

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

**FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE**



**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE: ÉLECTRONIQUE**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
OPTION : Électronique des Systèmes Embarqués (ESE)**

THEME

**Diagnostic intelligente d'un Filtre Actif Parallèle pour un
défaut circuit ouverte d'IGBT**

Présenté par :

**BAKHTI Karima
HADDED Meriem**

Présenté par :

Mr.TABBAKH Mostefa

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2019/2020

Dédicaces

*J'ai l'honneur de dédier ce travail à nos
chers parents, pour leur aide et leurs
soutient continuel.*

*Nos mères, la lumière des yeux et source
de ma volonté.*

*Nos pères qui a sacrifie tout pour je
puisse étudier.*

À notre amie Touati Houcem Eddine.

À toute ma famille.

*À tous ceux qui
m'ont aidée et
Encouragée.*

Remerciement

Nous tenons d'abord à remercier dieu tout puissant, qui nous à éclairé le bon chemin et que nous à permis de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos chaleureuses gratitudes à Mr : Mostefa Tabbakh pour son aide, son encouragement, sa patience et ses précieux conseils.

Nous remercierons également tous les membres de jury pour, avoir bien voulu évaluer notre travail.

L'ensemble des enseignants de département d'électronique pour leurs efforts pendant les années d'étude.

En fin Nous adressons notre remerciements les plus profonds et, les distinguées à tous ceux qui nous aidons de proche ou de loin pour, accomplir ce travail.

SOMMAIRE

Dédicaces	
Remercîments	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles et abréviations	
INTRODUCTION GENERAL	01

Chapitre I : Introduction ou diagnostic

I.1.Introduction	03
I.2. La définition et objectif du diagnostic :	03
I.2.1.Définition :	03
I.2.3.Terminologies et concepts :	04
I.3. Différents types de défauts :	05
I.3.1.Les défauts actionneurs :	05
I.3.2. Les défauts capteurs :	05
I.3.3. Les défauts systèmes :	06
I.4. Les différentes étapes de diagnostic :	06
I.4.1.La détection :	06
I.4.2.La localisation :	07
I.4.3. L'identification :	07
I.5. Méthodes de diagnostic :	07
I.5.1. Méthodes de diagnostic sans modèle (à base de données historiques) :	08
I.5.1.1. Diagnostic par outils statistiques :	09
I.5.1.1.1. Test de franchissement de seuils :	09
I.5.1.1.2. Test de moyenne :	09
I.5.1.1.3. Test de variance :	09
I.5.1.2. Diagnostic par outils symboliques :	09
I.5.1.2.1. Méthodes à base de modèles comportementaux :	10

SOMMAIRE

I.5.1.2.2..Méthodes de reconnaissance de formes (RDF) :	10
I.5.1.2.3..Diagnostic par réseaux de neurones (RNA) :	11
I.5.1.2.4. Méthodes à base de modèles explicatifs :	12
I.5.1.2.5.Logique Floue :	12
I.5.2. Méthodes de diagnostic avec modèle :	13
I.5.2.1.Méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle :	13
I.5.2.2. Méthodes de diagnostic par modélisation physique :	13
I.5.2.2.1.Redondance physique :	14
I.5.2.2.2..Redondance Analytique :	14
I.5.2.2.3.Méthodes d'estimation paramétrique :	15
I.6. Procédure de diagnostic a base modèle:	16
I.6.1. Génération de résidus :	16
I.6.2. Critères de performance d'un système de diagnostic :	17
I.6.2.1.Détectabilité :	17
I.6.2.2.Isolabilité :	17
I.6.2.3.Sensibilité :	18
I.6.2.4.Robustesse :	18
I.6.3. Le coût économique et le temps de développement :	18
I.7.Conclusion :	18

Chapitre II : Les onduleurs et l'étude de filtre actif parallèle

II.1. Introduction :	19
II.2. Définition de l'onduleur :	19
II.3. Classification des onduleurs et leurs applications :	20
II.3.1.L'onduleur non autonome (ou assisté) :	20
II.3.2.L'onduleur autonome :	20
II.4.Les différents types d'onduleur :	21
II.4.1 Onduleur de courant (autonome) :	21
II.4.2 Onduleur de tension (autonome):	23
II.5.Types d'onduleurs autonomes de tension:	24
II.5.2 Les onduleurs monophasés :	24
II.5.2 Les onduleurs triphasés :	26
II.6. Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé :	27

SOMMAIRE

II.7. Les onduleurs multi niveaux :.....	28
II.8. Présentation la défaillance d'un exemple d'interrupteur statique l'IGBT:.....	28
II.8.1. Court-circuit :	28
II.8.2. Circuit ouvert :.....	28
II.8.3. Vieillessement :	29
II.9. Commande de l'onduleur:.....	29
II.9.1. Commande des courants par hystérésis :.....	29
II.9.2. Commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI) :.....	30
II.9.3. Commande par MLI vectorielle (Space Vector Modulation S.V.M): :.....	32
II.10. Nouvelles solutions de dépollution:.....	33
II.10.1. Les redresseurs à MLI:	33
II.10.2. Filtres actifs :	33
II.10. 3. Filtre actif parallèle :	34
II.10.4. Filtre actif série :	34
II.10.5. Filtre actif hybride :	35
II.11. Filtre active parallèle et Structure :	36
II.11.1. principe de fonctionnement :.....	36
II.12. Structure du filtre actif parallèle :	37
II.13. Méthode des puissances instantanées pq (PIRI_Théorie pq .):	39
II.14. SIMULATION :.....	42
II.15. Conclusion :	44

Chapitre III:Les Défautes de l'Onduleur Triphasé et exemple du diagnostic de FAP

III.1. Introduction :	45
III.2. Les différents composants d'un module de diagnostic :	45
III.3. Mode de défaillance des éléments de puissance dans un onduleur :.....	46
III.4. Défauts dans les onduleurs triphasés :.....	47
III.4.1. Défaut de type court-circuit :	47
III.4.2. Défaut de type circuit-ouvert :	47
III.5. Diagnostic de défauts de type circuit-ouvert des composants de puissance dans un convertisseur statique :	48

SOMMAIRE

III.6. Approche signal :	48
III.6.1. Méthodes basées sur les courants :	48
III.7. Etude des défauts de l'onduleur :	49
III.7.1. 1er cas: Défaut de circuit ouvert du semi-conducteur T1	50
III.7.2. 2èmecas : Défaut de circuit ouvert des semi-conducteurs T1 et T2	51
III.7.2. 3èmecas : Défaut de circuit ouvert des semi-conducteurs T1 et T3	51
III.7.4. 4ème cas : Défaut de circuit ouvert des semi-conducteurs T1 et T4	52
III.8. Partie de simulation:	54
IV.8.1. Interprétation des résultats de simulation circuit ouverte et état sain :	54
IV.8.1. 1. Etat sain:	54
IV.8.1.2.1^{er} cas : T1 de circuit ouvert	55
IV.8.1.3. 2^{ème} cas : T1 et T2circuit ouvert	56
IV.8.1.4.3^{ème} cas : T1 et T3 circuit ouvert.....	56
IV.8.1.5. 4^{ème} cas : T1 et T4circuit ouvert.....	57
III.9. La comparaison avec zéro et avec état sain (ES):	58
III.9.1. La comparaison avec zéro :	58
III.10. Conclusion :	64

Chapitre IV : Diagnostic intelligent d'un défaut circuit ouvert dans un FAP

IV.1: Introduction :	65
IV.2 : Principe de la logique floue:.....	65
IV.3 : Les concepts principaux de la logique floue :	65
IV.3.1: Sous-ensemble flou :	66
IV.3.2 : Variable linguistique :	67
IV.3.3 : Operateurs de la logique floue :	67
IV.3.4. Différents types de modèles flous :	68
IV.3.5. Fonction d'appartenance :	69

SOMMAIRE

IV.3.6. Structure générale de la logique floue :.....	69
IV.3.6.1. Fuzzification :.....	70
IV.3.6.2. Système d'inférence floue :.....	70
IV.3.6.3. Défuzzification :.....	70
IV.4. La transformé de PARK :.....	70
IV.5. Méthode de diagnostic du défaut base sur logique floue :.....	75
IV.6. Raisonnement diagnostique de logique floue :.....	76
IV.7. Résultats de la simulation :.....	77
IV.7.1. Les résultats des entrées et des sorties de simulation de logique floue circuit ouverte et état sain :.....	79
IV.7.1. 1. Etat sain:.....	79
IV.7.1.2. 1 ^{er} cas T1 circuit ouverte :.....	81
IV.7.1.3. 2 ^{ème} cas T1-T2 circuits ouvertes :.....	83
IV.7.1.4. 3 ^{ème} cas T1-T3 circuit ouverte :.....	85
IV.7.1.5. 4 ^{ème} cas T1-T4 circuit ouverte.....	87
IV.8. Conclusion :.....	89
CONCLUSION GENERAL	90
Bibliographie	92

LISTE DE FIGURE

Chapitre I : Introduction ou diagnostic

Fig. I.1 : Différent type de défauts agissant sur un système.....	05
Fig. I.2 : Classification des défauts : additifs et multiplicatifs.....	06
Fig. I.3 : Différentes étapes de diagnostic.....	07
Fig. I.4 : Méthodes de diagnostic.....	08
Fig.I.5 : Principe de la reconnaissance des formes.....	10
Fig.I.6 : Schéma général d'un neurone.....	11
Fig.I.7 : Architecture de redondance physique et analytique.....	14
Fig.I.8 : Principe de l'approche par estimation des paramètres.....	15
Fig.I.9 : Diagnostic à base de modèle.....	15
Fig.I.10 : Méthodes d'analyse des résidus.....	17

Chapitre II : Les onduleurs et l'étude de filtre actif parallèle

Fig.II.1 : Schéma de principe de l'onduleur.....	19
Fig. II.2 : Alimentation sans coupure.....	20
Fig. II.3 : Convertisseur de fréquence.....	21
Fig.II.4 : Représentation schématique d'un onduleur de courant.....	22
Fig.II.5 : Onduleur de courant en pont triphasé à thyristors.....	22
Fig.II.6 : Représentation schématique d'un onduleur de tension.....	23
Fig.II.7 : Onduleur de tension en pont triphasé à thyristors.....	24
Fig.II.8 : Onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu.....	25
Fig.II.9 : Onduleur monophasé avec diviseur capacitif.....	25
Fig.II.10 : Onduleur monophasé en pont.....	26
Fig.II.11 : Onduleur de tension triphasé.....	27
Fig.II.12 : Principe de commande de courant par hystérésis.....	30

LISTE DE FIGURE

Fig.II.13 : Principe de commande des courants par MLI.....	31
Fig.II.14 : Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur.....	31
Fig.II.15 : Diagramme des 6 secteurs de la SVM.	32
Fig.II.16 : Filtre actif parallèle.	34
Fig.II.17 : Filtre actif série.	35
Fig.II.18 : Filtre combiné actif parallèle et passif parallèle.	35
Fig.II.19 : Filtre combiné actif série et passif parallèle.....	36
Fig.II.20 : Combinaison parallèle-série.....	36
Fig.II.21 : Structure générale d'un filtre actif parallèle.....	38
Fig.II.22 : Schéma représentant le principe de séparation des puissances actives.....	41
Fig.II.23 : principe de la méthode d'identification des puissances (p.q.) instantanées ...	42
Fig.II.24 : schéma de circuit avant l'ajoute de filtre actif parallèle.....	42
Fig.II.25 : Résultats de simulation des courants avant le filtrage	43
Fig.II.26 : schéma de circuits après l'ajoute de FAP	43
Fig.II.27 : Résultats de simulation de l'ensemble des courants après le filtrage.....	44

Chapitre III: Les Défaits de l'Onduleur Triphasé et exemple du diagnostic de FAP

Fig.III.1 :Les composantes d'un système de diagnostic.....	45
Fig.III.2 :Répartition des défaillances dans les convertisseurs de puissance.....	46
Fig.III.3 :Schéma d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux.....	50
Fig.III.4 :Schéma d'un onduleur avec un défaut au T1.	51
Fig.III.5 :Schéma d'un onduleur avec deux défaut T1 et T2.	51
Fig.III.6 :Schéma d'un onduleur avec deux défauts T1 et T3.....	52
Fig.III.7 : Schéma d'un onduleur avec deux défauts T1 et T4.....	53
Fig.III.8 :Résultats de simulation de l'ensemble de courants «état sain ».....	54
Fig.III.9 :Résultats de simulation de l'ensemble de courants «état sain ».....	55

LISTE DE FIGURE

Fig.III.10: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «défaut T1 et T2 ».....	56
Fig.III.11: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «défaut T1 et T3 ».....	56
Fig.III.12: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «défaut T1 et T4 ».....	57

Chapitre IV : Diagnostic intelligent d'un défaut circuit ouvert dans un FAP

Fig. IV.1: Représentation d'un sous-ensemble flou et principale caractéristiques.....	66
Fig. IV.2: Représentation d'une variable linguistique définie comme.....	
(U, V, T V) = {A1, A2, A3, A}	67
Fig.IV.3: Fonction d'appartenance.....	69
Fig. IV.4: Structure générale de la logique floue.....	70
Fig. IV.5: Schéma SUMILINK de la transformé de Park.	71
Fig. IV.6: Schéma bloc de l'approche de diagnostic proposée	73
Fig. IV.7: Schéma SUMILINK de calcul Ek. Mk.	74
Fig. IV.8: Fonctions d'appartenance dans l'entrée FFD. Ek (a). (b) Mk(b).....	76
Fig. IV.9: Fonctions organiques de la sortie FFD . Dk.....	77
Fig. IV.10: Schéma SUMILINK de diagnostic de défaut basée sur la logique floue	78
Fig. IV.11: Système de logique floue du modèle de simulation.	78
Fig. IV.12: Schéma de principe des règles floues.	79
Fig. IV.13: Variables de diagnostic Ek «état sain »	79
Fig. IV.14: Valeurs moyennes de courants Mk «état sain »	80
Fig. IV.15: Sorties du système de diagnostic TK« système sain »	80
Fig. IV.16: Variables de diagnostic Ek «T1 circuit ouverte ».....	81
Fig. IV.17: Valeurs moyennes de courants Mk «T1 circuit ouverte ».....	81
Fig. IV.18: Sorties du système de diagnostic Tk « défaut T1 ».....	82
Fig. IV.19: Variables de diagnostic Ek «T1-T2 circuits ouvertes »	83
Fig. IV.20: Valeurs moyennes des courants Mk«T1-T2 circuits ouvertes »	83
Fig. IV.21 : Sorties du système de diagnostic Tk « défaut T1-T2 ».....	84

LISTE DE FIGURE

Fig. IV.22: Variables de diagnostic Ek «T1-T3 circuits ouvertes »	85
Fig. IV.23: Valeurs moyennes des courants Mk «T1-T3 circuits ouvertes »	85
Fig. IV.24 : Sorties du système de diagnostic Tk « défaut T1-T3 ».....	86
Fig. IV.25: Variables de diagnostic Ek «T1-T4 circuits ouvertes »	87
Fig. IV.26: Valeurs moyennes des courants Mk «T1-T4 circuits ouvertes »	87
Fig. IV.27: Sorties du système de diagnostic Tk « défaut T1-T4 ».....	88

List de tableaux

Chapitre III: Les Défauts de l'Onduleur Triphasé et exemple du diagnostic de FAP

Tableau III.1: Valeurs moyennes de courants I_k état sain et états défaillants..... 54

Chapitre IV : Diagnostic intelligent d'un défaut circuit ouvert dans un FAP

Tableau IV.1: Operateurs de la logique floue 68

Tableau IV.2: Condition des défauts détectés par les variables de symptôme de défaut Interrupteurs défectueux $Ea Eb Ec Ma Mb Mc$ 76

Tableau IV.3: les paramètres du système FAP 78

Résumé

Le fonctionnement des composants IGBTs dans les différents systèmes électronique peut provoquer des défauts qui perturbent le fonctionnement nominal de la tâche principale.

Le but du travail, proposé dans ce cadre, est la détection et le diagnostic intelligent des défauts, particulièrement le défaut de circuit-ouvert dans les composants IGBTs utilisé dans les équipements électronique, cette détection permet d'envisager des actions correctives pour que le système retourne à son chemine correct.

Mots Clés :

Diagnostic, diagnostic intelligent, défaut circuit ouvert, IGBT, filtre active parallèle, logique floue.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉGALE

Introduction générale :

Aujourd'hui, les systèmes industriels sont de plus en plus complexes et sophistiqués. Il faut les surveiller en permanence pour prévenir tout incident, améliorer la qualité du produit ou du service, assurer la sécurité du bien ou des personnes. Cette surveillance doit, à chaque instant, vérifier la présence ou l'absence des défauts dans le système puis, en cas du défaut avéré, doit le diagnostiquer. La fonction de diagnostic consiste à détecter une défaillance, de localiser son origine et de déterminer ses causes. Ceci permet d'envisager des actions correctives pour que le système retourne à son fonctionnement nominal. Dans ce souci, le diagnostic a suscité et continue de susciter un grand intérêt tant au niveau du monde industriel que dans la recherche scientifique. En effet, De nombreuses méthodes sont à la base des travaux en diagnostic par les différentes communautés de recherche en automatique, productique et intelligence artificielle. Ces méthodes se différencient par rapport au type de connaissance a priori sur le système qu'elles nécessitent. Ainsi, elles peuvent être classées, de façon générale, comme des méthodes à base de modèles qui se basent sur l'existence d'un modèle du système à surveiller et les approches sans modèles qui s'appuient sur les connaissances et raisonnement des experts

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.

Le but de notre travail porte sur l'élaboration d'un système de diagnostic intelligente des défaillances de circuit ouvert d'IGBT par la méthode intelligent logique floue implémenté sur des circuits électroniques.

Dans ce contexte, cette thèse comporte quatre (4) chapitres :

L'objectif de premier chapitre introductif est de rappeler les techniques les plus courantes dans le domaine de diagnostic des défauts, les différents types de défauts et

INTRODUCTION GÉNÉRALE

les méthodes de diagnostic classiques et intelligents, ainsi que les définitions des termes souvent utilisés en diagnostic.

Dans le deuxième chapitre, nous exposerons une description générale sur les onduleurs, ainsi que son principe de fonctionnement et ses caractéristiques principales. Ensuite nous présenterons leurs possibilités d'applications en quelques exemples, leurs Classification et leurs commandes. Nous étudions théoriquement aussi la topologie du filtre actif parallèle et sa stratégie sans oublier la méthode des puissances instantanées pq.

La deuxième partie, c'est pour la simulation de système avec (MATLAB\Simulink) et inter. Nous traiterons dans un premier temps les résultats de simulation de l'ensemble réseau charge non-linéaire avant le filtrage. Dans un deuxième temps, nous présenterons les résultats de simulation de l'ensemble réseau charge non-linéaire après le filtrage.

Le troisième chapitre est réservé à l'étude de mode de défaillance des éléments de puissance dans un onduleur et aussi ses défauts, parmi ces défauts des onduleurs triphasés on a cité: défaut de type court-circuit et défaut de type circuit-ouvert, dans la deuxième partie de simulation on a fait un test de diagnostic classique (exemple de valeur moyenne).

Le quatrième et dernier chapitre est consacré à l'étude de la technique intelligente logique floue, avec l'application de transformation de Park, cette technique appliqué pour un diagnostic plus efficace. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de cette technique dans la détection des défauts (circuit-ouvert) en termes du temps fréquence voir sévérité du défaut.

En fin ce travail est clôturé par une conclusion générale.

CHPITRE I :

Introduction ou diagnostic des défauts

I.1.INTRODUCTION

Les diagnostics sont de plus en plus utilisés dans les industries. Elles permettent de détecter un défaut d'une manière précoce afin d'éviter des arrêts inattendus de l'installation. Et, ainsi assuré une maintenance rapide et à temps en évitant plus de dépenses. Cependant, on a présenté dans ce chapitre l'essentiel des méthodes de diagnostic.

La sélection de la méthode de diagnostic la plus appropriée à un système industriel donné, ne peut se faire qu'après un recensement des besoins et des connaissances disponibles.

L'inventaire des éléments à étudier est le suivant :

- Nature des causes de défaillances à localiser;
- Connaissance des signatures associées aux défaillances induites par les causes,
- Maîtrise des moyens de mesure des symptômes,
- Maîtrise des moyens de traitement des symptômes,
- Connaissance des mécanismes physiques entre les causes et les effets,
- Inventaire du retour d'expérience,
- Recensement des expertises disponibles,
- Définition du niveau de confiance dans le diagnostic,
- Identification des utilisateurs finaux du diagnostic.

I.2. La définition et objectif du diagnostic :

I.2.1.Définition :

La définition du diagnostic selon la norme AFNOR et CEI stipule que : « Le diagnostic est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test » [BEN11].

Cette définition résume les deux tâches essentielles du diagnostic :

- Observer les symptômes de la défaillance ;
- Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur les observations.

I.2.2. Objectif du diagnostic :

L'objectif d'un système de diagnostic est de prévoir l'apparition d'un défaut le plus rapidement possible et le plus précisément possible. Pour pouvoir expliquer ce principe avec plus de précision, nous allons tout d'abord définir ce que nous entendons par

défaut, puis nous rappellerons les fonctions du diagnostic telles que la détection, la localisation, et l'identification des défauts [SAK17].

I.2.3. Terminologies et concepts :

Définition de quelques termes utilisés dans le domaine de diagnostic [KHE15] :

Système "dispositif": ensemble déterminé d'éléments discrets (ou composants) interconnectés ou en interaction.

Processus: ensemble de phénomènes organisés dans le temps rapportés à un même système physique.

Une anomalie : Est une particularité non conforme à la loi naturelle ou logique

La panne : Est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Une panne résulte toujours d'une défaillance

Un défaut : Est tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence lorsque celui-ci est en dehors des spécifications. Les défauts sont classifiés d'une façon similaire aux défaillances.

Une défaillance : Est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques.

Une perturbation : Consiste en tout phénomène conçu comme normal influençant un processus, bon ou mal, représenté par un modèle de référence

Un résidu : Est un signal conçu pour être un indicateur d'anomalies fonctionnelles ou comportementales, nul en absence de défauts et non nul en leur présence.

Un symptôme : Est caractère distinctif d'un état fonctionnel ou comportemental anormal.

La surveillance : Est une tâche continue, réalisée en temps réel, qui permet de déterminer l'état d'un système physique, elle consiste en l'enregistrement des informations ainsi qu'en la reconnaissance et l'indication des anomalies du comportement.

La sensibilité : Représente la capacité d'un système de diagnostic à générer des résidus sensibles aux défauts à détecter.

Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.

La supervision : Est la surveillance d'un système physique et la prise de décision appropriée en vue de maintenir son opération lors de l'apparition de défauts.

I.3 Différents types de défauts

Un défaut correspond à une déviation du comportement normal du système, de son unité de commande ou de son système d'instrumentation. Les défauts peuvent être aléatoires ou progressifs, dans le cas du vieillissement ou de l'usure [SAK17].

Les défauts apparaissent à différents endroits du système. Une classification pertinente des défauts peut être basée sur la nature du composant affecté. Nous distinguerons donc, les défauts d'actionneurs, de celles liées aux capteurs et celles du système de commande figure I.1 [MET12].

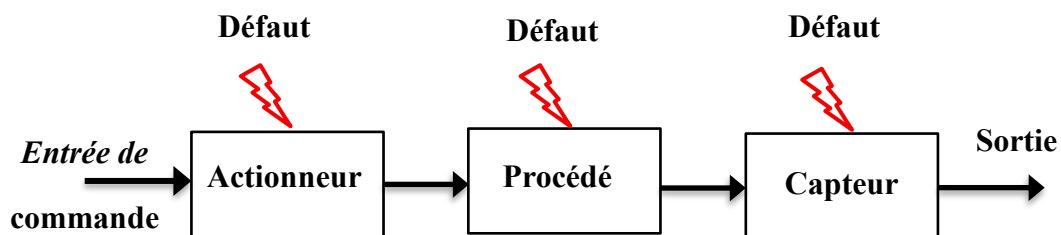


Fig. I.1 : Différent type de défauts agissant sur un système

I.3.1. Les défauts actionneurs :

Un défaut actionneur est une défaillance représentant une perte totale ou partielle d'un actionneur agissant au niveau de la partie opérative et détériorant le signal d'entrée du système.

Par exemple, un actionneur collé, ne répond plus au signal de commande, représente le cas d'une perte totale de l'actionneur. Par contre, une fuite dans un vérin ou une perte de puissance d'un moteur représente un défaut actionneur partiel qui réagit de manière similaire au régime nominal mais en partie seulement, c'est-à-dire avec une certaine dégradation dans son action sur le système. [ACH12].

I.3.2. Les défauts capteurs :

Un défaut capteur peut aussi être partiel ou total. Ce défaut est la cause d'une mauvaise image de l'état physique du système. Un capteur totalement défectueux donne une information différente de la valeur réelle comme par exemple le cas d'une coupure d'un fil électrique. Un défaut capteur partiel apparaît sous forme d'un biais, d'une dérive, d'une baisse d'efficacité, d'un défaut de calibrage...etc. Ce défaut produit un signal avec plus ou moins d'adéquation avec la valeur vraie de la variable à mesurer. Ceci peut se traduire par une réduction de la valeur affichée par rapport à la valeur vraie, ou de la présence d'un biais ou de bruit accru empêchant une bonne lecture. Afin de détecter des

défauts capteurs, l'utilisation d'une redondance matérielle est possible pour augmenter la tolérance aux défauts. Cette technique est très fiable, mais ses inconvénients majeurs sont l'encombrement et le coût élevé [ACH12].

I.3.3. Les défauts systèmes :

Les défauts systèmes sont des défauts qui apparaissent dans les composants du système lui-même, c'est-à-dire les défauts qui ne peuvent pas être classifiés ni parmi les défauts capteurs, ni les défauts actionneurs. Ces défauts représentent des changements dans les paramètres du système. A cause de la diversité des situations de défaillances, ce type de défaut est difficile à diagnostiquer.

Comme aussi, les défauts peuvent être classés relativement à leurs effets sur les performances du système, dont deux classes de défauts peuvent être distingués : des défauts additifs et des défauts multiplicatifs:

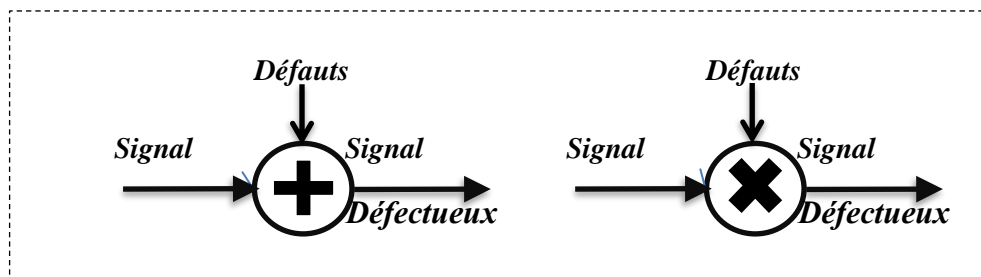


Fig. I.2 : Classification des défauts : additifs et multiplicatifs [IKN11].

I.4. Les différentes étapes de diagnostic :

Le terme diagnostic correspond à la caractérisation du défaut, pour effectuer ce dernier il faut passer par un certain nombre d'étapes qui s'enchaînent.

I.4.1. La détection :

Cette opération permet de décider si le système est en fonctionnement normal ou non.

- Probabilité de fausse détection : conduit à des arrêts ou des reconfigurations inutiles,
- Probabilité de non détection : peut conduire à une panne intolérable dans les systèmes à haut niveau de sécurité (aéronautique, nucléaire, ...etc.) [SAK17].

I.4.2. La localisation :

C'est l'identification de l'élément qui a causé le défaut. Parfois il est impossible de localiser les interactions entre les composants du système et l'instrumentation. La solution est d'isoler un sous-système comportant des composants susceptibles de contenir le ou les défauts [BER07].

I.4.3. L'identification :

L'objectif de l'identification est de caractériser plus finement le défaut et déterminer les causes qui ont engendré la défaillance constatée.

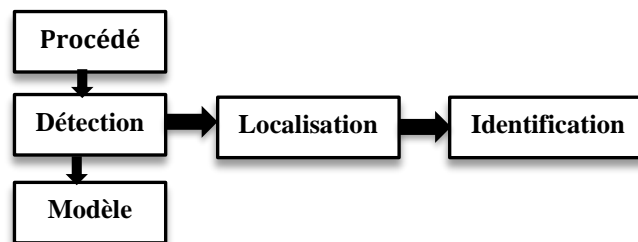


Fig. I.3 : Différentes étapes de diagnostic [KHE15].

I.5. Méthodes de diagnostic :

De façon générale, il y a plusieurs méthodes de diagnostic connu et de nouvelles techniques sont proposées constamment dans la littérature. Ces méthodes sont divisées en deux catégories : les méthodes de diagnostic avec modèle et les méthodes de diagnostic sans modèle. L'existence d'un modèle formel ou mathématique de l'équipement détermine la méthode de diagnostic utilisée. La première catégorie se base sur le modèle analytique du système à surveiller et utilise généralement des techniques de l'automatique. En revanche, les techniques de diagnostic sans modèle sont divisées en deux parties. La première partie regroupe les outils de traitement de bas niveau et la deuxième partie est celle des techniques dites de haut niveau. La première sous-catégorie est orientée vers les outils statistiques de traitement du signal qui sont en contact direct avec le signal capteur, et ne servent généralement que pour la génération d'alarmes brutes, sans aucune information concernant leur signification. Également, la deuxième sous-catégorie est orientée vers la communication avec l'opérateur, cette sous-catégorie utilise l'intelligence Artificielle, et serve comme outil de base pour l'aide à la décision, les méthodes de cette catégorie sont plus efficaces, car elles sont capables de détecter, d'interpréter et de diagnostiquer les défauts .

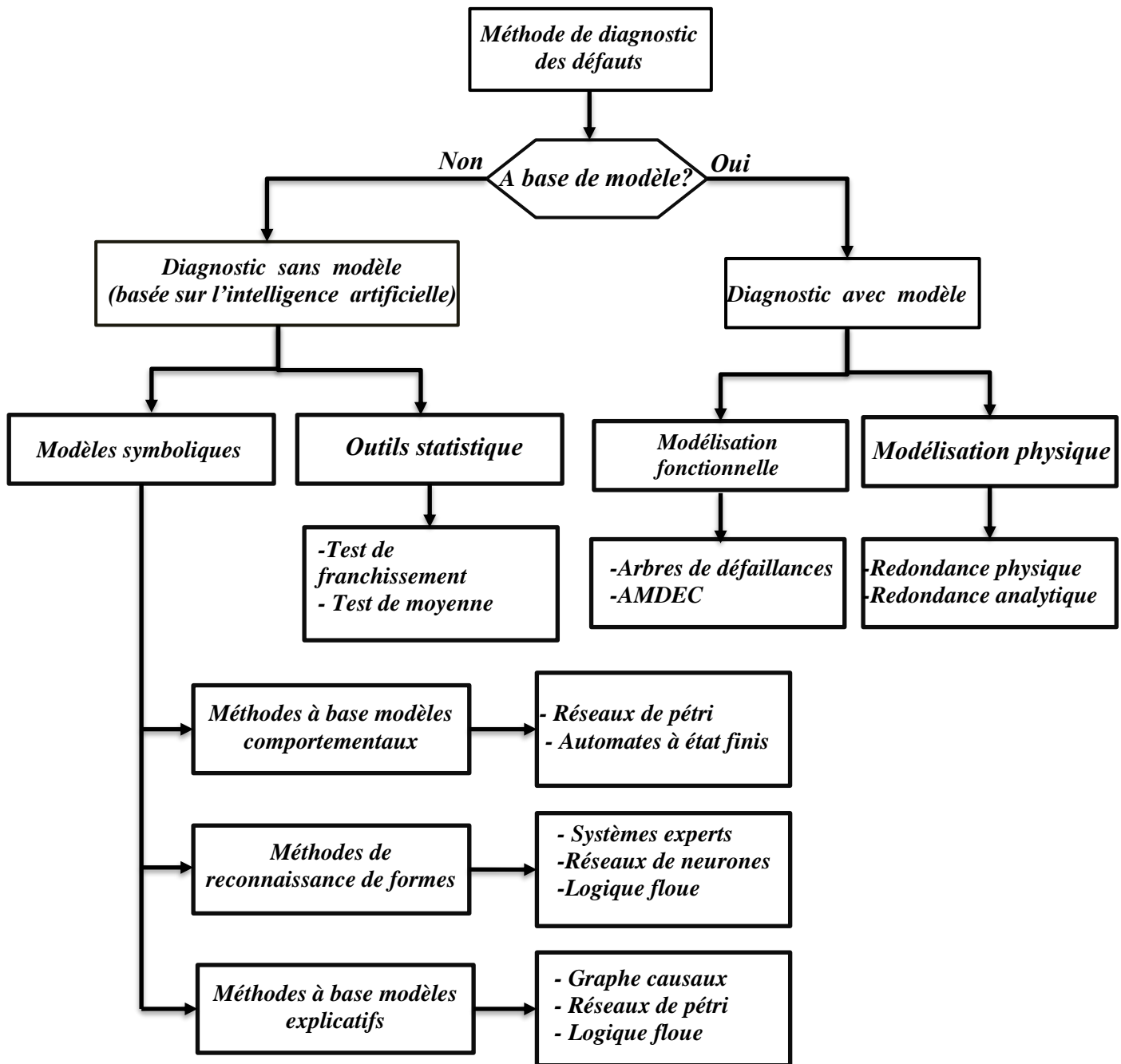


Fig. I.4 : Méthodes de diagnostic.

I.5.1. Méthodes de diagnostic sans modèle (à base de données historiques) :

Dans le domaine pratique, la plupart des systèmes sont non linéaires et la modélisation est une tâche difficile voire impossible. Alors pour les applications industrielles, les méthodes qui sont applicables pour ce genre de systèmes sont les méthodes sans modèle, appelées aussi méthodes à base de données historiques. Le diagnostic sans modèle se compose essentiellement de deux types : diagnostic avec des tests statistiques du traitement du signal et diagnostic par intelligence artificielle.

I.5.1.1. Diagnostic par outils statistiques :

L'idée de base de cette technique de diagnostic par outils statistiques consiste à supposer que les signaux provenant de la chaîne de mesure possèdent certaines propriétés statistiques. On effectue alors quelques tests qui permettent de vérifier si ces propriétés sont présentées dans un échantillon des signaux mesurés. Nous citons les tests les plus importants [KHE15].

I.5.1.1.1. Test de franchissement de seuils :

Comme le nom indique, ce test consiste à comparer les signaux avec des seuils préétablis. Le franchissement de ce seuil par un des signaux capteurs génère une alarme. Ce type de méthode est très simple à mettre en œuvre mais ne permet pas d'établir un diagnostic de défaillance, cette méthode est aussi très sensible aux fausses alarmes.

I.5.1.1.2. Test de moyenne :

On note aussi la méthode de test de moyenne, ce test de comparaison est effectué sur la moyenne du signal contenu dans une fenêtre d'un ensemble de valeurs et non sur une valeur ponctuelle.

I.5.1.1.3. Test de variance :

Un autre outil statistique se base sur le calcul de la variance d'un signal. Tant que cette variance se situe dans une bande située autour de sa valeur nominale, l'évolution du système est supposée normale.

I.5.1.2. Diagnostic par outils symboliques :

Les méthodes de diagnostic par outils symboliques se basent sur les techniques de l'intelligence artificielle et font appel à des connaissances symboliques. On distingue donc parmi les modèles symboliques, les méthodes à base de modèles comportementaux, les méthodes de reconnaissance et les méthodes à base de modèles explicatifs.

I.5.1.2.1. Méthodes à base de modèles comportementaux :

Ces méthodes se caractérisent par les termes modélisation et simulation. Elles regroupent notamment des outils tels que :

1. Les réseaux de pétri,
2. Les automates d'états finis.

Habituellement, ces méthodes sont basées sur la simulation de comportement du fonctionnement du système, à partir d'une modélisation faite sur son comportement, le

plus souvent une modélisation de bon fonctionnement qui, contrairement aux modèles numériques, n'est pas basée sur la physique du système mais sur une considération en terme de mode de fonctionnement.

I.5.1.2.2.Méthodes de reconnaissance de formes (RDF) :

Ces approches de diagnostic par reconnaissance de formes sont des approches intermédiaires entre les techniques fondées sur l'utilisation d'un système expert et les techniques analytiques. Le principe de fonctionnement de ces méthodes est de représenter tout comportement du système par une classe. Une procédure d'apprentissage permet de déterminer certain nombre de classes. Chacune de ces classes représente un mode de fonctionnement. Notons que dans ces méthodes, on retrouve des outils tels que :

- Les méthodes statistiques de reconnaissance de formes,
- Les réseaux de neurones,
- La logique floue,
- Les réseaux neuro-flous,
- Les systèmes experts,
- Le raisonnement à partir de cas [CHE13].

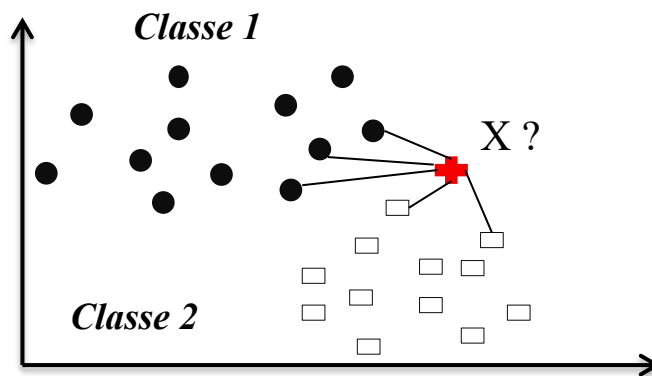


Fig. I.5: Principe de la reconnaissance des formes.

I.5.1.2.3.Diagnostic par réseaux de neurones (RNA) :

Un réseau de neurone est un modèle de calcul dont la conception est très schématiquement inspirée du fonctionnement de vrais neurones humains donc Le principe s'inspire des neurones biologiques, pour identifier des défauts dans un système, le diagnostic réalisé par réseaux de neurones doit disposer d'un nombre suffisant d'exemples de bon fonctionnement et de défauts pour pouvoir les apprendre. Pendant la

phase d'apprentissage, les exemples sont présentés au réseau en entrée avec les diagnostics correspondants à la sortie [DID 04].

- L'intérêt des réseaux de neurones dans le domaine du diagnostic se résume en deux points :

1) Le premier point est la faculté du réseau de neurones d'être utilisé en tant que règle de décision dans un processus d'automatisation de l'opération du diagnostic.

2) Le second point est la faculté d'apprentissage et de mémorisation d'un grand volume d'information.

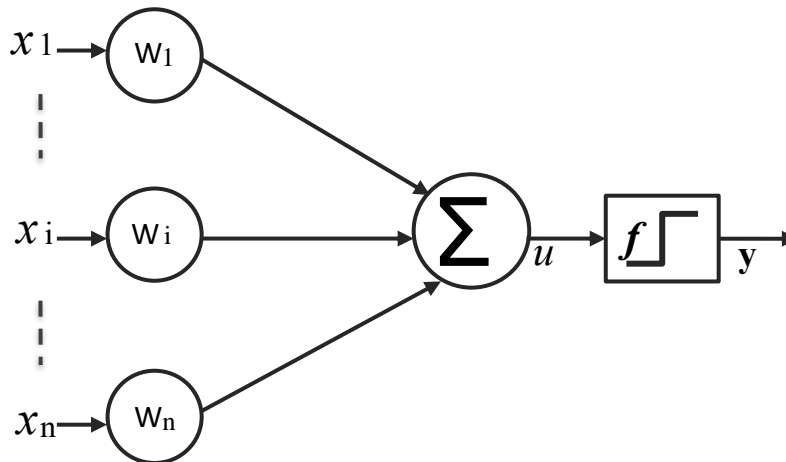


Fig. I.6: Schéma général d'un neurone-[HAN12].

A. Les avantages des réseaux de neurones sont :

- **Rapidité** : Très utile lorsque le diagnostic doit être conduit en ligne.

- **Robustesse** : Un réseau de neurones est robuste surtout vis-à-vis du bruit.

- la principale raison de leur intérêt en diagnostic industriel est leur faculté d'apprentissage et la mémorisation d'un grand volume d'information [DID 04].

B. Toutefois, un réseau de neurone présente des inconvénients tels que :

- L'apprentissage peut être long et difficile.

- L'apprentissage est gourmand en temps de calcul. Par ailleurs, il doit être réalisé sur toutes les données à la fois, avec le risque [DID 04].

4) Méthodes à base de modèles explicatifs :

Ce type regroupe les méthodes qui permettent de fournir une représentation de l'analyse causale des liens entre les défaillances, leurs causes et leurs effets observables. Dans ces méthodes, on considèrera particulièrement des applications basées sur des outils tels que:

- Les graphes de fluence,
- Les graphes causaux,

- Les graphes contextuels,
- Les réseaux de pétri,
- La logique floue

I.5.1.2.5. Logique Floue :

La logique floue sert à représenter des connaissances incertaines et imprécises. La commande floue, quant à elle, sert à prendre une décision même si on ne peut estimer les entrées/sorties qu'à partir de prédicats vagues ou lorsque ces entrées/sorties sont entachées d'erreurs que l'on ne peut évaluer que grossièrement [BOR98]. L'approche floue trouve parfaitement sa place dans la régulation et l'asservissement des processus industriels, pour lesquels les informations disponibles sont souvent incomplètes. L'intérêt de la commande floue est de « faire entrer » l'expert dans le processus. Les prémices de l'approche floue sont apparues bien avant les années 1940, grâce à des chercheurs américains. Mais il a fallu attendre 1965 pour que le concept de sous-ensemble flou soit employé par L.A. Zadeh, professeur automatique à l'université de Berkeley en Californie. Cet éminent chercheur a participé à la modélisation de phénomènes sous forme floue avec pour objectif de pallier aux inconvénients liés aux limitations dues aux incertitudes des modèles classiques à équations différentielles. En 1974, M. Mamdani expérimentait les énoncés théoriques de Zadeh sur une chaudière à vapeur, introduisant ainsi la commande floue dans la régulation d'un processus industriel. Depuis, de nombreuses applications ont vu le jour en Europe, telles que la régulation des fours de cimenteries. Citons aussi le chercheur japonais M. Sugeno qui introduisit la logique floue pour la première fois au Japon en 1985. Subséquemment, les industriels ne tardèrent pas à comprendre l'avantage à la fois technique et commercial de la commande floue que nous pouvons résumer ainsi:

- Facilité d'implémentation,
- Solution de problèmes multi variables complexes,
- Robustesse vis-à-vis des incertitudes [CHE13].

I.5.2: Méthodes de diagnostic avec modèle

Les méthodes à base de modèle ont été développées dès le début des années 70. Ce type de méthodes à base de modèle, fait appel à des techniques d'automatique. Ces méthodes ont pour but de comparer les valeurs des variables réelles avec les valeurs calculées en utilisant un modèle qui met en rapport les variables du processus. Elles se

composent de deux sous catégories de méthodes : méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle et méthodes de diagnostic par modélisation physique.

I.5.2.1.Méthodes de diagnostic par modélisation fonctionnelle et matérielle :

Les méthodes les plus couramment rencontrées sont :

-L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC).

-Les Arbres De Défaillances (ADD).

-Le principe de ces méthodes consiste à établir a priori et de la manière la plus complète possible, les liens entre les causes initiales des défaillances et leurs effets mesurables

I.5.2.2. Méthodes de diagnostic par modélisation physique :

Une autre catégorie de méthodes analytiques est représentée par les méthodes basées sur une modélisation physique des processus surveillés. Ces méthodes sont les méthodes les plus familières aux automaticiens. Le principe de ces méthodes est de comparer les mesures effectuées sur le système avec les informations fournies par le modèle analytique.

Tout écart représente alors une défaillance, ce qui explique la nécessité des outils de la théorie de la décision utilisés pour déterminer si cet écart est dû à des aléas normaux, comme par exemple le bruit de mesure ou s'il traduit une défaillance du système.

Généralement, ces méthodes peuvent être séparées en deux catégories :

- Techniques de redondance physique et analytique,

- Les techniques d'estimation paramétrique.

I.5.2.2.1.Redondance physique :

Pour s'assurer de la validité d'une mesure et distinguer les défaillances capteurs des défaillances système, une méthode simple consiste à mesurer la même grandeur physique, à l'aide de différents capteurs, d'où le nom "Redondance physique" ou "Redondance matérielle". Ensuite, on considère qu'une défaillance capteur s'est produite dans au moins une des composantes, si les composantes identiques placées dans le même environnement émettent des signaux distincts, et dans le cas contraire, on considère que ces composants sont dans un état de fonctionnement nominal [ZHA99].

Ce type de redondance a été très couramment employé dans les domaines à haut niveau de risque, notamment dans le cas de l'aéronautique ou le nucléaire. Cette méthode a l'avantage d'être relativement efficace et conceptuellement simple mais coûteuse à être

mise en œuvre et ne s'applique généralement que sur des capteurs. Un autre inconvénient est que les composantes identiques placées dans le même environnement peuvent rencontrer des défauts en même temps et de la même façon.

I.5.2.2.2.Redondance Analytique :

Par opposition à la redondance physique, la redondance analytique est basée sur l'utilisation des modèles analytiques qui sont une représentation mathématique des lois d'évolution des variables physiques du système, ce qui permet de comparer le comportement observé et le comportement du système. Cette comparaison fournit alors une quantité appelée "résidu" qui va assister à déterminer si le système est dans un état défaillant ou non. Parmi les différentes méthodes de détection utilisant des modèles mathématiques, nous trouvons principalement : l'espace de parité et les observateurs.

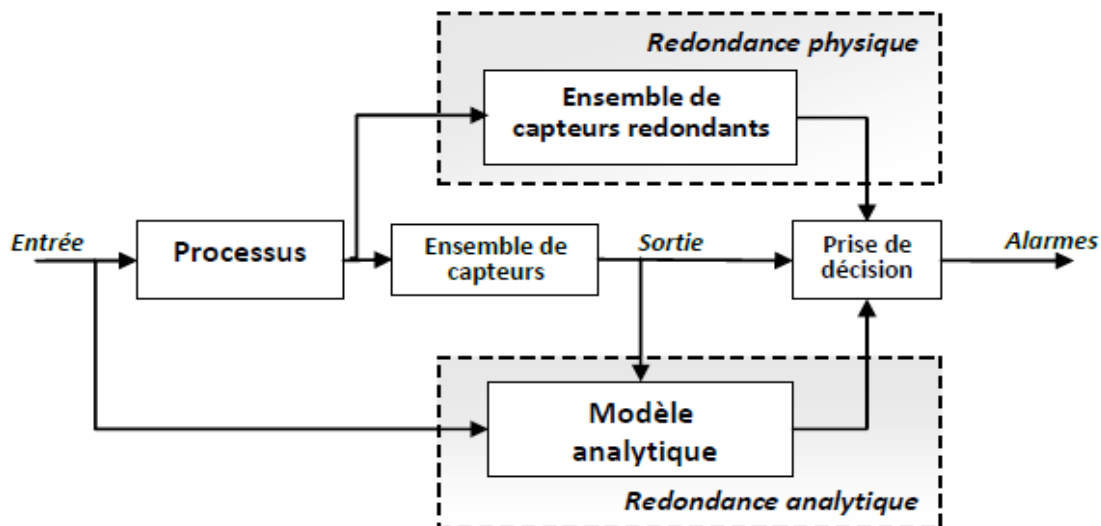


Fig. I.7 : Architecture de redondance physique et analytique.

La Fig. I.5, ce type de méthodes est généralement réalisé en deux étapes : génération des résidus puis analyse et évaluation des résidus grâce à un système de décision.

Le rôle de ce système de décision est de déterminer si le résidu est significatif pour décider de l'existence d'un défaut.

I.5.2.2.3.Méthodes d'estimation paramétrique :

L'idée de base de la méthode d'estimation paramétrique est de supposer qu'il y a un modèle paramétrique qui peut décrire le comportement du système et que les valeurs de ces paramètres en fonctionnement nominal soient connues. Pour détecter l'apparition de défaillances dans le système, le principe consiste alors à estimer en continu les

paramètres du système à partir de mesures des entrées et des sorties et en l'évaluation de la distance qui les sépare des valeurs de référence de l'état normal du procédé. La théorie de la décision est pareille comme pour les méthodes de redondance analytique. La différence entre les méthodes de redondance analytique et les méthodes d'estimation paramétrique est qu'on effectue, pour les premières, la comparaison entre l'état estimé et l'état théorique du système, alors que pour les secondes, on compare les paramètres estimés avec les paramètres théoriques du système.

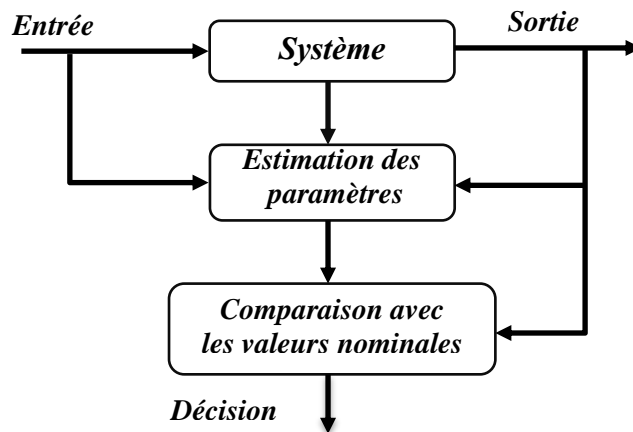


Fig. I.8 : Principe de l'approche par estimation des paramètres [CHA06].

I.6.Procedure de diagnostic a base modèle:

Le diagnostic à base de modèle est largement présent dans la littérature pour des applications industrielles [FEL07].

Ces méthodes s'appuient sur la comparaison du comportement observé et du comportement attendu (prédit par un modèle) du système [LOO01].

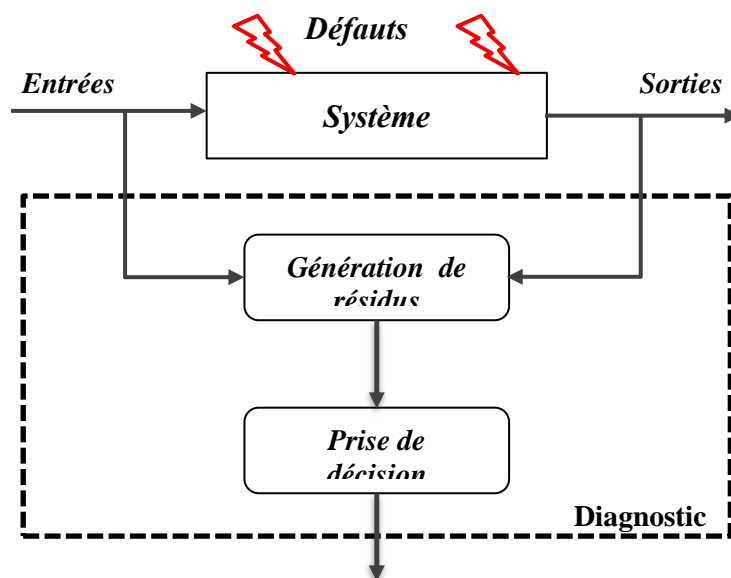


Fig. I.9: Diagnostic à base de modèle [ACH12].

I.6.1 : Génération de résidus :

Cette première phase consiste à produire des indicateurs de défauts (résidus) qui sont des signaux résiduels reflétant l'écart entre les mesures des signaux du procédé, actionneurs ou capteurs, et la valeur théorique fournie par le modèle dans des conditions de fonctionnement normal. Les résidus contiennent alors des informations sur les anomalies ou dysfonctionnements du système à surveiller. La qualité de la génération de résidus est un élément essentiel pour garantir les performances d'un système de diagnostic.

Plusieurs méthodes existent pour la génération de résidus. Ces méthodes peuvent être subdivisées en deux approches principales [ACH12] :

I.6.1.1.Approche quantitative :

Observateur, filtre de Kalman, espace de parité, estimation paramétrique...

I.6.1.2.Approche qualitative :

Logique floue, réseaux de neurones, reconnaissance de forme, système expert...

I.6.1.3.Prise de décision :

Cette deuxième phase consiste à analyser les résidus pour détecter et localiser la présence ou non d'un ou de plusieurs défauts sur le procédé et éventuellement isoler l'élément défaillant. Donc cette étape permet de classer l'infinité des comportements possibles des résidus en plusieurs catégories représentant les différentes situations de défaut. La qualité de la détection dépend généralement de deux paramètres essentiels qui sont la fausse alarme et la non détection. On parle de localisation quand on est, de plus, capable de préciser la nature du ou des défauts occurrents. Comme pour la génération de résidus, il existe plusieurs méthodes permettent la satisfaction de cette tâche.

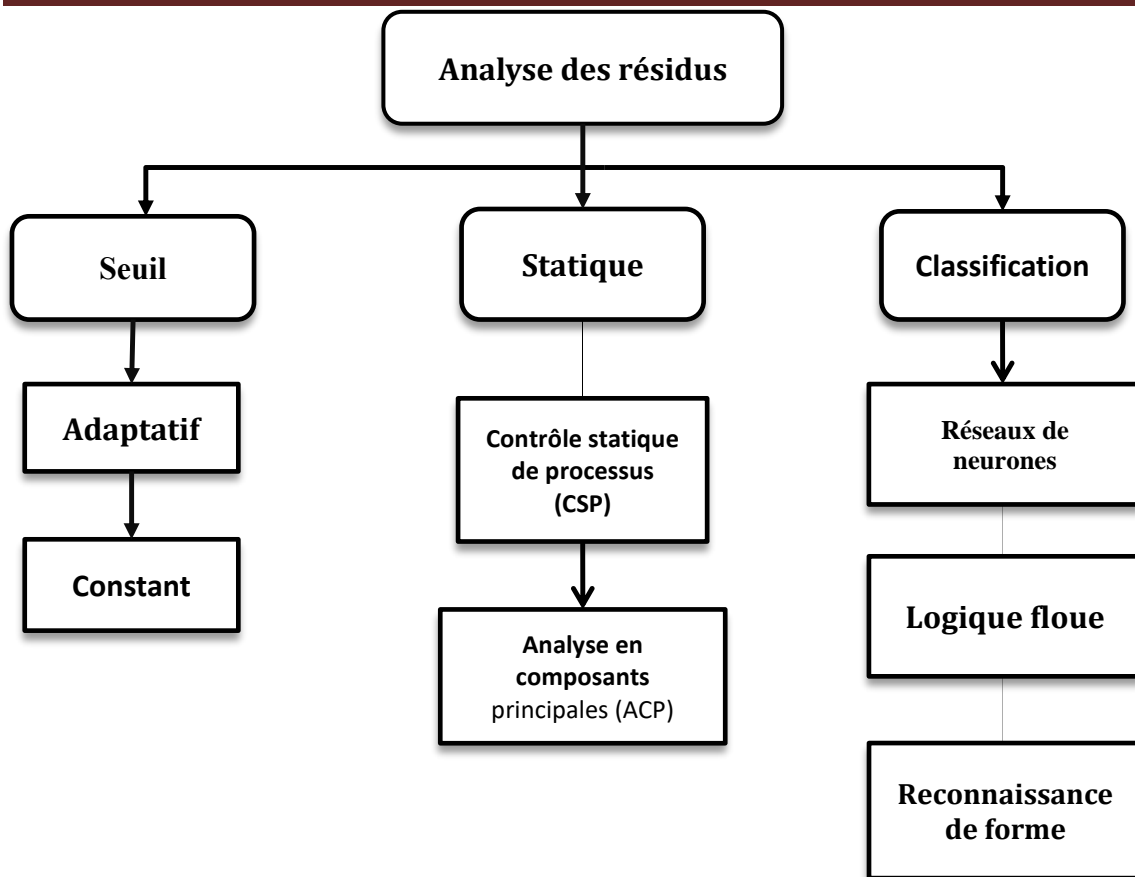


Fig. I.10 : Méthodes d'analyse des résidus [ACH12].

I.6.2. Critères de performance d'un système de diagnostic :

Pour pouvoir assurer qu'un système de diagnostic est performant, il s'agit de présenter les principaux critères permettant d'évaluer les performances d'un système de diagnostic. D'une manière générale, nous pouvons regrouper les différents critères de performance du système de détection de la manière suivante [RET97]:

I.6.2.1. Détectabilité :

La détectabilité est l'aptitude du système de diagnostic à pouvoir déceler la présence d'une défaillance sur le procédé. Elle est fortement liée à la notion d'indicateurs de défauts (résidus). Elle résulte d'un compromis entre le taux de fausse alarme et celui du non détection.

I.6.2.2. Isolabilité :

L'isolabilité est la capacité du système de diagnostic à remonter directement à l'origine du défaut. Il faut noter qu'une alarme engendre bien souvent de nouvelles alarmes, ce qui rend une telle fonction complexe et il devient dès lors difficile de retrouver l'organe

défaillant. La propriété d'isolabilité est liée à la structure des résidus et à la procédure de détection elle-même.

I.6.2.3.Sensibilité :

La sensibilité caractérise l'aptitude du système à détecter des défauts de certaine amplitude. Elle dépend non seulement de la structure des résidus mais aussi du rapport de l'amplitude du bruit de mesure avec celle du défaut.

I.6.2.4.Robustesse :

La robustesse détermine la capacité à détecter des défauts indépendamment des erreurs de modélisation, (Sensibilité du résidu aux défauts et insensibilité vis-à-vis des perturbations). Généralement, la robustesse est définie par rapport à toutes les entrées inconnues.

I.6.3. Le coût économique et le temps de développement :

En pratique, d'autres critères sont à prendre en considération. En phase d'industrialisation, les contraintes économiques sont essentielles. La rapidité de détection peut être un facteur déterminant. De même, les coûts économiques vont conditionner la stratégie de diagnostic.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes utilisées dans le domaine de diagnostic de défauts. Ces méthodes sont généralement divisées en deux groupes : méthodes de diagnostic avec modèle et sans modèle. Les premières se basent sur l'existence d'un modèle formel de l'équipement et utilisent généralement les techniques de l'automatique. La deuxième catégorie est plus intéressante dès lors qu'un modèle de l'équipement est inexistant ou difficile à obtenir. Dans ce cas, on utilise les outils de la statistique et de l'intelligence artificielle. Le choix d'une de ces méthodes dépend essentiellement des connaissances disponibles sur le procédé, sans oublier les considérations techniques et économiques.

II.1. Introduction :

Le filtrage actif parallèle présente actuellement, la solution la plus fiable pour l'élimination des harmoniques de courant surtout après le développement des semi-conducteurs de puissance, les DSP et les microcontrôleurs. La réussite de ce type de filtrage est due aussi aux développements des techniques de commandes des onduleurs (MLI, Hystérésis, et plus récemment MLI vectorielle) .Plusieurs recherches liées à ce problème portent essentiellement sur le modèle de puissance du filtre, et les méthodes de générations des signaux de références.

Dans ce chapitre nous présenterons la structure de l'onduleur, le principe générale de fonctionnement et les différents types et leurs applications. Ainsi nous avons étudié le filtre active parallèle, Structure et l'étude de filtre aux variations de charge non linéaire.

II.2. Définition de l'onduleur :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion continue alternative, alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir l'alternatif à la sortie. L'onduleur est essentiellement utilisé pour fournir une tension ou un courant alternatif afin d'assurer l'alimentation en énergie des charges critiques (micro-ordinateur, station de télécommunication.) pendant la coupure du réseau électrique ou une alimentation permanente pour les systèmes autonomes (centrales photovoltaïques, engins aérospatiaux,...). La représentation symbolique d'un onduleur est donnée par la figure (II.1) [ADJ09] :

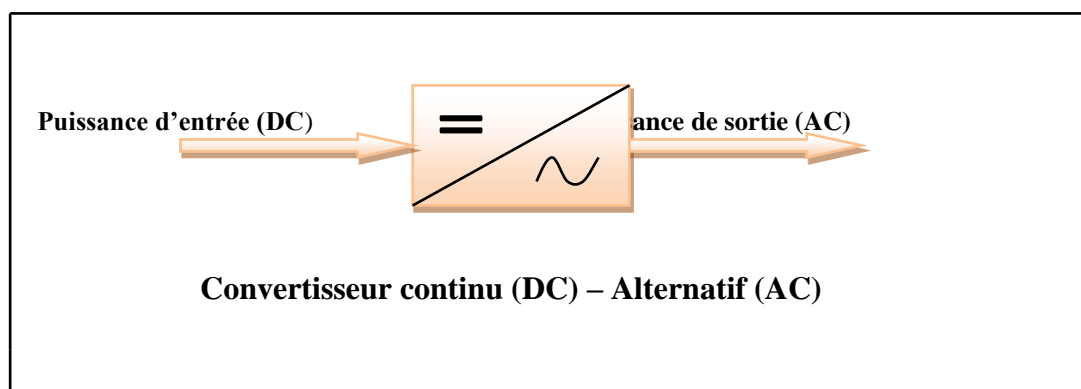


Fig. II.1 : Schéma de principe de l'onduleur.

II.3. Classification des onduleurs et leurs applications :

Il existe plusieurs centaines de schémas d'onduleurs, chacun correspondant à un type d'application déterminé ou permettant des Performances recherchées.

Les onduleurs sont classés en général en deux catégories selon les modes de commutation de Leurs interrupteurs, on distingue : les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes (ou assistés).

II.3.1.L'onduleur non autonome (ou assisté) :

Un onduleur non autonome ou assisté est un système de commutation à thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par la charge.

Dans ce cas, la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées par le réseau alternatif sur lequel débite l'onduleur. Ce type d'onduleur est utilisé pour :

- Le transport d'énergie en courant continu.
- Le freinage par récupération : pendant le freinage de la machine à courant continu qui peut fonctionner en génératrice, l'énergie fournie dans ce cas peut être récupérée et transférée au réseau alternatif par un onduleur assisté, [ADJ09].

II.3.2.L'onduleur autonome :

Un onduleur autonome est un système de commutation à transistors ou à thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par des circuits externes. La fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées à la charge, c'est-à-dire elles sont propres à l'onduleur. L'onduleur autonome peut être [ADJ09] :

- A fréquence fixe : utilisé comme source de secours ou alimentation sans coupure, Il est alimenté le plus souvent à partir d'une batterie d'accumulateurs (cas de PC, salles d'informatique,...) comme il est montré sur la figure (II.2):

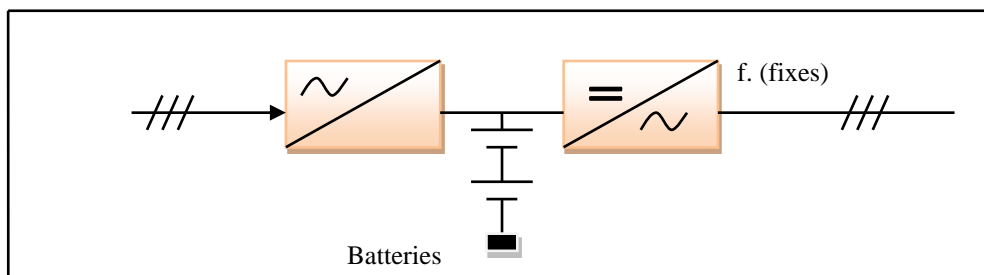


Fig. II.2 : Alimentation sans coupure.

Il est utilisé aussi pour les applications à induction, ...)
mais dans ce cas tous les onduleurs sont monophasés.

A fréquence variable : dans ce cas il est utilisé pour la variation de vitesse des moteurs asynchrones triphasés, figure (II.3) [ADJ09] :

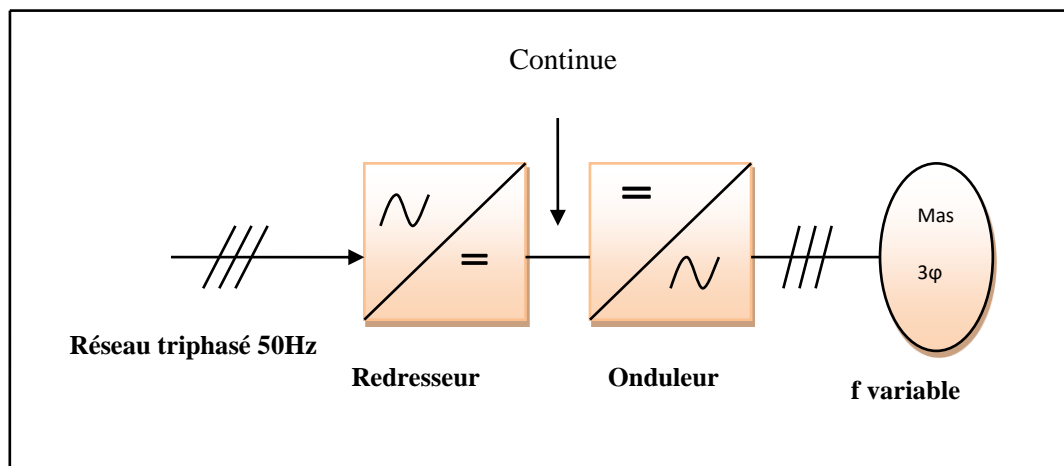


Fig. II.3 : Convertisseur de fréquence.

II.4. Les différents types d'onduleur :

Pour fonctionner, un onduleur a besoin d'une source à courant continu que l'on peut obtenir en redressant la tension du réseau triphasé.

La sortie à courant continu du redresseur et l'entrée à courant continu de l'onduleur sont reliées par un circuit intermédiaire. On utilise deux types de liaisons : les liaisons à source de courant et les liaisons à source de tension. Un onduleur associé à un redresseur est alors appelé onduleur de courant ou de tension, On distingue deux types d'onduleurs autonomes:

- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continu.
- Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.

II.4.1 Onduleur de courant (autonome) :

Un onduleur de courant (souvent appelé commutateur de courant) est alimenté par une source de courant continu (Figure (II.4)), d'impédance interne si grande pour que le courant qui la traverse ne peut être affecté par les variations de la tension à ses bornes. La source continue impose le courant à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie [ADJ09].

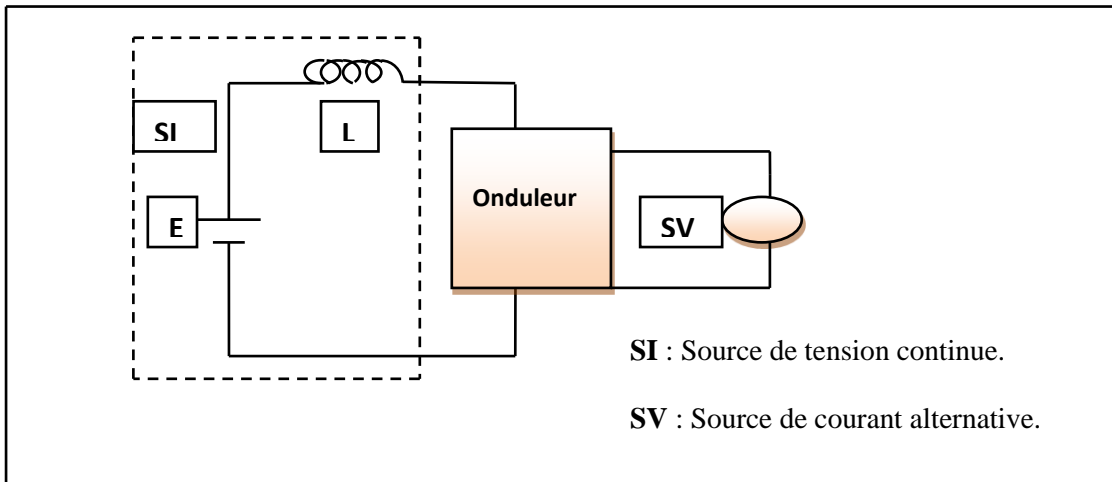


Fig. II.4 : Représentation schématique d'un onduleur de courant.

Circuit de puissance d'un onduleur de courant : prenons comme exemple d'un onduleur de courant, le montage d'un pont triphasé à thyristors, figure (II.5) [ADJ09] :

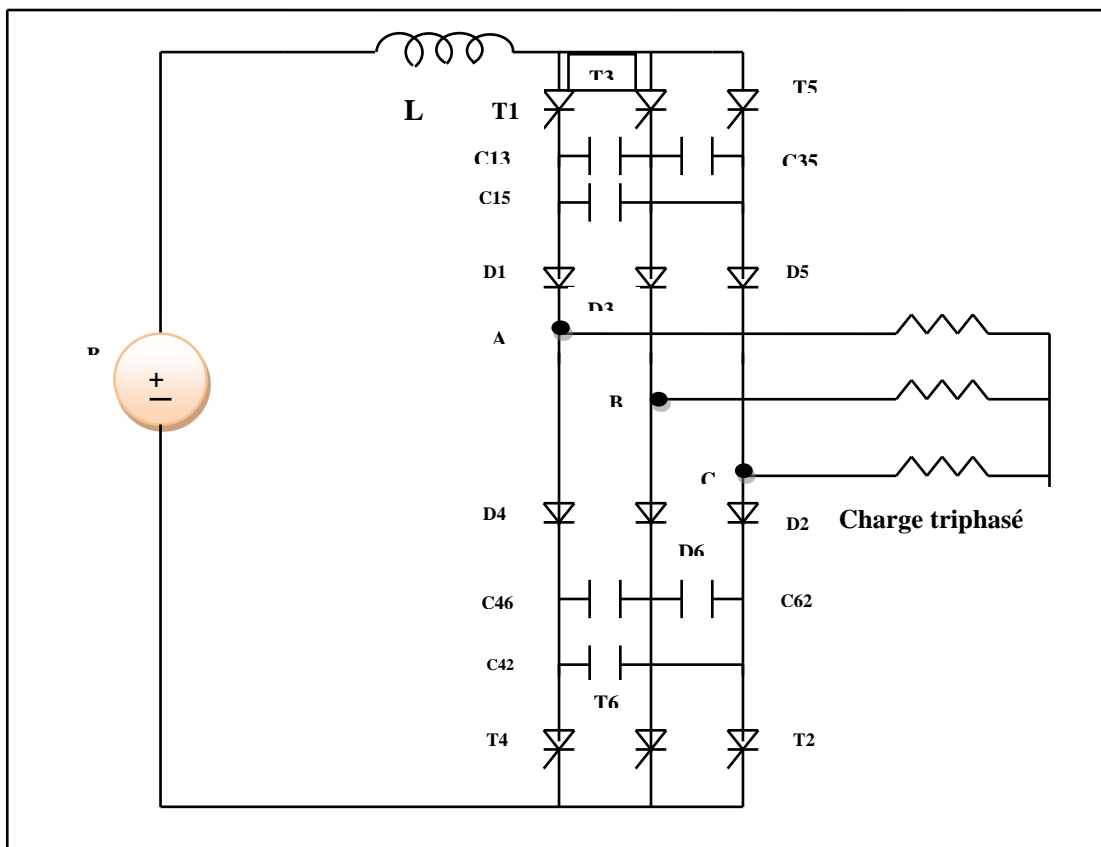


Fig. II.5 Onduleur de courant en pont triphasé à thyristors.

II.4.2 Onduleur de tension (autonome):

C'est un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue, d'impédance interne négligeable. Sa tension n'est pas affectée par la variation du courant qui la traverse, la source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie, figure (II.6) [ADJ09] :

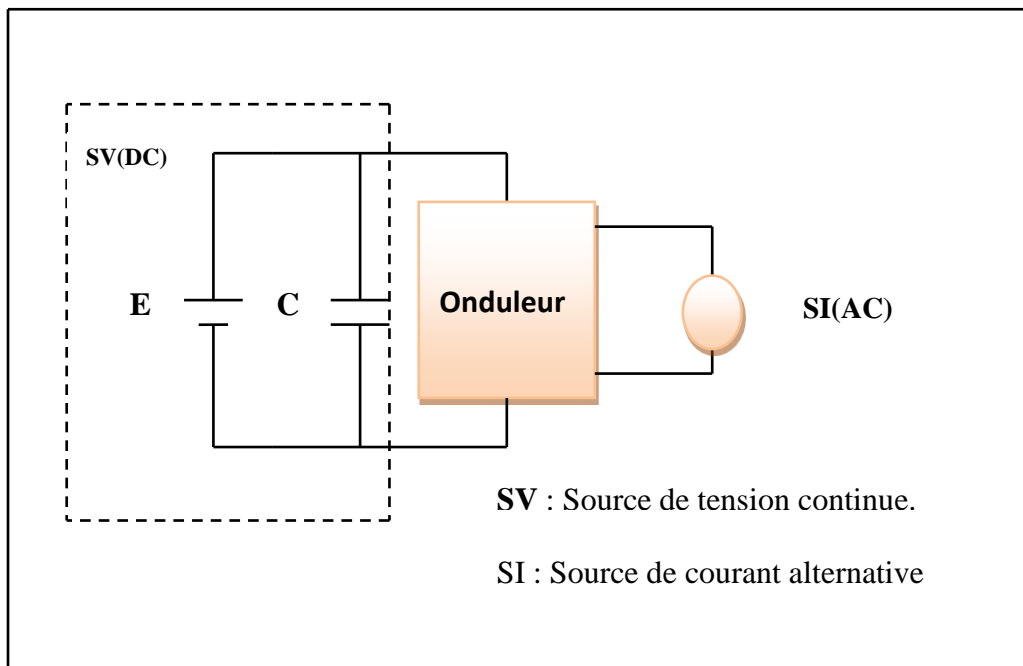


Fig. II.6 : Représentation schématique d'un onduleur de tension.

L'onduleur de tension est autonome si la fréquence de la tension de sortie est indépendante du réseau alternatif, il est non autonome (assisté) si la fréquence est imposée par le réseau alternatif. Selon le choix des interrupteurs commandés, les onduleurs présentent des avantages les uns par rapport aux autres. C'est pourquoi un onduleur de tension à transistors présente des avantages par rapport à celui à thyristors :

- Facilité de commande (le transistor est commandé à l'ouverture et à la fermeture),
- Élimination du circuit de commutation forcée,
- Faibles pertes de commutation,
- Possibilité de fonctionnement à des fréquences plus élevées, [ADJ09].

Circuit de puissance d'un onduleur de tension : prenons comme exemple d'un onduleur de tension, le montage d'un pont triphasé à thyristors, figure (II.7) :

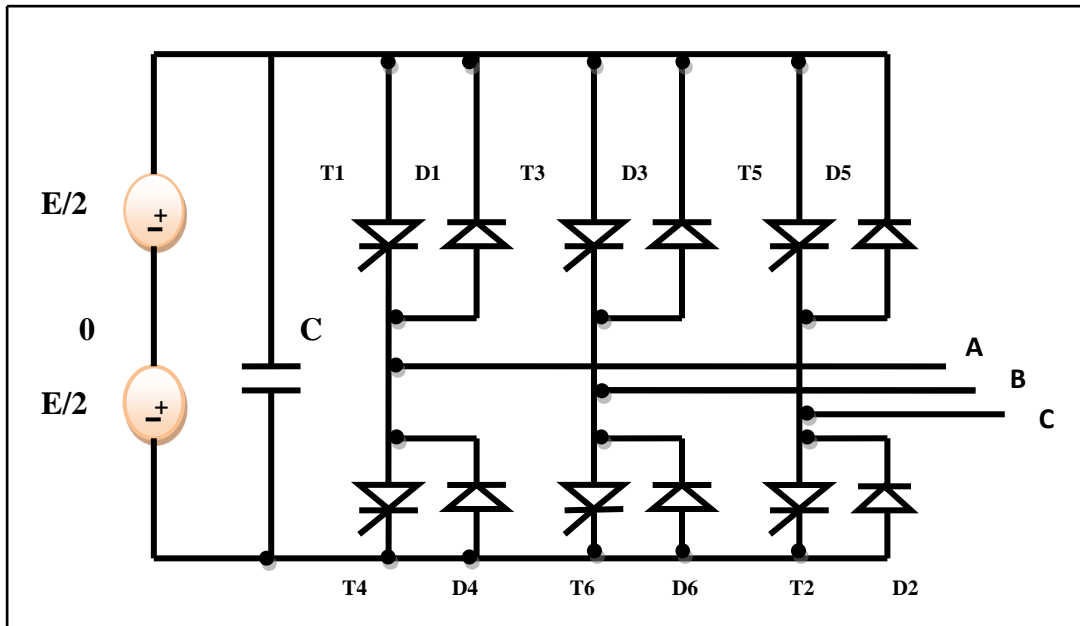


Fig. II.7 Onduleur de tension en pont triphasé à thyristors.

Les diodes en tête-bêche sur les interrupteurs commandés du circuit de puissance jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement de l'onduleur en assurant essentiellement trois fonctions :

- Faciliter l'extinction des interrupteurs commandés en les polarisant en inverse lorsqu'il s'agit de thyristors,
- Autoriser la démagnétisation de la self de la charge inductive au moment de l'ouverture des interrupteurs,
- Assurer le redressement des courants débits par la charge (cas de la machine asynchrone) lorsqu'elle fonctionne en génératrice, [ADJ09].

II.5.Types d'onduleurs autonomes de tension:

II.5.1 Les onduleurs monophasés :

Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue en utilisant deux interrupteurs, il faut un point milieu, soit du côté de la sortie alternative, soit du côté de l'entrée continue, cela correspond à :

- l'onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu appelé onduleur Pushpull (Figure II .8).
- l'onduleur monophasé avec diviseur capacitif à l'entrée appelé onduleur en demi pont. (Figure II.9).

Si on veut varier la largeur relative des créneaux formant les alternances de la tension de

sortie, il faut quatre interrupteurs c'est : l'onduleur monophasé en pont (Figure II.10), [BER06].

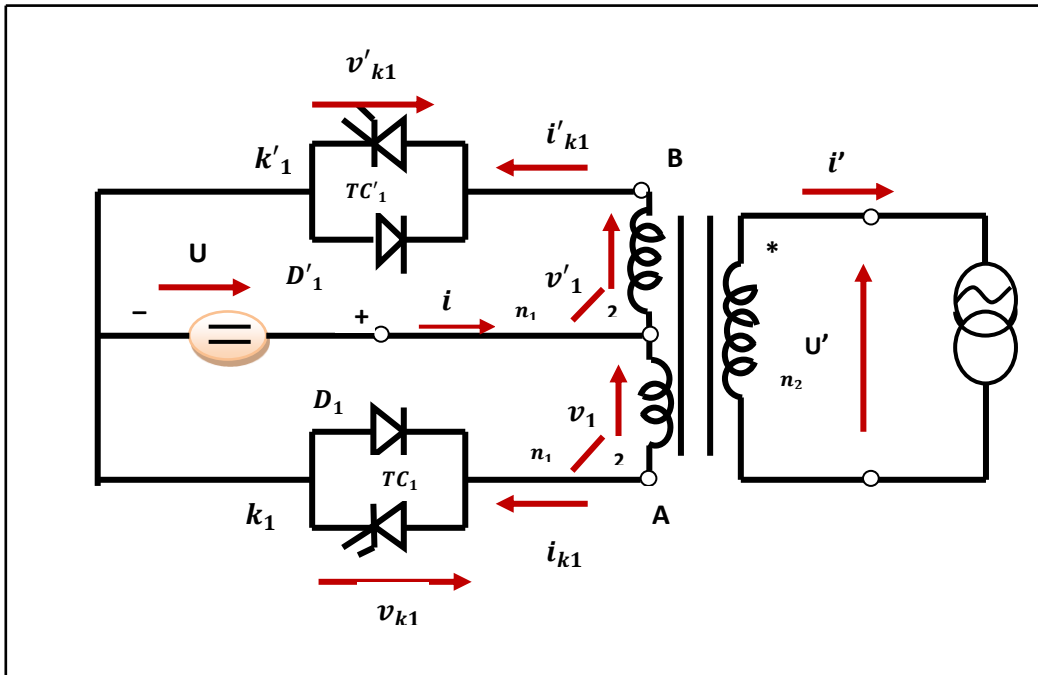


Fig. II.8 : Onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu.

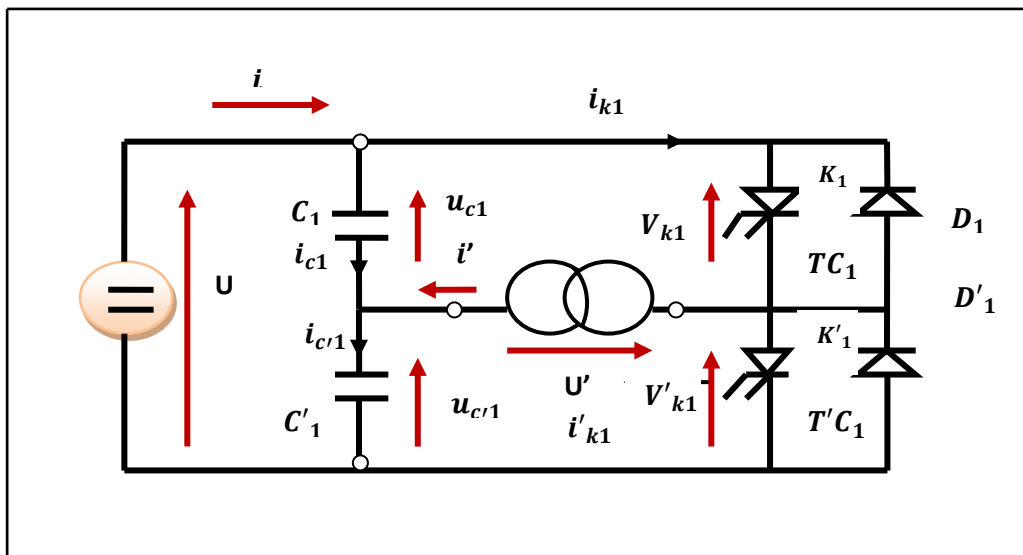


Fig. II.9 : Onduleur monophasé avec diviseur capacitif.

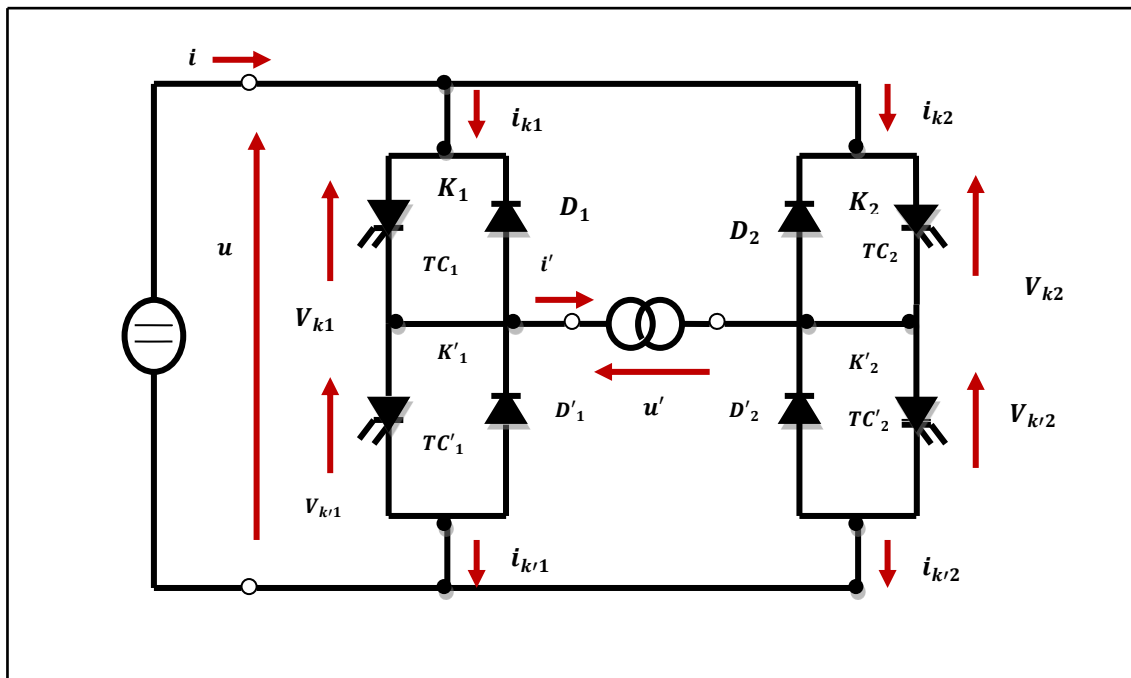


Fig. II.10 : Onduleur monophasé en pont.

II.5.2 Les onduleurs triphasés :

L'onduleur de tension triphasé découle immédiatement de trois demi pont monophasé, on obtient l'onduleur triphasé à six interrupteurs (figure II.11).

Chaque demi pont comprend un thyristor (ou un transistor) et une diode .la source de tension continue est obtenue à partir d'un pont redresseur, [BER06].

Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif i_a i_b i_c , les interrupteurs K₁, K'₁ et K₂, K'₂, K₃ et K'₃ doivent être complémentaires deux à deux.

On définit $K_i = (T_i, D_i)$.

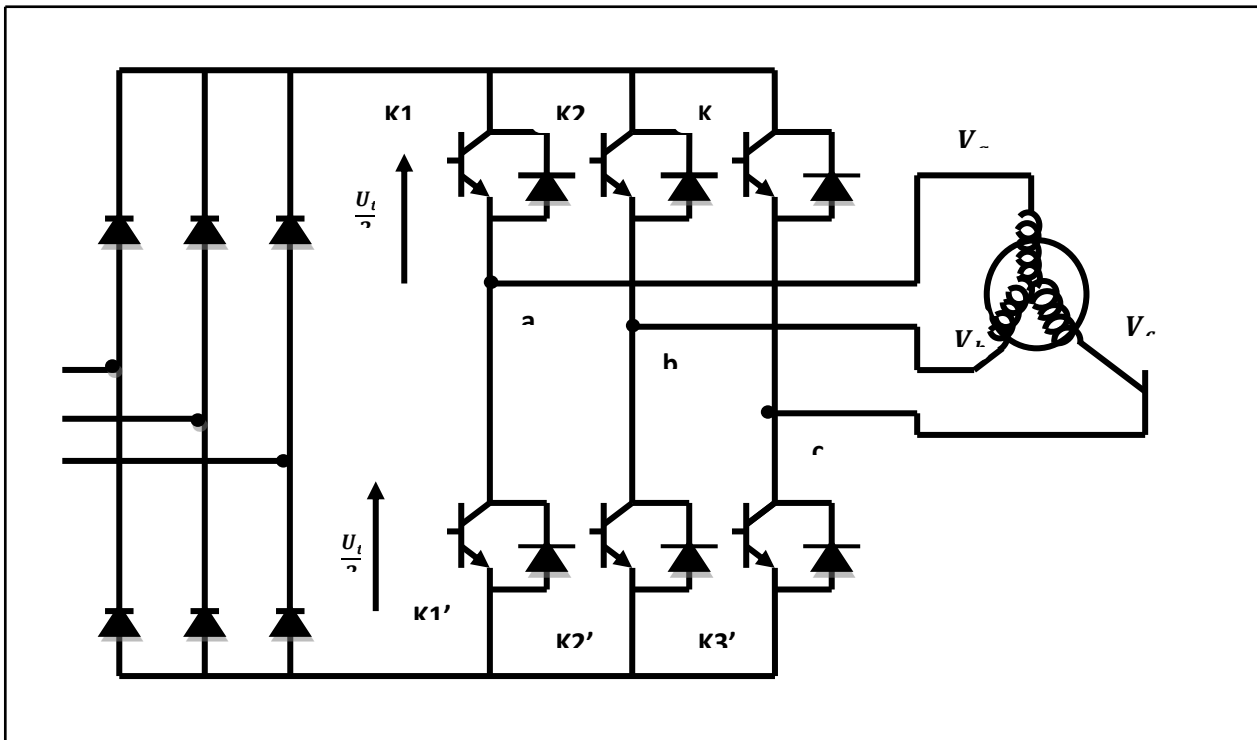


Fig. II.11 : Onduleur de tension triphasé.

II.6. Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé :

La représentation schématique de l'onduleur est fournie par la figure (II.11).

Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif i_a , i_b et i_c , les interrupteur K_1 et $K'1$, K_2 et $K'2$, K_3 et $K'3$ doivent être complémentaire deux à deux, et pour que les tensions de sortie V_a , V_b et V_c soient identiques à un tiers de la période T de leur fondamental près, il faut commander chaque demi pont avec un retard de $T/3$ sur le précédent.

En commande pleine onde on ferme donc :

- K_1 pour $\omega t = 0$ $K'1$ pour $\omega t = \pi$
- K_2 pour $\omega t = 2\pi/3$ $K'2$ pour $\omega t = \pi + 2\pi/3$
- K_3 pour $\omega t = 4\pi/3$ $K'3$ pour $\omega t = \pi + 4\pi/3$

La présence du neutre relié à la source est indispensable si le récepteur est déséquilibré et tout particulièrement s'il comporte des charges monophasées montées entre phase et neutre. Si le récepteur triphasé est équilibré (moteur triphasé par exemple) on peut supprimer la liaison entre le point neutre « N » et le point milieu « 0 » du la source.

Donc supprimer celui-ci, on obtient alors l'onduleur triphasé proprement dit (figure II.11), [BER06].

II.7. Les onduleurs multi niveaux :

Les onduleurs multi niveaux permettent d'augmenter la tension de sortie des convertisseurs statiques au-delà des limites des semi-conducteurs. Pour les réaliser on doit disposer de plusieurs sources de tension continue (obtenue par exemple à partir d'un diviseur capacitif). On peut faire apparaître autant de cellules de commutation élémentaires et les associer en les superposant ou en les mettant en cascade. Cela permet de multiplier le nombre de niveau que l'on peut donner à la tension de sortie. Cette dernière est souvent obtenue par une modulation de largeur d'impulsions (MLI). Ces onduleurs sont utilisés pour l'entraînement des moteurs asynchrones de grande puissance, d'autres applications sont possibles pour des moteurs qui tournent à vitesse élevée (> 5000 tr/mn). Pour le cas de notre mémoire, on a mis en évidence un onduleur de tension autonome triphasé, [BER06].

II.8. Présentation la défaillance d'un exemple d'interrupteur statique l'IGBT sur un convertisseur de puissance:

II.8.1. Court-circuit :

Le défaut de type court-circuit se produit lorsqu'un des composants d'une cellule de commutation reste constamment fermé. Un tel défaut peut avoir deux causes : soit la mise en court-circuit physique de la puce de silicium (IGBT ou diode) par dépassement de température critique, soit la défaillance de la commande rapprochée. L'analyse du déroulement d'un court-circuit est décrite dans.

Dans ce cas, les courants de phases sont fortement altérés. Ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable au convertisseur et nécessiterait la mise en œuvre de sécurité permettant de déconnecter le bras défaillant dès l'apparition de cette défaillance [OLI06].

II.8.2. Circuit ouvert :

Il se peut, pour diverses raisons, qu'un des IGBT (supérieur ou inférieur) d'une cellule de commutation d'un bras reste constamment ouvert (défaut de type circuit ouvert). Ce type de défaut a pour principale cause une défaillance de la commande rapprochée (défaut thermique du driver ou perte d'alimentation par exemple).

Selon la localisation du défaut dans la cellule, celui-ci sera visible soit sur l'alternance positive du courant (défaut sur IGBT supérieur), soit sur l'alternance négative (défaut

IGBT inférieur). Lorsque le défaut est visible, la signature se matérialise par le passage d'un rapport cyclique α à 0 ou à 1, mais uniquement sur la cellule défaillante.

La conséquence est que la cellule défaillante se retrouve alors en surtension et qu'un arrêt du convertisseur est obligatoire pour éviter une propagation du défaut [OLI06].

II.8.3. Vieillessement :

Comme pour la diode classique, ce mode de défaillance de l'IGBT est corrélé avec l'augmentation de l'impédance thermique qui peut être entraînée par :

- Sollicitations successives (cyclage).
- Défaut au niveau de la puce de silicium.
- Boîtier non hermétique, permettant à l'humidité de pénétrer à l'intérieur (plus ou moins fréquent sur les composants non militaire) et la corrosion du composant [OLI06].

II.9. 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 (SVM).

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.

II.9.1. 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 [YAH14].

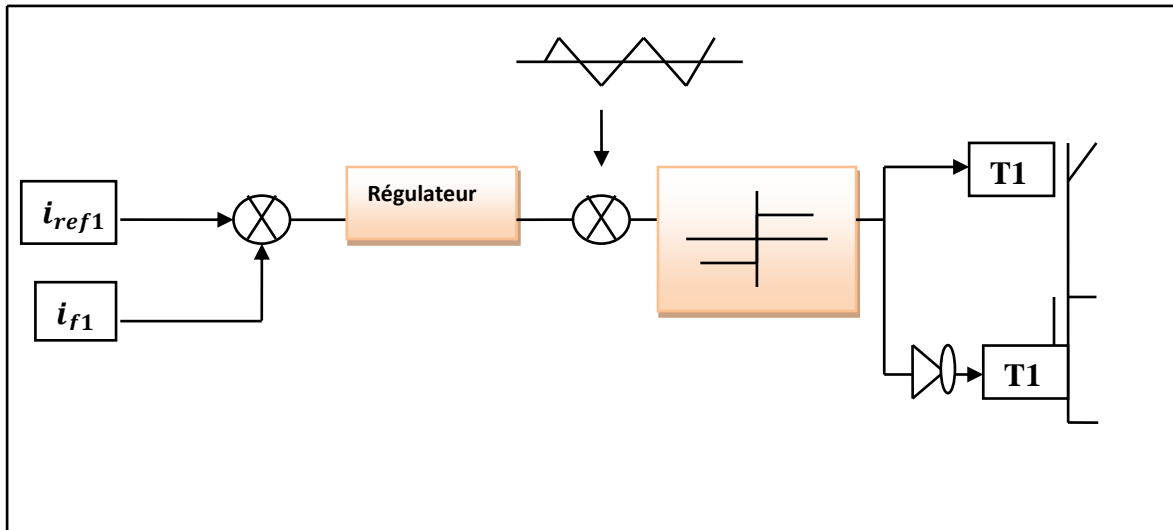


Fig. II.12 : Principe de commande de courant par hystérésis.

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, [YAH14].

II.9.2. 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 interjective. 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 (II.13) [YAH14].

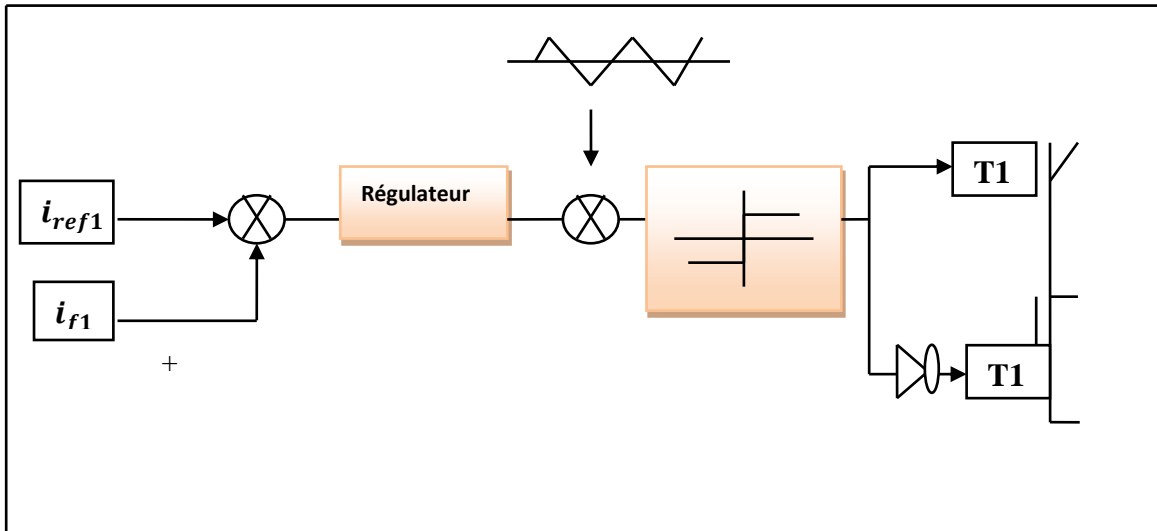


Fig. II.13 : Principe de commande des courants par MLI.

Les signaux logiques qui en résultent donnent l'ordre de commutation d'interrupteurs du filtre (Figure II.14), [YAH14] :

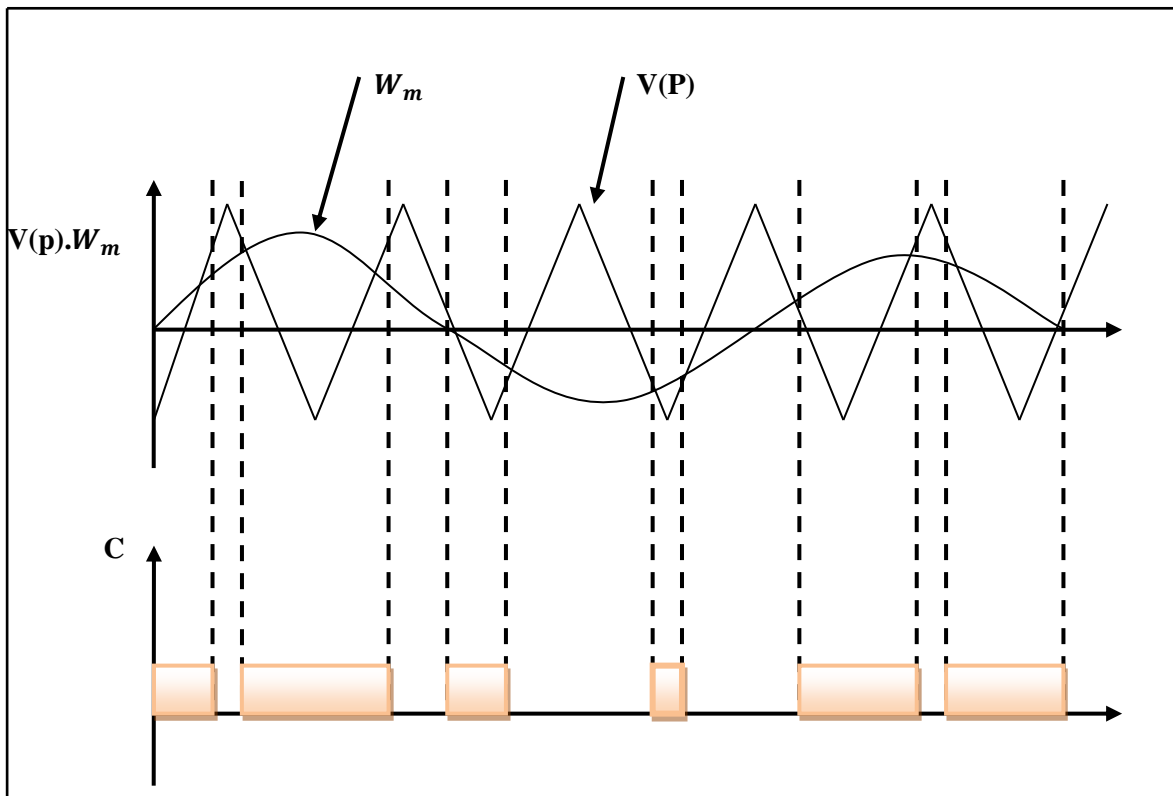


Fig. II.14: Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur.

II.9.3. Commande par MLI vectorielle (Space Vector Modulation

S.V.M):

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 [YAH14].

- 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 régulier 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 augment les harmoniques) [YAH14].

Le principe de la modélisation par la méthode vectorielle et généralisée dans la figure suivant [AOU17] :

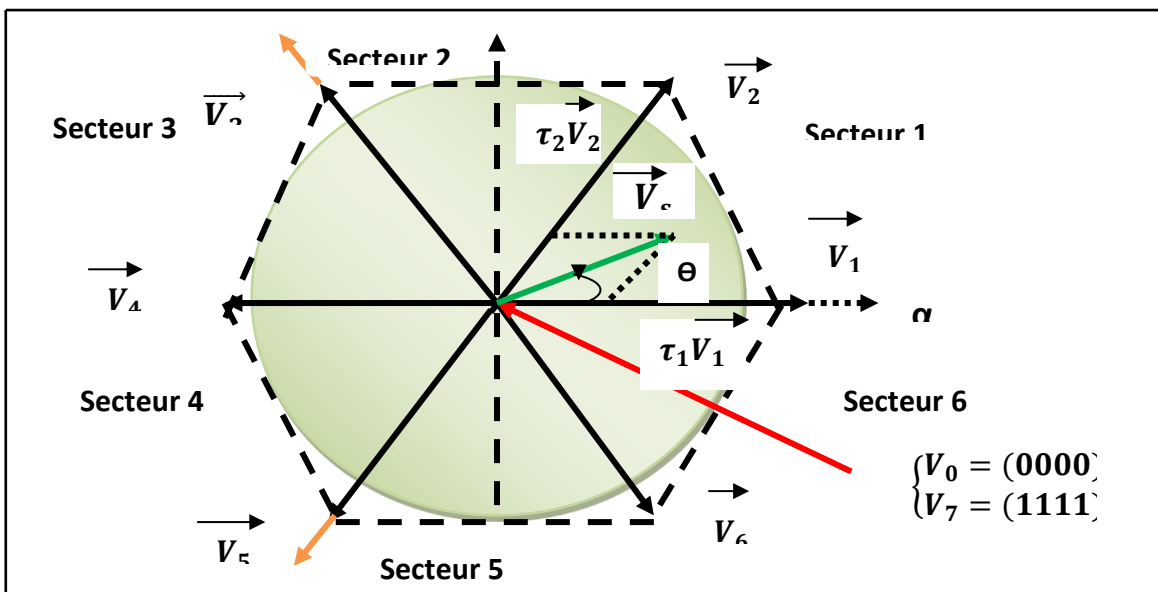


Fig. II.15 : Diagramme des 6 secteurs de la SVM.

II.10. Nouvelles solutions de dépollution:

II.10.1. Les redresseurs à MLI:

Grâce à la stratégie de modulation de largeur d'impulsion, un convertisseur AC- DC à absorption sinusoïdale a été rendu possible. C'est une solution très efficace, cependant elle doit être généralisée, ce qui n'est pas le cas malheureusement de nos jours. Dans le cas monophasé, la structure la plus répandue est une mise en parallèle d'un pont redresseur monophasé à diode et d'un hacheur, tandis que dans le cas triphasé, c'est la structure en pont triphasé à base de GTO ou IGBT qui est la plus répandue. Cette solution permet de réduire les harmoniques produits par les convertisseurs AC- DC et il ne peut agir sur les harmoniques créés par d'autres sortes de charges polluantes, [DEM19].

II.10.2 Filtres actifs :

Les progrès réalisés durant ces dernières années dans le domaine des composants semi-conducteurs commandés ont rendu l'utilisation des filtres actifs intéressante.

Ce sont aussi des convertisseurs à commutation forcée, utilisés pour la dépollution harmonique des réseaux. Cette pollution a pour origine deux sources.

Les harmoniques provenant du côté charge qui se comporte comme des sources de courant harmonique i_{dh} et ceux provenant du côté réseau qui sont des sources de tension harmonique V_{rh} .

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

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

Pourtant, ils possèdent aussi quelques inconvénients :

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

Le but de ces filtres est d'engendrer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant et la tension soient rendus sinusoïdaux. Le filtre actif est connecté en série ou en parallèle suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques [DEM19].

II.10.3. Filtre actif parallèle :

Le filtre actif parallèle, appelé aussi compensateur shunt SAPF. Il est le plus souvent commandé comme un générateur de courant. Il est commandé de façon à injecter au réseau des courants harmoniques égaux à ceux générés par la charge polluante mais de phases opposées, le courant côté réseau est alors sinusoïdal. Sur la Figure (II.16) apparaît le synoptique d'un filtre actif parallèle. Le filtre actif est constitué d'un onduleur de tension et d'un filtre inductif en sortie. Ainsi, l'inductance en sortie de l'onduleur donne la nature de source de courant au filtre actif. La capacité joue le rôle d'une source de tension continue, la tension à ses bornes doit obligatoirement être régulée [DEM19].

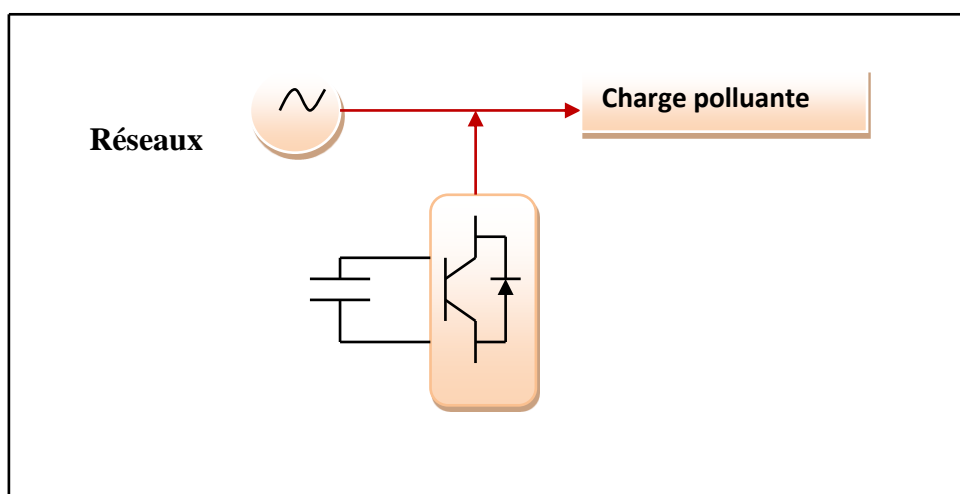


Fig. II.16 : Filtre actif parallèle.

I.10.4. Filtre actif série :

Dans cette configuration, le filtre est placé en série sur le réseau comme le montre la Figure (II.17). Il se comporte comme une source de tension qui engendre des tensions harmoniques dont la somme avec la tension réseau est une onde sinusoïdale. Il est destiné à protéger les installations sensibles aux perturbations provenant du réseau telles que les harmoniques en tension, les surtensions, etc. En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge [DEM19].

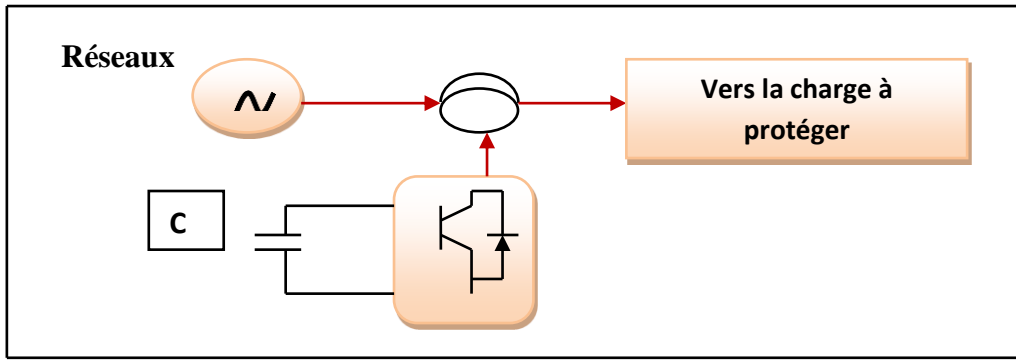


Fig. II.17 : Filtre actif série.

II.10.5. Filtre actif hybride :

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

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

Les Figures (II.18) (II.19) (II.20) montrent l'une des configurations les plus récentes (Filtre actif hybride) [DEM19].

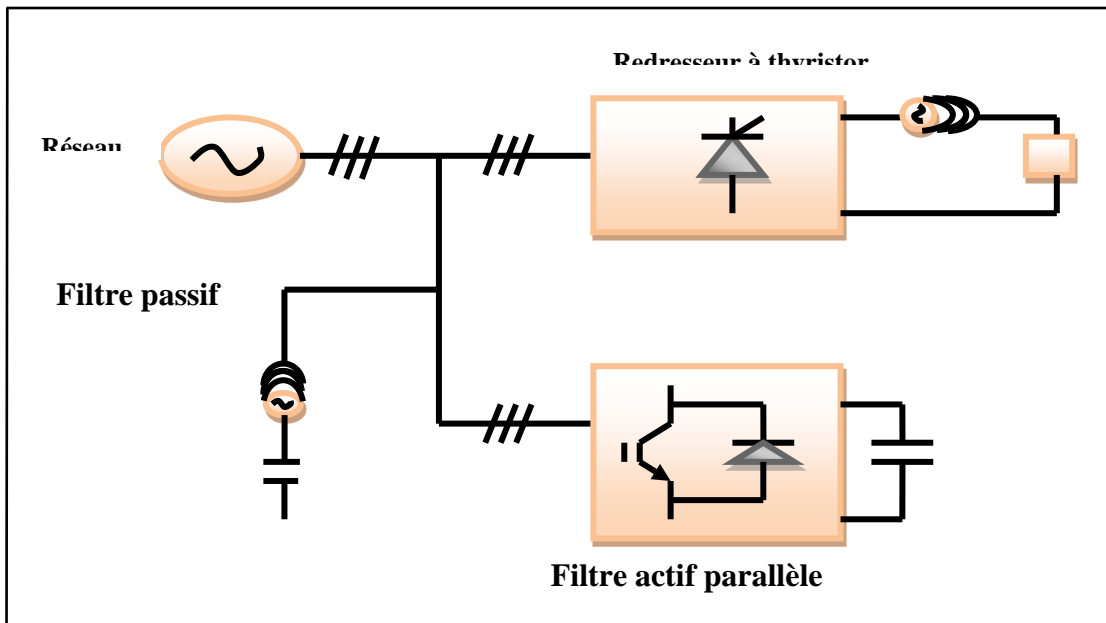


Fig. II.18 : Filtre combiné actif parallèle et passif parallèle.

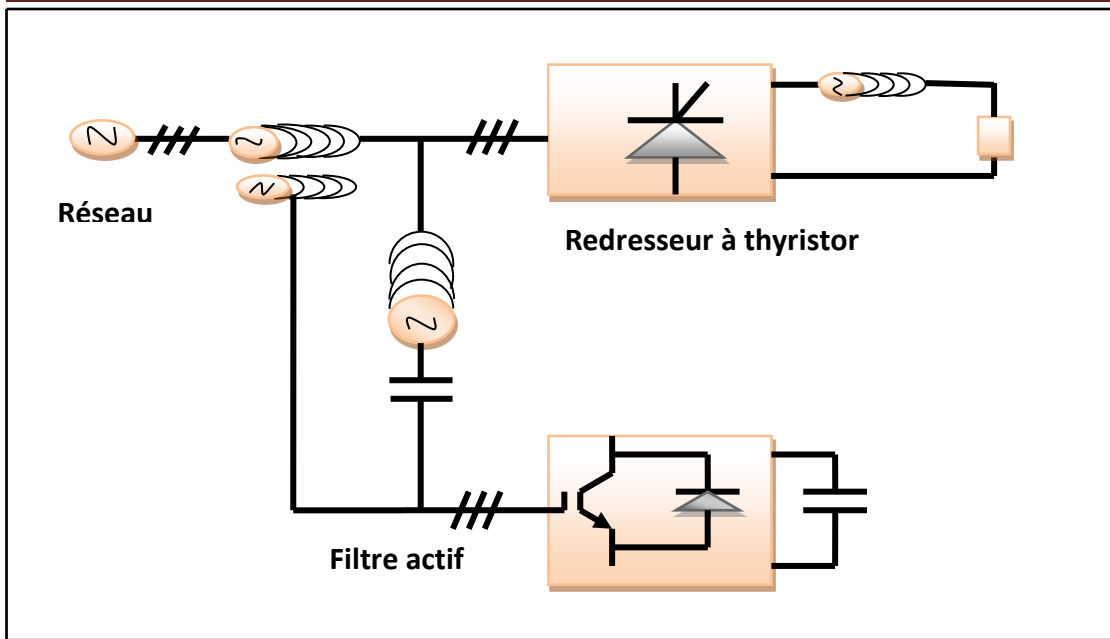


Fig. II.19 : Filtre combiné actif série et passif parallèle.

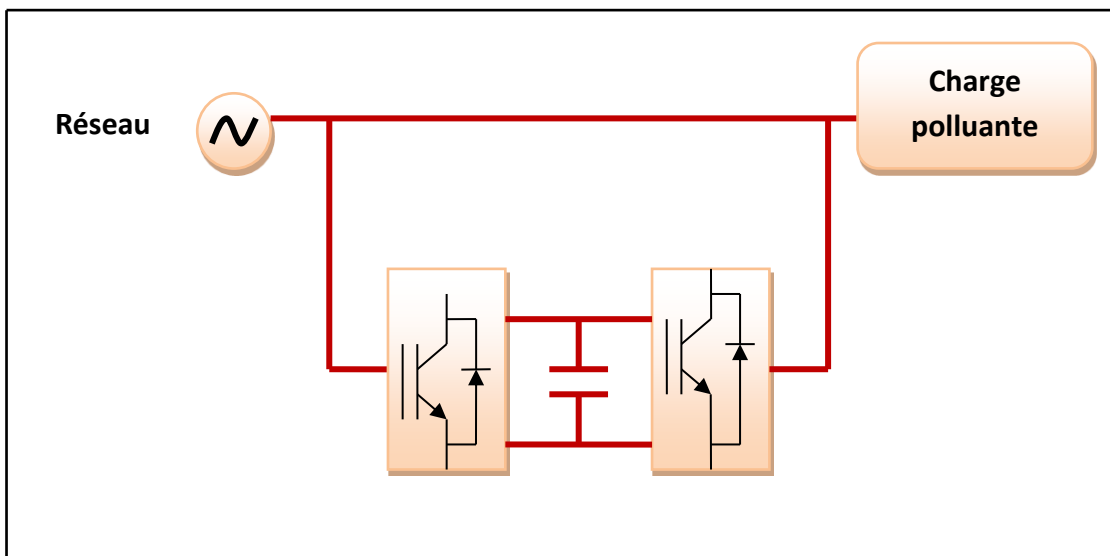


Fig. II.20 : Combinaison parallèle-série.

II.11. Filtre active parallèle et Structure :

II.11.1.principe de fonctionnement :

Les perturbations en courant et en tension des réseaux électriques de distribution ont pour origine la prolifération des charges non linéaires qui y sont connectées. Parmi ces charges non linéaires, on peut notamment citer les convertisseurs statiques (redresseurs, onduleurs, gradateurs, etc.), le matériel informatique, les appareils de climatisation ou bien encore les systèmes d'éclairage à base de tubes fluorescents. Ces charges non

linéaires absorbent des courants non sinusoïdaux et sont à l'origine des pollutions harmoniques. Les courants harmoniques absorbés par ces charges circulent à travers les réseaux électriques et perturbent sérieusement le fonctionnement de certains équipements électriques, pouvant même conduire à leur destruction. C'est pour toutes ces raisons que le filtrage actif des distorsions en courant et en tension est au centre des préoccupations tant des fournisseurs que des utilisateurs de l'énergie électrique. Pour des installations électriques existantes, les FAPs sont les solutions avancées de dépollution les plus adéquates. Actuellement, ces solutions actives répondent au mieux aux contraintes de la production et de la distribution. Leur réponse est instantanée et ces FAPs s'adaptent automatiquement aux évolutions des perturbations introduites par les charges connectées au réseau électrique. Que ce soit dans le secteur industriel ou dans le secteur domestique, les FAPs s'insèrent facilement dans un réseau de distribution électrique donné sans imposer un aménagement particulier des installations du fournisseur d'énergie ou du consommateur. Le FAP, également appelé compensateur shunt, est connecté en parallèle sur le réseau électrique. Les FAPs 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 FAPs 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, [CHE13].

II.12. Structure du filtre actif parallèle :

La structure générale du filtre actif parallèle est présentée dans la figure II.21 sous forme de deux blocs: La partie puissance et la partie contrôle- commande.

- La partie puissance est constituée de:

- 1- Un onduleur à base de semi-conducteurs de puissance, commandés à l'amorçage et au blocage (GTO, IGBT, MOSFET) avec des diodes en antiparallèle.
- 2- Un circuit de stockage d'énergie
- 3- Un filtre de sortie

CHPITRE II : Les onduleurs et l'étude de filtre actif parallèle

- La partie contrôle -commande est constituée de:

- 1- La méthode d'identification des courants harmonique.
- 2- La régulation de la tension continue appliquée aux éléments de stockage d'énergie.
- 3- La régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.
- 4- La commande de l'onduleur de tension.

La commande à MLI de l'onduleur nécessite la détermination des courants harmoniques qui seront à la suite les courants de références. Ces courants seront comparés à une porteuse triangulaire de fréquence élevée afin d'obtenir les signaux de commande des semi-conducteurs de l'onduleur de tension,[LAI08].

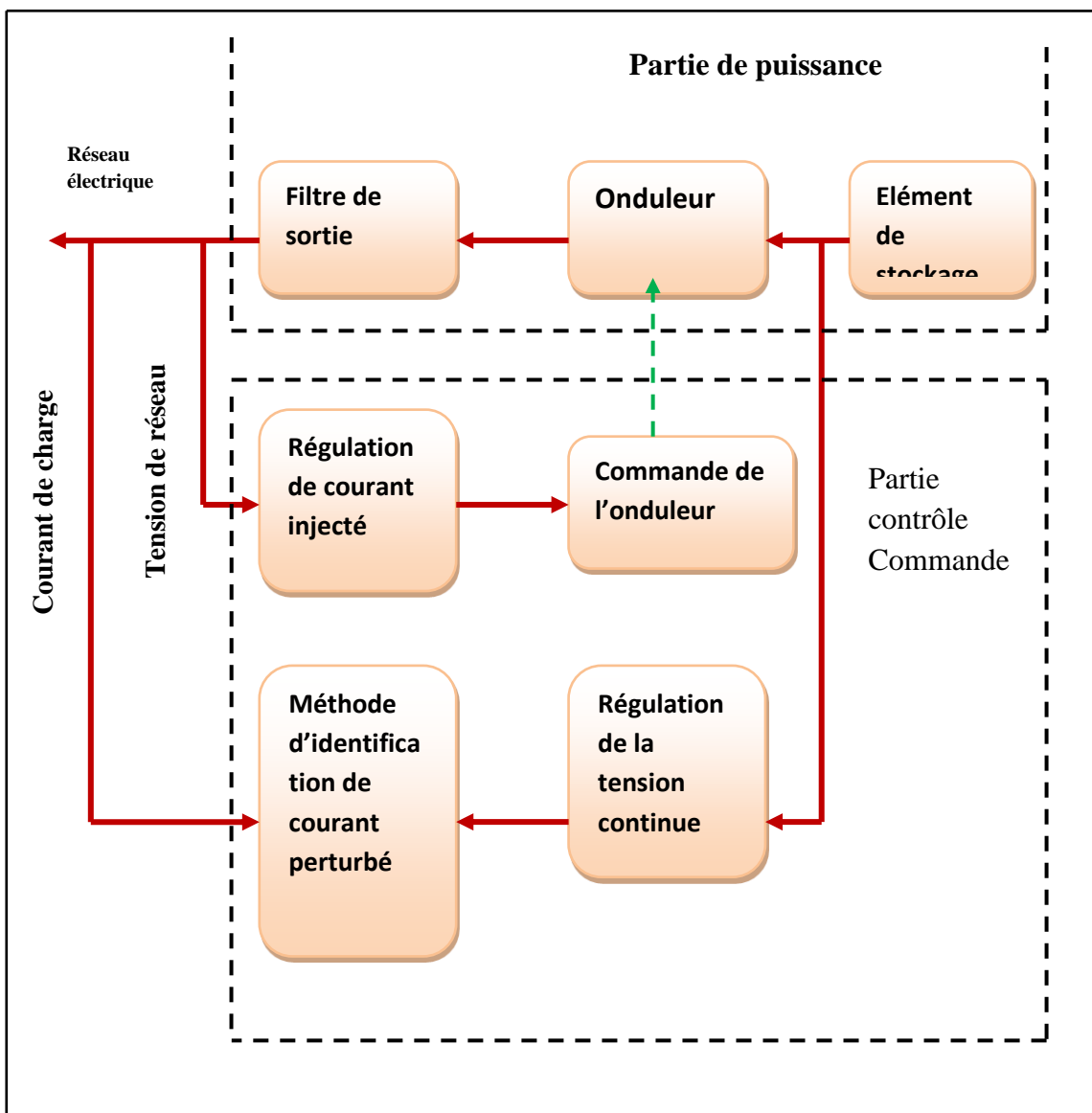


Fig. II.21 : Structure générale d'un filtre actif parallèle.

II.13. Méthode des puissances instantanées pq (PIRI_Théorie pq) :

Cette méthode d'identification des courants harmoniques, consiste à éliminer la composante continue des puissances active et réactive instantanées ce qui est relativement facile à réaliser.

La méthode des puissances instantanées introduite par H.Akagi exploite la transformation de Concordia des tensions aux points de raccordement du filtre actif parallèle et des courants absorbés par la charge polluante, afin de calculer les puissances réelle et imaginaire instantanées. Notons respectivement par $(V_\alpha, V_\beta \text{ et } i_\alpha, i_\beta)$ les composantes orthogonales de Concordia associées aux tensions $V_{sk} (K = a, b, c)$ et aux courants i_{sk} [HEB16].

La transformation de Concordia permet d'écrire, les deux relations suivantes:

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Sa} \\ V_{Sb} \\ V_{Sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II.1})$$

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

Les puissances réelle et imaginaire instantanées, notées respectivement p et q , sont définies par la relation matricielle suivante, [HEB16] :

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

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

$$p = V_\alpha i_\alpha + V_\beta i_\beta = V_{Sa} i_{ca} + V_{Sb} i_{cb} + V_{Sc} i_{cc} \quad (\text{II.4})$$

De même, pour la puissance imaginaire on a :

$$q = V_\alpha i_\beta - V_\beta i_\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} [(V_{Sc} - V_{Sb}) i_{ca} + (V_{Sa} - V_{Sc}) i_{cb} + (V_{Sb} - V_{Sa}) i_{cc}] \quad (\text{II.5})$$

CHPITRE II : Les onduleurs et l'étude de filtre actif parallèle

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

$$\begin{cases} p = \bar{p} + \tilde{p} \\ q = \bar{q} + \tilde{q} \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

Où :

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

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

L'inverse de l'équation (2) des puissances active et réactive permet d'établir la relation (6) des courants i_α et i_β donne :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

En considérant les équations (5) et (6), nous pouvons séparer le courant dans le repère (α, β) en trois composantes, active et réactive à la fréquence fondamentale et somme des harmoniques. Ceci conduit à:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \left\{ \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{0} \\ \bar{Q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \right\} \quad (\text{II.8})$$

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

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ V_\beta & -V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} + \bar{q} \end{bmatrix} \quad (\text{II.9})$$

Les courants triphasés sont obtenus à partir des courants diphasés par $i_{ref\alpha}$ et $i_{ref\beta}$ par la transformation inverse de Concordia. Ces courants représentent les perturbations

et deviennent les courants de référence qui sont à injecter en opposition de phase sur le réseau électrique pour éliminer les harmoniques, [HEB16].

$$\begin{bmatrix} i_{\text{ref } a} \\ i_{\text{ref } b} \\ i_{\text{ref } c} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\text{ref } \alpha} \\ i_{\text{ref } \beta} \end{bmatrix} \quad (\text{II.10})$$

Il est évident, d'après la relation (9), que pour identifier une des trois composantes, par exemple les courants harmoniques, les parties alternatives des puissances réelles et imaginaires doivent être séparées des parties continues. Cette séparation peut être réalisée en utilisant deux filtres, le premier pour isoler la partie p de la puissance active instantanée, le second pour isoler la partie q de la puissance réactive instantanée, comme le présente la figure (II.22).

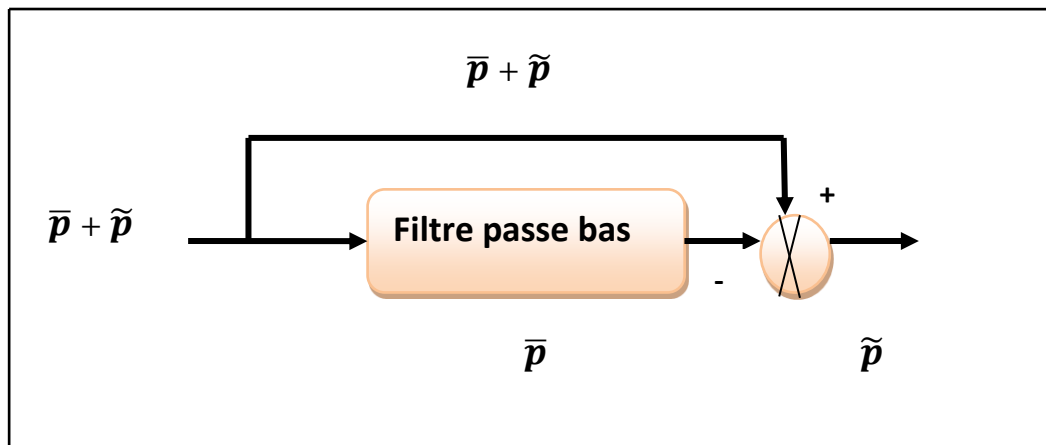


Fig. II.22 : Schéma représentant le principe de séparation des puissances actives.

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

$$F_p(S) = \frac{W_0^2}{S^2 + 2W_0\delta S + W_0^2} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

$W_0 = 2\pi f_0$, f_0 est la fréquence de coupure du filtre.

S : L'opérateur de Laplace.

δ : Déphasement.

Le schéma de la figure II.23 illustre les étapes qui permettent l'obtention des courants de référence par la méthode des puissances réelles et imaginaires instantanées.

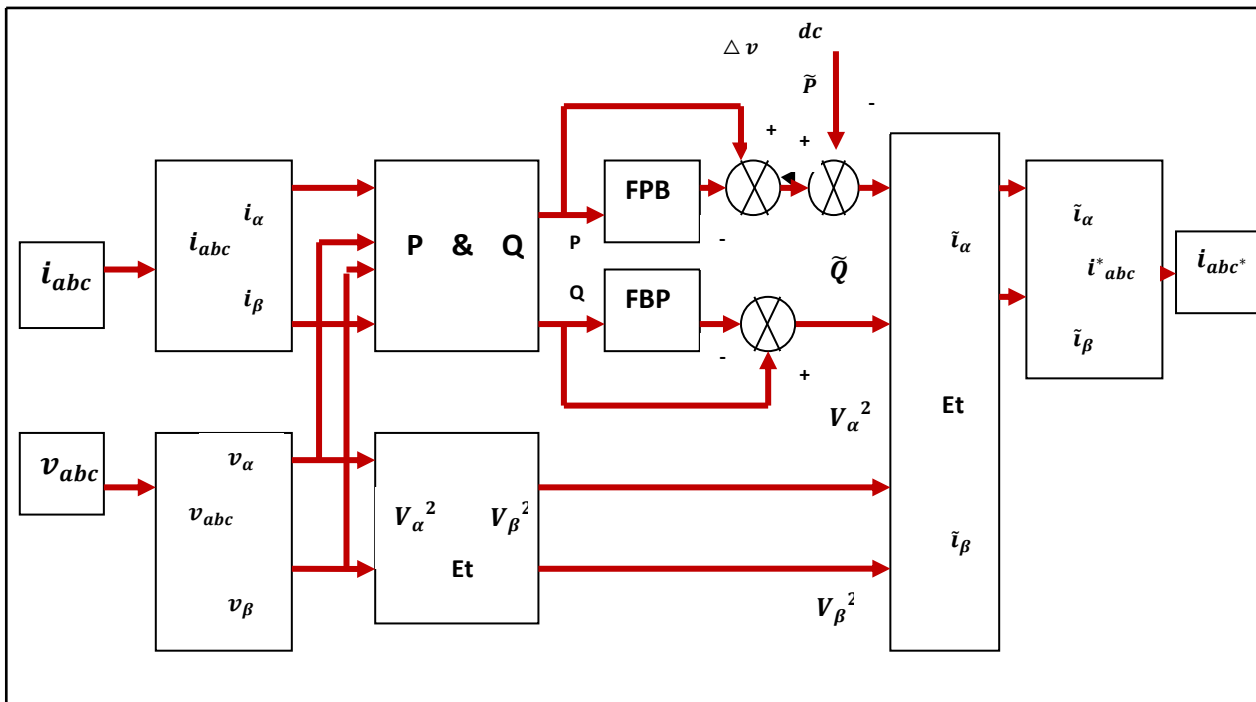


Fig. II.23 : Schéma du principe de la méthode d'identification des puissances (p.q.) instantanées

II.14. SIMULATION :

Les programmes de simulation développés sous MATLAB Simulink, permettent de visualiser sur un intervalle de temps donné l'évolution des courants et des tensions dans les différentes branches du circuit.

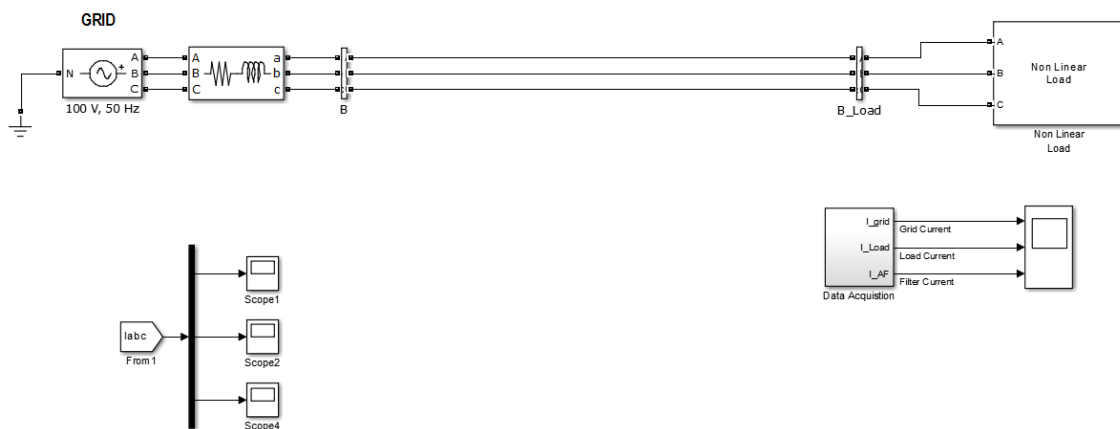


Fig. II.24 : schéma de circuit avant l'ajoute de filtre actif parallèle.

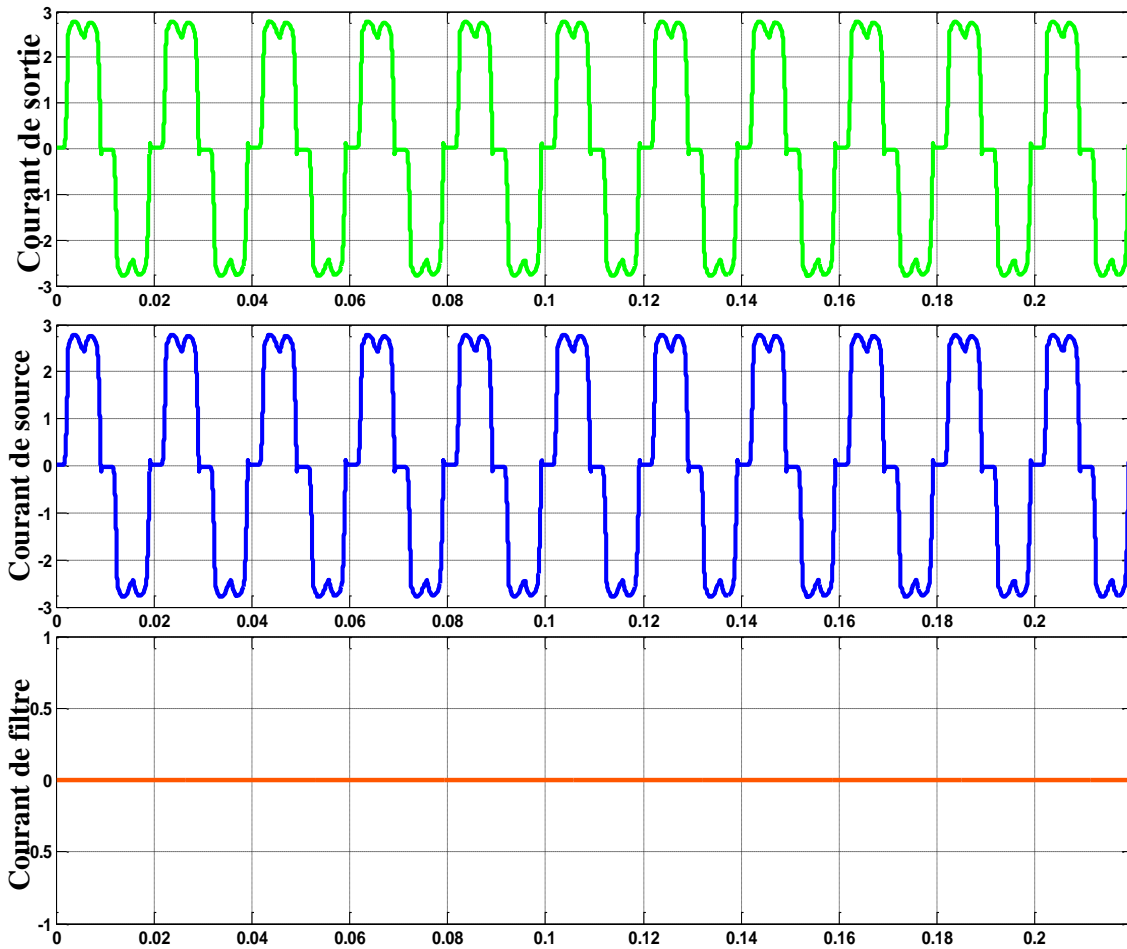


Fig. II.25 : Résultats de simulation des courants avant le filtrage

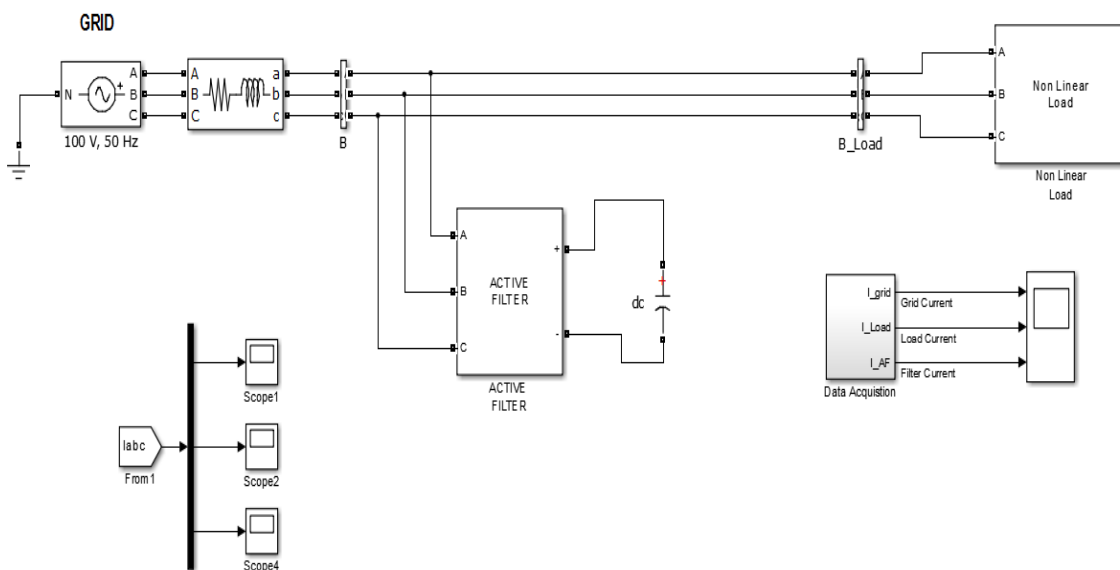


Fig. II.27 : schéma de circuits après l'ajoute de FAP

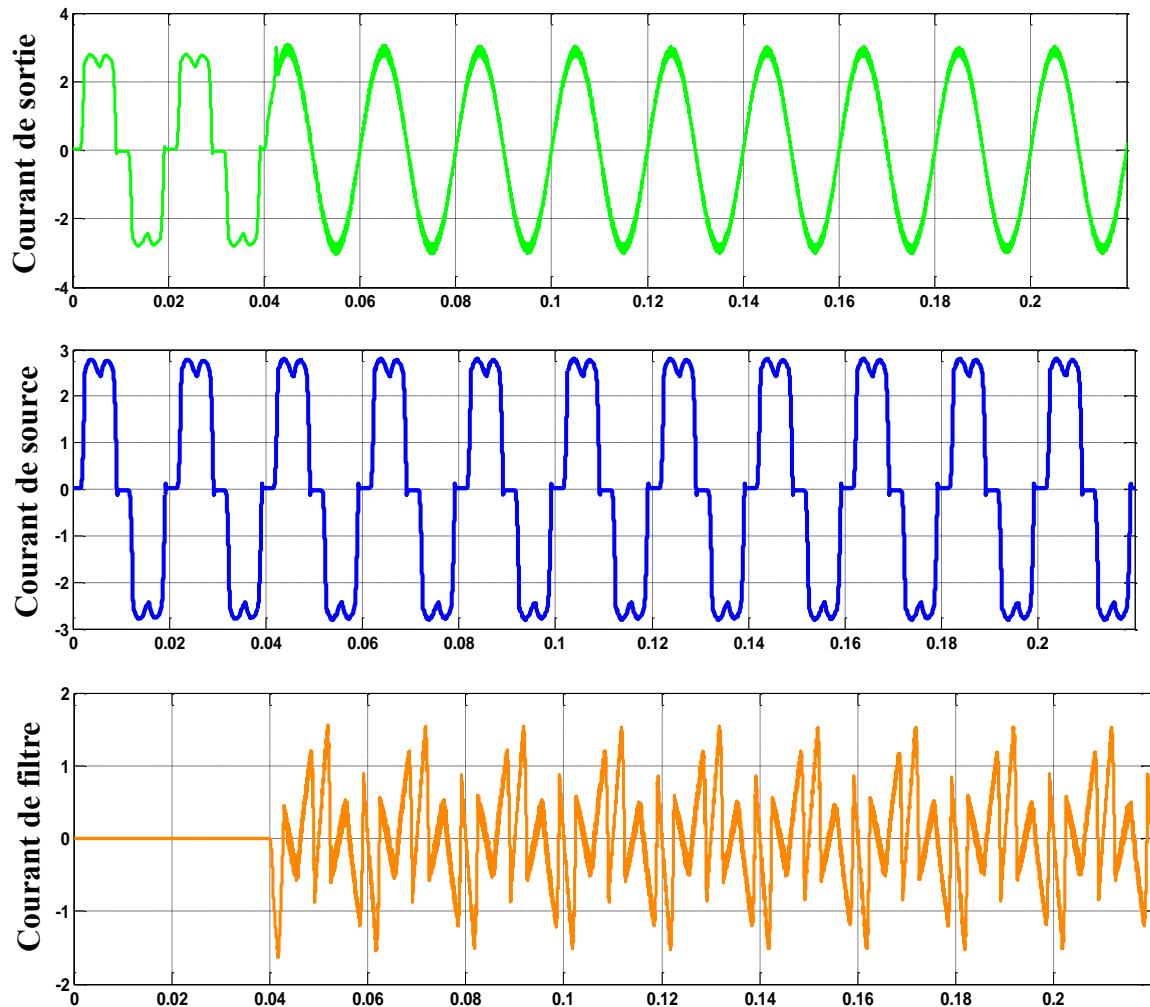


Fig. II.28 : Résultats de simulation de l'ensemble des courants après le filtrage.

II.15.Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre on a présenté une description générale sur les onduleurs, le principe de fonctionnement et leurs applications et classifications.

Ainsi on a présenté la défaillance d'un exemple d'interrupteur statique l'IGBT sur un convertisseur de puissance. D'autre part on a cité quelques techniques de commande des onduleurs tel que commande des courants par hystérésis, commande par modulation de largeur d'impulsion (MLI) et commande par MLI vectorielle (SVM) et aussi les nouvelles solutions de dépollution. Dans la deuxième partie de ce chapitre nous avons présenté des notions sur le filtre actif parallèle, structure et méthode des puissances instantanées pq.

CHPITRE III :

Les défauts de l'onduleur triphasé et exemple du diagnostic de filtre actif parallèle "FAP"

III.1.Introduction :

Les systèmes d'entraînement électrique sont soumis à des divers défauts dont les conséquences dépendent de manière significative de leurs emplacements. Un défaut un des composants des blocs constituant la chaîne de conversion d'énergie peut entraîner une perte partielle ou totale du contrôle de l'actionneur et des arrêts de maintenance non planifiés entraînant des pertes de production importantes. Dans d'autres situations, ces défauts peuvent provoquer des conséquences désastreuses et des dangers. Ainsi, il est primordial de surveiller le fonctionnement des systèmes et à réagir aux problèmes potentiels au bon moment afin d'améliorer la sécurité et la fiabilité des processus. Le développement d'une surveillance fiable et des méthodes de détection de défauts rapides, ainsi que des stratégies de contrôle tolérantes aux pannes ont reçu une attention accrue à la fois dans les domaines de la recherche et de l'industrie. Il y a plusieurs défauts dans un système d'entraînement électrique Dans cette étude, nous nous intéressons aux défauts qui peuvent survenir de circuit ouvert et leur détection avec une technique classique (exemple de valeur moyenne).

III.2.Les différents composants d'un module de diagnostic :

Le diagnostic continu d'un processus industriel permet d'améliorer la productivité par l'augmentation de la disponibilité. La figure (III.1) montre les différentes composantes d'un module de diagnostic [AMR16].

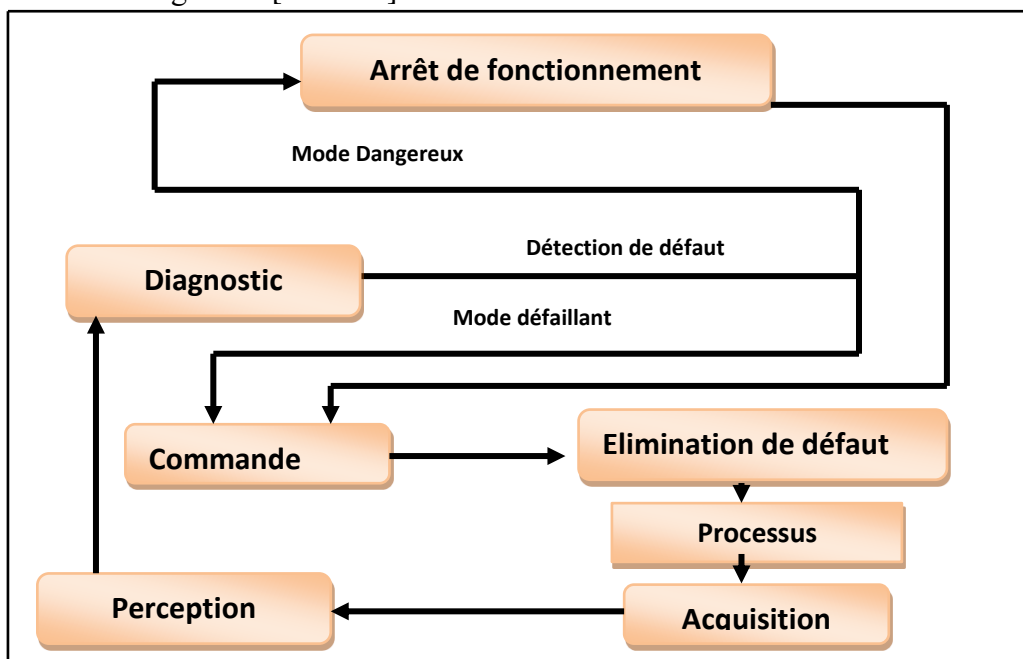


Fig.III.1: Les composantes d'un système de diagnostic.

III.3.Mode de défaillance des éléments de puissance dans un onduleur :

Les entraînements électriques à vitesse variable à base d'une association machine convertisseur fonctionnent souvent dans des conditions industrielles hostiles qui peuvent générer des dégradations totales ou partielles des performances de l'ensemble à cause de l'apparition des défaillances dans les différents sous-blocs de la chaîne de conversion d'énergie. Selon des études statistiques, parmi les différents types de défaillance dans ces applications, les défauts du convertisseur de puissance représentent un pourcentage assez important d'environ 80%, .

La figure III.2 montre que nombreux types de défauts peuvent apparaître dans les éléments constituant le convertisseur lui-même tels que les composants semi-conducteurs de puissance, les capacités du bus continu, les circuits d'alimentation, etc.

La répartition de ces défauts est aussi illustrée par la même figure III.2, nous constatons que les modules de puissances sont considérés comme les composants les plus sensibles aux défauts avec un pourcentage de 34%. Tous ces défauts entraînent une détérioration des performances du convertisseur ou même un arrêt imprévu du système d'entraînement. Les défauts des interrupteurs de puissance dans un convertisseur statique font l'objectif de ce travail et peuvent être classés en deux types : défauts de type court-circuit et les défauts de type circuit-ouvert, [REB17].

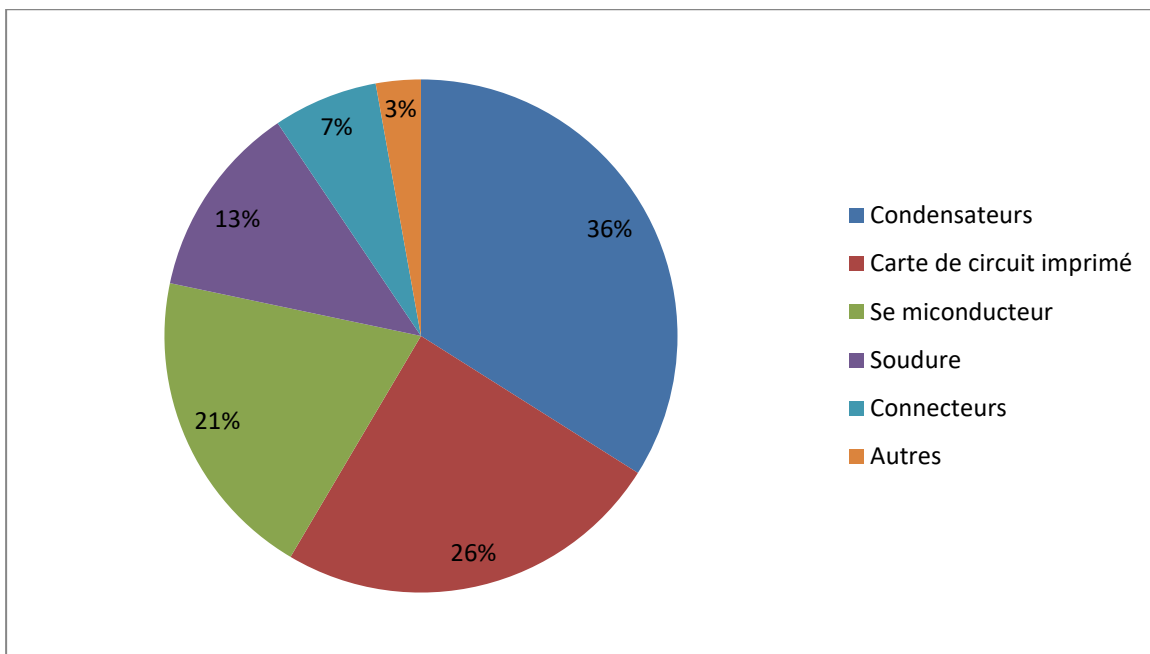


Fig.III.2: Répartition des défaillances dans les convertisseurs de puissance.

III.4. Défaits dans les onduleurs triphasés :

III.4.1. Défaut de type court-circuit :

Le défaut de type court-circuit d'un interrupteur apparaît quand l'un des deux interrupteurs reste continuellement à l'état passant. Le court-circuit se produit lorsque le deuxième interrupteur est à son tour commandé à la fermeture. Ce défaut se produit en raison d'une défaillance de la commande des transistors (défaillance du driver, défaillance de la carte de commande, problème de connectique entre la carte de commande et le driver) ou suite à une défaillance physique de la puce du silicium qui résulte d'un dépassement de la température et c'est le mode de défaillance le plus probable et le plus courant.

Les défauts de court-circuit des interrupteurs de puissance sont difficiles à manipuler en raison de la soumission du composant endommagé à un fort courant, à une tension élevée et à des températures locales excessives. Dans l'absence d'un mode de protection, ce défaut peut se propager et endommager l'autre interrupteur du même bras dans un temps très court de l'ordre de quelques microsecondes. La période entre l'initiation du défaut et sa défaillance totale est très courte. Par conséquent, la plupart des méthodes de diagnostic des défauts de type court-circuit sont basées sur des circuits matériels pour le contrôle de la tension émetteur collecteur du transistor ou pour le suivi du courant de la cellule [REB17].

III.4.2. Défaut de type circuit-ouvert :

Un défaut simple de type interrupteur-ouvert ou circuit-ouvert se traduit généralement par une perte totale ou partielle du fonctionnement de l'un des IGBTs constituant le convertisseur statique, il se produit en raison d'une défaillance de grille ou une coupure d'un fil de liaison dans le transistor, cette coupure peut être causé par le cyclage thermique ou suite à un défaut de court-circuit. Un courant de collecteur extrêmement élevé peut également provoquer des défauts d'interrupteur ouvert.

Le défaut d'ouverture d'IGBT se manifeste par la perte d'une alternance positive ou négative du courant de sortie de l'onduleur en fonction de l'emplacement du composant endommagé au niveau du bras défaillant (IGBT de l'étage inférieur ou de l'étage supérieur). Pour une dégradation simple d'un interrupteur de l'étage supérieur, la phase du moteur reste connectée seulement au potentiel négatif du bus continu par la diode antiparallèle de l'IGBT du niveau bas [REB17].

Le courant de la phase défectueuse s'annule et une augmentation de l'erreur de courant apparaît pour imposer à la modulante de rester saturée tout au long de l'alternance positive du courant de référence correspondant. Quand l'alternance du courant devient négative, l'erreur s'annule et le courant sera contrôlable. Les deux autres courants qui correspondent aux phases saines seront aussi déformés suite à ce défaut, cette déformation se manifeste par une augmentation de leurs amplitudes et ils ne deviennent plus parfaitement sinusoïdaux, [REB17].

En résumé, les défaillances au niveau des commutateurs doivent être détectées et compensées indépendamment de leurs natures (court-circuit ou circuit ouvert), car en plus de la dégradation des performances du système, ils peuvent se propager et engendrer d'autres défaillances dans la chaîne de conversion d'énergie[REB17].

III.5. Diagnostic de défauts de type circuit-ouvert des composants de puissance dans un convertisseur statique :

L'impact d'un défaut de court-circuit est généralement destructif surtout avec les entraînements classiques couplés en étoiles et nécessite soit un onduleur de tension spécial avec deux transistors en série, soit des composants supplémentaires tels que les triacs ou une architecture spéciale des machines à enroulement ouverts (open-end windings drives).

De ce fait, nous nous limitons dans cette partie à l'étude des défauts de type circuit ouvert des IGBTs. Au cours des deux dernières décennies, de nombreuses méthodes ont été développées sur le sujet du diagnostic des défauts de type circuit-ouvert dans les associations onduleur- moteur électrique [REB17].

Ces techniques peuvent être globalement classées en catégories : telle que les approches à base signal et les approches à base modèle.

III.6.Approche signal :

III.6.1.Méthodes basées sur les courants :

La méthode utilisée est basée sur la technique connue par : "Park's vector method".

La détection et la localisation des défauts d'ouverture des transistors défectueux sont réalisées en calculant la trajectoire et l'amplitude des courants de phase dans le référentiel lié au stator ou lié au champ tournant. Cette technique présente un inconvénient majeur puisqu'elle dépend de la charge. Afin de diminuer la dépendance

de la charge et la sensibilité aux transitoires, différentes méthodes ont été proposées en se basant sur la méthode de la composante continue normalisée (Normalised DC Current Method & Modified-Normalised DC Current Method). La différence entre ces deux méthodes est que la version modifiée utilise une manière réduite pour la localisation du composant défectueux. Une version plus simple "Simple Direct Current Method" a été aussi proposée par les mêmes auteurs en utilisant uniquement les valeurs moyennes des courants de phases pour la détection du défaut [REB17]. La technique "Park's vector method" a été appliquée avec succès pour le diagnostic des défauts dans l'onduleur triphasé de tension, cependant ces approches basées sur cette méthode nécessitent une reconnaissance de formes complexe et présente un problème lié à la difficulté de leurs implantations. Plus récemment, une méthode de diagnostic des défauts basée sur les erreurs des courants de référence (residual values), elle utilise les trois courants mesurés et leurs signaux de référence correspondant pour former les erreurs.

Ensuite, les valeurs moyennes de ces erreurs sont utilisées pour former les variables de diagnostic. Ces variables sont comparées avec des seuils prédéfinis pour détecter les défauts simples et multiples d'ouverture d'IGBTs dans l'onduleur. Une technique de diagnostic basée sur l'analyse de la topologie symétrique de l'onduleur qui peut être décrite par les résidus des fonctions auto-définies "self-defined fonction".

Bien que cette méthode permette de détecter et localiser 21 type de défauts, elle utilise de nombreuses fonctions qui nécessitent un calcul itératif des valeurs moyennes, ce qui présente des complexités de la mise en œuvre pratique de l'algorithme qui exige plus d'espace mémoire et permettant aussi d'augmenter le temps de traitement. Plusieurs valeurs-seuil définies expérimentalement sont aussi nécessaires pour pouvoir détecter et localiser les composants endommagés [REB17].

III.7. Etude des défauts de l'onduleur :

Les défauts qui apparaissent dans un système électrique ont des causes variées. Ils peuvent être dus au vieillissement des constituants du système ou bien aux conditions d'utilisation ou tout simplement à un défaut de fabrication dont l'effet serait imperceptible lors de la mise en service [AOU17]]. Notre travail se limite aux problèmes électriques qui se développent dans la machine asynchrone à cause d'un défaut d'ouverture d'interrupteur ($T_k=1, \dots, 6$) du convertisseur statique voir figure (III.3).

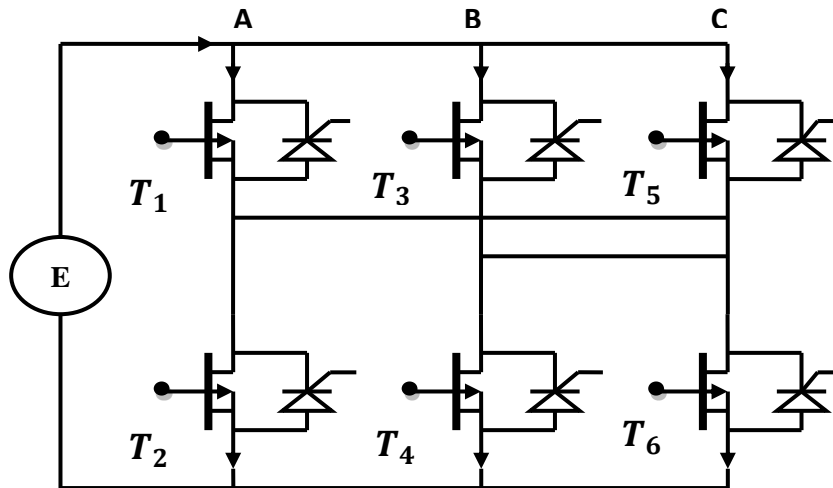


Fig.III.3: Schéma d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux.

On peut distinguer plusieurs défauts de circuit ouvert, dont l'essentiel de ces défauts est regroupé dans les quatre (04) cas suivants :

- ❖ **1^{er} cas** : défaut d'ouvertures d'un des six interrupteurs (T1 ou T2 ... ou T6).
- ❖ **2^{ème} cas** : défaut d'ouvertures des deux interrupteurs du même bras (T1 et T2) ou (T3 et T4) ou (T5 et T6).
- ❖ **3^{ème} cas** : défaut d'ouvertures des deux interrupteurs de même niveau (positif ou négatif) des deux bras différents (T1 et T3) ou (T2 et T4) ... ou (T4 et T6).
- ❖ **4^{ème} cas** : défaut d'ouvertures des deux interrupteurs des différents niveaux des deux bras différents (T1 et T4) ou (T2 et T3) ... ou (T4 et T5).

Le défaut de circuit-ouvert pour n'importe quel mode est obtenu par le blocage de l'IGBT en position ouverte.

Dans ce travail de fin d'étude, les défauts appliqués sont limités seulement sur un ou deux bras (A ou B), donc on va présenter un seul exemple pour chaque cas, car on considère que les mêmes phénomènes se reproduisent sur les autres bras, mais dans le première cas nous utilisé les six exemples.

III.7.1. 1^{er} cas: Défaut de circuit ouvert du semi-conducteur T1

La figure(III.4) présente le schéma bloc d'un onduleur avec T1 bloqué en ouverture.

Quand le courant de phase est positif, Le courant ne peut pas passer dans l'interrupteur du niveau haut du bras A, donc le courant de la phase A est nul. Les courants des phases restantes sont déformés en raison de l'équilibre du courant triphasé.

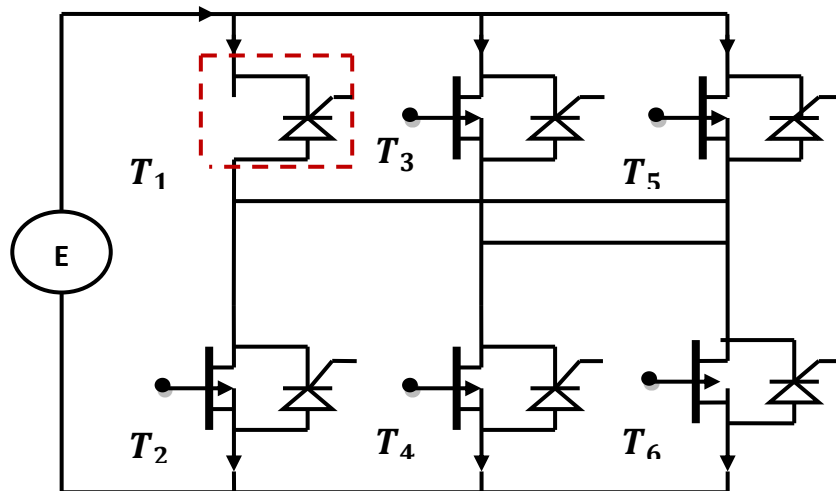


Fig.III.4: Schéma d'un onduleur avec un défaut au T1.

III.7.2. 2^{ème} cas : Défaut de circuit ouvert des semi-conducteurs T1 et T2

La figure (III.5) présente le schéma bloc d'un onduleur avec T1 et T2 bloqués. Pour ce cas, la phase ne peut pas fonctionner normalement, ni au intervalle positif ni au négatif. En effet, le courant de la phase A est nul et le courant des deux autres phases est déformé.

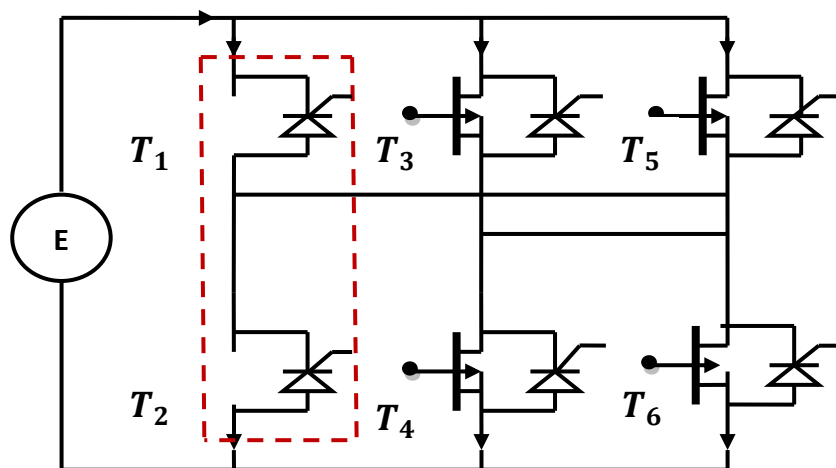


Fig.III.5: Schéma d'un onduleur avec deux défaut T1 et T2.

III.7.2. 3^{ème} cas : Défaut de circuit ouvert des semi-conducteurs T1 et T3

La figure (III.6) présente le schéma bloc d'un onduleur triphasé avec T1 et T3 bloqués. Lorsque les interrupteurs T1 et T3 sont défaillants en même temps et en raison du déphasage initial entre les deux phases A et B, donc on peut parler de quatre (04) cas :

1) Le courant de la phase A est donc nul, la diode T3 est capable de former un passage normalement donc le courant de la phase B n'est pas nul, le courant de la phase C n'est pas nul mais légèrement déformé tout comme le courant de la phase B en raison de l'équilibre de courant triphasé.

2) T1 et T3 sont en état de défaillance, les courants des deux phases A et B sont nuls en même temps, alors, le courant de la phase C'est aussi nul en raison de l'équilibre du courant triphasé.

3) T1 est capable de former un passage donc le courant de la phase A n'est pas nul, l'interrupteur T3 est en défaut est T3 ne peut pas former de passage, donc le courant de la phase B est nul, cela entrainera une distorsion du courant de la phase C.

4) T1 et T3 sont tous les deux capables de former des passages, donc les courants de les phases A et B sont pas nuls, tous les commutateurs sont temporairement dans les conditions normales.

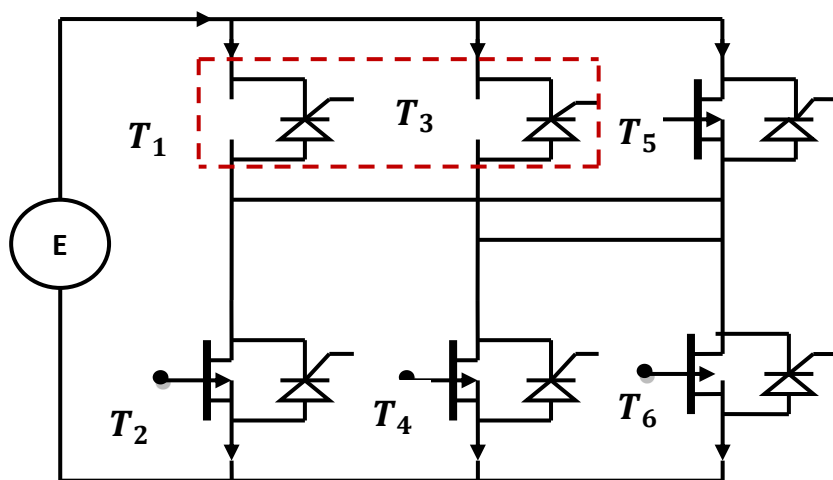


Fig.III.6: Schéma d'un onduleur avec deux défauts T1 et T3.

III.7.4. 4^{ème} cas : Défaut de circuit ouvert des semi-conducteurs T1 et T4

On prend en défaut les deux interrupteurs T1 et T4 (Fig. III.7)

Ce cas est comme le 3ème cas, la seule différence est dans la phase B, où le défaut est au niveau bas au lieu du niveau haut.

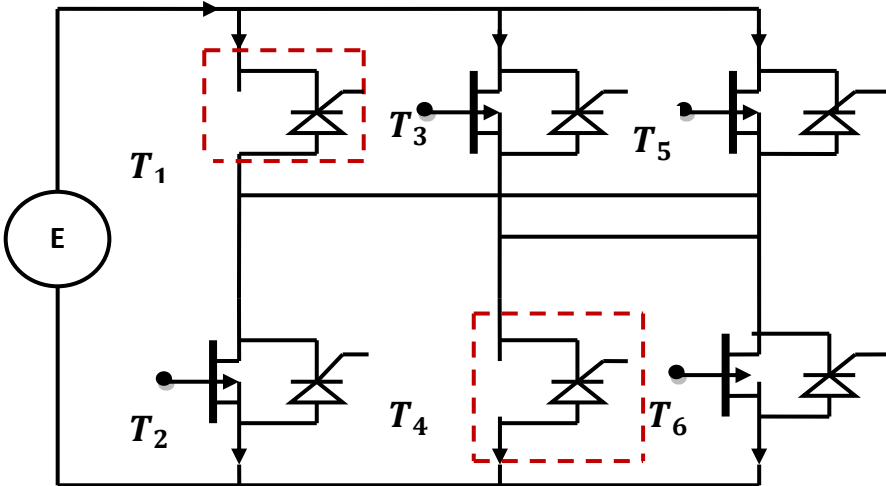


Fig.III.7: Schéma d'un onduleur avec deux défauts T1 et T4.

III.8.Partie de simulation:

A la suite on travaille sur l'une des méthodes de diagnostic externes, à savoir la méthode par un algorithme comparatif. Il y a deux états de simulation:

-Etat sain: aucun défaut trouvé lors le fonctionnement de l'onduleur de tension.

-Etat défaillant: On crée un défaut dans chacun des transistors de l'onduleur pendant

ETATS		$m(I_a)$	$m(I_b)$	$m(I_c)$
Etat sain		-0,0015	0,0108	-0,0093
1^{er} cas	T₁	0,2400	-0,0619	-0,1780
	T₂	-0,2434	0,0809	0,1626
	T₃	-0,1723	0,2494	-0,0760
	T₄	0,1723	-0,2351	0,0628
	T₅	-0,0677	-0,1677	0,2353
	T₆	0,0714	0,1808	-0,2521
2^{ème} cas	T₁-T₂	0,0001	0,0070	-0,0068
	T₃-T₄	0,0247	-0,0016	-0,2131
	T₅-T₆	0,0014	0,0068	-0,0082
3^{ème} cas	T₁-T₃	0,1101	0,2126	-0,3227
	T₂-T₄	-0,0068	0,0099	0,2368
	T₃-T₅	-0,1048	0,0137	0,0912
	T₄-T₆	0,0716	-0,0790	0,0042
	T₁-T₅	0,0729	-0,2402	0,1624
	T₂-T₆	0,0010	0,2126	-0,2171
3^{ème} cas	T₁-T₄	0,3308	-0,2736	-0,0572
	T₂-T₃	-0,0656	0,2732	-0,2076
	T₁-T₆	0,0793	0,1400	-0,2193
	T₂-T₅	-0,0222	0,1926	0,2148
	T₃-T₆	0,0647	0,2349	-0,2997
	T₄-T₆	0,0741	-0,2894	0,2153

Tableau III.1 : Valeurs moyennes de courants I_k état sain et états défaillants

Avec $k=\{a, b, c\}$

Et m : la valeur moyenne

IV.8.1. Interprétation des résultats de simulation circuit ouverte et état sain :

On remarque que les courants de source, de sortie et de filtre sont pseudo symétriques par rapport à l'axe de l'équation $I=0$, et leurs valeurs moyennes sont simulées et données dans le tableau (III.1).

IV.8.1. 1. Etat sain:

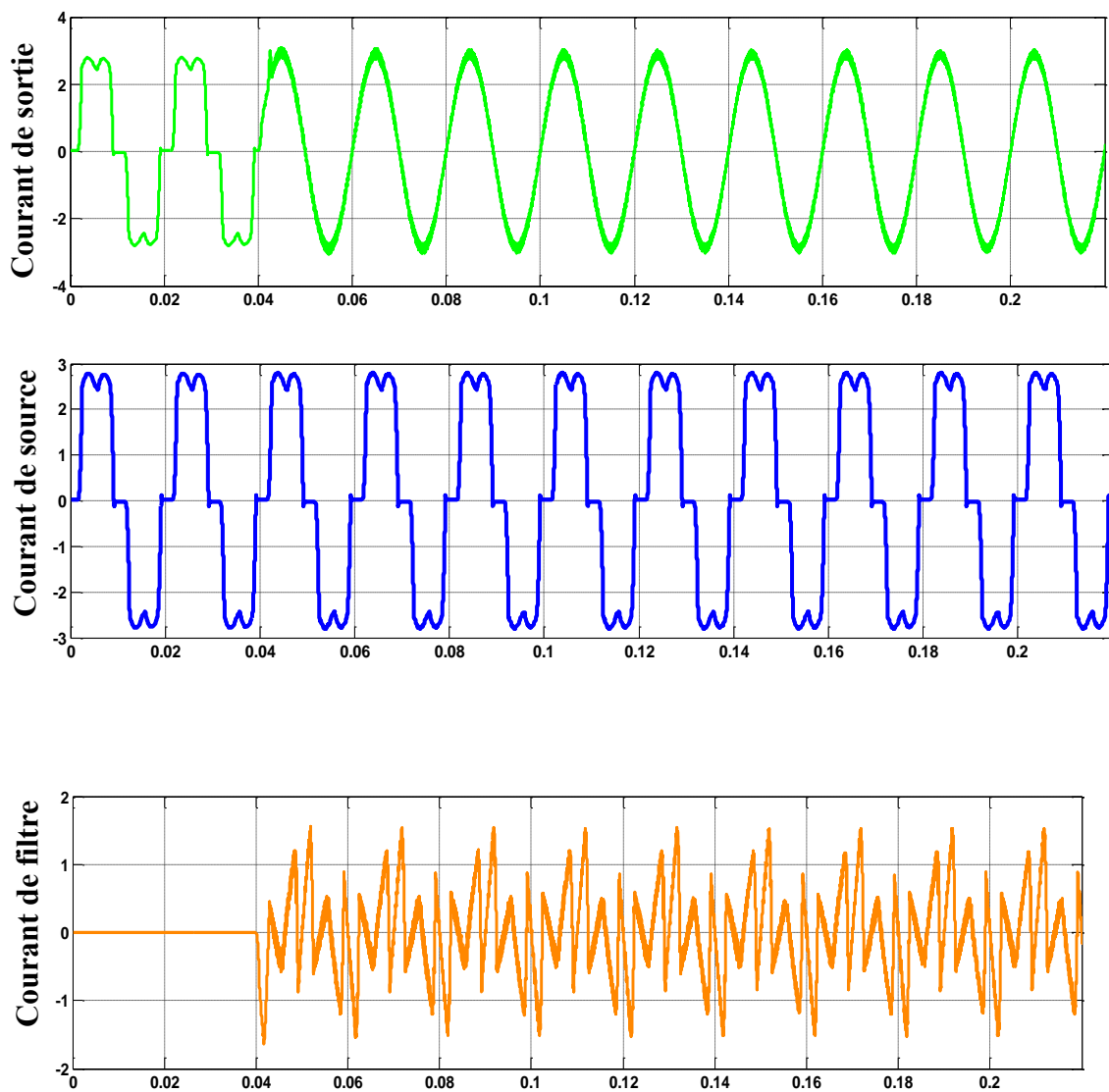


Fig.III.2.8 : Résultats de simulation de l'ensemble de courants «état sain ».

IV.8.1.2.1^{er} cas : T1 de circuit ouvert

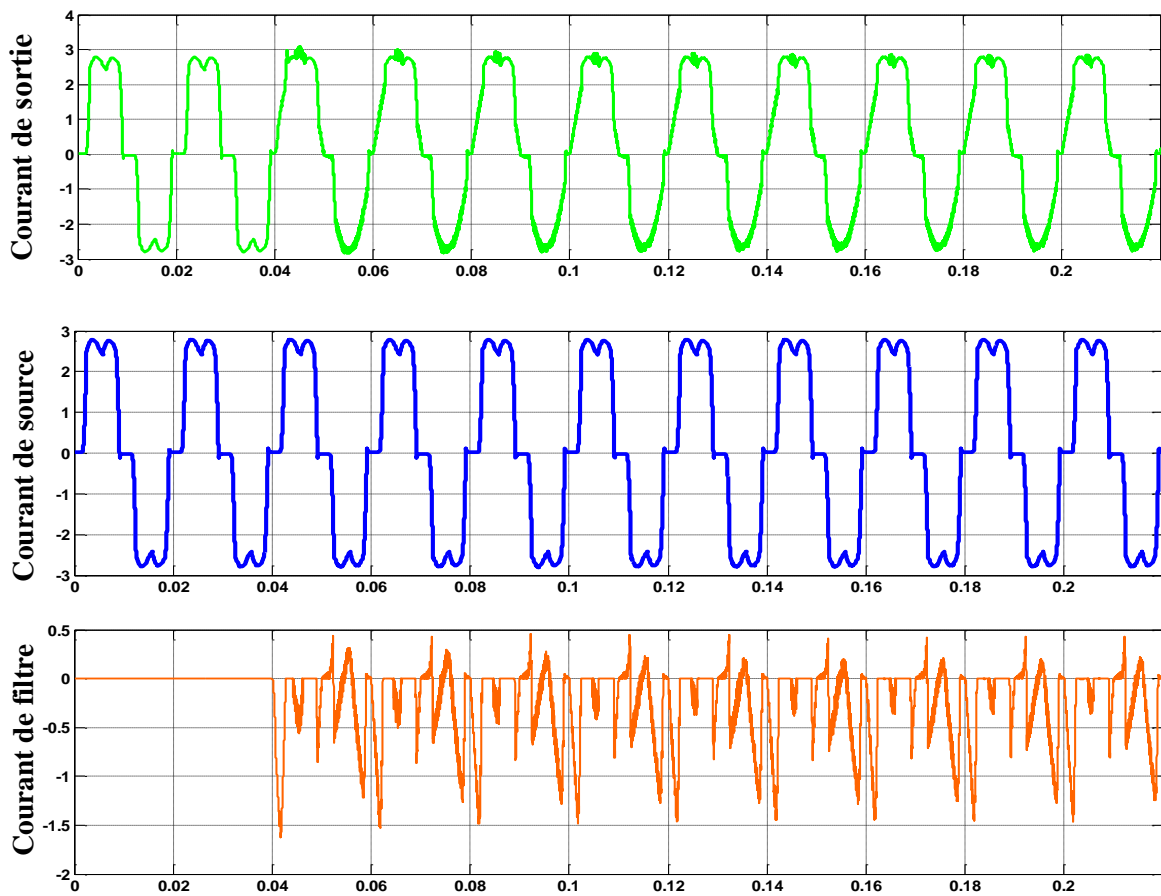


Fig.III.9: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «état sain ».

IV.8.1.3. 2^{ème} cas : T1 et T2circuit ouvert

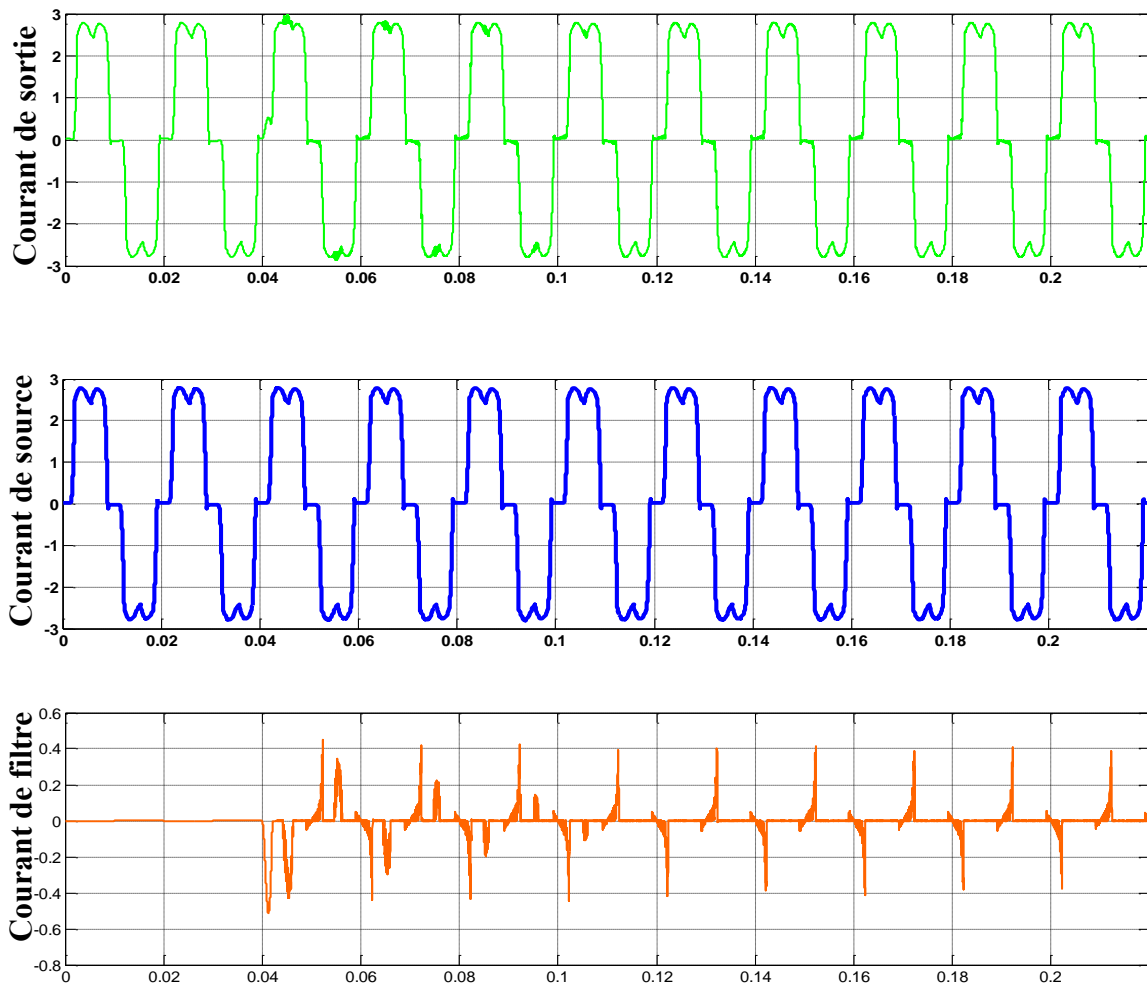


Fig.III.10: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «T1 et T2circuit ouvert ».

IV.8.1.4. 3^{ème} cas : T1 et T3 circuit ouvert

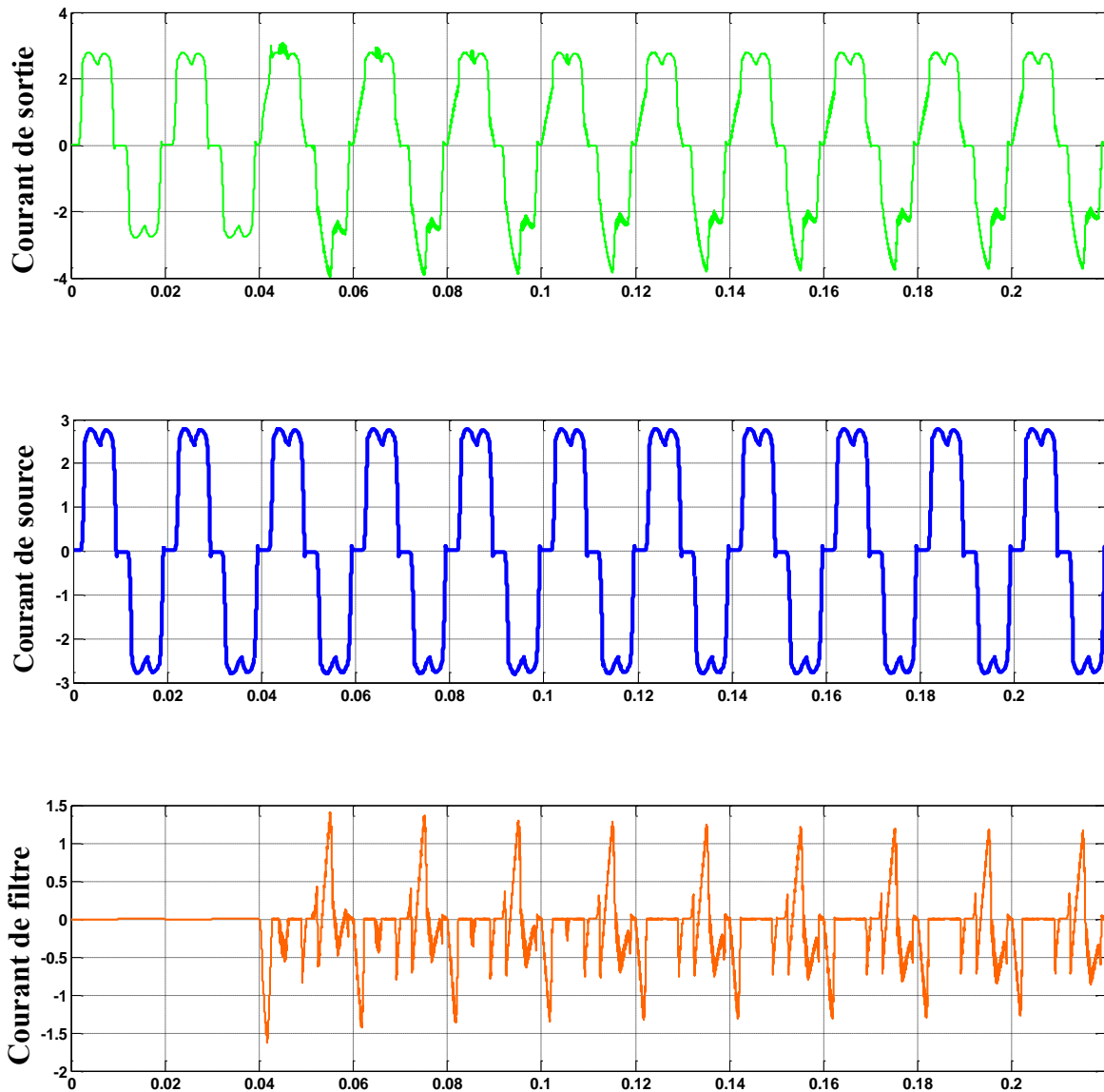


Fig.III.11: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «T1 et T3 circuit ouvert ».

IV.8.1.5. 4^{ème} cas : T1 et T4 circuit ouvert

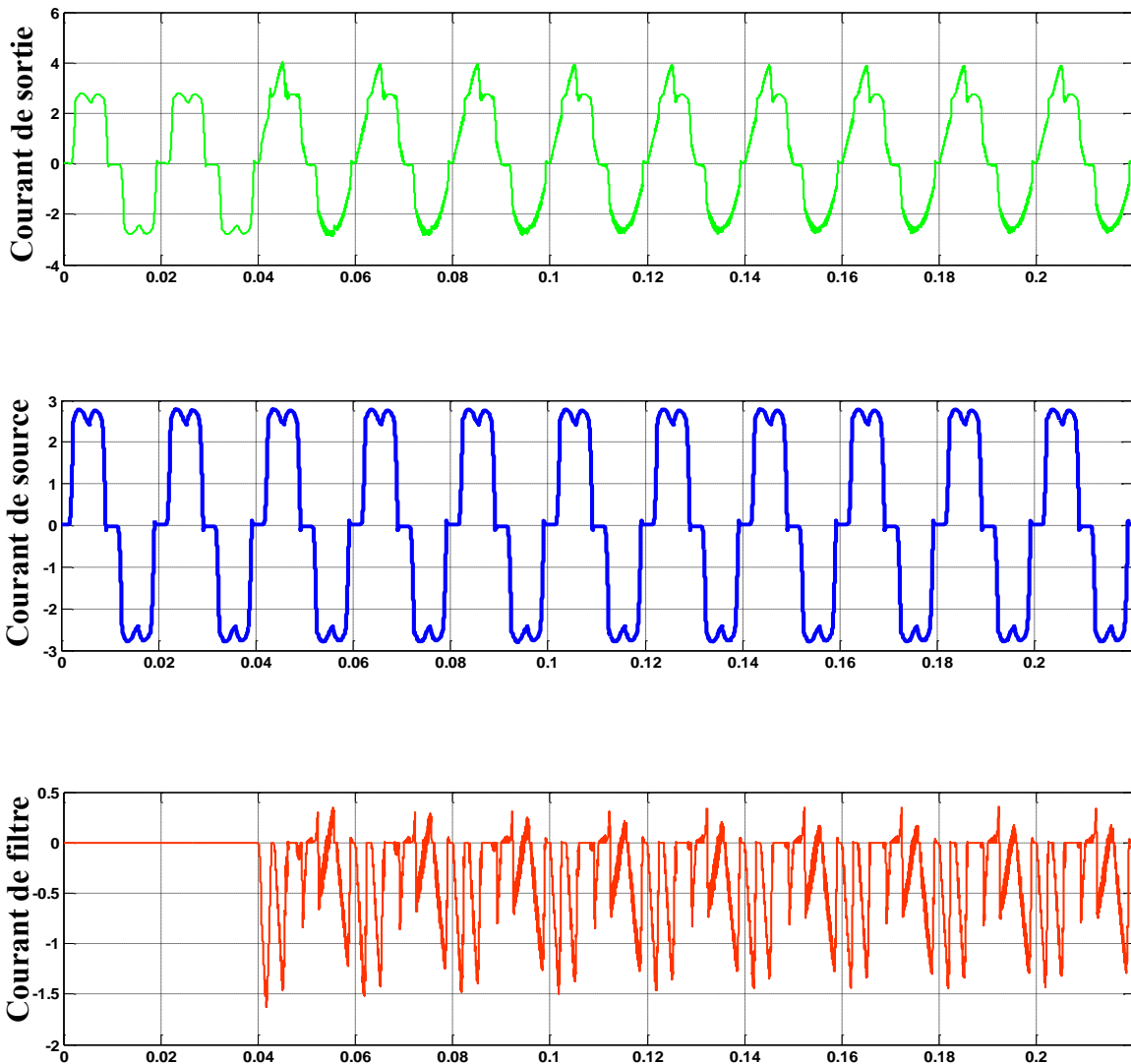


Fig.III.12: Résultats de simulation de l'ensemble de courants «T1 et T4 circuit ouvert ».

III.9. Application d'une méthode de diagnostic classique:

Dans ce travail de fin d'étude, nous allons comparer une des méthodes classiques qui est le calcul de la moyenne d'un signal. Nous comparons les valeurs moyennes des états défaillances avec les valeurs moyennes de l'état sain et l'état défaillant et avec le zéro. Le principe consiste à simuler les états défaillants de tous les transistors un par un, ensuite deux transistors en même temps. Les résultats obtenus sont :

III.9.1. La comparaison de la valeur de la moyenne avec zéro :**1^{er} cas : 01 transistor défectueux**

La première étude que nous allons faire est de simuler la présence d'un défaut de type circuit ouvert sur tous les transistors l'un après l'autre, a chaque fois la moyenne de trois phases sera calculé. A la fin une analyse indiquera l'efficacité de cette méthode.

Si T1 défaillant:

$$\mathbf{T1} \quad \begin{cases} m(I_a) > 0 \\ m(I_b) < 0 \\ m(I_c) < 0 \end{cases}$$

Si T2 défaillant:

$$\mathbf{T2} \quad \begin{cases} m(I_a) < 0 \\ m(I_b) > 0 \\ m(I_c) > 0 \end{cases}$$

Si T3 défaillant:

$$\mathbf{T3} \quad \begin{cases} m(I_a) < 0 \\ m(I_b) > 0 \\ m(I_c) < 0 \end{cases}$$

Si T4 défaillant:

$$\mathbf{T4} \quad \begin{cases} m(I_a) > 0 \\ m(I_b) < 0 \\ m(I_c) > 0 \end{cases}$$

Si T5 défaillant:

$$\mathbf{T5} \quad \begin{cases} m(I_a) < 0 \\ m(I_b) < 0 \\ m(I_c) > 0 \end{cases}$$

Si T6 défaillant:

$$\mathbf{T6} \quad \begin{cases} m(I_a) > 0 \\ m(I_b) > 0 \\ m(I_c) < 0 \end{cases}$$

L'analyse de cette première étude indique que la moyenne est un bon indicateur de la présence d'un défaut. En effet, l'apparition d'un défaut sur la partie supérieur du convertisseur implique la variation de la valeur de la moyenne, qui change de la valeur nulle vers une valeur supérieur à zéro (>0). Le cas inverse c'est à dire la partie inférieure est indiqué par le changement de la valeur de la moyenne du bras défectueux vers une valeur inférieur à zéro (<0).

2^{ème} cas : deux transistors simultanément

Cas N° 01: T1 en commun

Si (T1 et T2) défaillant:

$$\mathbf{T1-T2} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T1 et T3) défaillant:

$$\mathbf{T1-T3} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T1 et T4) défaillant:

$$\mathbf{T1-T4} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T1 et T5) défaillant:

$$\mathbf{T1-T5} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} > \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T1 et T6) défaillant:

$$\mathbf{T1-T6} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Cas N° 02 : T2 en commun

Si (T2 et T3) défaillant:

$$\mathbf{T2-T3} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T2 et T4) défaillant:

$$\mathbf{T2-T4} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} > \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T2 et T5) défaillant:

$$\mathbf{T2-T5} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} > \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T2 et T6) défaillant:

$$\mathbf{T2-T6} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Cas N° 03: T3 en commun

Si (T3 et T4) défaillant:

$$\mathbf{T3-T4} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T3 et T5) défaillant:

$$\mathbf{T3-T5} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} > \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T3 et T6) défaillant:

$$\mathbf{T3-T6} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

Cas N° 04: T4 en commun

Si (T4 et T5) défaillant:

$$\mathbf{T4-T5} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} > \mathbf{0} \end{cases}$$

Si (T4 et T6) défaillant:

$$\mathbf{T4-T6} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} < \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} > \mathbf{0} \end{cases}$$

Cas N° 05: T5 en commun

Si (T5 et T6) défaillant:

$$\mathbf{T5-T6} \begin{cases} \mathbf{m(I_a)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_b)} > \mathbf{0} \\ \mathbf{m(I_c)} < \mathbf{0} \end{cases}$$

L'étude des différentes apparitions des défaillances indique les mêmes remarques que pour le cas d'un seul transistor défectueux. L'inconvénient apparaît clairement que la présence du deuxième transistor n'a aucun effet sur la valeur de la moyenne. L'opérateur est clairement dans l'incapacité de distinguer les deux transistors défectueux, ce qui induit une fausse alarme.

III.8.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié le mode de défaillance des éléments de puissance dans un onduleur, les défauts des onduleurs triphasé de type court-circuit et circuit ouvert on suite on a cité le diagnostic des défauts de type circuit-ouvert des composants de puissance dans un convertisseur statique Puis, nous avons présenté la méthode Approche signal (Méthodes basées sur les courants) pour l'identification des courants de référence.

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

CHPITRE IV :

Diagnostic intelligent d'un défaut circuit ouvert dans un FAP

IV.1: Introduction :

Pendant que les nouvelles techniques informatiques et les nouvelles technologies pour les commandes électriques éminentes, la surveillance, la détection de défaut et le diagnostic des machines électriques deviennent de plus en plus les questions importantes dans le domaine des machines électriques. Des machines asynchrone peuvent être trouvées dans presque tous les types d'applications, de petites machines monophasées pour les appareils ménagers jusqu'à de grands moteurs triphasés pour les ensembles industriels. Usiner les jeux de surveillance un rôle crucial en détectant les défauts naissants et, de cette façon, en empêchant le temps de panne imprévu et les couts associes de panne de systèmes électromécaniques et de composants. Dans des décennies passées un certain nombre de différents méthodes et arrangements de détection naissants de défaut. L'attention particulière a été consacrée aux méthodes non envahissantes, qui sont capables pour détecter des défauts. L'analyse de courant du moteur est considère les méthodes de détection les plus prometteuses de défaut, car il laisse détecter plusieurs défauts communs de machine. Cette méthode est basée sur la décomposition spectrale du courant, En suite on utilisera la logique floue (Fuzzy logic) comme un système expert pour le diagnostic de défaut base sur le traitement de signature et l'analyse de courant de moteur pour atteindre une décision précise pour les des défauts de court-circuit (le pourcentage des spires en court-circuit).

IV.2 : Principe de la logique floue:

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous développée par Zadeh. A côté d'un formalisme mathématique fort développé, nous préférons aborder la présentation de manière intuitive.

Le terme « logique floue » a deux aspects :

- Le premier correspond à tous les développements concernent la théorie des ensembles flous
- Le deuxième représente une extension de la logique classique dans le but de raisonner sur des connaissances imparfaites [AMR16].

IV.3 : Les concepts principaux de la logique floue :

Le concept de la théorie des sous-ensembles flous, s'appuie sur la notion de degré d'appartenance d'un élément à un sous-ensemble flou. Tandis que les ensembles traditionnels sont caractérisés par une fonction d'appartenance notée, (également appelée fonction caractéristique) définie sur $\{0,1\}$, les sous-ensembles flous sont, eux, caractérisés par une fonction d'appartenance notée μ définie sur $[0,1]$.

En d'autres termes, dans le langage ensembliste classique, un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble tandis qu'un élément appartient à un sous-ensemble flou avec un certain degré (éventuellement nul). En résumé, pour un sous-ensemble A défini sur un univers de discours U, on peut écrire [BOU10] :

A Sous-ensemble classique : fonction caractéristique $x_A: U \rightarrow \{0,1\}$

A Sous-ensemble flou : fonction d'appartenance $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$

IV.3.1:Sous-ensemble flou :

Nous venons de voir ce que l'on entend par sous-ensemble ou, d'un point de vue formel. Un sous-ensemble ou A sur un univers de discours U, est représenté comme dans la figure 3 à travers sa fonction caractéristique μ_A . Il peut également être décrit par un certain nombre de caractéristiques comme [BOU10]:

- son support :

Support (A) = $\{x \in U / (\mu_A(x) \neq 0)\}$

- sa hauteur :

Hauteur(A) = $\sup \{\mu_A(x)\}$

- son noyau :

Noyau(A) = $\{x \in U / \mu_A(x) = 1\}$

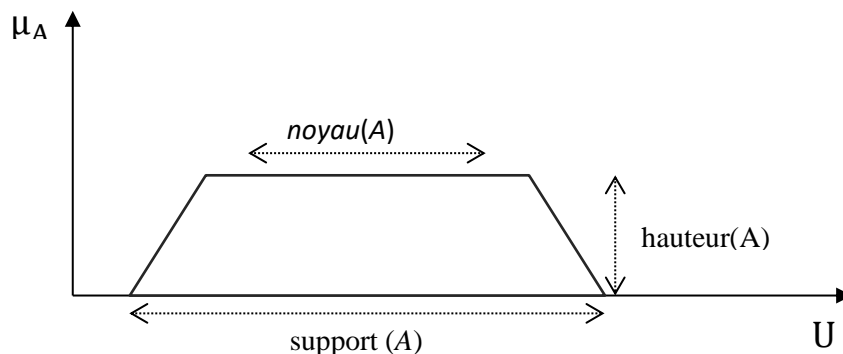


Fig. IV.1 : Représentation d'un sous-ensemble flou et principale caractéristiques.

Le concept de sous-ensemble flou a été introduit pour éviter les passages brusques d'une classe à une autre (de la classe noire à la classe blanche par exemple) et autoriser des éléments à n'appartenir complètement ni à l'une ni à l'autre (à être gris, par exemple) ou encore à appartenir partiellement à chacune (avec un fort degré à la classe noire et un faible degré à la classe blanche dans le cas du gris foncé).

La notion de sous-ensemble flou permet de traiter :

- des catégories aux limites mal définies.

- des situations intermédiaires entre le tout et le rien (presque noir).
- le passage progressif d'une propriété a une autre (de proche à éloigné selon la distance)
- des valeurs approximatives.
- des classes en évitant l'utilisation arbitraire de limites rigides.

IV.3.2 : Variable linguistique :

Une variable linguistique sert à modéliser les connaissances imprécises ou vagues sur une variable dont la valeur précise peut être inconnue. Elle est définie par un triplet $(V, U, T V)$ où V représente une variable classique (qualité du service, montant du pourboire, etc.) X la plage de valeurs de la variable et TV un ensemble fini ou infini de sous-ensembles flous [BOU10].

Il s'agit de sous-ensembles flous repères par leur label A_i : on écrit ainsi $T V = \{A_1, A_2, A_3, A_n\}$ Graphiquement, une variable linguistique peut être représentée comme dans la figure IV.2.

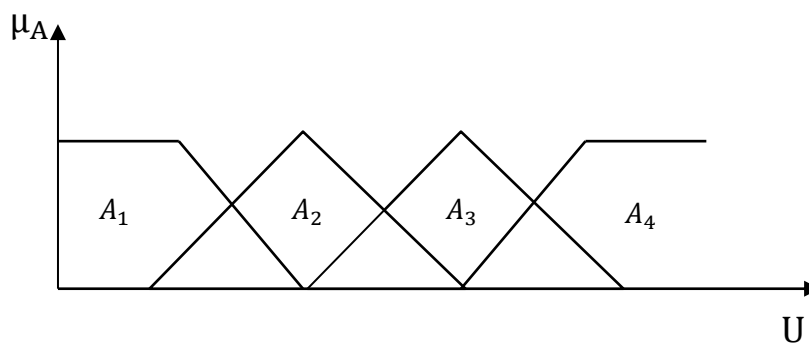


Fig. IV.2: Représentation d'une variable linguistique définie comme $(U, V, T V) = \{A_1, A_2, A_3, A_n\}$

IV.3.3 : Opérateurs de la logique floue :

Les variables linguistiques sont liées entre elles au niveau des inférences par des opérateurs ET ou OU. Il s'agit d'opérateurs de la logique floue qui interviennent sur les Fonctions d'appartenance représentant les variables linguistiques. Le plus souvent, les opérateurs ET ou OU sont réalisés respectivement par les règles « min » et « max ». Il y a alors une certaine affinité avec les règles de la logique classique. Cependant, il existe un grand nombre de règles pour la réalisation des opérateurs ET et OU qui tiennent compte du caractère particulier de la logique floue.

Soit A et B deux ensembles flous définissent dans le référentiel U avec les fonctions d'appartenances μ_A et μ_B respectivement [FRA11]:

Dénomination	Intersection ET : $\mu_{A \cap B}(x)$	Réunion OU : $\mu_{A \cup B}(x)$	Complément NON : $\mu_{\bar{A}}(x)$
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$1 - \mu_A(x)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$1 - \mu_A(x)$

Tableau IV.1: Opérateurs de la logique floue

IV.3.4. Différents types de modèles flous :

Comme mentionné plus haut, les systèmes flous sont basés sur une représentation de connaissance sous forme des règles flous qui permettent de représenter les relations entre les variables d'entrée et de sortie dont l'expression générale est de la forme : « Si **prémisse**, Alors, **conséquent** ».

On peut considérer la prémisse (antécédent) comme une description linguistique qui indique les conditions de validité du phénomène représenté. En revanche, le conséquent (conclusion) représente le comportement associé aux conditions de validité décrite par la prémisse. Selon cette structure et les applications de la logique floue en commande des systèmes, on distingue généralement trois grandes familles de modèles flous à base de règles [BEN17] :

- les modèles flous linguistiques (ou de Mamdani),
- les modèles flous relationnels,
- les modèles flous de Takagi-Sugeno.

Généralement, les modèles flous sont basés sur une collection de règles « si...alors... ». Dans le cadre des applications de la logique floue en commande des systèmes, les types de modèles les plus souvent utilisés sont ceux de Mamdani et de Takagi-Sugeno. Les prémisses de règles dans ces deux modèles sont exprimées symboliquement, la différence est dans l'expression des conclusions de règles. Les modèles flous relationnels peuvent être considérés comme une généralisation du modèle linguistique. Dans ces modèles derniers, il est possible d'associer une proposition antécédente spécifique avec plusieurs propositions conséquentes différentes par une relation floue.

IV.3.5.Fonction d'appartenance :

Afin de permettre un traitement numérique des variables linguistiques dans la prise de décisions floues sur ordinateur, une définition des variables linguistiques à l'aide de fonctions d'appartenance s'impose. Dans ce contexte on associe à chaque valeur de la

variable linguistique une fonction d'appartenance désignée par $\mu_A(x)$, qui sera désignée par le degré ou le facteur d'appartenance. Il est à noter que l'ensemble des éléments de x pour lesquels $\mu_A(x) > 0$, est appelé «support de A». Le plus souvent, on utilise pour les fonctions d'appartenance les fonctions suivantes [BOU10] :

Fonction triangulaire : Elle est définie par trois paramètres $\{a, b, c\}$ qui déterminent les coordonnées des trois sommets.

$$\mu(x) = \text{MAX}(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0) \quad (\text{IV.1})$$

Fonction trapézoïdale : Elle est définie par quatre paramètres $\{a, b, c, d\}$:

$$\mu(x) = \text{MAX}(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{c-x}{c-b}\right), 0) \quad (\text{IV.2})$$

Fonction gaussienne : Elle est définie par deux paramètres $\{s, m\}$:

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

(IV.3)

Fonction sigmoïdale : Elle est définie par deux paramètres $\{a, c\}$:

$$\mu(x) = \frac{1}{1+\exp(-a(x-c))} \quad (\text{IV.4})$$

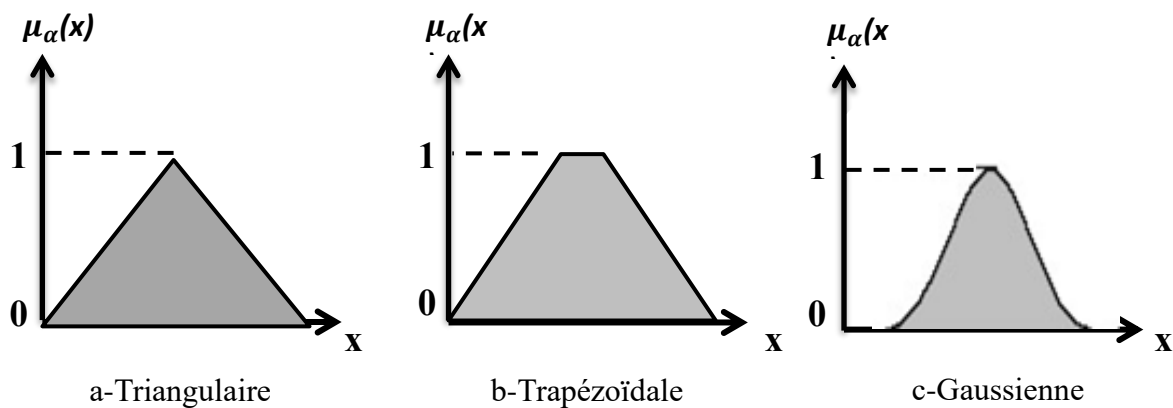


Fig.IV.3: Fonction d'appartenance

IV.3.6. Structure générale de la logique floue :

La logique est composée de trois éléments suivants [YET18] [BOU10]:

- Interface de fuzzification.
- Règles d'inférence
- Interface de defuzzification.

IV.3.6.1. Fuzzification :

Transforme les entrées numériques en des ensembles flous. Le choix de l'opérateur de fuzzification dépend de la confiance que l'on accorde aux mesures effectuées. Ainsi si la mesure x_0 est exacte, le sous-ensemble flou $x \in A$ doit être représenté par un fait précis. Par conséquent, on utilise comme opérateur de fuzzification la transformation dite de singleton.

IV.3.6.2. Système d'inférence floue :

Dans cette étape on va définir les fonctions et les règles floues qui permettent de faire la relation entre les entrées et les sorties du système, ces règles sont de la forme (Si ... Alors), en utilisant des opérateurs logiques (ET, OU). Dans ce contexte, Mamdani a proposé un algorithme prescriptif basé sur la partition de la réponse du système en bandes prescriptif floues et affecter une règle à chaque bande

IV.3.6.3. Défuzzification :

La stratégie de commande utilisée est décrite par un ensemble de déclaration linguistique ou règles. Puisque le processus exige à ses entrées des valeurs non floues, l'ensemble flou de sortie du régulateur doit être défuzzifié. La défuzzification est l'opération qui consiste à extraire d'un ensemble flou une valeur numérique considérée comme valeur significative, on cite comme exemples la moyenne des maximums et le centre de gravité.



Fig. IV.4: Structure générale de la logique floue

IV.4. La transformé de PARK :

Le système des courants (i_a, i_b, i_c) est transformé en système biphasé (i_α, i_β) . Dans ce cas, le contour de Park est un cercle centré à l'origine. Ce contour est considéré comme

un indice de référence simple et intéressant dans la mesure où ces déviations indiquent les anomalies pouvant affecter la machine.

Le cadre de référence fixe (la norme $\alpha - \beta$) est utilisé pour évaluer l'évolution du courant lorsque les commutateurs de puissance de circuit ouvert se produit dans le convertisseur. Comme indiqué dans l'équation(5) à comparer avec référence des valeurs actuelles [HAO18].

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ \mathbf{0} & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.5})$$

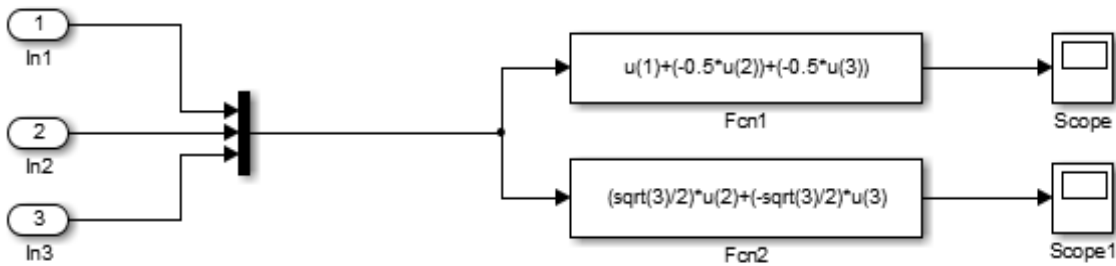


Fig. IV.5: Schéma SUMILINK de la transformé de Park.

Où i_a , i_b et i_c sont les courants triphasé et i_α et i_β et i_0 composantes d'un vecteur Park en $\alpha - \beta$ fixe le cadre. Puisque les enroulements triphasés des FAP sont connectés en étoile, le courant homopolaire doit répondre l'équation suivante (6).

$$i_0 = \frac{1}{3} (i_a + i_b + i_c) = 0 \quad (\text{IV.6})$$

Dans la stratégie traditionnelle de vecteur spatial, Park le vecteur peut être exprimé comme :

$$I_s = i_\alpha + j i_\beta = |I_s| < \theta_s \quad (\text{IV.7})$$

Où θ_s est l'angle du vecteur de Park. Seul le transporteur du Park est :

$$|I_s| = \sqrt{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \quad (\text{IV.8})$$

En supposant que les courants triphasés FAP sont les ondes sinusoïdales sont exprimées :

$$\begin{cases} i_\alpha = I_m \sin(\omega_s t + \varphi) \\ i_\beta = I_m \sin(\omega_s t - 2\pi/3 + \varphi) \\ i_0 = I_m \sin(\omega_s t - 2\pi/3 + \varphi) \end{cases} \quad (IV.9)$$

Où I_m est l'amplitude maximale des courants, ω_s est égale à la vitesse angulaire du moteur et φ c'est le déphasage initial.. Ensuite, l'unité du vecteur Park est :

$$|I_s| = \sqrt{\frac{3}{2}} I_m \quad (IV.10)$$

Pour simplifier la méthode de diagnostic des défauts, le système en trois étapes Les courants doivent être normalisés, ce qui est calculé par division. Flux de phase par unité de convoyage du parc. Alors les courants triphasé sont normalisés et donnés comme $i_k N$.

$$i_k N = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{i_k}{|I_s|} \quad (IV.11)$$

Où $k = a, b, c$. En conséquence, les courants de phase normalisée il prendra toujours des valeurs dans la plage de ± 1 , ce qui peut être sont exprimées :

$$i_k N = \begin{cases} i_a N = \sin(\omega_s t + \varphi) \\ i_b N = \sin(\omega_s t - 2\pi/3 + \varphi) \\ i_c N = \sin(\omega_s t - 2\pi/3 + \varphi) \end{cases} \quad (IV.12)$$

$$\langle |i_k N| \rangle = \frac{\omega_s}{2\pi} \int_0^{2\pi} |i_k N| dt \quad (IV.13)$$

Lorsque le FAP est activé dans des conditions normales, le les courants triphasée sont des ondes sinusoïdales. Puis fixé entrez la valeur ξ et elle est égale à la valeur de $|i_k N|$ faible condition normale.

$$\varepsilon = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (IV.14)$$

Pour réaliser le diagnostic de défaut, trois variables de diagnostic e_k sont introduites, qui sont égales aux erreurs de la normalisée valeurs absolues moyennes des courants et exprimées en :

$$e_k = \varepsilon - |i_k N| \quad (IV.15)$$

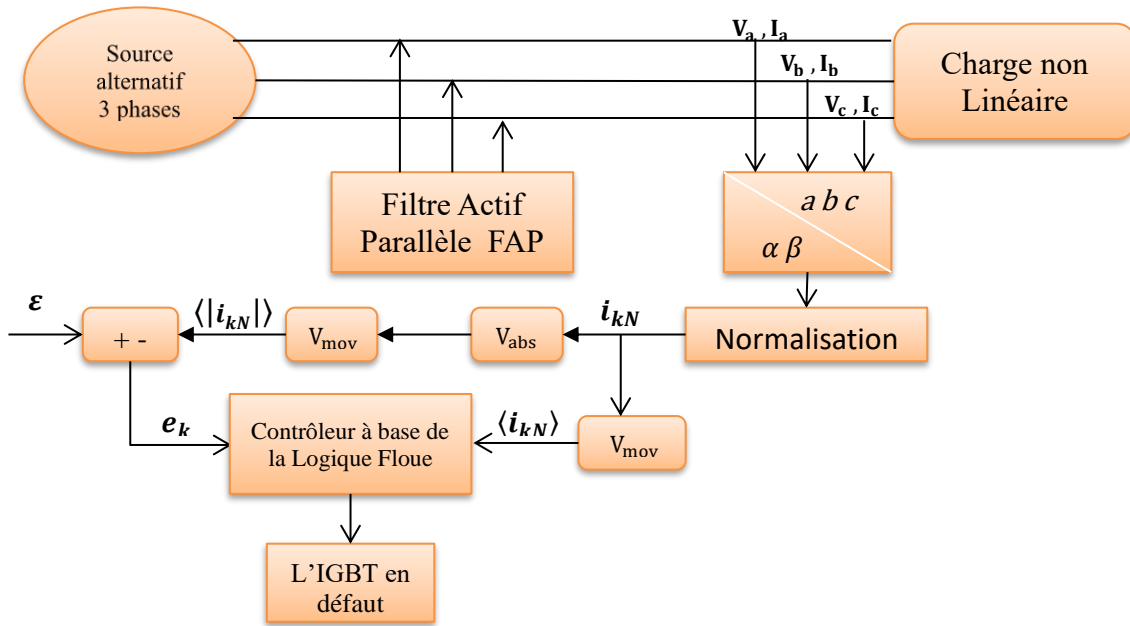


Fig. IV.6: Schéma bloc de l'approche de diagnostic proposée

Dans les conditions de fonctionnement normales, les trois diagnostics les variables e_k sont toutes proches de zéro. Néanmoins, lorsque les défauts de circuit ouvert dans le FAP se produisent, au moins l'un de ces trois valeurs deviendra une valeur positive distincte, qui peut être utilisé pour identifier les défauts.

Cependant, seules ces trois valeurs ne permettent pas d'identifier les interrupteurs d'alimentation, les valeurs moyennes $\langle i_{kN} \rangle$ doivent être utilisées ensemble. Pour mettre en œuvre le diagnostic de défaut, symptôme de défaut les variables sont formulées comme les équations (16) et (17).

$$E_K = \begin{cases} N & e_k < -\delta_0 \\ Z & -\delta_0 < e_k < \delta_0 \\ PS & \delta_0 < e_k < \delta_1 \\ PL & e_k > \delta_1 \end{cases} \quad (IV.16)$$

$$M_K = \begin{cases} N & \langle i_{kN} \rangle < -\mu_0 \\ Z & -\mu_0 < \langle i_{kN} \rangle < \mu_0 \\ P & \langle i_{kN} \rangle > \mu_0 \end{cases} \quad (IV.17)$$

Où δ_0 , δ_1 et μ_0 sont les valeurs de seuil. N, Z, P, PS et PL sont les valeurs des champs flous, où N indique négatif, Z indique zéro, P indique positif, PS indique dénote un petit positif et PL un grand positif.

Dans ce chapitre, les valeurs de seuil sont conçues comme suit. Première, pour un système d'entraînement spécifique, le canal de signal FAP est arrêté en modifiant les algorithmes de contrôle du moteur, qui peut simuler un type de circuit ouvert pour l'interrupteur d'alimentation erreur. Puis les variables de diagnostic d'erreur e_k et valeurs moyenne $\langle |i_k N| \rangle$ en utilisant l'échantillon actuel valeur. De plus, les valeurs limites doivent être conçues selon les valeurs de e_k et $\langle |i_k N| \rangle$ Pour assurer le jeûne et un diagnostic précis des défauts. Enfin, le seuil conçu les valeurs sont écrites dans des algorithmes de diagnostic d'erreur [HAO18].

Les variantes de symptôme d'erreur E_k et M_k peuvent être une caractéristique une signature de défaut liée à une opération défectueuse spécifiée situation. Dans le mode de fonctionnement normal, le triphasé les courants FAP sont des ondes sinusoïdales, alors qu'il y a des défauts de circuit ouvert dans l'onduleur. En conséquence, 21 est défectueux les conditions peuvent être révélés en regardant le tableau 2. Dans cette méthode de diagnostic des pannes, interrupteur d'alimentation unique également les interrupteurs d'alimentation doubles ont conclu des défauts de circuit ouvert. Les variantes de symptôme d'erreur E_k et M_k peuvent être utilisées :

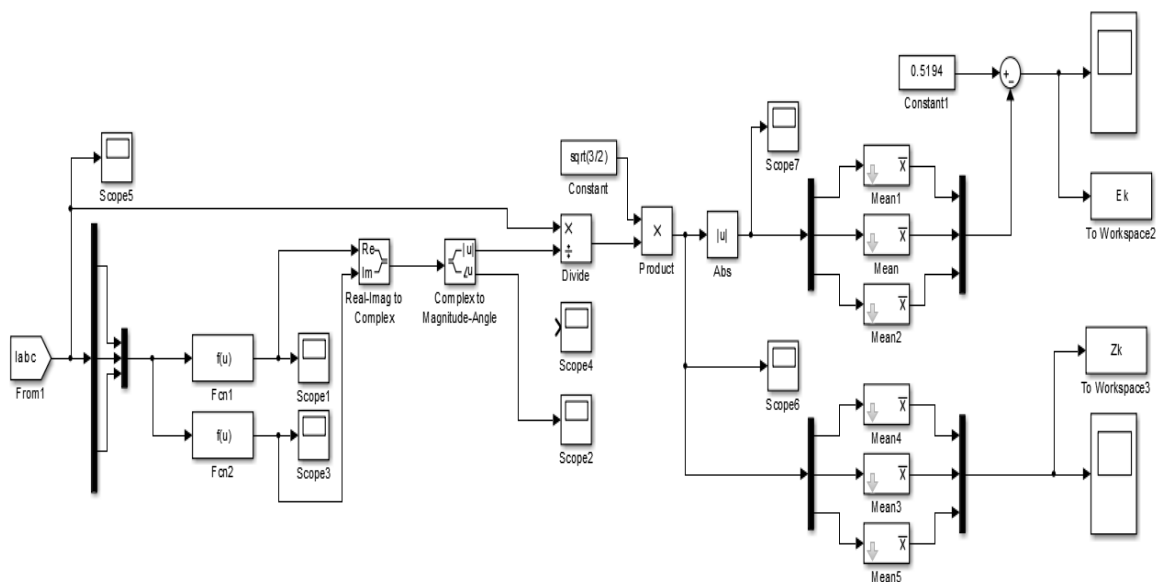


Fig. IV.7: Schéma SUMILINK de calcul E_k . M_k .

On peut distinguer plusieurs défauts de circuit ouvert, dont l'essentiel de ces défauts est regroupé dans les quatre (04) cas suivants :

-1^{er} cas : défaut d'ouvertures d'un des six interrupteurs (T1 ou T2 ... ou T6).

-2^{ème} cas : défaut d'ouvertures des deux interrupteurs du même bras (T1 et T2) ou (T3 et T4) ou (T5 et T6).

-3^{ème} cas : défaut d'ouvertures des deux interrupteurs de même niveau (positif ou négatif) des deux bras différents (T1 et T3) ou (T2 et T4) ... ou (T4 et T6).

-4^{ème} cas : défaut d'ouvertures des deux interrupteurs des différents niveaux des deux bras différents (T1 et T4) ou (T2 et T3) ... ou (T4 et T5).

ETATS		E_K			M_K		
		E_a	E_b	E_c	M_a	M_b	M_c
1 ^{er} cas	T ₁	P	P	N	P	-	-
	T ₂	P	P	N	N	-	-
	T ₃	N	P	P	-	P	-
	T ₄	N	P	P	-	N	-
	T ₅	P	N	P	-	-	P
	T ₆	P	N	P	-	-	N
2 ^{ème} cas	T ₁ -T ₂	PL	P	N	-	-	-
	T ₃ -T ₄	N	PL	P	-	-	-
	T ₅ -T ₆	P	N	PL	-	-	-
3 ^{ème} cas	T ₁ -T ₃	P	P	Z	P	P	N
	T ₂ -T ₄	P	P	Z	N	N	P
	T ₃ -T ₅	Z	P	P	N	P	P
	T ₄ -T ₆	Z	P	P	P	N	N
	T ₁ -T ₅	P	P	P	P	N	P
	T ₂ -T ₆	P	P	P	N	P	N
3 ^{ème} cas	T ₁ -T ₄	P	P	Z	P	N	Z
	T ₂ -T ₃	P	P	Z	N	P	Z
	T ₁ -T ₆	P	Z	P	P	Z	N
	T ₂ -T ₅	P	Z	P	N	Z	P
	T ₃ -T ₆	Z	P	P	Z	P	N
	T ₄ -T ₆	Z	P	P	Z	N	P

Tableau IV.2: Condition des défauts détectés par les variables de symptôme de défaut Interrupteurs défectueux $E_a E_b E_c M_a M_b M_c$.

IV.5.Méthode de diagnostic du défaut base sur logique floue :

Les bases floues de l'approche proposée sont extraites de l'analyse des conditions défectueuses en circuit ouvert. Les six variantes de symptôme d'erreur E_k et M_k il doit être dérangé de la manière suggérée. Les algorithmes détaillés de la méthode proposée sont les suivants.

IV.6.Raisonnement diagnostic de logique floue :

Le diagnostic est basé sur l'analyse et inverseur de connaissance des symptômes de guidage. Heuristique les connaissances peuvent prendre la forme de modèles de processus qualitatifs exprimé comme des règles si-alors. Dans cet article analytique et les symptômes indicatifs sont des variantes d' E_k et des symptômes d'erreur M_k , qui est une entrée de diagnostic de défaut basée sur logique floue FFD (Fuzzy-based Fault Diagnosis) Bloquer. Basé sur le principe de la théorie du contrôle flou et les équations (16), (17), six variables de symptôme d'erreur E_k et M_k doit être mystérieux car :

$$E_k \in \{N, Z, P S, P L\}$$

$$M_k \in \{N, Z, P\}$$

N désigne négatif, Z désigne zéro et P désigne positif, PS désigne un petit positif et PL désigne un positif grand. La figure 4 illustre la description des fonctions organise (MF). Variables d'entrée pour le bloc FFD. Il y a six membres fonctions selon l'analyse ci-dessus [HAO18].

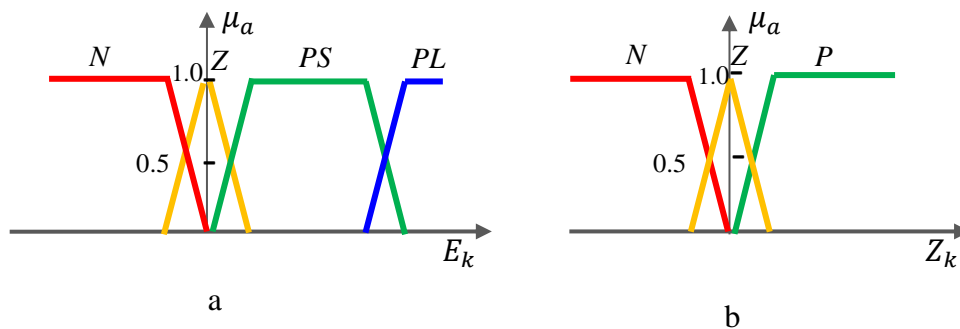


Fig. IV.8: Fonctions d'appartenance dans l'entrée FFD. E_k (a). (b) M_k (b).

De même, le financement de la production de développement doit également être faussé les fonctions organiques sont illustrées à la figure 5. Suivant bruit, 0 et 1 indiquent un fonctionnement normal et défaut de circuit ouvert pour les interrupteurs d'alimentation, respectivement. Si le résultat du FFD se situe entre les valeurs 0 et 1, l'erreur niveau bas

et le résultat peut être interprété comme un avertissement, un dysfonctionnement peut alors se produire dans le circuit ouvert de l'interrupteur d'alimentation intermittente.

Par conséquent, les six sorties FFD fournissent non seulement les informations de défaut de circuit ouvert, mais également le défaut intermittent [HAO18].

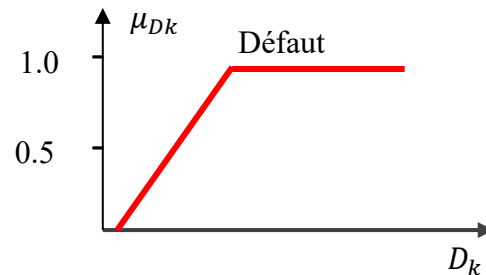


Fig. IV.9: Fonctions organiques de la sortie FFD . D_k

Après la Fuzzification, on doit identifier les règles floues sous forme linguistique de type (SI ... Alors) à l'aide de l'opérateur logique (ET), exemple :

- 1) Si $E_a = P$ S et $E_b = P$ et $E_c = N$ et $Z_a = P$, Alors D1 = Défaut.
- 2) Si $E_a = P$ S et $E_b = P$ et $E_c = N$ et $Z_a = N$, Alors D2 = Défaut.

En utilisant ces règles floues, les défauts en circuit ouvert dans le l'onduleur peut être détecté et localisé. Si la valeur Défaut= 1, il y a un défaut de circuit ouvert dans certains interrupteurs d'alimentation. Si la valeur Défaut est située entre 0 et 1, la valeur correspondante l'interrupteur d'alimentation peut être affectée par un défaut intermittent.

IV.7. Résultats de la simulation :

Pour corroborer le diagnostic de défaut basé sur le flou proposé méthode, le modèle de simulation est établi et vérifié avec le logiciel MATLAB / Simulink. De plus, les paramètres du système FAP sont indiqués dans le tableau II. La fréquence d'alimentation f_s est de 50 Hz et la tension du circuit intermédiaire VDC est de 10 V.

Paramètres	Quantité
Inductance L	15e-3 H
Résistance de disjoncteur R_{on}	0.001 Ω
Résistance d'amortissement R_p	1e6 Ω
Inductance L	0.15e-3 H
Résistance R	0.1 Ω
Capacitance C	35e-6 F

Tableau IV.3: les paramètres du système FAP

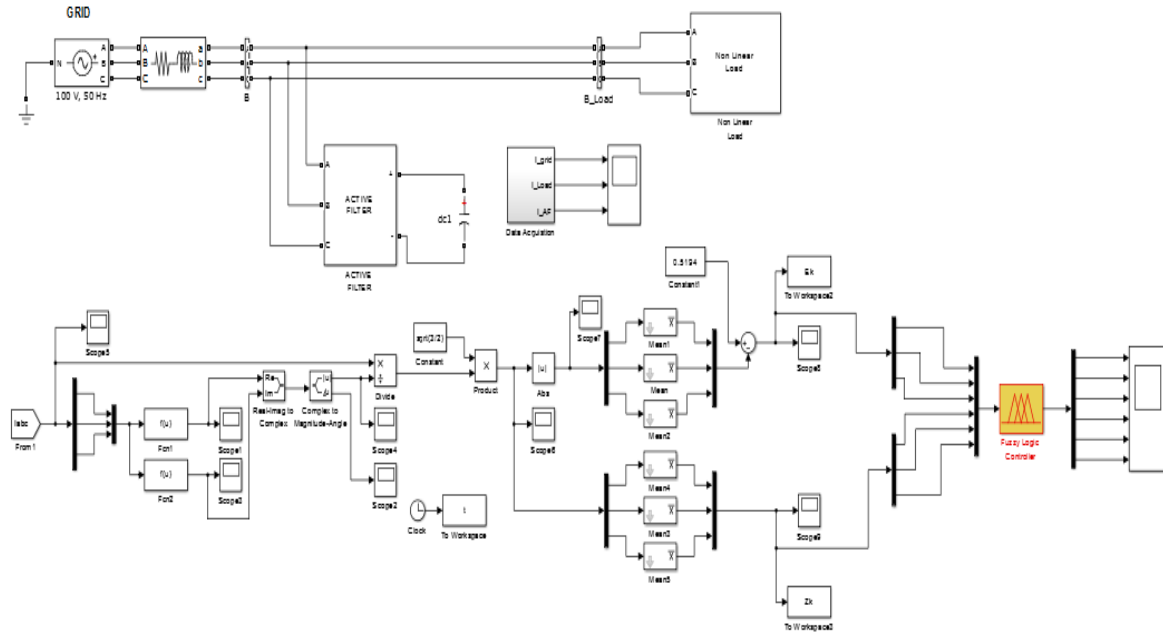


Fig. IV.10: Schéma SUMILINK de diagnostic de défaut basée sur la logique floue

Dans cette mémoire, les valeurs seuils δ_0 , δ_1 et μ_0 sont définis comme suit. $\delta_0 = 0,005$, $\delta_1 = 0,038$, $\mu_0 = 0,005$. Les variables de symptôme de défaut E_K et M_K sont calculé sur la base de la méthode vectorielle moyenne actuelle du parc, alors les commutateurs défectueux dans le FAP peuvent être détectés et localisée en traitant les variables avec un contrôle basé sur flou. Par conséquent, les informations erronées peuvent être obtenues avec le proposé FFD.

Basé sur le principe de FFD, la simulation de contrôle flou modèle est mise en place. La figure 8 illustre le système de logique floue du modèle de simulation FFD. Au milieu de cette figure, le flou les règles sont programmées dans le bloc. De plus, le détail les règles floues sont illustrées à la Fig.9.

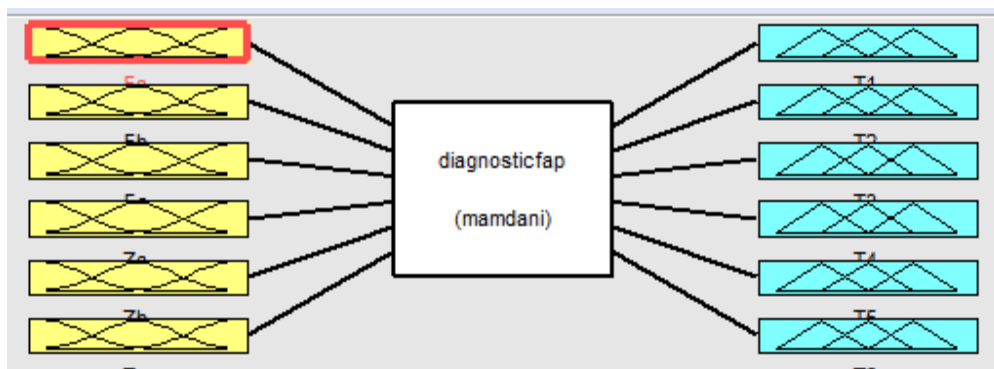


Fig. IV.11: Système de logique floue du modèle de simulation.

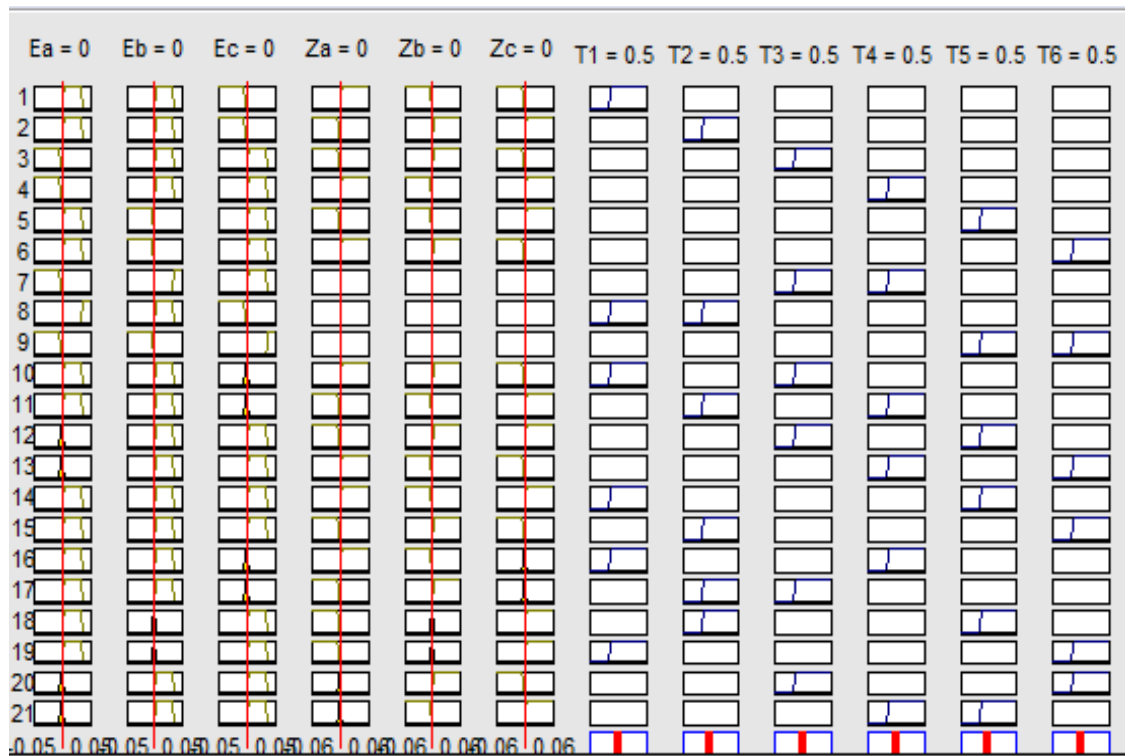


Fig. IV.12: Schéma de principe des règles floues.

IV.7.1. Les résultats des entrées et des sorties de simulation de logique floue circuit ouverte et état sain :

IV.7.1. 1. Etat sain:

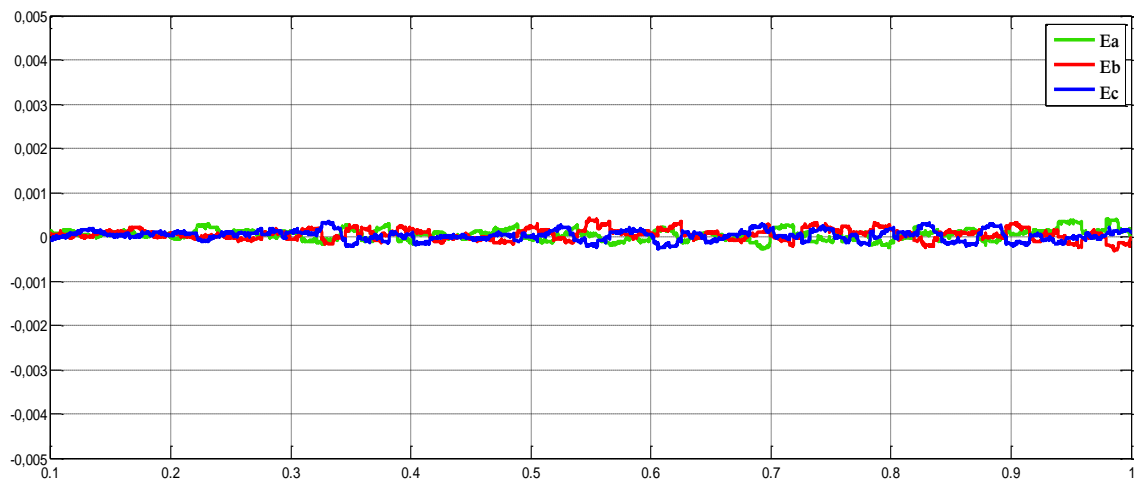


Fig. IV.13: Variables de diagnostic E_k «état sain »

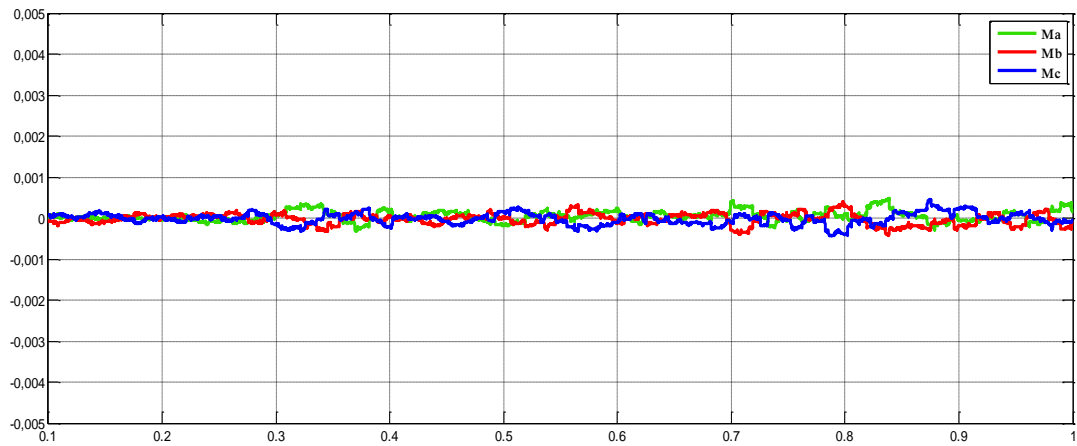


Fig. IV.14: Valeurs moyennes de courants M_k «état sain »

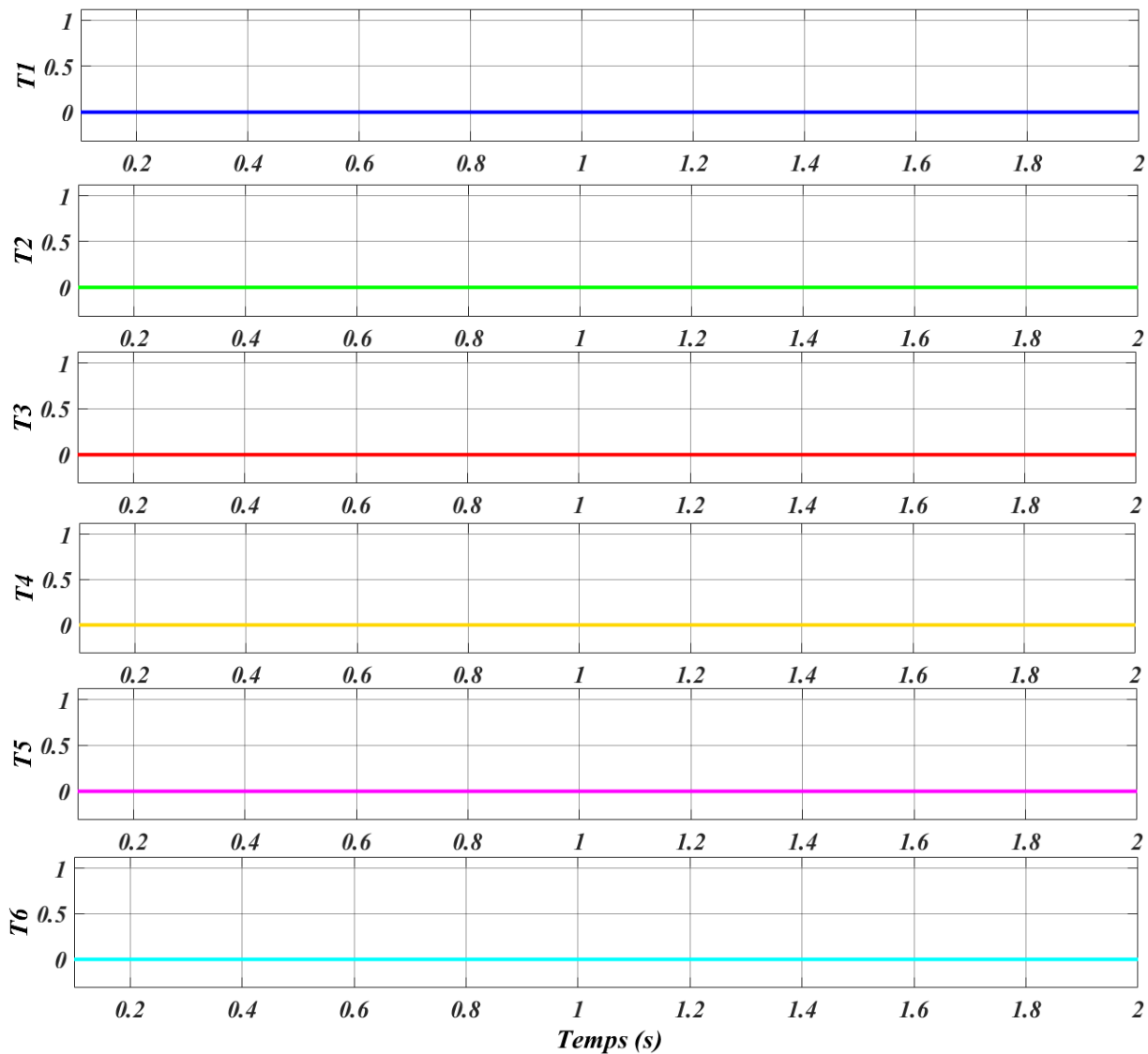


Fig. IV.15 : Sorties du système de diagnostic T_k « système sain »

On remarque que :

$$\begin{cases} E_a = E_b = E_c = Z \\ M_a = M_b = M_c = Z \end{cases}$$

Et résultats après la défuzzification des sorties est:

$$T1 = T2 = T3 = T4 = T5 = T6 = 0 \Rightarrow \text{Pas de défaut.}$$

Les résultats du système de diagnostic confirment que le système est sain.

IV.7.1.2. 1^{er} cas T1 circuit ouverte :

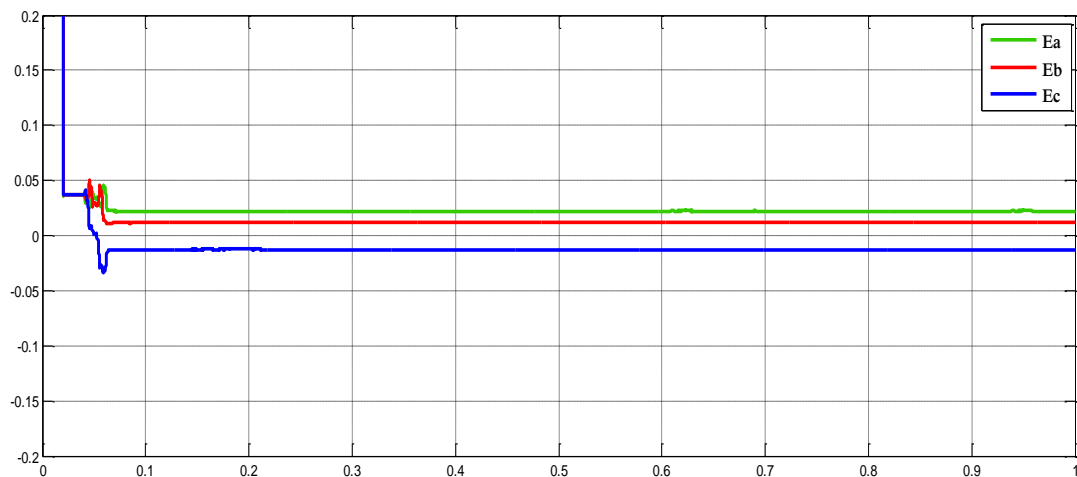


Fig. IV.16: Variables de diagnostic E_k «T1 circuit ouverte »

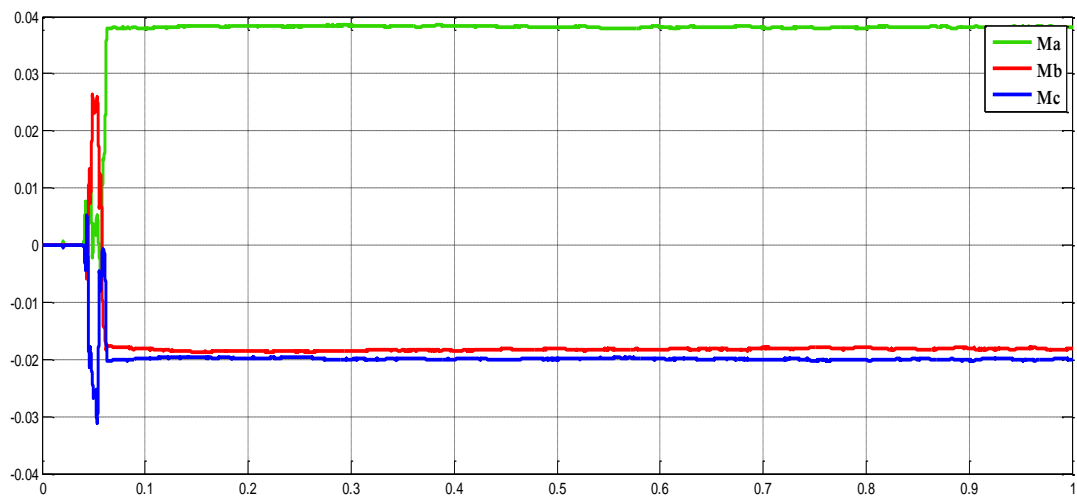


Fig. IV.17: Valeurs moyennes des courants M_k «T1 circuit ouverte »

On remarque que :

$$\begin{cases} 0.005 < E_a < 0.038 \\ 0.005 < E_b < 0.038 \\ E_c < -0.04 \end{cases} \quad \text{Alors} \quad \begin{cases} E_a = PS \\ E_b = PS \\ E_c = N \end{cases}$$

Aussi :

$$\begin{cases} 0.005 > M_a \\ M_b < -0.005 \\ M_b < -0.005 \end{cases} \quad \text{Alors} \quad \begin{cases} M_a = \text{PS} \\ M_b = \text{N} \\ M_c = \text{N} \end{cases}$$

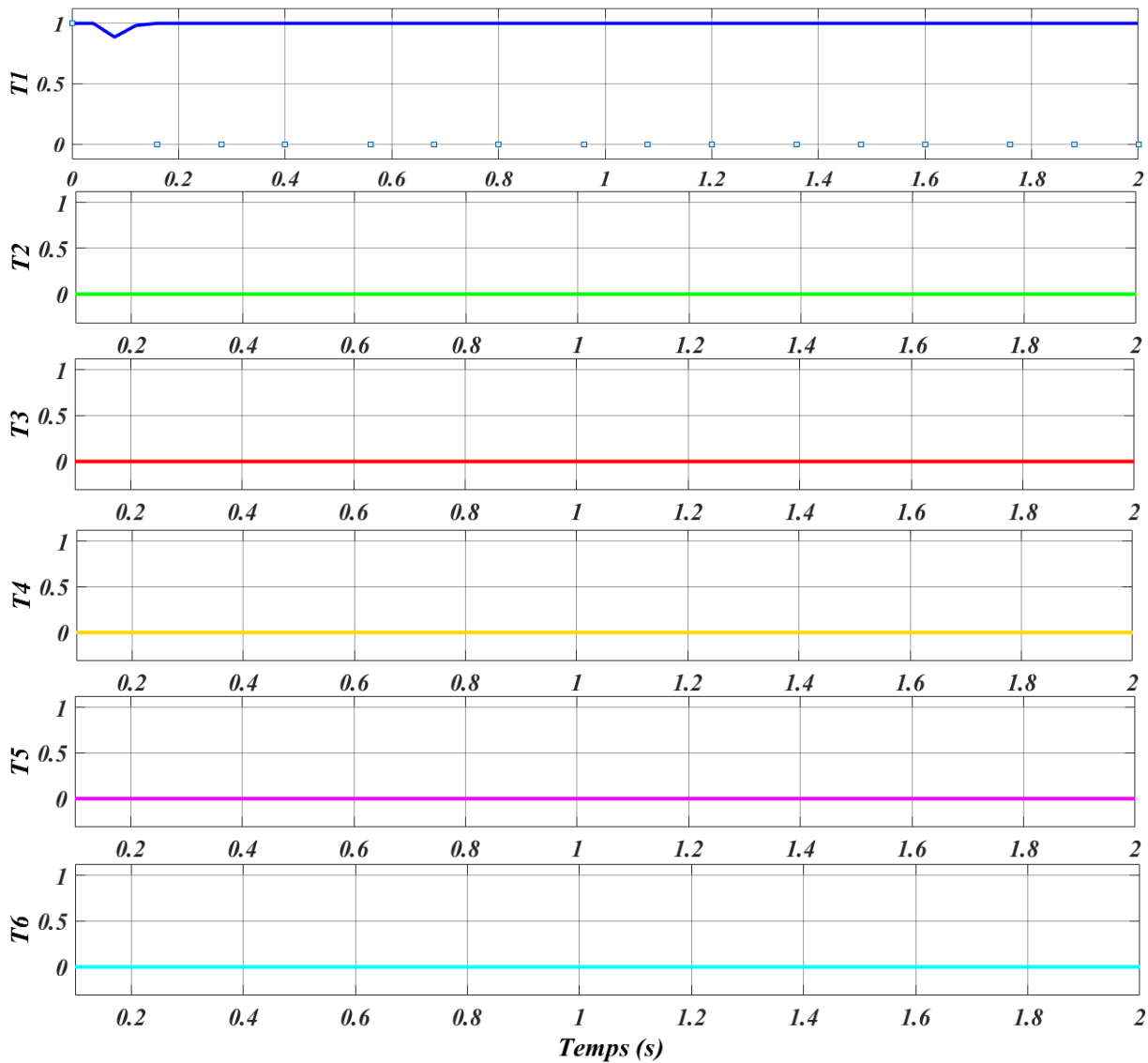


Fig. IV.18: Sorties du système de diagnostic T_k « défaut T1 »

Et résultats après la défuzzification des sorties est:

$$T1 = 1$$

$$T2 = T3 = T4 = T5 = T6 = 0$$

Les résultats du système de diagnostic confirment que le système défaille dans l'IGBT T1.

IV.7.1.3. 2^{ème} cas T1-T2 circuits ouvertes :

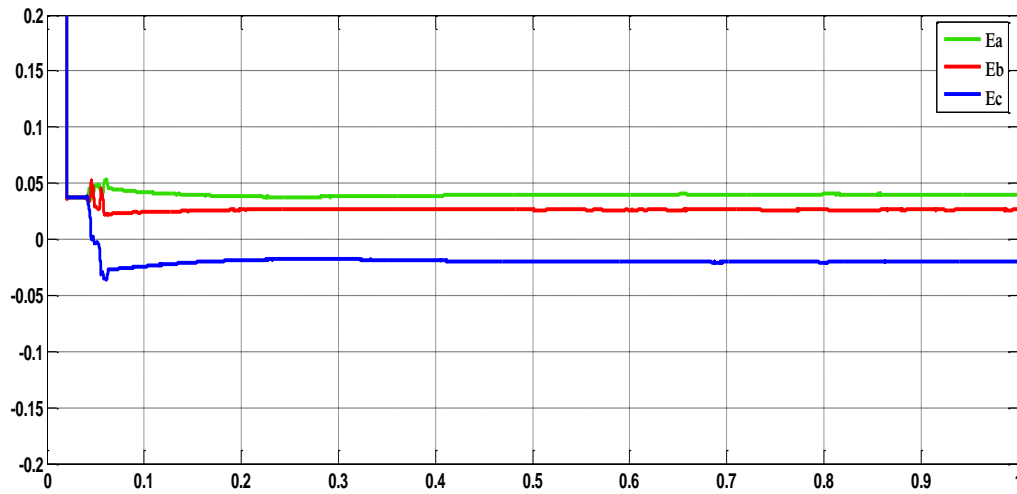


Fig. IV.19: Variables de diagnostic E_k «T1-T2 circuits ouvertes »

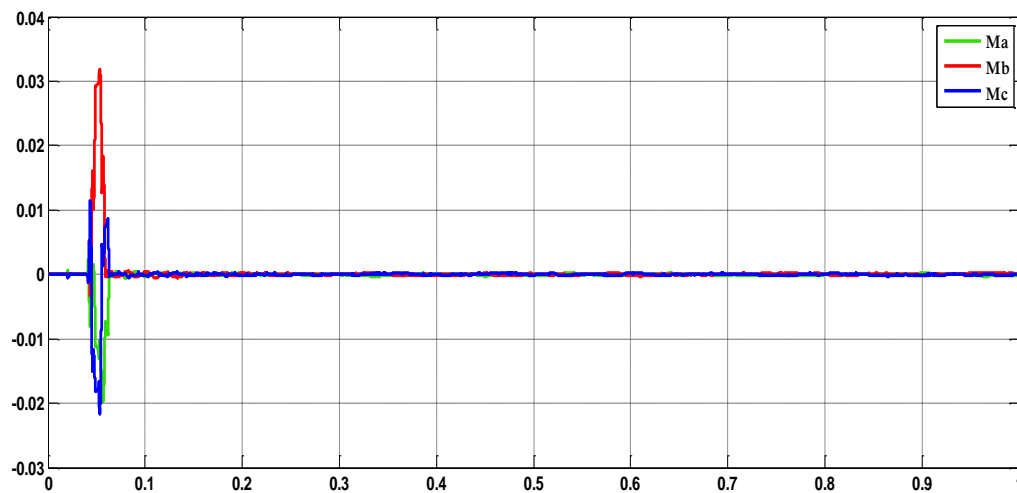


Fig. IV.20: Valeurs moyennes des courants M_k «T1-T2 circuits ouvertes »

On remarque que :

$$\begin{cases} E_a > 0.038 \\ 0.005 < E_b < 0.038 \\ E_c < -0.04 \end{cases} \quad \text{Alors} \quad \begin{cases} E_a = PL \\ E_b = PS \\ E_c = N \end{cases}$$

$$M_a = M_b = M_c = Z$$

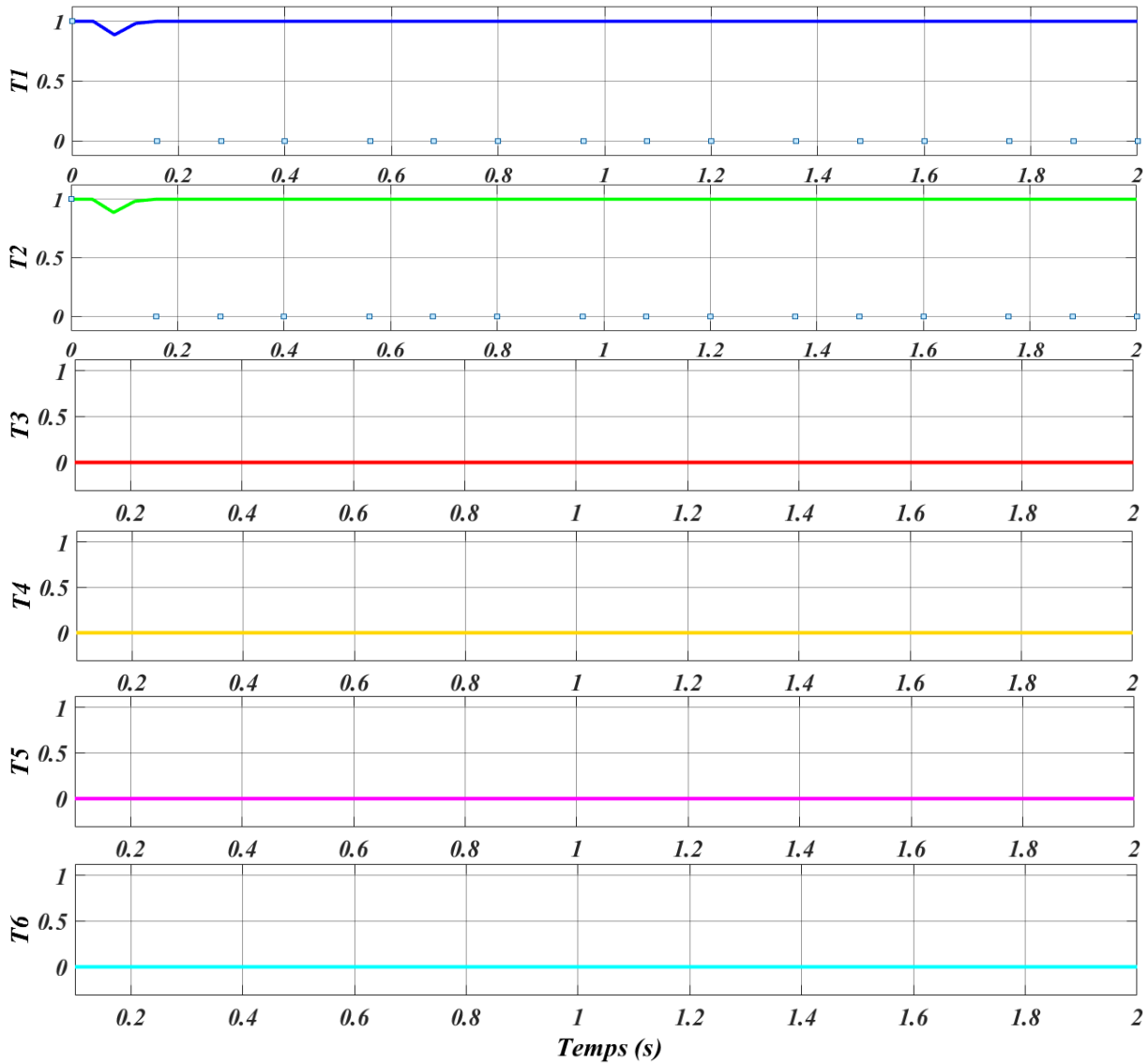


Fig. IV.21 : Sorties du système de diagnostic T_k « défaut T1-T2 »

Les résultats de sortie du système d'inférence confirme que :

$$\begin{cases} T_1 = T_2 = 0 \\ T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = 1 \end{cases}$$

Alors, le défaut est au niveau des deux interrupteurs T1 et T2

IV.7.1.4.3^{ème} cas T1-T3 circuit ouverte :

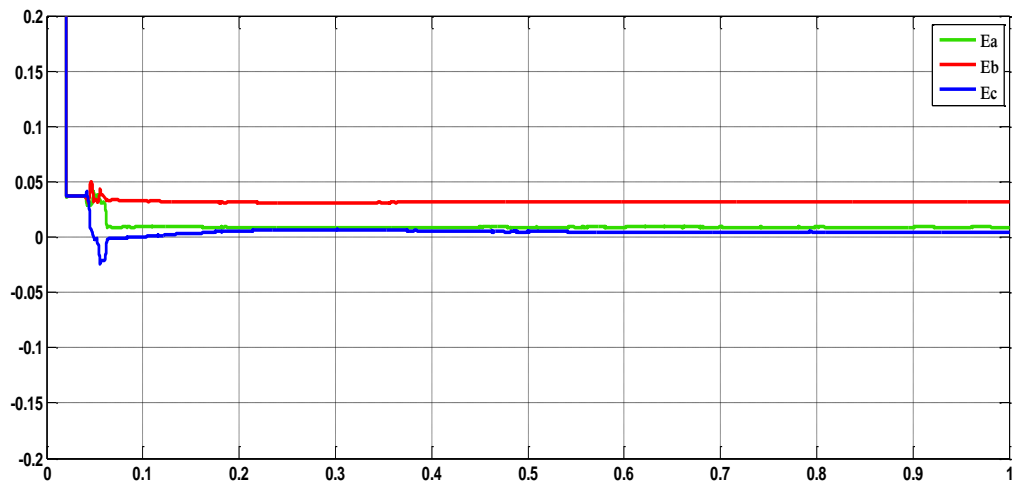


Fig. IV.22: Variables de diagnostic E_k «T1-T3 circuits ouvertes »

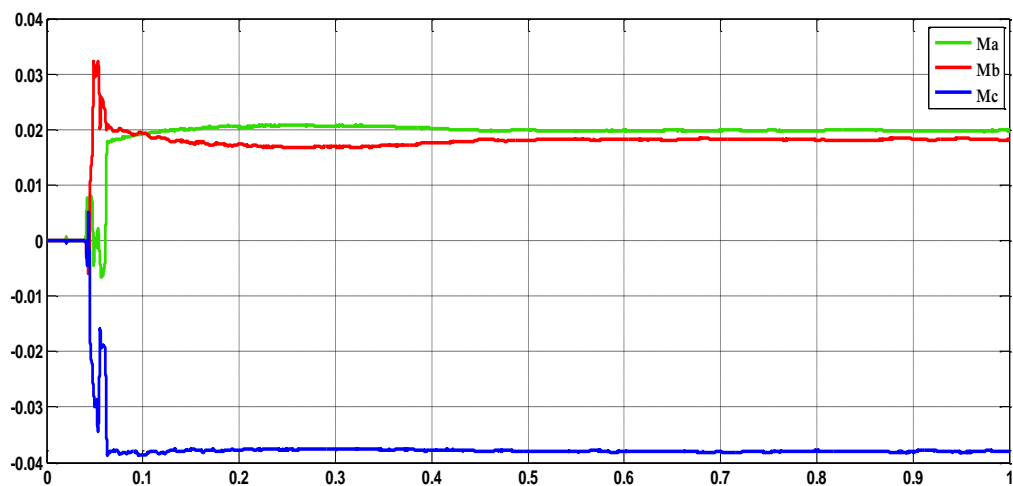


Fig. IV.23: Valeurs moyennes des courants M_k «T1-T3 circuits ouvertes »

On remarque que :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.005 < E_a < 0.038 \\ 0.005 < E_b < 0.038 \\ -0.005 < E_c < 0.005 \end{array} \right. \quad \text{Alors} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_a = \text{PS} \\ E_b = \text{PS} \\ E_c = \text{Z} \end{array} \right.$$

Et :

$$\begin{cases} 0.005 > Ma \\ 0.005 > Mb \\ Mb < -0.005 \end{cases} \quad \text{Alors} \quad \begin{cases} Ma = PS \\ Mb = PS \\ Mc = N \end{cases}$$

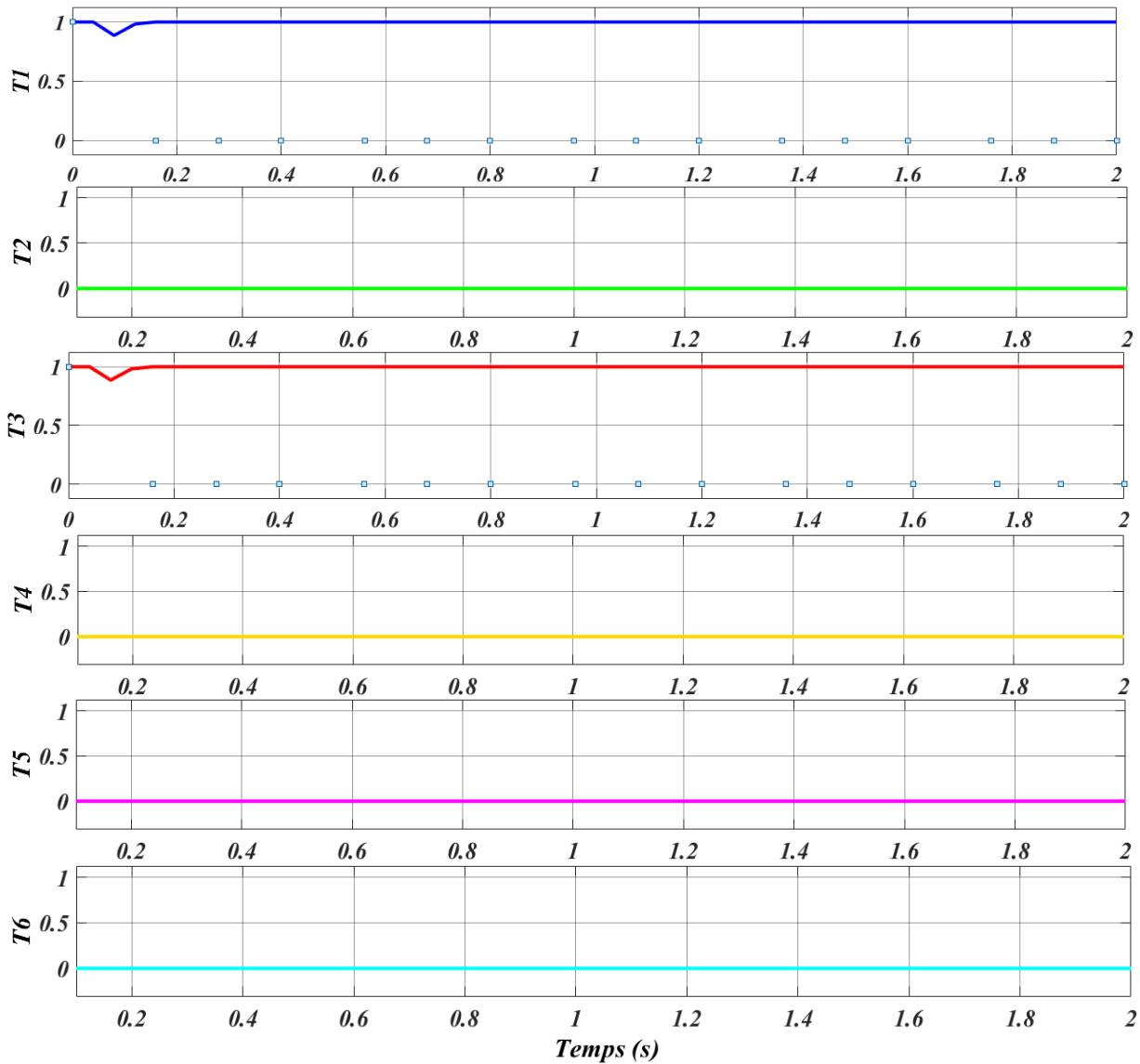


Fig. IV.24 : Sorties du système de diagnostic T_k « défaut T1-T3 »

Les résultats de sortie du système d'inférence confirme que :

$$\begin{cases} T1 = T3 = 0 \\ T2 = T4 = T5 = T6 = 1 \end{cases}$$

Alors, le défaut est au niveau des deux interrupteurs T1 et T3.

IV.7.1.5. 4^{ème} cas T1-T4 circuit ouverte.

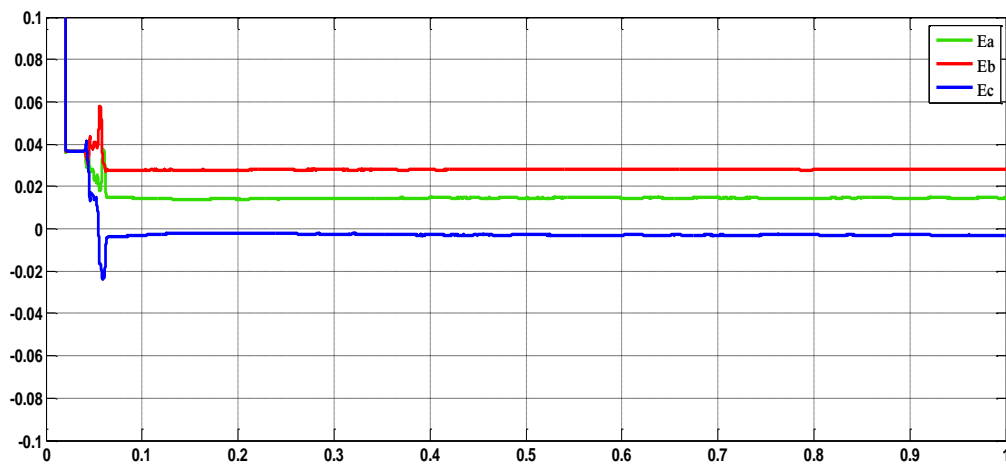


Fig. IV.25: Variables de diagnostic E_k «T1-T4 circuits ouvertes »

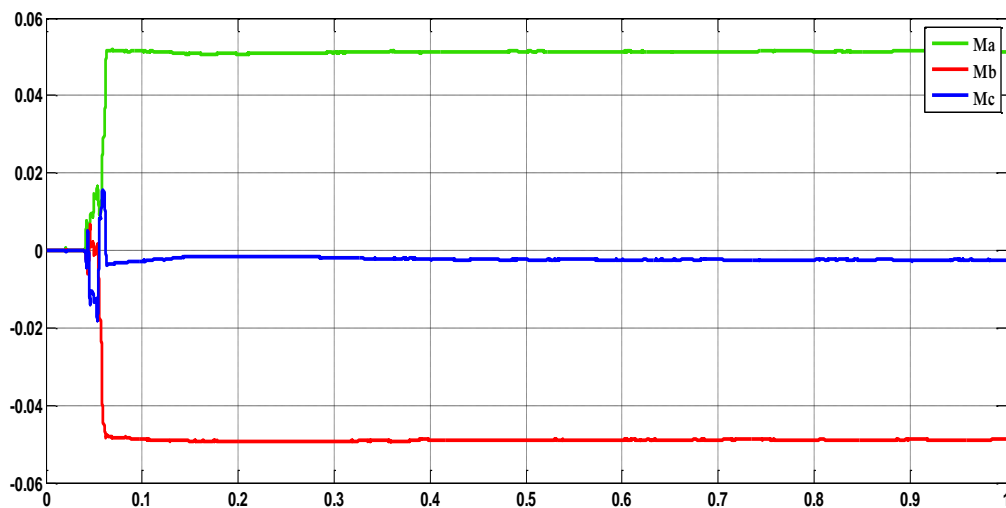


Fig. IV.26: Valeurs moyennes des courants M_k «T1-T4 circuits ouvertes »

On remarque que :

$$\begin{cases} 0.005 < E_a < 0.038 \\ 0.005 < E_b < 0.038 \\ E_c < -0.04 \end{cases} \quad \text{Alors} \quad \begin{cases} E_a = \text{PS} \\ E_b = \text{PS} \\ E_c = \text{N} \end{cases}$$

Aussi :

$$\begin{cases} 0.005 > M_a \\ M_b < -0.005 \\ M_c < -0.005 \end{cases} \quad \text{Alors} \quad \begin{cases} M_a = \text{PS} \\ M_b = \text{N} \\ M_c = \text{N} \end{cases}$$

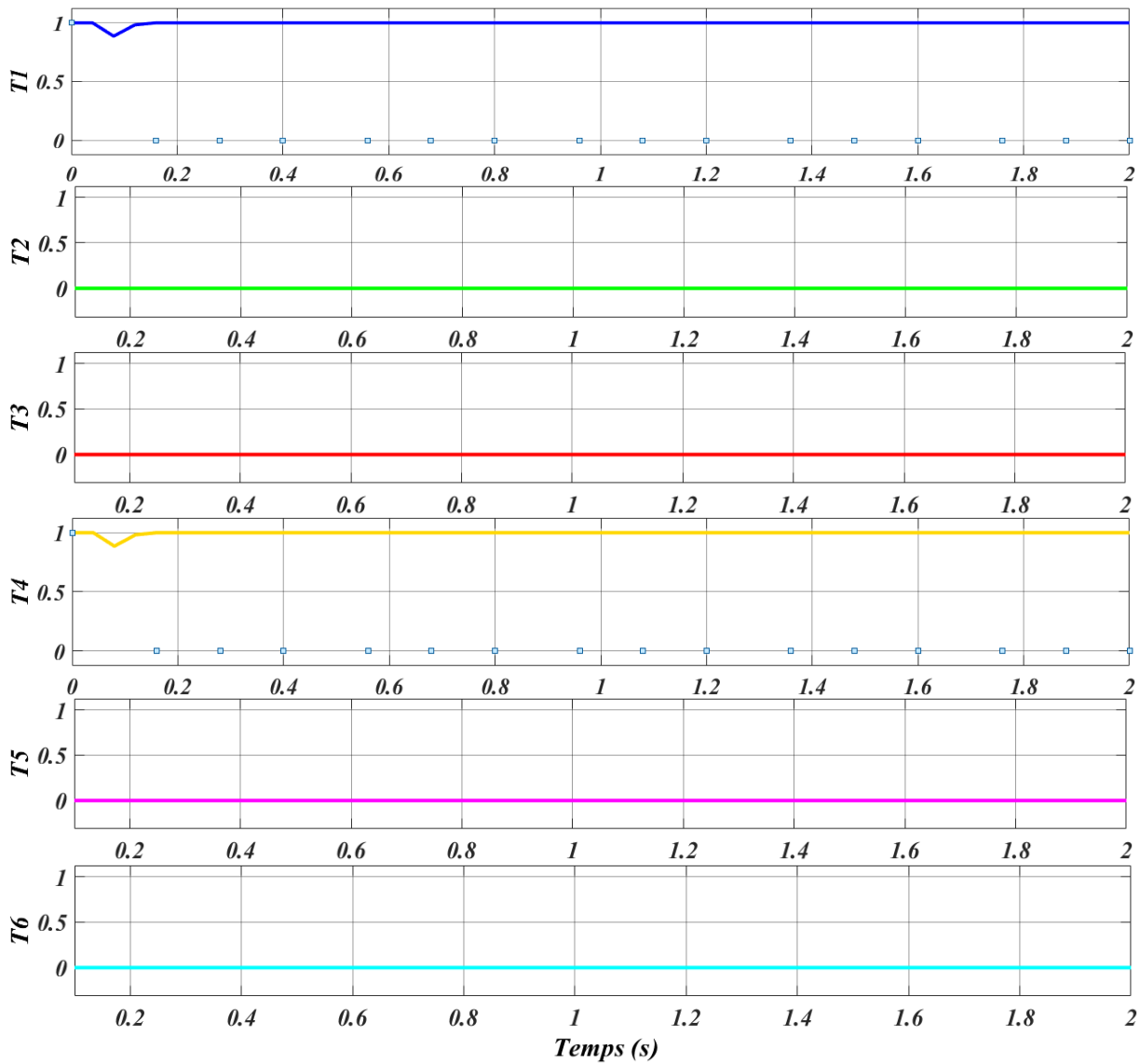


Fig. IV.27: Sorties du système de diagnostic T_k « défaut T1-T4 »

Les résultats de sortie du système d'inférence confirme que :

$$T1 = T4 = 1$$

$$T2 = T3 = T5 = T6 = 0$$

Alors, le défaut est au niveau des deux interrupteurs T1 et T4.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous étudiee en détail la méthode de diagnostic intelligent d'un défaut circuit ouvert dans un FAP basée sur la logique floue. La méthode proposée peut détecter et localiser différents types de défauts en circuit ouvert dans FAP simples défauts et défauts multiples. Pour les défauts intermittents, ils se produiront lorsque les signaux FAP ne sont pas valides en raison de les interférences électromagnétiques, le vieillissement du câblage ou la température changement soudain. La méthode proposée dans cet article peut traiter avec ce type de défauts en utilisant une nouvelle approche basée sur la logique floue.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERAL :

Le diagnostic des défauts signifie la détermination des composants défectueux au sein d'un système physique. Le diagnostic des défauts dans les systèmes physiques, a été un sujet important de recherche dès les débuts de l'automatique moderne. On distingue généralement, dans la procédure de diagnostic, deux étapes principales : la détection et la localisation, plus l'identification pour certaines méthodes.

La tâche la plus importante dans un système de diagnostic est le choix des variables, indicateurs de défaut qui doivent être fiables pour les différentes conditions du système afin d'éviter toute confusion entre un défaut et autre. Dans cette mémoire une analyse est menée dans le but d'identifier ces variables indicateurs pour le diagnostic des défauts de transistor maintenu ouvert dans un FAP à base d'onduleur de tension triphasé.

L'étude, effectuée dans ce mémoire, du FAP en mode sain et en mode défaut de transistor maintenu ouvert de différentes localisations et pour une charge non-linéaire a montré que :

- Pour le FAP à base d'onduleur à triphasé, les valeurs moyennes des courants de phases du FAP peuvent être considérées comme des indicateurs fiables de défaut. Comme perspectives à ce travail, nous préconisons d'approfondir les points suivants :
- Etendre et adapter l'approche de diagnostic proposée au FAP autonome (FAP autoalimenté avec régulation de la tension du bus continu).
- Proposition de méthodes intelligentes, telle que la logique floue, pour la définition des seuils variables des différentes grandeurs caractéristiques, séparant le mode défectueux et le mode sain de fonctionnement du FAP, notamment pour les régimes transitoires lors des variations de charges.

Egalement, dans ce travail on a consisté sur deux méthodes de diagnostic, la première application est un diagnostic par la technique classique qui étudie un exemple sur le teste de la valeur moyenne (différences entre le courants de cas sain et en cas de défaut) ont permis d'identifier le défaut du circuit ouvert, parmi les résultats qui ont été observés lors de cette technique est limitée et inefficace, pour cela la deuxième technique a été utilisée est un diagnostic intelligent basé sur la technique de la logique

CONCLUSION GENERALE

floue qui a une grande efficacité et précision avec facilité d'implantation et résultats de simulation numérique obtenues confirme l'intérêt de notre approche considérée.

WU 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

BIBLIOGRAPHIE

WU 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[ACH12] ACHBI Mohammed Said «Commande et Identification des Systèmes Dynamiques Commande tolérante aux défauts en utilisant les Réseaux de Neurones Artificiels et les Systèmes d'Inférence Floue», Magister en Automatique, Université Mohamed Khider-Biskra, le : 26/01/2012.

[ADJ09] Adjimi Nadia, Belaidi Wahiba «Modélisation et commande d'un onduleur MLI», Diplôme de Master, Systèmes Electriques &Automatique (SEA), Electricité (GE), UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL-BOUAGHI, 2009.

[AMR16] Amroune Mourad, « Commande et diagnostic d'un filtre actif parallèle », Diplôme de Master, Commande des Systèmes Electriques, Génie Electrique, UNIVERSITE DE M'SILA, 2016.

[AOU17] Aouane Nasserredine, CHamkha Salim «Détection, localisation et reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande de la machine asynchrone à cage», Diplôme de Master, Génie Electrique, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2017.

[BEN11] M. Benkaci «Surveillance des systèmes mécatronique d'automobile par des méthodes d'apprentissage », Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2011.

[BEN17] Benkaddour Mouhammed Walid «Diagnostic de défauts et reconfiguration d'onduleur pour la commande directe du couple d'une machine asynchrone par la logique floue » diplôme de Master Electronique, Ouargla, 25 /Mai/2017.

[BER06] Berrezek Farid, «Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone», Diplôme de MAGISTER, Commande Des Machines Electriques, Electrotechnique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -ANNABA, 2006.

[BER07] D. Berdjag, «Méthodes algébriques pour la décomposition de modèles comportementaux: Application à la détection et à la localisation de défaillances », Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2007.

[BOR98] P. Borne, J. Rozinoer, J.Y. Dieullot, & L. Dubois «Introduction à la commande floue», Collection Sciences & Technologies, Ed. TECHNIP, Paris 1998.

BIBLIOGRAPHIE

- [BOU10]** BOURAIOU Ahmed « Diagnostic de défauts par la logique floue » diplôme de Magister, Université d'Annaba 2010.
- [CHA06]** K. Chafaa « Structure d'identification et de commande des systèmes non linéaire basées sur les techniques floues » Thèse de doctorat, université de Batna, 2006.
- [CHE13]** CHennai Salim «Etude, Modélisation & Commande des Filtres Actifs : Apport des Techniques de l'Intelligence Artificielle », Diplôme de Doctorat, Electrotechnique, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA, 2013.
- [COC 03]** Cocquempot.V, Chang .X, Christophe .C « Modélisation de la machine. Asynchrone en présence de pannes stator », Université Lille 1, France 2003.
- [DEM19]** Dembri Hadjira «Performance de méthode de diagnostic des défauts de circuit ouvert d'un filtre actif parallèle», diplôme de Master Académique, Réseaux Electrique, Electrotechnique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2019.
- [DID 04]** Didier 2004 décrypte « Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances», l'Université Henri Nancy-October 2004.
- [FEL07]** Fellouah R., <<Contribution au Diagnostic de Pannes pour les Systèmes Différentielle ment Plats», doctorat, Université de Toulouse, 2007.
- [FRA11]** Franck Dernoncourt «Introduction à La Logique Floue· » August 2011.
- [HEB16]** Hebaibia Samira, Dakhli Loubna, « Modélisation et Simulation d'un Filtre Actif Parallèle à sept Niveaux à Commande MLI», Diplôme De Master, Electrotechnique, UNIVERSITE LARBI TEBESSI – TEBESSA, 2016.
- [HAN12]** HANDIS Moufida, «Modélisation des défaillances et leur diagnostic par les méthodes de reconnaissance des formes floue », Magister de Electrotechnique, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2012/2013.
- [HAO18]** Hao Yan, Feiyang Cai, Yongxiang Xu, he Zhang, «PWM-VSI Fault Diagnosis for PMSM Drive Based on Fuzzy Logic Approach » 01 Avril 2018.
- [IKN11]** IKNI Samir, «Diagnostic de Pannes et Commande Tolérante Aux Fautes D'un Robot Manipulateur Télé-Opéré» Magistère en Electronique, Université de Batna, 2011.
- [KHE15]** Khenfer Riad, « Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques », thèse de Docteur en Sciences Université Ferhat Abbes - Setif-1.le : 05 Mars 2015.

BIBLIOGRAPHIE

[LAI08] Laid Zellouma, Salah Saad, Nasreddine Debbache et Amar Omeiri «Etude de l'auto-adaptative du filtre actif parallèle aux variations de la charge », Revue Synthèse N° 17, Département d'Electrotechnique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR, BP 12, ANNABA 23000, Algérie, 2008.

[LOO01] Lootsma,T, « FObserver-based Fault Detection and Isolation for Nonlinear Systems », Doctorat en Control Engineering, Université Aalborg Denmark, 2001.

[MET12] SalowaMethnani, «Diagnostic, reconstruction et identification des défauts capteurs et actionneurs : application aux stations d'épurations des eaux usées» Docteur en Génie électrique, Université du Sud Toulon Var, le : 17 Décembre 2012.

[OLI06] Olivier Ondel «Diagnostic par reconnaissance des formes : application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone », Diplôme de Doctorat, Génie Électrique, L'ÉCOLE CENTRALE DE LYON, 2006.

[REB17] Rebah Maamouri «Diagnostic et Commande Tolérante aux Défauts Appliqués à un Système de Conversion Électromécanique à Base d'une Machine Asynchrone Triphasée», Diplôme de Doctorat, Génie Électrique, Université de Sousse, 2017.

[RET97] Nicolas RETIERE, «Etude des défauts dans les associations onduleur – machine asynchrone. Exemple d'une chaine de traction» , Doctorat de Génie électrique, l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE, le: 18 Novembre 1997

[SAK17] Saadi Sakhara, «Diagnostic des défauts d'un entraînement électronique par technique onduleur » Docteur en Electromécanique Université Badji Mokhtar- Annaba, le : 19 /01/ 2017.

[YAH14] Yahiaoui Ahmed Lamine, «Détection de défaut des convertisseurs de puissance (Application au filtre actif parallèle)», Diplôme de Master, Ingénierie Des Systèmes Electromécanique, Génie Electrique, UNIVERSITE DE M'SILA.2014.

[YET18] YETTOU Miloud DEBLA nacre Eddine« Commande d'un Filtre Actif Parallèle À trois niveaux (NPC) Par différentes stratégies de commande » diplôme de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, le 2017 /2018

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



FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Rapport de Stage Pour l'obtention du diplôme de Master



Préparé par :

BAKHTI KARIMA

HADDAD Meriem

Encadrer par :

Mostefa Tabbakh

Sommaire

***Introduction**

***Chapitre 1 : La Sécurité**

1-1 Hygiène Sécurité Environnement (HSE)

1-2 La Centrale Anti-incendie

***Chapitre 2 : Exploitation**

2-1 Salle de contrôle

***Chapitre 3 : La Maintenance**

3-1 L'Electricité

3-2 Mécanique

3-3 L'Instrumentation

***Conclusion**

Introduction

SONATRACH est la plus importante compagnie d'hydrocarbure en Algérie et en Afrique , elle intervient dans l'exploitation , la production, le transport par canalisation , la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et leurs dérivés. Adoptant une stratégie de diversification, SONATRACH se développe dans les activités de génération électrique, d'énergie nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer , de recherche et de d'exploitation minière , pour suivant sa stratégie d'internationalisation , SONATRACH opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde :

En Afrique (MALI, NIGER, LIBYE, EGYPTE)

En Europe (Espagne, Italie, Portugal, GRANDE BRETAGNE)

En Amérique latine(PERO)

Et aux USA

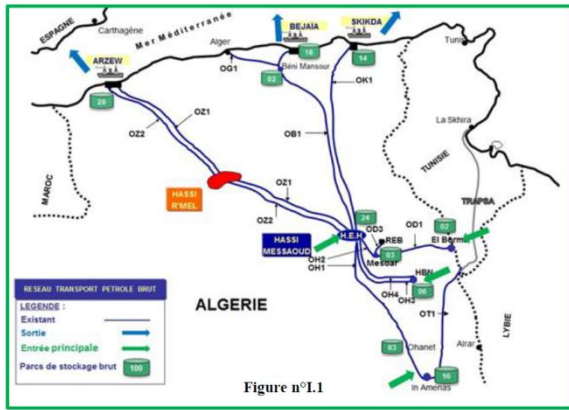
Dans notre étude on a envisagé la station de pompage numéro 3(SP3_M'sila) qui appartient à l'oléoduc OB1, reliant le départ de Haoud El Hamra au terminal Bejaia , ce fut le premier pipe-line utilisé en Algérie par la société étrangère française SOPEG, qui a été fondée le 12 Mars 1957.

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE ET LA STATION SP3 M'SILA :

- **DESCRIPTION DU RESEAU DE TRANSPORT PAR
CANALISATION DES HYDROCARBURES**

Le Réseau de Transport des Hydrocarbures Liquides et Gazeux est constitué d'un ensemble de canalisations, de stations de pompage, de stations de compression et de parcs de stockage, assurant le transport des effluents issus des champs de production, d'un centre de stockage ou d'un dispatching, vers les pôles industriels de traitement et de liquéfaction, de transformation, d'exportation et d'alimentation du marché national.

Le développement du Réseau de Transport depuis la construction de la première canalisation en 1959, a été engendré par les besoins en matière de transport en constante croissance, nécessitant ainsi le développement continu de nouvelles Capacités de transport.



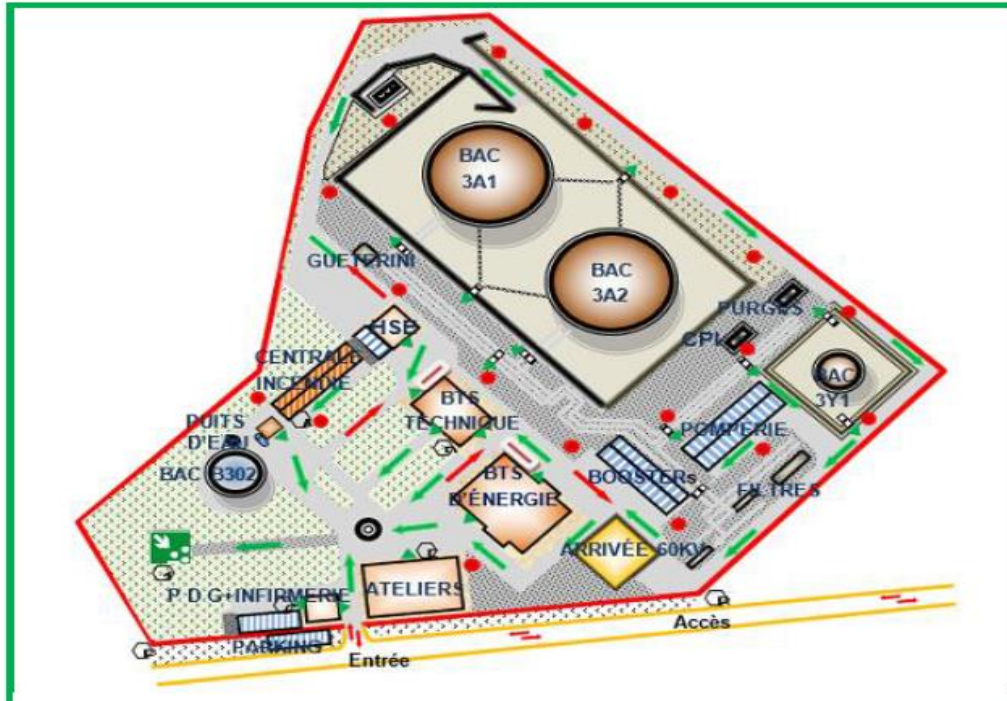
- **Capacité du transport de pétrole assuré par la RTC :**

DÉNOMINATION	OUVRAGES	DIAMÈTRE (POUCE)	DÉPART	ARRIVÉE	LONGUEUR (KM)	Capacité		
						Réelle	Réservée	Disponible
Millions de TM/an (MTA)								
STC OBI/OG1	OB1	24"/22"	Haoud El Hamra	Béjaia	668	11,40	8,870	2,530
	OG1	20"	Beni Mansour	Alger	145	4,000	2,562	1,438

- **Organisation administrative :**



- **Description technique de la Station SP3 :**



• **La station de SP3 se Composée de :**

- Deux (02) gares racleurs (GRA et GRD)
- Trois (03) filtres à hydrocarbure en parallèle.
- Deux (02) réservoirs tampons 3A1 et 3A2 d'une capacité de 20000 m³ chacun
- Trois (03) pompes boosters.
- Cinq (05) Groupes électropompes principales.
- Un bac de décantation et de décharge 3Y1 d'une capacité de 2900 m³.
- Une citerne de purge gravitaire des réseaux (B-301).
- Un Bacs à eaux anti-incendie (B302) d'une capacité de 2970 m³
- Un système de Traitement des Eaux Huileuses (W-305) CPI
- Une installation de sécurité anti-incendie
- Un réseau d'alimentation en énergie électrique.

Chapitre 1 : La Sécurité

1-1 Hygiène Sécurité Environnement (HSE)

- **La Sécurité :**

La sécurité est un ensemble des règles de conduite, de moyens et d'hygiène, quand ils sont bien mis en œuvre, ils concourent à protéger l'être humain et les installations contre les effets néfastes des accidents et des incidents, généralement c'est un état d'esprit dont la finalité est de créer certaines conditions de travail en éliminant les accidents et les avaries

Dans la station et ses installations, le grand danger est bien les incendies. Elles peuvent revêt en un temps court un caractère de gravité exceptionnelle, tant en ce que les personnes que les biens.

- **Triangle de feu :**

Le processus de combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant, cette réaction nécessite une source d'énergie. La présence simultanée des trois éléments forme ce qu'on appelle le triangle de feu, il symbolise la Combustion, l'absence d'un des trois éléments empêche le déclenchement combustion.

1-2 La Centrale Anti-incendie :

Pour les interventions et protections de toutes les installations de la station contre les incendies, il existe trois sortes de système de lutte :

a- Réseau d'eau anti-incendie : c'est un circuit qui cerce toute les installations et équipé de Nourrisses. Ce dernier est alimenté à partir d'un bac d'eau à toit fixe d'une capacité de 3000m³ qui doit être toujours maintenu plein d'où aspire différentes pompes, on trouve :

- **les pompes Jockey :** qui ont pour rôle le maintien de pression du réseau d'eau à 12bars et sont au nombre de deux dont une pompe démarre et s'arrête en automatique selon la pression du réseau et l'autre en réserve. La capacité fournie par chacune d'elles est de 25m³/h.

- **Pompes électrique :** ce sont des pompes centrifuge entraînées par des moteurs électrique, la Capacité de chacune est de 150m³/h. ces deux pompes sont placées en parallèle ce qui permet d'avoir un débit d'environ 300m³/h pour les besoins très important en eau.

- Pompe diesel : en cas de défaillance de l'énergie électrique et lors d'un besoin important en Eau celle-ci est mis en service. C'est une pompe d'une capacité de 300m³/h entraînée par un moteur diesel.

b- Réseau de mousse : à côté des pompes anti-incendie se trouve une citerne d'émulseur. La mousse se fait à partir d'un pré mélange eau/émulseur par une pompe volumétrique FIRE-DOS celle-ci est mise en service par la pression refoulement d'eau des pompes anti-incendie.

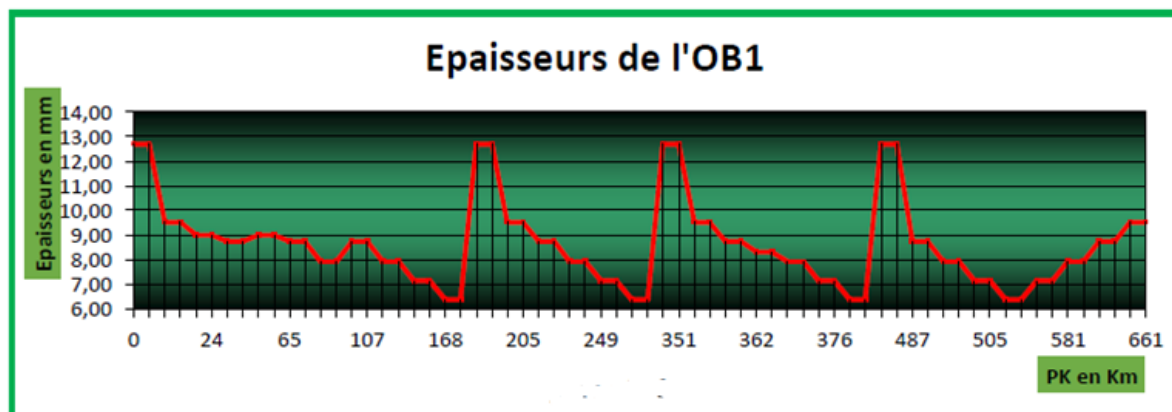
c- Circuit CO₂ : installé à l'intérieur des salles châssis et équipé de détecteurs infrarouge et de fumée qui sont fixés sur le toit et au-dessous des armoires électrique des disjoncteurs et des diffuseurs de CO₂. Ce circuit est relié à un ensemble de bouteilles de CO₂ se trouvant dans un conteneur à l'extérieur de l'enceinte, équipées d'un déclencheur automatique qui réagit en percutant ces bouteilles lors de détection d'incendie ou de fumée jusqu'à concentration de la salle en CO₂.

Chapitre 2 : Exploitation

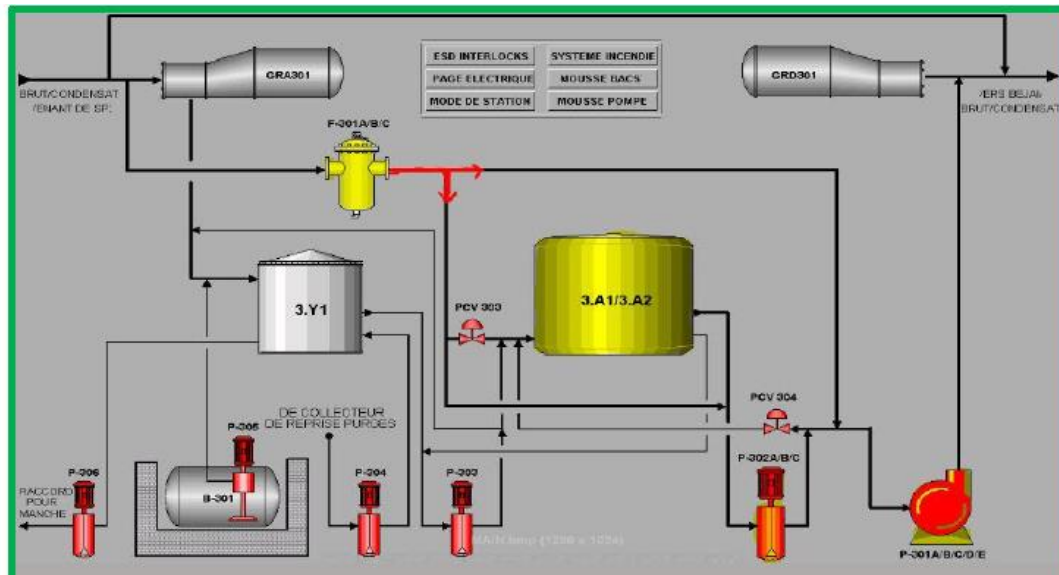
2-1 Salle de contrôle :



L'épaisseur du tube varie entre 6,32 mm et 9,5 mm suivant les conditions des pressions sur la Ligne, à la sortie des station l'épaisseur égale à 12,7 mm, la nuance d'acier des tubes est le X52 - X42.



- Rôle des différents composants dans le procès :



DEBIT EN FONCTION DE LA PRESSION

Débit (m ³ /h)	Pression Sortie Station (bar)	Nbre de Pompes en Service
800	48	1
1400	53	2
1800	59	3
2200	71	4

A l'arrivée du pétrole brut à la station juste à la sortie des filtres, celui-ci peut :

Soit by passer les réservoirs tampons et les pompes boosters donc aspirer directement par Les pompes principales ceci dans le cas où la pression entrée station est supérieure à 3.5bars.

Soit by passer les réservoirs tampons et aller directement à l'aspiration des pompes boosters

Puis refouler vers l'aspiration des pompes principales.

Soit pénétrer dans les réservoirs tampons.

A) GARES RACLEURS :



a)- Gare Racleur Arrivée (GRA) : A l'arrivée de l'oléoduc 24" à la station SP3, celui-ci se termine à son prolongement par la gare racleur arrivée qui sert à la réception d'un racleur lors de l'envoi de ce dernier à partir de la station SP2. En fonctionnement normal, la gare racleur arrivée est isolée en fermant sa vanne d'entrée MOV301 et MOV302 qui envoient les hydrocarbures vers le bac de décantation pendant la réception. En plus des vannes d'isolement, celle-ci est équipée de deux pig signaler qui permettent de confirmer l'entrée du racleur dans la gare et d'une soupape de sécurité tarée à 9.8bars.

b)- Gare Racleur Départ (GRD) : Au refoulement des pompes principales, en série avec l'oléoduc d'expédition 24" se trouve la GRD qui sert à envoyer un racleur vers le terminal Bejaia. En fonctionnement normal, les pompes principales refoulent directement vers le pipe d'expédition sans passer par la gare racleur. Celle-ci est isolée par sa vanne de sortie MOV327 et sa vanne de mise sous pression MOV326 (fermées).

B) FILTRES A HYDROCARBURE :



A l'entrée de la station, le pétrole brut ou le condensât passe à travers des filtres à hydrocarbure qui sont au nombre de trois (03) placés en parallèles dont deux (02) en fonctionnement et un (01) en réserve servant à retenir les particules solides supérieures à

500microns. Chaque filtre a une capacité de passage de 1100m³/h et est supposé bouché si la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre est supérieure à 0.4bars. Dans ce cas, on l'isole et on le remplace par celui qui est en réserve pour nettoyer ou changer carrément les filtres colmatés.

C) RESERVOIRS TAMPONS :



Ce sont des bacs à toits flottants d'une capacité de 20000m³ chacun servant de stockage et à Maintenir un débit constant pour ne pas perturber la bonne marche de la station. Ces deux réservoirs sont communicants donc si la pression entrée station est supérieure à 3.5bars, l'excès est acheminé vers les bacs tampons par l'ouverture de la vanne PCV301. Dans le sens contraire s'il y'a une chute de débit, les pompes boosters soutirent des bacs pour compenser ceci dans le cas où la station est en pétrole brut. Les réservoirs tampons 3A1 et 3A2 reçoivent aussi du pétrole brut du bac de décantation 3Y1 par la pompe de transfert MP303 et de Guetirini avec camion-citerne par la pompe de transfert MP307.

D) POMPES BOOSTERS :



Ce sont des pompes verticales placées en parallèles dont généralement deux en fonctionnement et une en réserve, leurs débits maximum est de 1100m³/h chacune. Le rôle des boosters consiste à relever la pression à l'aspiration des pompes principales à plus de 3.5bars soit par la conduite 24'' directement, soit par les réservoirs tampons. Dans un cas très rare, les pompes boosters peuvent être à l'arrêt si la pression à l'aspiration des pompes d'expédition est supérieure à 3.5bars.

E) POMPES PRINCIPALES D'EXPEDITION :



Ce sont des pompes horizontales placées en parallèles au nombre de cinq (05) dont au maximum quatre (04) en service et une en réserve. Ces pompes sont de type centrifuge à 05 étages (05 roues) chacune entraînées par des moteurs électriques à vitesse variable et conçues pour un service intensif.

Ce dernier consiste à vaincre la pression de l'écoulement du pétrole brut ou du condensât jusqu'à un colde Selatna puis à partir de ce point par gravité jusqu'au terminal arrivé de Bejaia. La pression de refoulement de ces pompes principales d'expédition est contrôlée et limitée par un contrôleur indicateur de pression PIC315 qui agit directement sur la vitesse de celles-ci.

La station SP3 est protégée contre les surpressions depuis l'entrée du 24" jusqu'à la sortie (Expédition) par des soupapes de sûreté qui s'ouvrent pour envoyer l'excès de pression vers le bac de décantation 3Y1. Ces dernières sont tarées à la pression suivante :

- Protection entrée station (oléoduc 24'') : 4 soupapes tarées à 12.5bars
- Protection filtres : une soupape sur chacun tarée à 14.7bars.

- Protection GRA : une soupape tarée à 9.8bars.
- Protection aspiration pompes principales : une soupape tarée à 14.7bars.
- Protection GRD : une soupape tarée à 98bars.



- Protection sortie station : 02 soupapes tarées à 74.5bars.

F) RESERVOIR DE DECANTATION :

Le réservoir de décantation 3Y1 est un bac à toit fixe et de volume 2900m³. Son utilité consiste surtout à la récupération des décharges des soupapes de sécurité, la réception des débris lors de l'envoi d'un racleur par la station SP2 et le transfert du pétrole de la citerne de purge vers celui-ci. Les hydrocarbures de ce réservoir de décantation peuvent être envoyé vers les réservoirs tampons par la pompe de transfert MP303 ou charger sur camions citerne par la pompe de vidange MP 306.



F) CITERNE DE PURGE GRAVITAIRE (B.301) :



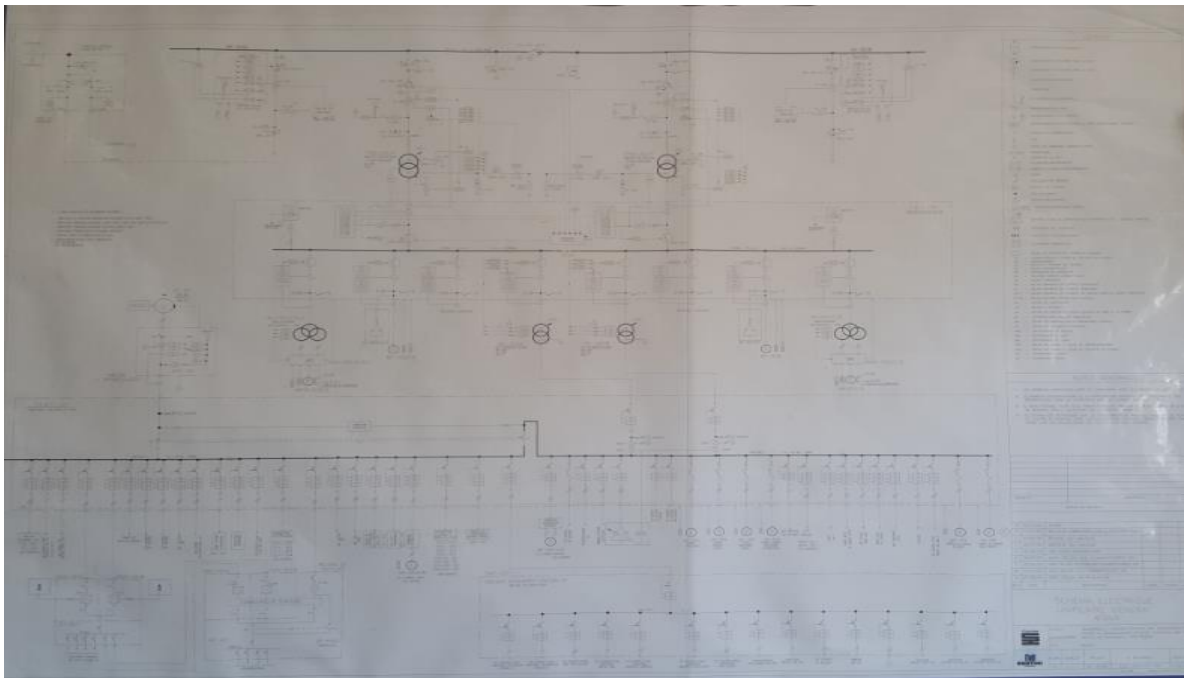
C'est une citerne placée au-dessous du niveau du sol pour permettre de purger par gravité tous les circuits susceptibles d'être vidangé pour entamer des travaux par exemple. Tous les réseaux de purge sont collectés à cette citerne de volume 10m³ puis lors d'un haut niveau, une pompe émergée (MP305) démarre en automatique pour transférer les hydrocarbures dans le bac de décantation.

Chapitre 3 : La Maintenance

Le service maintenance assure la maintenance systématique conditionnelle et curative des équipements. la section assure toutes les opérations de maintenance dans le domaine électrique, mécanique, instrumentation. Elle comporte trois sections :

3-1 L'Electricité :

Le rôle de cette section est la maintenance préventive et curative des équipements électrique moteurs électriques – éclairage – transformateurs – disjoncteurs – relais de protection



La station SP3 est alimentée en énergie électrique à partir de la ligne Sonal gaz de 60kv. A Partir de cette dernière, sont branchées deux autres lignes en parallèles qui alimentent les Transformateurs 5.5kv pour le fonctionnement des moteurs des pompes boosters et les pompes d'expédition, puis du 5.5kv vers la basse tension 400/230v pour le fonctionnement des pompes : de transferts, de vidange citerne, anti-incendie et de l'éclairage.

□□ En cas de coupure de courant de Sonal gaz, un groupe électrogène diesel de secours Démarre en automatique pour assurer le fonctionnement des auxiliaires de basse Tension telles que l'éclairage, les pompes anti-incendie.



Le câble de 60 KV devider en deux parties et alimenter trois salles de tension, HT, MT, BT en série.

1/LA SALLE HT: Cette salle est alimentée par de lignes de 60 KV A et B, l'une en service et l'autre en réserve La salle HT contient une barre devisée sur deux parties liée entre eux par un disjoncteur (FouO), et chaque partie alimentée par une ligne avec un disjoncteur (F ou O) et liée par (HTet MT).

2/LA SALLE MT : La salle MT est aussi contient une barre devisée en deux parties et chaque partie est alimentée par une ligne de 5,5 KV A ou B. La partie qui alimentée par la ligne A contient 7 disjoncteurs:

- Trios pour les MP-301 A/B/E,(Transformateur 5,5-2x1,3 KV), (WF 2x1,3-2,7 KV) (HAITE VOLTAGE HT 2,7-3,7), GEP .

- Deux pour MP-302 A/B

- Une réserve

- Un alimenter la salle BT

La partie qui alimenter par la ligne B contient 5 disjoncteurs.

- Deux pour MP-301c/D

- Un pour MP-302 C

- Une réserve

- Un alimenter la salle BT

3/La salle BT: La salle BT aussi contient une barre de bus en deux parties mais l'alimentation de ses deux parties ne sont pas la même avec les salles HT et MT, dans la salle BT il y a une partie sécurisée alimentée par un étoupe Secure et l'autre partie alimentée par les deux lignes A et B de la salle MT (230/400 v).

Quand l'alimentation de SONALGAZE est coupée, on peut alimenter la partie sécurisée par le groupe secouru, mais elle est nécessaire l'isolation de la partie qui est alimentée par les deux lignes A et B (non sécurisée) avant le démarrage de la groupe secouru. La partie sécurisée alimentée par exemple:

- Les pompes jockey.
- La pompe de forage
- Tableau éclairage
- Bateman sécurité
- Les redresseurs électriques

L'autre partie alimentée par exemple :

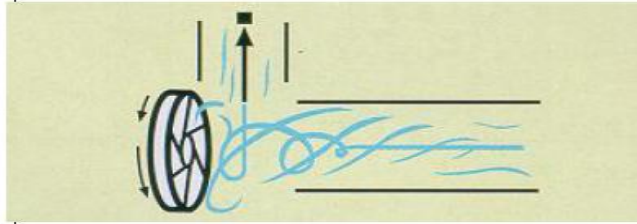
- MP-303/304/305/306/307.

3-2 Mécanique :

La mécanique est chargé d'animer de coordonner et de contrôler la préparation de la maintenance mécanique mener des modifications et rénovation a la partie mécanique des équipements superviser les travaux d'interventions préparer le matériel pour travaux préparation des inspections gérer pour chaque pièce mécanique dossier matériel et historique des interventions.

Qu'est-ce qu'une Pompe ?

Une pompe est une machine tournante, qui transmet de l'énergie à un fluide en vue de son déplacement.



- Les types des pompes :

Les pompes volumétriques

Le pompage du liquide est réalisé par variation ou déplacement de volume

Ce type de pompe convient particulièrement aux petits débits, grandes hauteurs / pressions, liquides visqueux

Les pompes centrifuges

C'est la rotation d'une turbine à grande vitesse qui centrifuge le liquide.

Le corps de la pompe canalise le fluide: côté aspiration vers le centre de la roue, autour de la turbine vers la bride de refoulement

- Garniture mécanique :



Garniture mécanique de type TSBOPFFST-0700-F001 et de marque JOHN CRANE. La garniture mécanique de la pompe booster et la garniture de la pompe principale ont les mêmes

Constitutions et le même principe de fonctionnement avec quelques différences sont :

- L'arrosage à partir de tubulure de l'aspiration vers le boîtier de garniture avec un débit de 3.5 l/min.

- Sans rondelle anti-extrusion.

- Garniture à ressort axiale.

- **Vannes :**

❖ **Vanne motorisée :** au niveau de la station nous avons 13 vannes motorisées pouvant être commandés localement ou à distance pour l'ouverture et la fermeture des vannes. C'est une vanne à boisseau sphérique de type TRunion et de marque Rserresse avec un actionneur électrique est un moteur électrique de marque Limitorque Actuation System à vitesse de 1425tr/min, en plus du réducteur de type MR50 et équipé d'un carter scellé.



vanne motorisée

❖ **Vanne PCV (vanne de régulation de pression) :** nous avons trois vannes PCV sont PCV 301, PCV 302, PCV320, c'est une vanne papillon commandée par actionneur électrique ou commandée manuellement.



vanne PCV

❖ **Vanne manuelle :** Vanne à opercule de marque WCB avec volant et deux brides. Chaque vanne elle a un diamètre et une classe différente selon la pression et diamètre de pipe (ex. diamètre 24 pouce, classe 900), possèdent un bec de graisseur ou deux pour le graissage.



vanne manuelle

3-3 L'Instrumentation :

L'instrumentation joue un rôle important dans le bon fonctionnement des équipements de la station, car sans ce dernier l'exploitation est quasiment impossible, des capteurs sont placés dans des endroits bien déterminés grâce à ces derniers ils transforment la grandeur physique ou numérique donnant la mesure en un affichage numérique ou à aiguille.

Cette transformation nécessite généralement un apport d'énergie extérieure au système en règle générale l'élément sensible du capteur est lié à un transducteur ou transducteur permettant la transformation du déplacement ou de la déformation de cet élément sensible en un signal ou une indication de mesure

Conclusion :

Durant tout la période de mon stage pratique a_(SP3_M'sila) j'ai eu l'opportunité d'acquérir certain connaissance pratique enrichissant notamment dans les domaines de l'automatique, qui s'avère important dans le milieu industriel

Il est remarquable et c'est toutes en son honneur que (SP3_M'sila) mobilise tous ces moyens matériels et humaines pour mener à bien le fonctionnement des installations et facilité la gestion de la maintenance de ces usines par un usage approprié des méthodes et des modes d'emploi en utilisant l'outil informatique, qui est devenu une réalité incontournable et s'impose de façon puissant spécialement avec l'automatisation de toutes les procédures de travail et de gestion ; ceci en vu d'une meilleur productivité.

Donc pour conclure et dans la ligne de cette étude, je souhaite que mon modeste contribution Sera utile pour la structure et qu'elle servira de guide pratique pour les utilisateurs.