertisseurs statiques. Cette variation est obtenue par action sur une action ou un courant permettant la commande simultanée de la fréquence et de l'amplitude du signal. Il existe essentiellement deux types de convertisseurs statiques qui permettent de réaliser ces deux opérations. [9]

I.6.4. Onduleur de courant

L'onduleur de courant transforme un courant continu en courants triphasés dans les enroulements de la machine. Il peut fonctionner en commutation naturelle, c'est le cas des machines synchrones. La commutation forcée est réalisée pour toutes les autres machines. Ce type d'onduleur ne permet que le réglage de la fréquence des grandeurs de sortie, l'amplitude de celle-ci doit être réalisée par ajustement de la grandeur d'entrée. [9]

I.6.5. Onduleur de tension

Les onduleurs de tension constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance. Les deux grands domaines d'application classiques des onduleurs de tension sont les alimentations de secours et les entraînements à vitesse variable, la forte évolution des onduleurs de tension s'est appuyée, d'une part, sur le développement des composants semi-conducteurs contrôlables, puissants, robustes, et rapides, et d'autre part, sur l'utilisation quasi généralisée des techniques dites de modulation de largeur d'impulsion. Dans les applications de fortes puissances, la structure des onduleurs à trois niveaux est la plus adaptée, par rapport à la structure à deux niveaux, de fait que les tensions et les courants de sortie présentent un taux de distorsion harmonique nettement inférieur. [4]

I.6.5.1. Cas d'un onduleur de tension deux niveaux à trois bras

L'onduleur triphasé de tension deux niveaux est constitué de 02 interrupteurs par bras. Ces derniers ont la particularité d'être bidirectionnels et entièrement commandables à l'ouverture et à la fermeture. Ils peuvent être soit des MOSFET pour les faibles puissances et fréquences très élevées, des IGBT pour les grandes puissances et fréquences élevées, ou des GTO pour les très grandes puissances et fréquences faibles. Pour assurer la circulation du courant dans les deux sens, l'interrupteur doit être placé en antiparallèle avec une diode. [3]

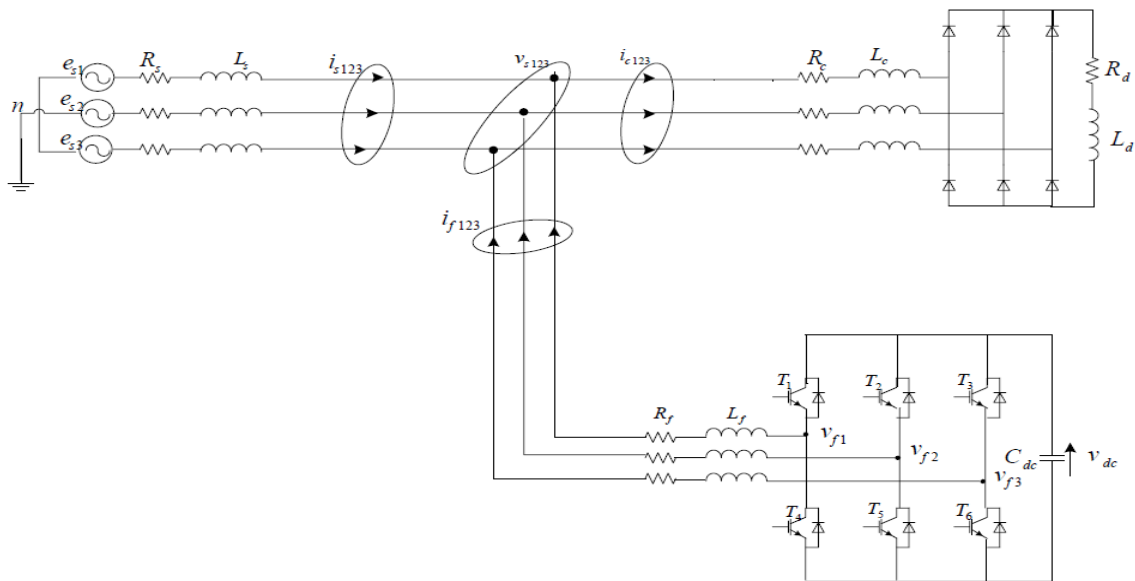


Figure (I.5) : Onduleur de tension à trois bras employé dans un FAP à structure de tension relié à un réseau électrique à trois fils.

- Tension fournie par l'onduleur

En théorie, nous commandons les deux semi-conducteurs d'un même bras de façon complémentaire, la conduction de l'un entraîne le blocage de l'autre. Avec cette hypothèse, l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur de la figure (I.5) dépendent de l'état de trois signaux de commande (S1,S2,S3,), définis ci-dessous:[3]

$$S1 = \begin{cases} 1 & \text{si } T1 \text{ fermé et } T4 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } T1 \text{ ouvert et } T4 \text{ fermé} \end{cases}$$

$$S2 = \begin{cases} 1 & \text{si T2 fermé et T5 ouvert} \\ 0 & \text{si T2 ouvert et T5 fermé} \end{cases}$$

$$S2 = \begin{cases} 1 & \text{si T3 fermé et T6 ouvert} \\ 0 & \text{si T3 ouvert et T6 fermé} \end{cases}$$

Les tensions de ligne imposées par l'onduleur, sont alors définies par:

$$\begin{pmatrix} V_{f1} - V_{f2} \\ V_{f2} - V_{f3} \\ V_{f3} - V_{f1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S1 - S2 \\ S2 - S3 \\ S3 - S1 \end{pmatrix} V_{dc} \quad (I.1)$$

Dans l'hypothèse où le système est équilibré, les tensions de la source sont définies Comme suit:

$$\begin{cases} V_{S1} = V_m \cos (wt) \\ V_{S2} = V_m \cos (wt+2\pi/3) \\ V_{S3} = V_m \cos (wt-2\pi/3) \end{cases} \quad (I.2)$$

Les tensions de sortie de l'onduleur, notées V_{fk} , avec ($k = \{1, 2, 3\}$), sont référencées par rapport au neutre du réseau et vérifient les équations suivantes [4].

$$V_{fk} = V_{Sk} + L_f \frac{di_{fk}}{dt} + R_f I_{fk} \quad k (1.2.3) \quad (I.3)$$

Les tensions du réseau étant supposées équilibrées et sachant que la somme des courants injectés par l'onduleur est nulle, on peut écrire [4]:

$$V_{S1} + V_{S2} + V_{S3} = 0 \quad (I.4)$$

$$V_{f1} + V_{f2} + V_{f3} = 0$$

Où (R_f) représente la résistance interne de l'inductance de couplage (L_f).

En faisant la somme des trois premières équations de (I.4) ($k=1,2,3$) sachant les conditions sur le système de (I.3), il vient:[3]

$$V_{f1} + V_{f2} + V_{f3} = 0 \quad (I.5)$$

Les équations des tensions de sortie de l'onduleur en fonction des états des interrupteurs sont exprimées par

$$\begin{pmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f3} \end{pmatrix} = 1/3 \begin{pmatrix} 2S1 & -S2 & -S3 \\ -S1 & 2S2 & -S3 \\ -S1 & -S2 & 2S3 \end{pmatrix} V_{dc} \quad (I.6)$$

Puisque les grandeurs (S_1 , S_2 et S_3) peuvent prendre chacune deux valeurs (0 ou 1), il en résulte huit commandes possibles, présentées dans le tableau (I.1). Dans ce tableau, V_f est la représentation vectorielle des tensions fournies par l'onduleur (V_{f1} , V_{f2} et V_{f3}) dans le repère orthogonal (α , β). La figure (I.6) représente ce vecteur dans le repère (α , β). Les commutations imposent le passage du vecteur V_f d'une position à l'autre. A la figure (I.6), V_{ref} représente le vecteur de tension de référence que doit produire l'onduleur afin de générer en opposition de phase les courants harmoniques absorbés par la charge polluante. L'onduleur n'est capable de fournir des tensions égales aux tensions de référence que si le vecteur formé par ces dernières reste à l'intérieur de l'hexagone tracé à la figure (I.6). Les tensions fournies par l'onduleur génèrent, selon l'équation (I.1), les courants de sortie du FAP [4].

k	S_3	S_2	S_1	V_{f3}	V_{f2}	V_{f1}
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	$\frac{-V_{dc}}{3}$	$\frac{-V_{dc}}{3}$	$\frac{2V_{dc}}{3}$
2	0	1	0	$\frac{-V_{dc}}{3}$	$\frac{2V_{dc}}{3}$	$\frac{-V_{dc}}{3}$
3	0	1	1	$\frac{-2V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$
4	1	0	0	$\frac{2V_{dc}}{3}$	$\frac{-V_{dc}}{3}$	$\frac{-V_{dc}}{3}$
5	1	0	1	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{-2V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$
6	1	1	0	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{-2V_{dc}}{3}$
7	1	1	1	0	0	0

Tableau (I.1) : Tensions possibles à la sortie de l'onduleur à trois bras

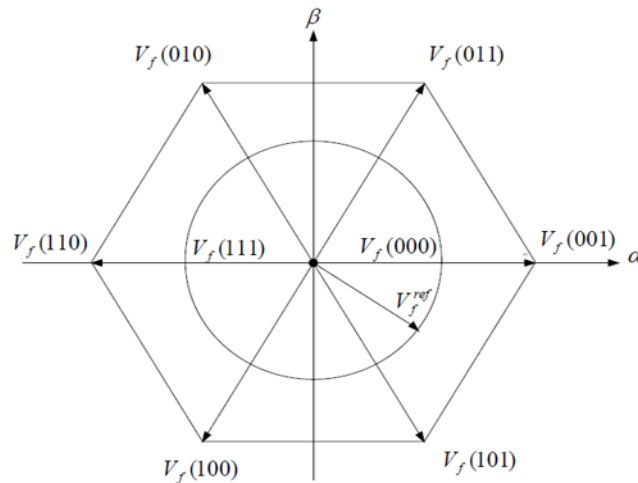


Figure (I.6) : Représentation vectorielle des tensions fournies par l'onduleur de tension à trois bras.

I.6.5.2. Cas d'un onduleur de tension deux niveaux à deux bras :

La seconde topologie d'onduleur qui peut être utilisée dans un FAP à structure de tension est l'onduleur de tension à deux bras. La figure (I.7) présente le schéma de principe de cette topologie. Les deux différences par rapport à la topologie à trois bras précédente sont les suivantes :

L'onduleur est constitué de quatre interrupteurs bidirectionnels en courant formant les deux bras. Ces composants sont également des composants semi-conducteurs commandés à la fermeture et à l'ouverture, comportant chacun une diode en anti-parallèle. Le troisième bras est remplacé par deux condensateurs reliés par leur point milieu à la troisième phase du réseau électrique. Chacune des deux capacités C_{dc} joue le rôle d'une source de tension continue. La tension à leurs bornes $2v_{dc}$, est également réglée à une valeur de consigne positive.[4]

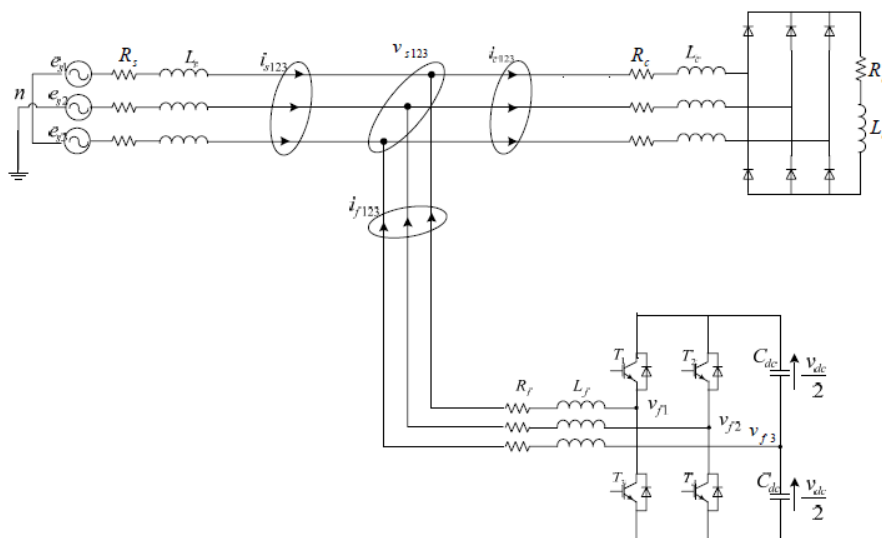


Figure (I.7) : Onduleur de tension à deux bras employé dans un FAP à structure de tension relié à un réseau électrique à trois fils[4]

- Tension fournie par l'onduleur:

Pour cette topologie, les signaux de commande (S1, S2) sont ainsi définis :

$$S1 = \begin{cases} 1 & \text{si } T1 \text{ fermé et } T3 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } T1 \text{ ouvert et } T3 \text{ fermé} \end{cases}$$

$$S2 = \begin{cases} 1 & \text{si } T2 \text{ fermé et } T4 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } T2 \text{ ouvert et } T4 \text{ fermé} \end{cases}$$

Les tensions de sortie de l'onduleur, référencées par rapport au neutre du réseau, sont définies par les expressions suivantes :

$$(I.7) \quad \begin{cases} V_{f1} = V_{f10} + V_{ON} \\ V_{f2} = V_{f20} + V_{ON} \\ V_{f3} = V_{ON} \end{cases}$$

Où :

$$\begin{bmatrix} V_{f10} \\ V_{f20} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2S_1 & -1 \\ 2S_2 & -1 \end{bmatrix} \frac{V_{dc}}{2}$$

En sommant les trois équations de (I.7) et en tenant compte des équations (I.3), nous obtenons:

$$V_{ON} = -\frac{V_{f10}}{3} - \frac{V_{f20}}{3} \quad (I.8)$$

En substituant l'expression (I.8) dans (I.7), nous obtenons

$$\begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{f10} \\ V_{f20} \end{bmatrix} \quad (I.9)$$

Puisque les variables S1 et S2 prennent chacune deux valeurs, nous distinguons pour cette topologie quatre commandes possibles. Les tensions (V_{f1} , V_{f2} et V_{f3}) génèrent selon l'équation (I.4) les courants de sortie du filtre actif. Ces tensions peuvent également être représentées sous la forme d'un vecteur (V_{fn}) selon les axes ($\alpha \beta$).

Les quatre vecteurs tensions correspondantes aux quatre possibilités de commande sont illustrées à la figure (I.7). Ici encore, l'onduleur n'est capable de fournir des tensions égales aux tensions de référence que si le module du vecteur (V_{fref}) reste inférieur à celui du vecteur de tension $\overline{V_{fn}(m)}$, $m=(1,2,3,4)$, qui sont présentés dans le Tableau (I.2):

K	S ₁	S ₂	V _{f1n}	V _{f2n}	V _{f3n}
0	0	0	-v _{dc} /6	-v _{dc} /6	-v _{dc} /3
1	0	1	v _{dc} /2	-v _{dc} /2	0
2	1	0	-v _{dc} /2	v _{dc} /2	0
3	1	1	v _{dc} /6	v _{dc} /6	-v _{dc} /3

Tableau (I.2) : Tensions générées par l'onduleur de tension à deux bras

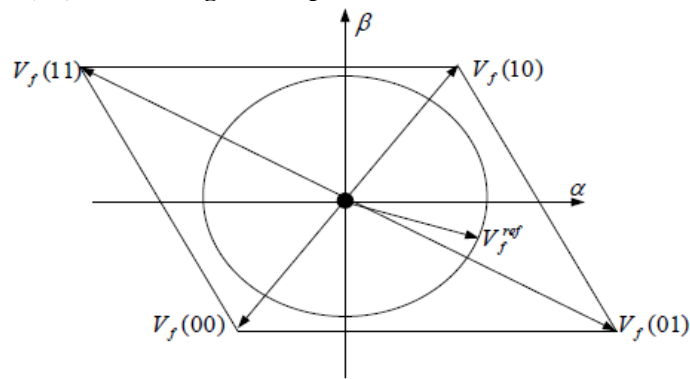


Figure (I.8) : Représentation vectorielle des tensions générées par l'onduleur de tension à deux bras

• **Comparaison entre les deux topologies de FAP :**

En négligeant les résistances (R_f) du filtre de sortie, nous pouvons écrire à partir de l'équation (I.4) la relation suivante caractérisant le courant (I_{fn}) du filtre actif :

$$V_{fn} = V_{Sn} + L_f \frac{dI_{fn}}{dt} \quad (n = \{1, 2, 3\}) \tag{I.10}$$

$$V_{fn} - V_{Sn} = L_f \frac{dI_{fn}}{dt} \tag{I.11}$$

Notons (ΔI_{fn}) la différence entre le courant de référence (I_{fn}^{ref}) et le courant mesuré (I_{fn})

$$\Delta I_{fn} = I_{fn}^{ref} - I_{fn} \tag{I.12}$$

A partir des équations (I.12) et (I.13), nous obtenons l'expression suivante

$$V_{fn} - V_{Sn} = L_f \frac{d(I_{fn}^{ref} - \Delta I_{fn})}{dt}$$

$$L_f \frac{d(\Delta I_{fn})}{dt} = \left(V_{Sn} + L_f \frac{d(I_{fn}^{ref})}{dt} \right) - V_{fn} \tag{I.13}$$

V_n^{ref} : tension de référence

$$V_n^{\text{ref}} = \left(V_{Sn} + L_f \frac{d(I_{fn}^{\text{ref}})}{dt} \right) \quad (\text{I.14})$$

ce qui conduit à l'expression suivante:

$$V_n^{\text{ref}} = L_f \frac{d(\Delta I_{fn})}{dt} + V_{fn} \quad (\text{I.15})$$

Comme cela a été mentionné précédemment, pour satisfaire la condition de commandabilité de l'onduleur, il faut que le module du vecteur $(\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}})$ reste inférieur à celui du vecteur de tension $\overrightarrow{V_{fn}(m)}$.

Dans le cas de la topologie à trois bras, il faut donc que :

$$\text{Mod}(\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}}) \leq \sqrt{\frac{2}{3}} V_{dc} \quad (\text{I.16})$$

Dans le cas de la topologie à deux bras, il faut donc que :

$$\text{Mod}(\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}}) \leq \frac{1}{\sqrt{6}} V_{dc} \quad (\text{I.17})$$

Où : $\text{Mod}(\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}})$ est le module du vecteur $\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}}$

La tension minimale (V_{dc}^{min}) côté continu permettant de garantir la commandabilité de l'onduleur

Dans le cas de la topologie à trois bras, il faut donc que :

$$V_{dc}^{\text{min}}(\text{trois bras}) = \sqrt{\frac{3}{2}} \text{Mod}(\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}}) \quad (\text{I.18})$$

Dans le cas de la topologie à deux bras, il faut donc que :

$$V_{dc}^{\text{min}}(\text{deux bras}) = \sqrt{6} \text{Mod}(\overrightarrow{V_n^{\text{ref}}}) \quad (\text{I.19})$$

partir des équations (I.19) et (I.20), nous obtenons l'expression suivante:

$$\frac{V_{dc}^{\text{min}}(\text{trois bras})}{V_{dc}^{\text{min}}(\text{deux bras})} = \frac{1}{2} \quad (\text{I.20})$$

Nous obtenons ainsi un rapport théorique de $(\frac{1}{2})$ entre les valeurs minimales des tensions (V_{dc}^{min}) pour les deux topologies. Par conséquent, la topologie deux bras requiert des interrupteurs qui supportent une tension deux fois plus importante que dans le cas de la topologie à trois bras. [3]

I.7. Système de stockage de l'énergie :

Le choix de la tension V_{dc} et de la capacité de condensateur C_{dc} affecte la dynamique et la qualité de compensation du filtre actif parallèle. En effet, une tension V_{dc} élevée améliore la dynamique du filtre actif. De plus, les ondulations de la tension continue v_{dc} causées par les courants engendrés par le filtre actif et limitées par le choix de C_{dc} [13] peuvent dégrader la qualité de compensation du filtre actif parallèle. Ces fluctuations sont d'autant plus importantes que l'amplitude du courant du filtre est grande et que sa fréquence est faible. Pour cette raison, nous pouvons estimer que seuls les premiers harmoniques sont pris en compte dans le choix des paramètres du système de stockage. [12]

Le stockage de l'énergie est réalisé côté continu à l'aide d'un système de stockage capacitif, représenté par un condensateur (C_{dc}) jouant le rôle d'une source de tension continue. Le choix des paramètres du système de stockage (V_{dc-ref} et C_{dc}) a une influence directe sur la dynamique du FAP et sur ses performances de compensation. D'une part, une tension (V_{dc-ref}) élevée améliore la dynamique du FAP. D'autre part, les ondulations de la tension continue (V_{dc}), causées par les courants engendrés par le FAP et limitées par le choix de la valeur de (C_{dc}), peuvent dégrader la qualité de compensation du FAP. Une valeur élevée de (C_{dc}) réduit les ondulations de (V_{dc}) mais augmente le coût et la taille du FAP. [3]

Sachant que l'augmentation de la valeur de la tension continue améliore la marge de commandabilité du FAP et sachant que le choix de cette tension se répercute en grande partie sur le choix des interrupteurs, la tension continue (V_{dc}) doit être choisie la plus élevée possible tout en respectant les contraintes nominales des semi-conducteurs et la contrainte de commandabilité de l'onduleur. [1]

La première méthode se base sur le calcul de l'énergie fournie par le filtre actif pendant une demi-période de la pulsation de puissance liée aux deux premiers harmoniques (5 et 7 pour un pont redresseur de Graetz). En choisissant un taux d'ondulation acceptable (ε), généralement de l'ordre de 5% de (V_{dc}), nous pouvons calculer la capacité (C_{dc}) à partir de la relation suivante

$$C_{dc} = \frac{V_S \sqrt{I_7^2 + I_5^2 - 2I_5 I_7 \cos(5\alpha - 7\alpha)}}{2 \Delta V_{dc} \omega V_{dc}^{ref2}} \quad (I.21)$$

avec (V_S) la tension simple du réseau, (I_n) le courant harmonique du rang (h) et (α) l'angle d'allumage des thyristors du pont Graetz. [3]

La deuxième méthode, plus simple, se base sur la mesure du courant harmonique (I_n) du rang le plus faible. La capacité (C_{dc}) se calcule de la façon suivante [3].

$$C_{dc} = \frac{I_n}{V_{dc} \Delta V_{dc} \omega_n} \quad (I.22)$$

Avec (ω_h) la pulsation la plus faible des harmoniques à compenser.

I.8. Filtre de sortie

Le filtre de sortie est un filtre passif utilisé pour connecter l'onduleur de tension au réseau électrique. Le filtre de sortie est dimensionné afin de satisfaire à deux critères :

- assurer la dynamique en courant, définie par :

$$\frac{di_f}{dt} = \frac{di_{ref}}{dt} \quad (f)$$

- empêcher la propagation sur le réseau électrique des harmoniques générés par les commutations.

Un filtre de sortie du premier ordre est le plus souvent utilisé dans la littérature. Il est composé d'une inductance L_f comportant une résistance interne R_f . Une valeur relativement faible de L_f permet d'obtenir une bonne dynamique du FAP en satisfaisant l'égalité (f). Cependant, une faible valeur de L_f permet à la majorité des harmoniques, induits par les commutations, de passer du côté réseau et d'affecter ainsi les installations et les équipements électriques. Inversement, une valeur relativement élevée de L_f empêche ces harmoniques de se propager sur le réseau électrique mais nécessite une tension vdc plus élevée afin de garantir les performances du filtre actif. Pour limiter la propagation de ces harmoniques, un filtre passif auxiliaire peut être ajouté à la sortie de l'onduleur ou en amont (côté réseau) pour absorber ces harmoniques liés au découpage [1].

I.9. Etude de partie commande

I.9.1. Identification des courants harmoniques

La qualité de la compensation des harmoniques de courant dépend fortement des performances de la méthode d'identification choisie. En effet, un système de commande, même très efficace, ne pourra pas à lui seul effectuer un filtrage satisfaisant si les courants harmoniques sont mal identifiés. Pour cette raison, de nombreuses méthodes d'identification ont été développées dans la littérature. Elles peuvent être regroupées selon deux approches

fréquentiel et temporel, donc ce travail utilise la méthode des puissances active et réactive instantanées .

- **Méthode des puissances active et réactive instantanées**

En présence des harmoniques, la puissance apparente est composée de trois parties : active (**P**), réactive (**Q**) et déformante (**D**) comme le montre la relation (I.23).[14]

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (\text{I.23})$$

Cette méthode exploite la transformation α - β pour obtenir les puissances réelles et imaginaires. Notons par (V_α, V_β) et (I_α, I_β) les composantes orthogonales du repère α - β associées respectivement aux tensions de raccordement du filtre actif parallèle (V_s) et aux courants absorbés par les charges polluantes (I_s). La transformation α - β -0 triphasée permet d'écrire la relation des tensions suivante [14].

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a1} \\ V_{b2} \\ V_{c3} \end{bmatrix} \quad (\text{I.24})$$

Et la relation des courants ci-dessous

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{b2} \\ i_{c3} \end{bmatrix} \quad (\text{I.25})$$

Les composantes avec l'indice (0) représentent les séquences homopolaires du système triphasé du courant et de tension. La puissance active instantanée, notée $P(t)$, est définie par la relation suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} P(t) = V_{a1} I_{a1} + V_{b2} I_{b2} + V_{c3} I_{c3} = P(t) + P_0(t) \\ P(t) = V_\alpha I_\alpha + V_\beta I_\beta \\ P_0(t) = V_0 I_0 \end{array} \right. \quad (\text{I.26})$$

$P(t)$: la puissance réelle instantanée.

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

L'avantage de la transformation α - β -0 est la séparation des séquences homopolaires du système triphasé de courant ou de tension. De la même manière, la puissance imaginaire instantanée peut s'écrire sous la forme suivant :

$$q(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} [(V_{a1}-V_{b2})I_{c3} + (V_{b2}-V_{c3})I_{a1} + (V_{c3}-V_{a1})I_{b2}] = V_\alpha I_\beta - V_\beta I_\alpha \quad (I.27)$$

La puissance q a une signification plus large que la puissance réactive habituelle. En effet, contrairement à la puissance réactive, qui ne considère que la fréquence fondamentale, la puissance imaginaire prend en compte toutes les composantes harmoniques de courant et de tension. C'est pourquoi on lui donne une autre dénomination (puissance imaginaire) avec comme unité le voltampère imaginaire (VAI).

A partir des relations (I.26) et (I.27), nous pouvons établir la relation matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} P \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (I.28)$$

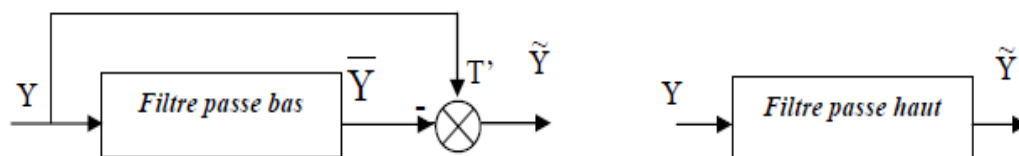
Dans le cas général, chacune des puissances p et q comporte une partie continue et une partie alternative, ce qui nous permet d'écrire l'expression ci-dessous : [3]

$$\begin{cases} p = \bar{p} + \tilde{p} \\ q = \bar{q} + \tilde{q} \end{cases} \quad (I.29)$$

- \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} et \tilde{q} des puissances alternatives liées à la somme des composantes perturbatrices du courant et de la tension. [3]

• **Séparation des puissances perturbatrices**

Après avoir identifié les pulsations des puissances instantanées, le filtre de puissance chargé d'isoler les puissances active et réactive conventionnelles peut être dimensionné. Pour avoir la composante alternative, on utilise un filtre passe haut. [14]



Figure(I.9) :schéma représentant le principe de séparation (Y= p ou q)

• **Calcul des courants perturbateurs**

En inversant la relation (I.28), nous pouvons recalculer les courants dans le repère (α - β) comme le montre l'équation (I.30). [14]

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{s\alpha}^2 + V_{s\beta}^2} \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (I.30)$$

En considérant les équations (I.27) et (I.30), nous pouvons séparer le courant dans le repère (α - β) en trois composantes, active et réactive à la fréquence fondamentale et les harmoniques. Ceci conduit à [3]:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ 0 \end{bmatrix}}_{\text{Courant actif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix}}_{\text{courant réactif}} + \underbrace{\frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix}}_{\text{courants harmoniques}} \quad (I.31)$$

Avec $\Delta = V_\alpha^2 + V_\beta^2$, supposé constant dans l'hypothèse d'une tension sinusoïdale équilibrée du réseau électrique.

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

On appliquant la transformation inverse de Concordia on trouve les courants produits par charge non linéaire comme suit : [14]

$$\begin{bmatrix} i_{1h} \\ i_{2h} \\ i_{3h} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} i_{\alpha h} \\ i_{\beta h} \end{bmatrix} \quad (I.32)$$

On trouve la relation globale des courants harmoniques :

$$\begin{bmatrix} i_{1h} \\ i_{2h} \\ i_{3h} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{1}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (I.33)$$

• **Algorithme d'identification**

Le schéma de la figure (I.10) illustre les différentes étapes permettant l'obtention des composantes harmoniques du courant d'une charge non linéaire [2].

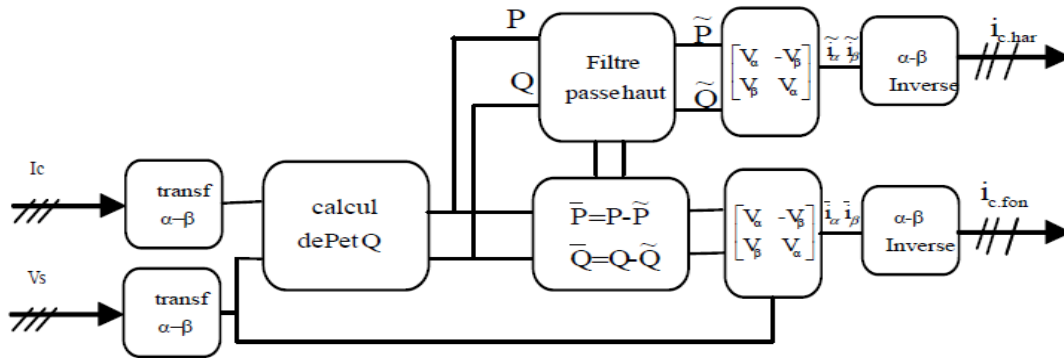


Figure (I.10) : algorithme d'identification des harmoniques.

I.9.2. Commande de l'onduleur

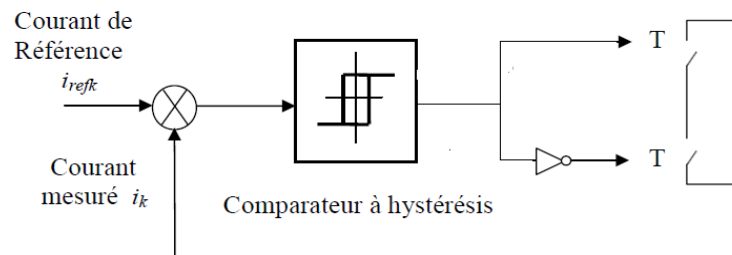
Pour maintenir le courant à la sortie du filtre actif autour de sa référence calculée par les trois techniques de commande peuvent être utilisées :

- la commande par hystérésis.
- La commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI).
- La commande par MLI vectorielle

L'objectif de la commande, que ce soit à MLI, MLI vectorielle ou par hystérésis, est de générer les ordres d'ouverture/fermeture des interrupteurs de manière à ce que le courant du filtre actif soit le plus proche de sa référence [14].

I.9.2.1. Commande des courants par hystérésis

Cette commande est très adaptée pour les organes ayant une action à deux positions comme c'est le cas ici, l'IGBT peut être soit ouvert ou bloqué, cette commande consiste à changer la polarisation de la tension de sortie de l'onduleur de telle sorte à maintenir le courant dans une bande centrée autour de la référence, la dimension de ce filtre se résume à fixer la largeur de cette bande. Une règle pratique consiste à la prendre à 5% du courant nominal. Cependant elle ne garantit pas d'une manière systématique le respect de la fréquence de commutation maximale des semi-conducteurs [14].



Figure(I.11) : Principe de la commande des courants par hystérésis

Malgré sa simplicité de mise en œuvre, sa robustesse et sa bonne dynamique, cette commande présente certains inconvénients à savoir :

- La fréquence de commutation est variable.
- La somme des trois courants n'est pas forcément nulle, ce qui crée un déséquilibre des courants qui dépend de la bande d'hystérésis [14].

I.9.2.2. Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Afin de contourner les problèmes précédents, nous introduirons une deuxième famille de commande de l'onduleur: la commande par modulation de largeur impulsion (MLI). La technique de commande par MLI résout le problème de la maîtrise de la fréquence de commutation en fonctionnant avec une fréquence fixe facile à filtrer en aval de l'onduleur. La plus simple et la plus connue des modulations de largeur d'impulsion est sans doute la MLI à échantillonnage naturel, dite MLI intersective. Cette technique de commande met en œuvre d'abord un régulateur qui détermine la tension de référence de l'onduleur (modulatrice) à partir de l'écart entre le courant mesuré et sa référence. Cette dernière est ensuite comparée avec un signal triangulaire (porteuse à fréquence élevée fixant la fréquence de commutation). La sortie du comparateur fournit l'ordre de commande des interrupteurs. Le schéma de principe est donné par la Figure (I.4) . [14]

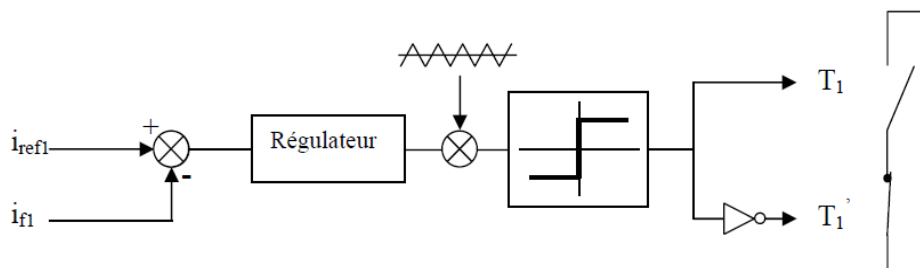


Figure (I.12) : Principe de commande des courants par MLI

Les signaux logiques C qui en résultent donnent l'ordre de commutation des interrupteurs du filtre (Figure I.12)

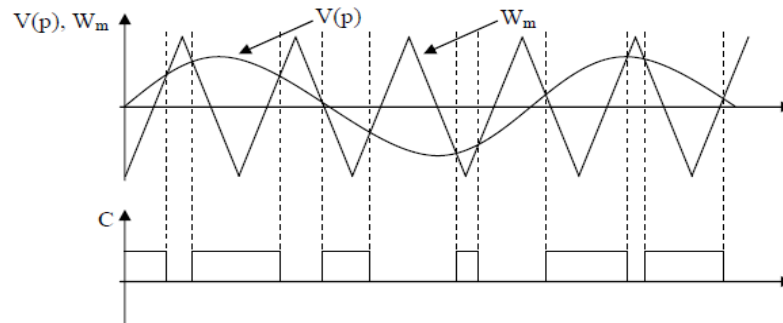


Figure (I.12): Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur

I.9.2.3. Commande par MLI vectorielle

La méthode MLI vectorielle est largement utilisée dans la commande des onduleurs, elle peut augmenter la valeur maximale de la tension de sortie de l'onduleur avec un taux de distorsion harmonique réduit par rapport à ceux obtenus par la méthode MLI sinusoïdale. Il y a plusieurs algorithmes utilisant la MLI vectorielle pour commander l'onduleur ou le redresseur. Le but de toutes les stratégies de modulation est de réduire les pertes de commutation et les harmoniques, et d'assurer une commande précise [14].

- Principe

Les tensions de référence sont la tension simple désirée. Cette technique de MLI suit les principes suivants :

- le signal de référence est échantillonné à intervalles réguliers T .
- pour chaque phase, réalisation d'une impulsion de largeur T centrée sur la période dont la valeur moyenne est égale à la valeur de la tension de référence à l'instant d'échantillonnage.
- tous les interrupteurs d'un même demi-point ont un état identique au centre et aux deux extrémités de la période (pour une MLI discontinue, l'état d'un des interrupteurs de chaque demi-point reste constant ce qui diminue les pertes de commutation mais augmente les harmoniques)[14].

I.10.Conclusion

Dans ce chapitre, on a évoqué essentiellement la structure générale d'un FAP triphasé permettant de compenser les harmoniques de courant d'un réseau électrique triphasé à trois fils. Les défauts qui peuvent survenir, qu'ils proviennent de la commande rapprochée du convertisseur (par exemple, défauts d'un des drivers), d'un des capteurs ou d'un des composants de puissance commandables (de type IGBT par exemple), conduisent à la perte de contrôle totale ou partielle de courant. Ceux-ci peuvent provoquer le dysfonctionnement du système, voire l'interruption complète de son fonctionnement. En outre, si le défaut n'est pas rapidement détecté et compensé, il peut dans certains cas mettre gravement en danger le fonctionnement du système. Par conséquent, afin d'empêcher la propagation du défaut aux autres composants et assurer la continuité de service en toute circonstance en présence d'un tel défaut, des méthodes efficaces et rapides de détection et de compensation du défaut doivent être adoptées. Les objectifs du chapitre suivant à présenter les méthodes de surveillance

**Chapitre II. Etat de l'art des méthodes de diagnostic des
convertisseurs de puissance**

II.1. Introduction

Au cours de ces dernières années, l'évolution des études dans le domaine des systèmes industriels permet de présenter des systèmes de plus en plus performants. Malgré toute cette évolution, nul système n'est à l'abri d'une défaillance. Pour cela on porte aujourd'hui un grand effort sur la surveillance et le diagnostic des systèmes industriels. Discipline complexe ou considérée comme un art pour certain, le diagnostic est un des facteurs contribuant à la disponibilité de l'outil de production. Il a pour principe la détection rapide ou précoce d'une défaillance des matériels des systèmes industriels. Le diagnostic réalisé par les opérateurs dans les salles de commande consiste principalement à localiser les matériels défaillants qui sont responsables de la perte des fonctions nécessaires au fonctionnement de leurs installations. Le diagnostic dans ce cas a pour objet de rechercher les défaillances qui sont par nature fortuite et qui devront ultérieurement faire l'objet d'une maintenance corrective. Par contre, le diagnostic réalisé dans le cadre de la maintenance préventive s'intéresse principalement à diagnostiquer l'état de dégradation des matériels pour prévenir une défaillance. Ces raisons expliquent la grande diversité des méthodes de diagnostic industriel. Le problème du diagnostic industriel se ramenant par définition au problème inverse entre les causes et les effets. Une connaissance intime des différents phénomènes régissant les matériels des systèmes industriels est absolument indispensable pour entreprendre le diagnostic d'une défaillance.

Dans ce chapitre on va présenter quelques généralités sur la détection et localisation de défaut avec leur Classification des méthodes de surveillance.

II.2. concepts d'un système du diagnostic

Le diagnostic signifie simplement la détermination des composants défaillants au sein d'un système physique. Le principe général du diagnostic consiste à vérifier la cohérence entre un comportement observé et un comportement attendu. Le diagnostic d'un système est effectué à travers la détection, la localisation et l'identification des défauts.

La détection de défauts consiste à signaler la présence d'un défaut, c'est-à-dire déterminé si l'état courant du système et de ses éléments est normal ou non, en signalant toute déviation par rapport au fonctionnement attendu. Cette tâche est ensuite complétée par celle de la localisation qui doit indiquer quel organe ou quel composant est affecté par le défaut. Enfin, la tâche d'identification a pour objet de caractériser le défaut en durée et en amplitude afin d'en déduire sa sévérité.

Le diagnostic constitue donc une étape d'une procédure plus complète que nous désignons sous le nom de surveillance. La surveillance nécessite la mise en œuvre de nombreuses tâches décrites selon

l'organigramme représenté par la figure (II.1).[11]

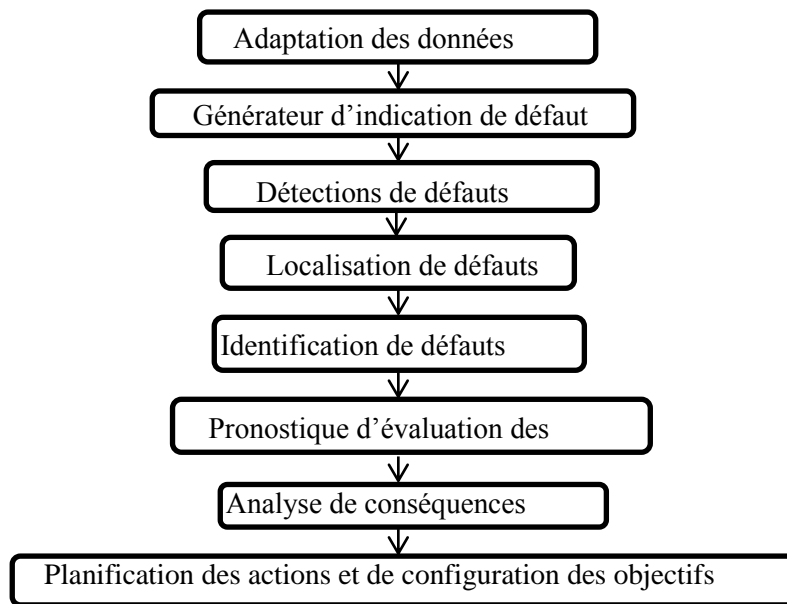


Figure (II.1) : Modules d'une procédure de diagnostic.

Du point de vue de la détection et de l'isolation des fautes et de la tolérance aux fautes deux types d'informations doivent être proposées à l'opérateur de supervision. Le premier concerne la détection et l'isolation de défauts survenus sur l'installation, et le deuxième indique les moyens de continuer à conduire le processus. Le diagnostic a pleinement conquis sa place surtout pour les processus en électrotechnique. [11]

II.3.Généralité sur la détection et localisation de défaut

Le principe de détection de défauts par redondance à l'aide de modèles demande

- de posséder à priori la connaissance du procédé et d'établir son modèle,
- de construire la structure liant le procédé au modèle,
- de faire fonctionner le modèle en même temps que le procédé à surveiller,
- d'effectuer la comparaison du procédé et de son modèle comportemental. [8]

- **Détection**

Les éléments nécessaires à la détection de défauts sur un système réel sont :

- Le modèle de représentation du procédé réel,
- La fonction de comparaison du procédé réel par rapport à son modèle.[8]
- La fonction de détection de défaut qui analyse les quantités de comparaison fournies précédemment. Le schéma fonctionnel général de la détection de défauts avec utilisation de modèles est alors donné sur la figure (II.2).

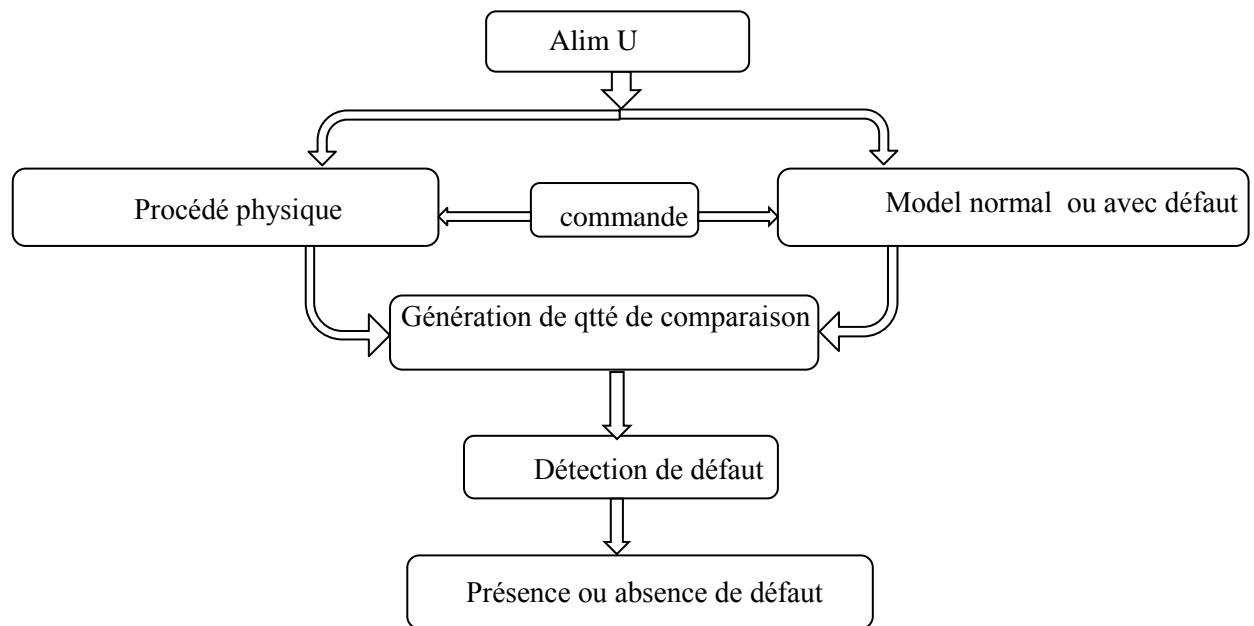


Figure (II.2): Disposition des éléments nécessaires à la détection de défauts.

- **Localisation**

Il est plus difficile de dégager une méthode systématique pour la fonction de localisation de Défauts, chaque cas particulier est à prendre en considération. Néanmoins les méthodes courantes pour accéder à la localisation du défaut sont :

- L'analyse des conditions d'apparition du défaut,
- L'utilisation d'un modèle comportant le défaut supposé à la place d'un modèle de comportement normal. [8]

II.4.Classification du défaut

L'opération de classification des défauts est la plus intéressante car c'est celle qui pose généralement des problèmes dans le milieu industriel. La classification du défaut réfère à la capacité de localiser précisément la source de la variation de comportement du procédé. Lorsque cette opération n'est pas effectuée correctement, il est possible que le problème soit pallié en introduisant un défaut à un autre endroit sur le procédé dont l'effet masque la présence du défaut initial. À la base, toute classification de défaut est le fruit de l'analyse de l'information sur les variations des variables. La méthode la plus simple consiste traiter séparément l'information provenant des variables. Cette méthode est efficace lorsqu'un petit nombre de défauts peut survenir sur le système et que la possibilité qu'elles apparaissent en même temps est faible. [11]

Afin d'améliorer les chances de classifier un défaut de manière exacte et automatique dans un système complexe pouvant comporter de multiples défauts, il est possible d'utiliser l'analyse

statistique multi variable. En plus de la localisation , ces méthodes permettent d'avoir une idée de l'amplitude du défaut

ce qui est un indicateur de l'urgence de remédier à la situation. Cette technique permet de tirer un maximum d'information sur la covariance des variables en fonction des défauts présents sur le procédé. [10]

Les défauts sont classés selon leur origine en :

- **Défauts capteurs:** Ils se caractérisent par un écart entre la valeur réelle de la grandeur et sa mesure. On classe ces défauts en fonction de leur type en: biais, dérive, modification du gain de mesure, valeurs aberrantes, blocage du capteur à une valeur atteinte ou à une coupure électrique du capteur.
- **Défauts d'actionneurs :** Ils se traduisent par une incohérence entre les commandes et la sortie.
- **Défauts du processus physique :** Ces défaillances sont dues à des modifications de la structure ou des paramètres du modèle.
- **Défauts du système** (ou de l'algorithme de commande) : Ils se caractérisent par un écart entre la valeur réelle de la sortie du contrôleur (selon l'algorithme implémenté) et sa mesure.
- **Une défaillance :** C'est une modification suffisante et permanente des caractéristiques physiques d'un composant pour qu'une fonction requise ne puisse plus être assurée dans les conditions fixées.
- **Une panne :** C'est une interruption permanente de la capacité du système à réaliser sa fonction requise.
- **Une erreur :** Elle est définie comme l'écart entre une valeur mesurée ou estimée d'une variable et la vraie valeur spécifiée par un capteur étalon ou jugée (par un modèle) théoriquement correct.
- **Les symptômes :** Ils sont les traductions d'un changement d'un comportement d'une variable détectée par comparaison à des valeurs de référence.
- **Les contraintes :** Elles sont les limitations imposées par la nature (lois physiques) ou l'opérateur.
- **Un résidu** (indicateur de faute) : Il exprime l'incohérence entre les informations disponibles et les informations théoriques fournies par un modèle. [11]

II.5. Méthodes de surveillance

Il existe plusieurs différentes méthodes utilisées pour le diagnostic des systèmes physiques. Le domaine était très vaste, des choix arbitraires ont été faits. Le but n'est donc pas de faire une synthèse exhaustive de l'existant, mais de montrer la richesse des possibilités qui s'offrent au concepteur de système de diagnostic. Les deux principaux critères de classification des méthodes de surveillance sont le type de connaissance utilisé, et la stratégie de diagnostic. Même s'il faut le souligner, la méthode de diagnostic utilisée dépend fortement du type de modèle, le type de la connaissance a priori sur le système reste le critère principal de classification des méthodes de surveillance.

Les méthodes de surveillance sont principalement basées sur deux approches : les méthodes utilisant des modèles opératoires et celles utilisant des modèles de diagnostic. On les classe souvent en méthodes avec ou sans modèle. On considère toutefois que l'approche dite sans modèle utilise quand même un, même si celui-ci repose sur des descripteurs qui caractérisent le fonctionnement du

système observé dans différents modes de fonctionnement (normal, défaillant). L'approche avec modèle, que nous développons surtout par la suite, utilise un modèle opératoire. Bien que la connaissance exprimée par ces modèles puisse se représenter sous des formes très variées, la méthodologie de surveillance est identique, elle utilise l'idée de la redondance qui existe entre la connaissance exprimée par le modèle et celle que portent les données qu'il produit. [11]

II.5.1. Les approches de la surveillance sans modèle analytique

Dans ces approches, on analyse des données fournies par le système qui permettent de décider de son état. Les méthodes utilisées font alors appel à des procédures d'apprentissage et de reconnaissance de formes ou à l'intelligence artificielle. Contrairement aux techniques utilisées en automatique classique où l'on traite les problèmes numériquement en utilisant surtout les propriétés des équations différentielles. Les problèmes sont alors combinatoires et l'on utilise la logique; on cherche à représenter les connaissances de sens commun, à modéliser la façon dont un individu raisonne. En effet, dans le contexte de la supervision, les données traitées sont très variées (qualitative, logique, analogique, ...) et imprécises (bruit de mesure), ce qui introduit des doutes dans la validité des modèles numériques utilisés dans les techniques à base de modèle. L'approche par reconnaissance de formes des problèmes de surveillance des systèmes se base sur la connaissance d'un ensemble de mesures effectuées sur le processus et des états de fonctionnement associés. Ces techniques supposent la connaissance a priori de tous les états de fonctionnement, et ne prennent pas en compte l'évolution du système. [11]

II.5.1.1. Analyse fréquentielle (Filtrage)

C'est une première approche du traitement du signal, elle repose sur l'analyse fréquentielle (transformée de Fourier). Elle est bien évidemment très utilisée pour la détection de phénomènes périodiques comme en analyse vibratoire. Le contenu spectral des signaux est utilisé pour détecter des défauts dans les machines électriques. Avec le développement des applications à vitesse variable, les recherches actuelles portent plus particulièrement sur les méthodes adaptées à la caractérisation de signaux non stationnaires : temps-fréquence, temps échelle. L'analyse du spectre des signaux issus des capteurs permet de déterminer très efficacement l'état de l'installation sous surveillance. Les signaux sont tout d'abord analysés en état normal de fonctionnement. Ensuite, toute déviation des caractéristiques fréquentielles d'un signal est reliée à une situation de fonctionnement défaillant. Cette approche possède l'avantage d'être relativement simple à mettre en pratique, mais l'inconvénient d'être assez sensible aux bruits de mesure quand ceux-ci coïncident avec la zone fréquentielle d'intérêt. De plus un échantillonnage fréquent est nécessaire pour permettre de reconstituer le signal de départ tout en minimisant la perte de fréquence. [11]

II.5.1.2.Redondance matérielle

Cette méthode consiste à multiplier physiquement les capteurs critiques d'une installation. Un traitement des signaux issus des éléments redondants effectue des comparaisons et distingue l'élément défectueux en cas d'incohérence. Cette méthode est pénalisante en termes de poids, puissance consommée, volume et coût. Elle est donc essentiellement réservée aux cas où la continuité de service est obligatoire (le nucléaire). En effet, elle apporte l'avantage, une fois la défaillance détectée et localisée, de pouvoir utiliser la partie de l'équipement encore saine mais cette technique ne s'applique généralement que sur des capteurs. [11]

II.5.1.3.Capteurs spécifiques (capteurs détecteurs)

Des capteurs spécifiques peuvent également être utilisés pour générer directement des signaux de détection ou connaître l'état d'un composant. Par exemple, les capteurs d'état de fonctionnement d'un moteur ou de dépassement de seuils sont largement employés dans les installations industrielles. [11]

II.5.1.4.Réseaux de neurones artificiels (RNA)

Quand la connaissance sur le procédé à surveiller n'est pas suffisante et que le développement d'un modèle de connaissance du procédé est impossible, l'utilisation de modèle. dit (boîte noire) peut être envisagée. Un RNA est en fait un système informatique constitué d'un nombre de processeurs élémentaires (ou nœuds) interconnectés entre eux qui traite l'information qui lui arrive à partir des signaux extérieurs. En général, l'utilisation des RNA se fait en deux phases. Tout d'abord, la synthèse du réseau est réalisée et comprend plusieurs étapes : le choix du type de réseau, du type de neurones, du nombre de couches, des méthodes d'apprentissage qui permet alors, sur la base de l'optimisation d'un critère, de reproduire le comportement du système à modéliser. Il consiste en la recherche d'un jeu de paramètres et peut s'effectuer de deux manières : supervisée (le réseau utilise les données d'entrée et de sortie du système à modéliser) et non supervisée (seules les données d'entrée du système sont fournies et l'apprentissage s'effectue par comparaison entre exemples) quand les résultats d'apprentissage obtenus par le **RNA** sont satisfaisants, il peut être utilisé pour la généralisation. [11]

II.5.1.5.Systèmes d'Inférence Flous

Les applications dans le traitement du signal, la modélisation, la commande, la supervision de procédés et la prise de décision sont en effet autant d'applications qui démontrent la capacité des SIF à traiter des problèmes non linéaires grâce à l'utilisation de connaissances expertes. La structure de base d'un SIF est constituée de :

- Un univers de discours qui contient les fonctions d'appartenance des variables d'entrée/sortie à Des classes. Ces fonctions peuvent avoir différentes formes (triangulaires, gaussiennes, ...).

- Une base de connaissance qui regroupe les règles liant les variables d'entrées et de sorties sous la forme (Si...Alors).
- Un mécanisme de raisonnement qui base son fonctionnement sur la logique du modus ponens Généralisé.

Les SIF peuvent être qualifiées de méthode (boîte noire). En effet, ils explicitent la connaissance experte sous la forme de règles d'inférence, tout en classant les entrées et les sorties de façon qualitative. Ils effectuent également des calculs sur la base de poids et de fonctions fixées de façon à faire correspondre des comportements observés sans qu'il y ait de signification physique explicite. Le mode de fonctionnement d'un SIF permet donc de manier indistinctement des quantités et des symboles, de les manipuler pour faire des calculs et d'expliquer le cheminement parcouru pour obtenir un résultat. D'autre part, les tâches de diagnostic reposent sur des quantités d'heuristiques difficiles à formaliser dans un modèle mathématique. [11]

II.5.2. Les approches de la surveillance à base de modèle analytique

L'opération d'identification est souvent omise ou reléguée aux opérateurs, car elle s'avère alors subsidiaire par rapport aux difficultés qu'elle peut induire. Une procédure de détection et localisation de défauts à base de modèles analytiques peut être décomposée en deux étapes principales désignées sous le nom de 'génération des résidus et prise de décision', selon la représentation de la Figure (II.3)

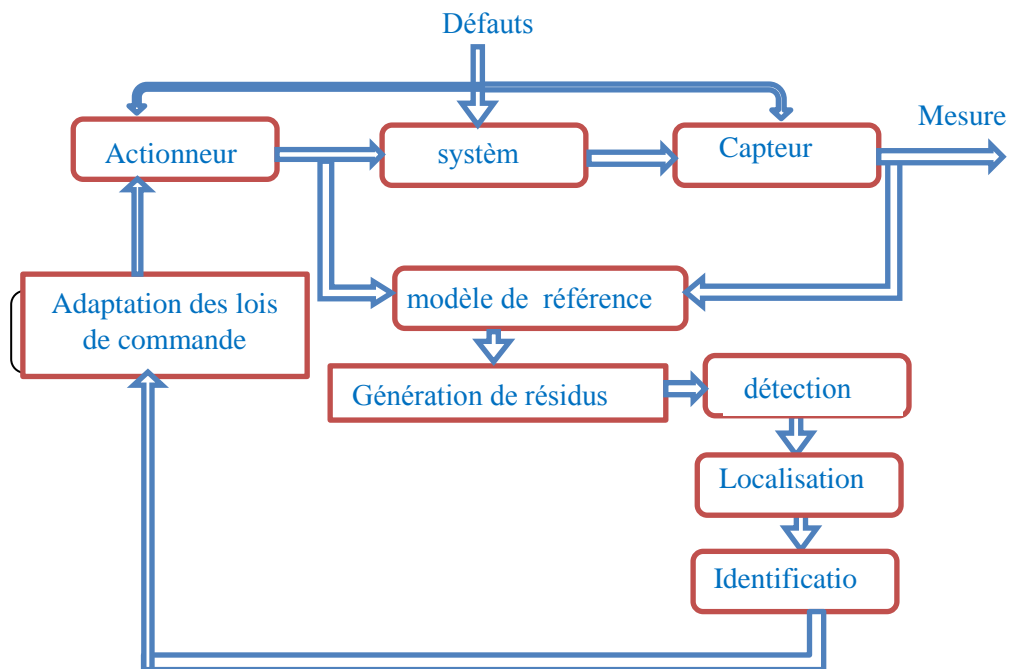


Figure (II.3) : Etape du diagnostic à base du modèle analytique.

La première phase concerne la génération de résidus, grandeurs sensibles aux défauts. Elle correspond principalement à la phase de perception et vise à la mise en évidence d'événements qui affectent l'évolution du système et qui traduisent un changement de situation sans préjuger du fait

qu'ils soient normaux ou non. Un résidu est une grandeur obtenue explicitement à partir des mesures issues des capteurs et des signaux de commande du système, soit directement (espace de parité), soit indirectement par l'intermédiaire d'estimées (observateurs d'état, estimation paramétrique). L'expression qui permet le calcul d'un résidu en fonction de mesures est appelée forme de calcul ou forme externe. En fonctionnement normal, un résidu doit être idéalement nul, c'est-à-dire indépendant du point de fonctionnement courant. En pratique, il est différent de zéro car il dépend implicitement des perturbations liées à l'environnement, des erreurs de modélisation et bien sûr des défauts. La relation liant le résidu à ces différentes grandeurs est appelée forme d'évaluation ou forme interne. La distinction entre formes de calcul et d'évaluation résulte simplement de la séparation de l'expression analytique d'un résidu en deux parties, l'une parfaitement connue et facile à calculer numériquement, l'autre dépendant des incertitudes modélisant les diverses perturbations agissant sur le système et des défauts à diagnostiquer Figure (II.4) La seconde étape d'un module de diagnostic à base de modèle analytique est appelée prise de décision qui regroupe :

- tout particulièrement, les procédures de détection et de localisation qui concernent l'analyse des comportements pour distinguer ceux qui sont anormaux et la détermination précise du composant incriminé.
- puis, dans une moindre mesure, la procédure d'identification qui consiste à déterminer l'instant d'apparition du défaut, à le quantifier en estimant sa durée et son amplitude, ainsi qu'à en comprendre l'origine. [11]

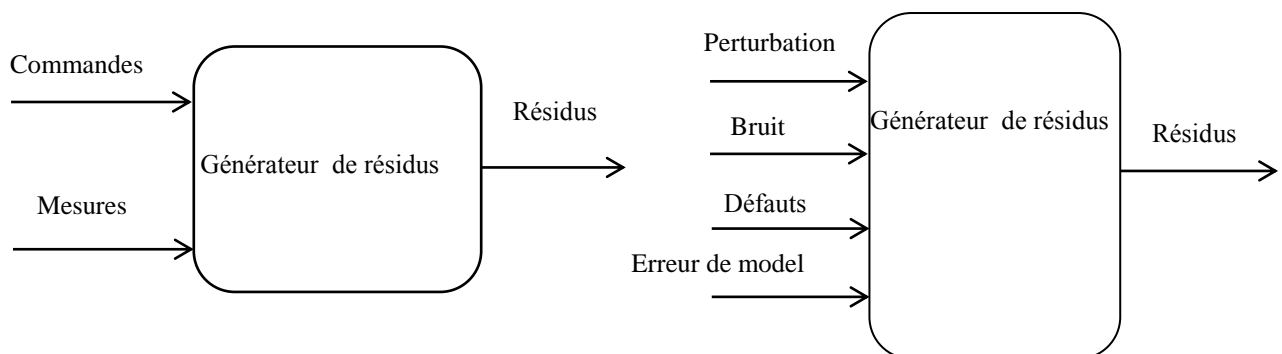


Figure (II.4): Forme de calcul et d'évaluation des résidus.

La présence de plusieurs défauts simultanés dans un ensemble de données rend cette étape plus difficile, car un résidu peut être sensible à plusieurs défauts, ce qui peut entraîner une confusion sur la localisation de ces défauts. Une façon d'améliorer la décision concernant cette localisation consiste à générer des résidus qui ne sont sensibles qu'à un sous-ensemble particulier de défauts, d'où le nom (résidus structurés). Les sous-ensembles de défauts permettent de structurer une table de signature appelée également matrice d'incidence ou matrice de signatures théoriques de défauts (cette matrice est construite en se basant sur l'hypothèse que si un résidu dépasse un seuil donné, la valeur booléenne "1" sera associée à ce résidu mais si le résidu ne dépasse pas le seuil, on lui associera la valeur booléenne "0"). Ces signatures traduisent l'influence des défauts sur les résidus.

Pour que tous les défauts puissent être détectés, aucune colonne de la matrice des signatures théoriques de défauts ne doit être nulle, et pour que tous les défauts puissent être localisés, toutes les signatures théoriques doivent être distinctes. Dans ce cas on utilise les redondances d'information et la connaissance fournie par le modèle pour caractériser le mode de fonctionnement ou l'état du système, puis décidé s'il est normal ou pas. La plupart comprennent trois étapes : dans la première, on calcule des résidus en utilisant la connaissance et les données réelles disponibles. Les résidus sont des variables indicatrices de défauts, dans le sens où leur valeur est nulle lorsque le système se comporte exactement comme son modèle idéal en fonctionnement normal (pas de bruit, pas d'erreur de modélisation, pas d'entrée inconnue, pas d'erreur paramétrique, ...). Ce cas idéal ne se produisant jamais, les résidus diffèrent en général de zéro. Dans ce sens, la deuxième étape de la procédure consiste à séparer les cas dans lesquels la non nullité résulte des bruits, erreurs de modélisation, entrées inconnues, ... ; de ceux dans lesquels elle résulte de défaillances du système. Une troisième étape tente alors de localiser et de diagnostiquer les défaillances supputées. La plupart des méthodes de détection et de diagnostic en ligne s'appuient sur des mesures. Il existe des méthodes qui utilisent plus de connaissances que celles apportées par les seuls capteurs physiques. Ces connaissances peuvent en particulier provenir de la connaissance du comportement entrée /sortie d'un procédé ou des processus qui en gouverneraient l'évolution. Cette connaissance est généralement exprimée sous forme de modèles mathématiques. On peut distinguer deux types de méthodes pour le diagnostic à base de modèle analytique : l'estimation paramétrique et l'estimation d'état comme il est illustré dans la Figure (II.5): [11]

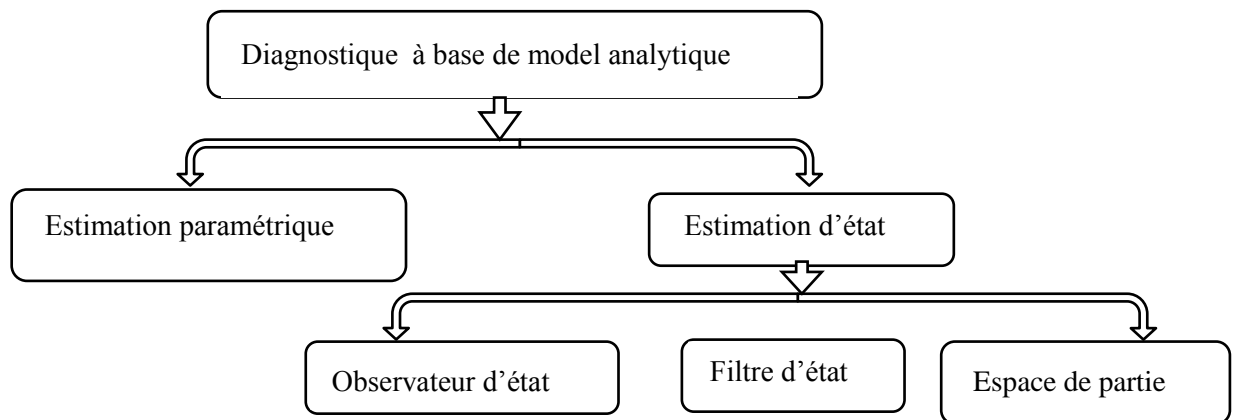


Figure (II.5): Méthodes utilisées en diagnostic à base de modèles analytiques.

II.6.Conclusion

Ce chapitre a particulièrement été dédié à exposées les étapes nécessaires à la mise en place d'un système d'aide au diagnostic (analyse de la problématique du diagnostic) ; une analyse critique faite sur les méthodes du diagnostic, il a été déduit que les méthodes externes du diagnostic des défaillances sont bien adaptées au système à étudier, car la modélisation physique de toutes les défaillances dans le système ne peut pas être réalisé.

Les tests de validation et de vérification de la détection et localisation de défaut par la approche de la surveillance sans modèle analytique qui basé sur le calcul de zéro composante harmonique (valeur, dc signifie offset) inclus dans les courants de filtre actif feront l'objet du chapitre suivant

**Chapitre III. Détection de défaut des convertisseurs triphasés
à structure tension à deux niveaux**

III.1. Introduction

Les convertisseurs statiques triphasés à structure tension sont les composantes essentielles de nombreux systèmes d'électronique de puissance telles que les variateurs de vitesse pour machines alternatives, les alimentations sans interruption et les filtres actifs. Concernant leur fonctionnement, sécurité, fiabilité, performances, qualité et continuité de service sont quelquesunes des préoccupations majeures. Les défauts qui peuvent survenir, qu'ils proviennent de la commande rapprochée du convertisseur (par exemple, défauts d'un des drivers), d'un des capteurs ou d'un des composants de puissance commandables (de type IGBT par exemple), conduisent à la perte de contrôle totale ou partielle de courant. Ceux-ci peuvent provoquer le dysfonctionnement du système, voire l'interruption complète de son fonctionnement. En outre, si le défaut n'est pas rapidement détecté et compensé, il peut dans certains cas mettre gravement en danger le fonctionnement du système . Par conséquent, afin d'empêcher la propagation du défaut aux autres composants et assurer la continuité de service en toute circonstance en présence d'un tel défaut, des méthodes efficaces et rapides de détection et de compensation du défaut doivent être adoptées .

III.2. Convertisseurs triphasés à structure tension tolérant les défauts de semi-conducteurs et de drivers

Récemment, le comportement des convertisseurs statiques lors du défaut d'un semi-conducteur de puissance ou d'un driver ainsi que les topologies dites "fault tolerant" associées ont fait l'objet de publications internationales. Dès 1994, Kasta et Bose ont présenté une étude systématique des conséquences des défauts d'un l'onduleur de tension alimentant une machine asynchrone . Cependant, ils n'ont pas proposé de méthode permettant de détecter ces défauts. Peugeot et al. ont présenté une méthode de détection de défaut basée sur le suivi de la trajectoire du vecteur courant de phase . En effet, en condition normale (sans défaut) la trajectoire de ce vecteur courant dans le repère ab est un cercle. Ce cercle devient un demi-cercle lors d'un défaut de type circuit-ouvert d'un bras, causé par une défaillance au niveau d'un interrupteur bloqué à l'état ouvert. La position de ce demi-cercle dans le repère ab identifie alors l'interrupteur défectueux. Mendes et Cardoso ont quant à eux proposé d'utiliser la valeur moyenne des courants de phase dans le repère de Park pour le diagnostic de défaut de type circuit-ouvert . Les méthodes proposées ci-dessus ont été appliquées au seul cas des machines électriques et nécessitent au moins une période du fondamental des courants de phase pour détecter le défaut.

Plus récemment encore, la réduction du temps nécessaire à la détection du défaut (délai entre l'apparition du défaut et sa détection) a fait l'objet de travaux de recherche. ont alors proposé d'utiliser des capteurs de tension supplémentaires pour la détection de défauts de types circuit-ouvert ou court-circuit et . Ils ont montré qu'à l'aide de la mesure des trois tensions entre chaque phase du convertisseur et le point milieu des 2 condensateurs de la source continue (appelées

conventionnellement "pole voltage" en anglais) et leurs comparaisons avec les tensions estimées, le défaut peut être alors détecté en un quart de période du fondamental des courants de phase. Yu et al. et aussi Shamsi-Nejhad et al. utilisent les tensions mesurées aux bornes des interrupteurs du bas de chaque bras pour détecter le défaut. Ils ont également montré qu'à partir de ces tensions mesurées et de leurs comparaisons avec un seuil, le défaut peut être détecté dans un quart de période du fondamental des courants de phase. Le tableau III-1 compare les méthodes citées auparavant en termes de limites d'application, de temps de détection et de nombre de capteurs supplémentaires nécessaires. [1]

III.3. Application de la méthode proposée au cas du FAP triphasé

Nous avons choisi comme cas particulier d'application le FAP pour valider la méthode de détection et de compensation de défaut au niveau d'un interrupteur, proposée dans ce manuscrit.

Nous avons ciblé cette application car elle est une des plus exigeantes en termes de temps de détection du défaut. Par ailleurs, cette détection est délicate à mettre en oeuvre dans ce cas et nécessite une attention particulière. En effet, la fréquence de commutation des interrupteurs doit être assez élevée (de 10 kHz à 20 kHz) dans les applications de type FAP, afin de générer efficacement les courants harmoniques à compenser. Par conséquent, cette application exige effectivement une détection de défaut des plus efficaces et des plus rapides. Puisque la méthode de détection proposée est indépendante de la topologie "fault tolerant" retenue, nous présentons dans cette section l'efficacité de la méthode proposée dans le cas de la topologie "fault tolerant" avec un bras redondant. Dans cette section, suite à la présentation de la topologie de FAP "fault tolerant" choisie, nous étudions par simulation les effets d'un défaut au niveau d'un des semi-conducteurs sur un FAP conventionnel n'intégrant pas la continuité de service (topologie non "fault tolerant") ainsi que sur la topologie de FAP "fault tolérant". Pour ces simulations, la partie puissance est modélisée à l'aide de l'outil logiciel Matlab/SimPowerSystems en mode continu et les parties contrôle et détection de défaut sont simulées à l'aide de l'outil logiciel Matlab/Simulink également en mode continu.

Principe de la méthode	Limite d'application	Temps de Détection	Nombre. de capteurs supplémentaires
Suivi de la trajectoire du vecteur courant de Phase	Machines Électriques	> 20 ms	-
Valeur moyenne des courants de phase dans le repère de Park	Machines Électriques	> 20 ms	-
Mesure des tensions "pole voltage" du Convertisseur	Machines Électriques	-	3
Mesure des tensions aux bornes des Interrupteurs	Machines Électriques	-	3

Tableau (III.1) Comparaison des méthodes de détection de défaut au niveau des semi-conducteurs de puissance (fréquence fondamentale de 50 Hz)

Dans la suite, nous proposons une nouvelle méthode rapide de détection du défaut d'un des semi-conducteurs ou des drivers d'un convertisseur triphasé à structure tension. Cette méthode permet de réduire considérablement le temps de détection. Nous montrerons qu'un défaut peut être détecté en moins de 10 μ s, en utilisant un algorithme basé simultanément sur un "critère temporel" et sur un "critère de tension". De ce fait, on peut d'une part détecter rapidement le défaut (rôle du critère de tension) et d'autre part éviter la détection erronée d'un défaut suite à la commutation d'un des semi-conducteurs (rôle du critère temporel). [1]

III.4.Méthode de diagnostic de défauts :

Cette section présente les résultats de simulation obtenus avec Matlab pour la détection de défaut proposée par la méthode qui basé sur le calcul de zéro composante harmonique (valeur moyenne, dc signifie offset) inclus dans les courants de filtre actif. Les paramètres généraux de simulation donnée par les valeurs suivants:

- paramètres de source :

$$e(t)=220V, R_{CC} = 3.11e-6 \text{ Ohm}, L_{cc} = 0.1236e-6 \text{ H}, f= 50 \text{ Hz};$$

- paramètres de la charge non linéaire : $R = 13.13 \text{ Ohm}, L = 0.1 \text{ H},$

- paramètres de filtre actif:

$$, L_f = 4 \text{ mH}, R = 2 \text{ Ohm courants régulateurs bande d'hystérésis} = + / - 1 \text{ A}.$$

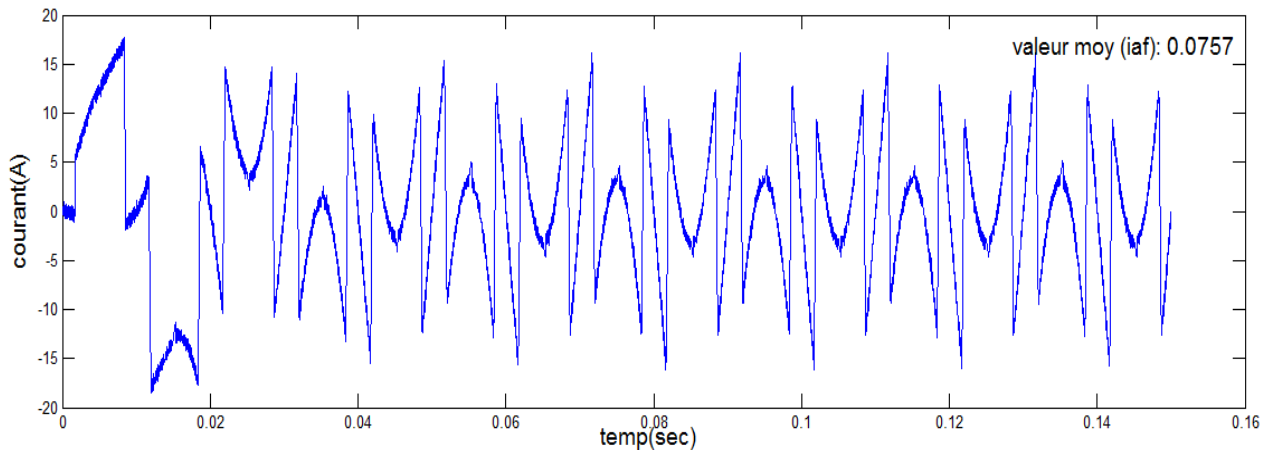
Les caractéristiques des différents types de défauts par l'algorithme de détection de défaut de l'interrupteur est ouvert représente dans le Tableau 1.

Appareil de défaut	Polarisation du courant		
	Phase1	Phase2	Phase3
TR1	Négative	Positive	Positive
TR2	Positive	Négative	Positive
TR3	Positive	Positive	Negative
TR4	Positive	Negative	Negative
TR5	Negative	Positive	Negative
TR6	Negative	Negative	Positive

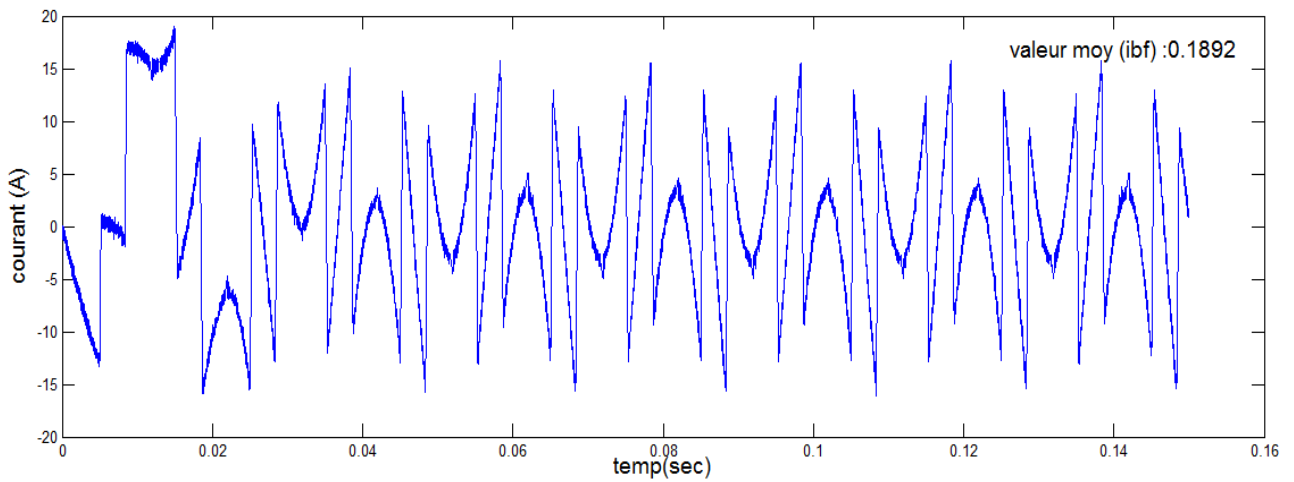
Tableau (III.2) : Caractéristiques des différents types de défauts

III.5. Tests de validation

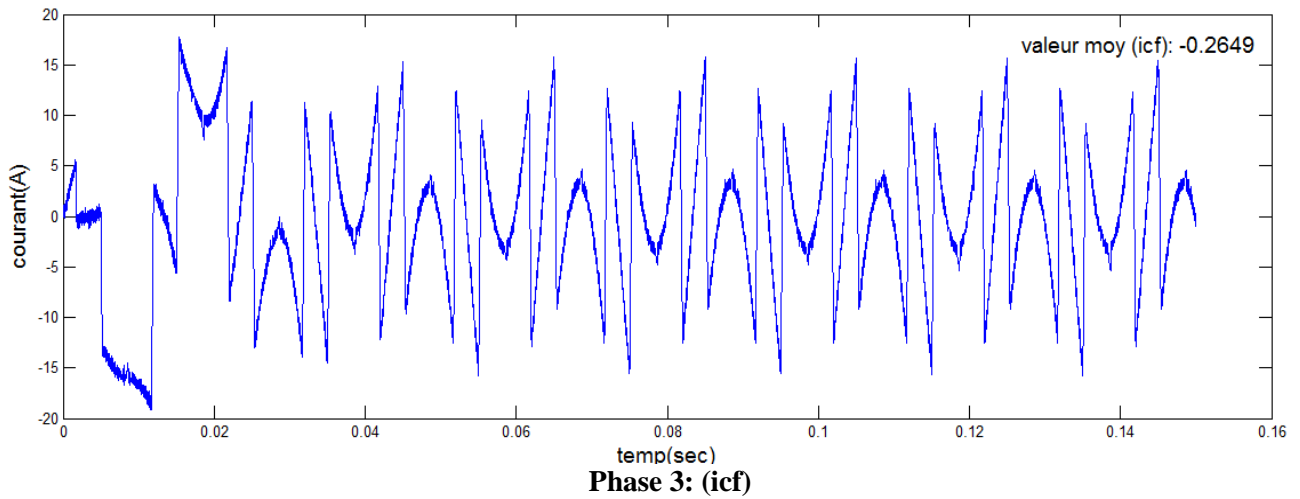
III.5.1. Les courants après le filtrage sans défaut :



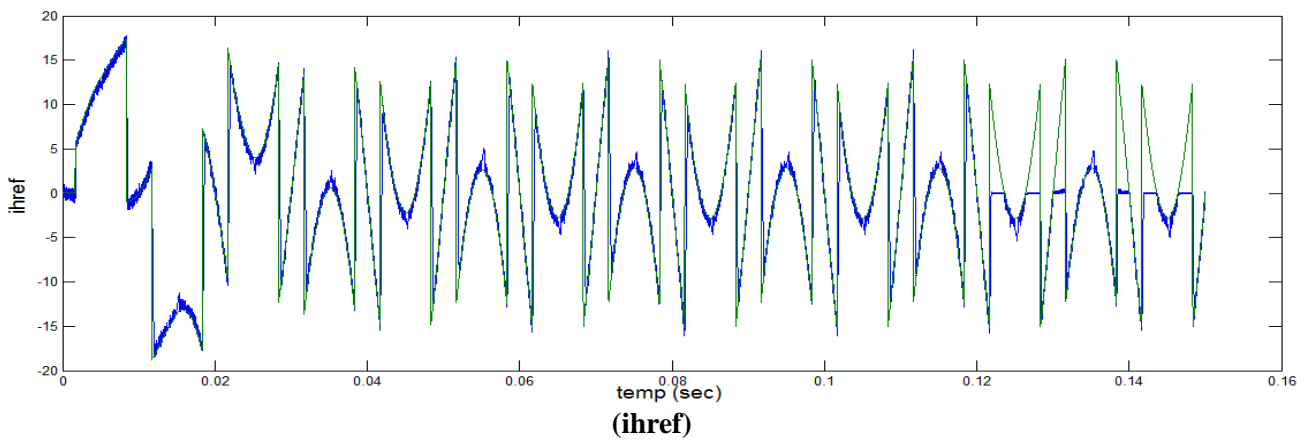
Phase 1 : (iaf)



Phase 2 : (ibf)

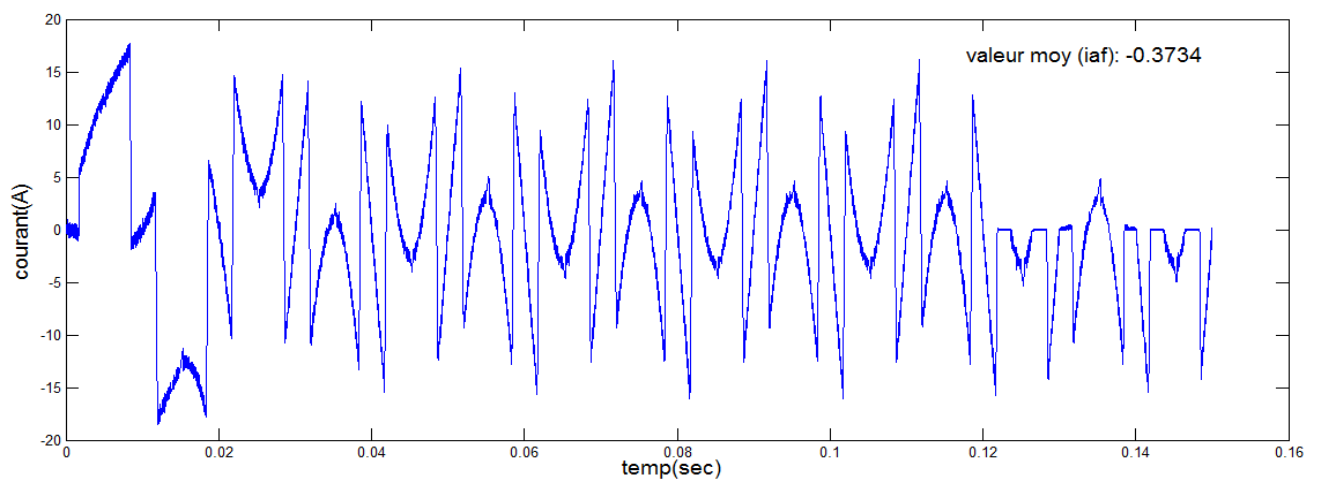


Figure(III.1) :les Courants (iaf, ibf ,icf) harmoniques identifiés valeurs instantané

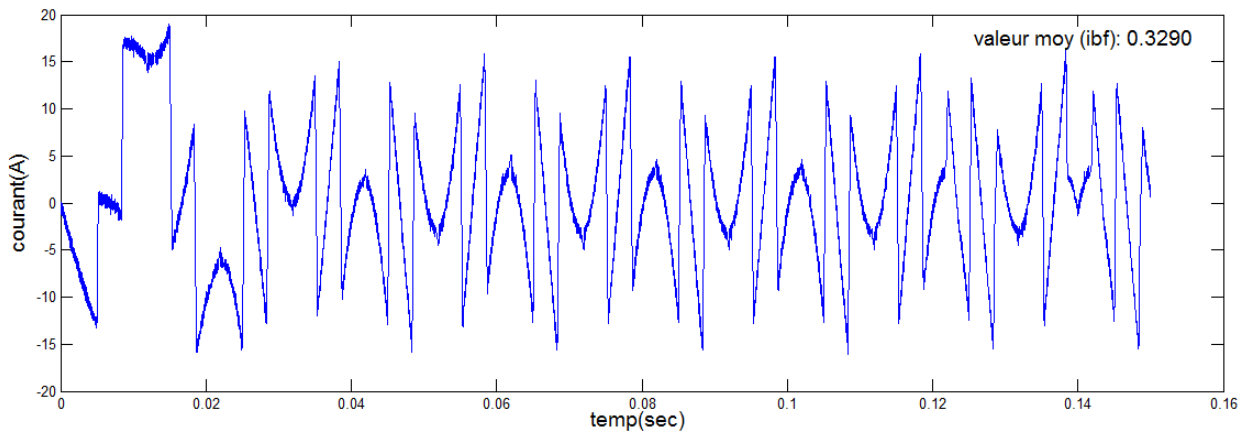


III.5.2. Les courants après le filtrage avec défaut :

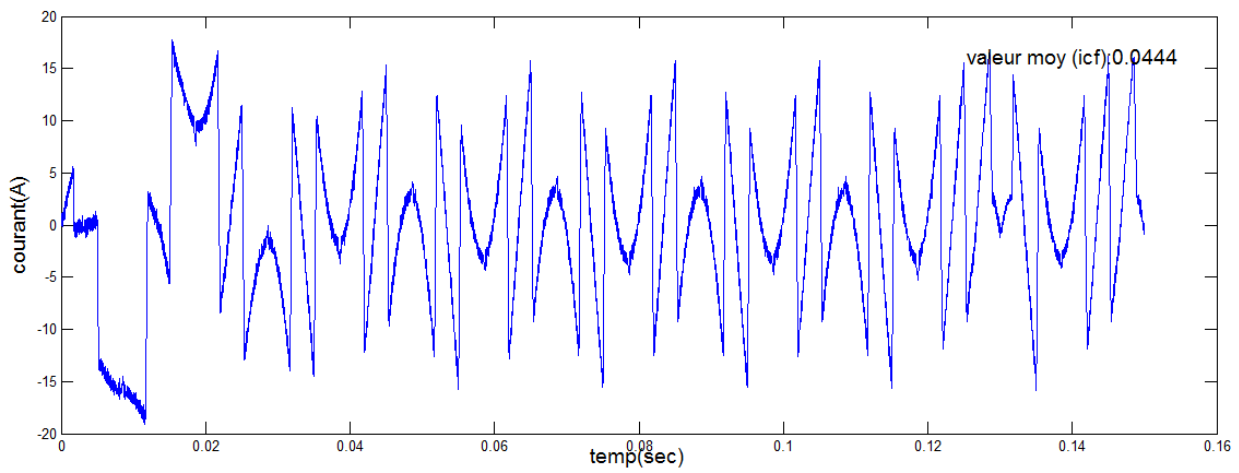
défaut circuit ouvert dans par exemple TR1 : dans quel que soit le temps de défaut



Courbe de (Iaf)

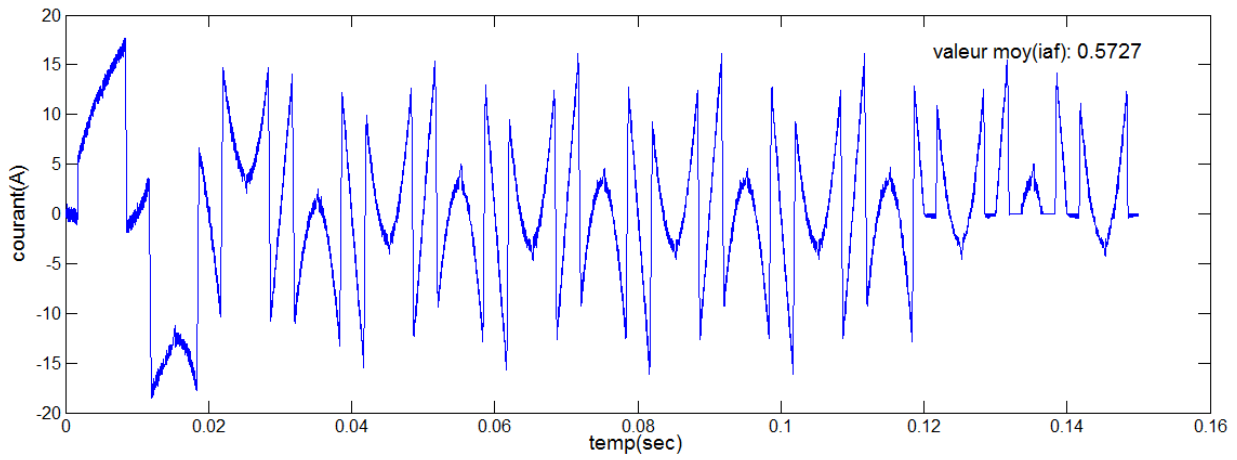


Courbe de (I_{bf})

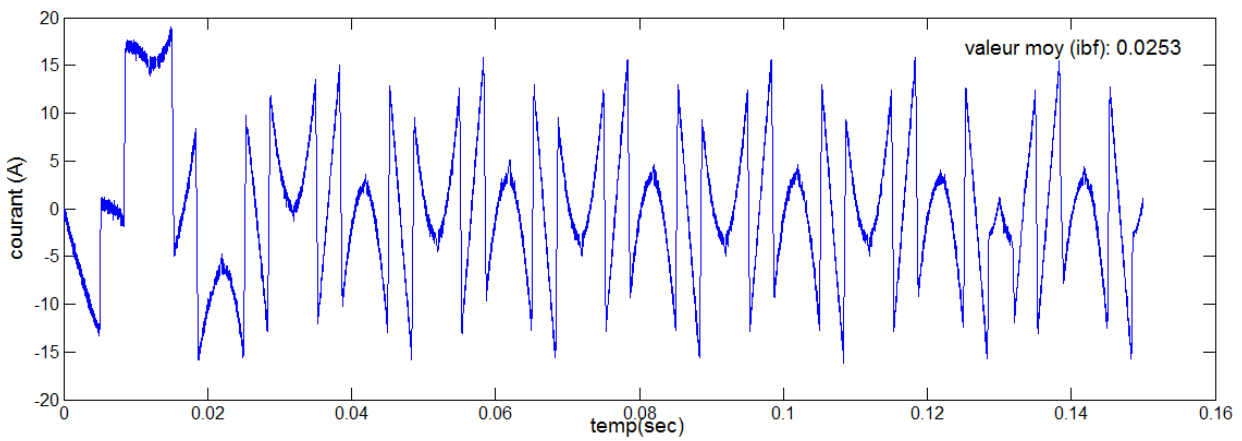


Courbe de (I_{cf})

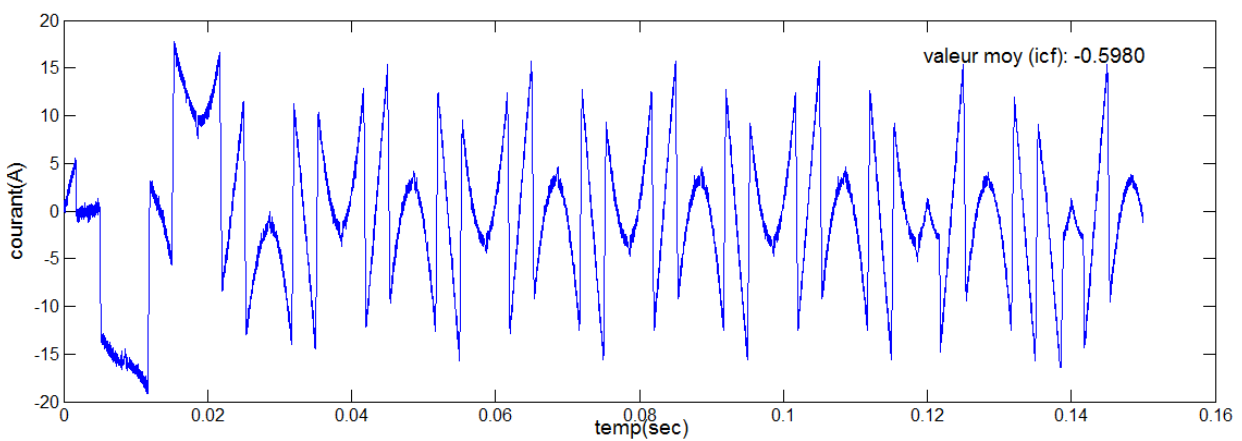
Défaut dans TR4 :



Courbe de (Iaf)



Courbe de (Ibf)



Courbe de (Icf)

Les figures présenter les résultats dans un cas de défaut de commutation ouvert respectivement TR1, TR4 a présenté à $t = 0,15$ s. Outre le temps de retard en raison du transfert de sûr l'état de fonctionnement stable à redire état de fonctionnement régulier de filtre actif, il présente un temps de retard systématique entre 0 en T ($T = 1 / f$, T :période , f : fréquence). les résultats montrent que l'algorithme de détection de défaut est proposée fiable et efficace.

III.6.Conclusion

Dans ce chapitre, appliqué une méthode simple, fiable et efficace pour détection des défauts de commutation et la localisation d'un onduleur dans les filtre actif parallèle triphasé, les résultats montrent que la méthode utilise pour la détection de défaut est fiable et efficace

Conclusion Générale

La configuration de commande conventionnels d'un convertisseur statique triphasé à structure tension non "fault tolerant" ne permettent pas d'assurer la continuité de service lors de défaillances. Ces défaillances surviennent généralement au niveau de la commande rapprochée du convertisseur (drivers), d'un des composants de puissance commandables (IGBT, par exemple). Elles peuvent conduire au dysfonctionnement du système, voire nécessiter sa mise hors tension. Pour assurer la disponibilité d'une chaîne de conversion de l'énergie électrique comportant des convertisseurs statiques triphasés à structure tension en présence de telles défaillances, la mise en œuvre d'un système efficace et "fault tolerant" est indispensable. La détection, l'identification et la compensation des défauts sont les trois composantes principales d'un tel système.

Nous avons présenté dans ces mémoire une topologie de convertisseur triphasé à structure tension "fault tolerant" garantissant la continuité de service, en mode normal, lors de défauts éventuels survenant au niveau d'un semi-conducteur de puissance . Les analyses effectuées dans la partie consacrée à la tolérance des défauts de semi-conducteurs ont démontré que la méthode proposée réduit notablement le temps de détection par rapport aux autres méthodes, publiées dans la littérature scientifique. Cette méthode de détection est également insensible aux commutations des semi-conducteurs. Une analyse théorique complète de cette méthode a également été détaillée et commentée. Ensuite, un système de contrôle "fault tolerant" a été proposé afin de diagnostiquer.

Les résultats obtenus par simulation dans le cas d'application du FAP montrent que la méthode utilise est fiable et efficace

Références bibliographiques

- [1] **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.
- [2] **B. Samir, B. Ibrahim** « filtrage active parallèle des réseaux électriques avec compensation de l'énergie réactive » mémoire de ingénierie université M'sila 2006-2007.
- [3] **A. daouah** Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèles mémoire de ingénierie université M'sila 2012 / 2013.
- [6] **A ,Mohamed Muftah** " Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales" Thèse de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I , 2008.
- [7] **M ,ALAA EDDIN ALALI** "Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension (Automatisation des systèmes de puissance)électriques" Thèse de Doctorat, Strasbourg 12 Septembre 2002 .
- [8] **N. MOUBAYED**" détection et localisation des défauts dans les convertisseurs statiques" Laboratoire d'Electricité – Centre Universitaire de Technologie Franco-Libanais Deddeh El-Koura, Liban Nord, Liban 2007..
- [9] **B. Amel, M. Souad**" commande par MLI vectorielle d'un onduleur alimentant une machine a cage (étude comparative entre la modulation a séquence alignée à droite celle a séquence symétrique " mémoire de ingénierie université M'sila 2008 / 2009.
- [10] **CHARLES CYR**" développement d'algorithmes de détection des défaut pour la maintenance prédictive de générateurs hydroélectrique " Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie électrique pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. SC.)2004.
- [11] **B. Abdelkader** "Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond Graph" Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas de Sétif 2009.
- [12] **K. Mohammed et N. Salih**, "Commandes non linéaires d'un filtre actif parallèle, "Mémoire d'Ingéniorat, Université de M'sila, 2010.
- [13] **M. Fatiha**, "Etude et commande d'un filtre actif parallèle à structure de tension," Mémoire de Magister, Université d'Oran, Octobre 2001.

Références Bibliographiques

[14] A. M^{ed} elhadi "Étude comparative de différent méthode de compensation actif d'énergie électrique" mémoire de ingénierie université M'sila 2012 / 2013.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASSTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE:
INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

Proposé par : Mr. Benyettou Lotfi

Présenté par : Yahiaoui Ahmed Lamine

Thème :
" Détection de défaut des convertisseurs de puissance "
« Application au filtre actif parallèle »

Résumé :

Au cours de ces dernières années, l'évolution des études dans le domaine d'électrotechnique permet de présenter des systèmes de plus en plus performants. Malgré toute cette évolution, nul système n'est à l'abri d'une défaillance. Pour cela, on porte aujourd'hui un grand effort sur la surveillance et le diagnostic des systèmes. Dans ce mémoire, après présentation des concepts et des terminologies, ainsi que de l'organisation générale de la procédure de diagnostic, un rappel des généralités sur la détection et la localisation de défauts à l'aide de modèles est présenté. Une méthode de diagnostic d'un onduleur triphasé, Dans ce mémoire nous avons étudié un convertisseur triphasé à structure tension "fault tolérant". Ce convertisseur assure la continuité de service, en mode normal, en présence de défauts éventuels d'un semi-conducteur. Dans ces travaux, nous avons choisi comme cas d'application le filtre actif parallèle (FAP) triphasé afin de valider la continuité de service du convertisseur "fault tolérant" lors de défauts.

Mots Clés :

FAP , stratégies de commande FAP , les méthodes de diagnostic , Détection de défaut des convertisseurs.