

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة باجي مختار - عنابة



BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

Année : 2017

Faculté: Sciences de l'Ingénierat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé :

Détection et Diagnostic de Défauts D'un Onduleur

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité: Surveillance et contrôle des systèmes industriels

Par :

NEMIRI Asma

DEVANT Le JURY

Président :	S. BENMOUSSA	Dr	Université Badji Mokhtar Annaba
Directrice de mémoire:	K. BEDOUD	Dr	Unité de Recherche URMA/CRTI
Examineur :	M. F. HARKAT	Pr	Université Badji Mokhtar Annaba

Dédicaces

*À la mémoire de mon défunt
père que Dieu ait son âme.*

*À ma mère, la tendresse,
la sincérité et la pureté.*

À toute ma famille.

*À tous ceux qui
m'ont aidée et*

Encouragée

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir guidé dans la réalisation de ce modeste travail

Mes sincères remerciements vont à mon encadreur Madame Dr. Beddoud Khouloud pour avoir accepté de suivre mon travail au cours de l'élaboration de ce mémoire de fin d'études Master2 et pour sa patience sa gentillesse tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à remercier très vivement Monsieur Bahi Tahar, professeur à l'Université de Badji Mokhtar Annaba qui a cru en mes capacités, pour sa bienveillance, ses encouragements et ses conseils

Mes remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail.

Ainsi qu'à tous les enseignants du département d'électronique de l'université Badji Mokhtar Annaba.

Merci à toutes les personnes que je n'ai pas cité et qui ont de près ou de loin participé à la réalisation de ce travail.

Sommaire

SOMMAIRE

Remercîments

Dédicaces

Résumé

Introduction générale

Chapitre 1 : Méthodes de diagnostique

1.1. Introduction	02
1.2. Présentation des méthodes de diagnostic.....	03
1.3. Méthodes de diagnostic à base de modèles qualitatifs , quantitatifs	04
1.3.1. Méthodes de diagnostic à base de modèle et sans modèle	04
1.4. Classifications des méthodes de diagnostic	05
1.4.1. Méthodes internes.....	06
1.4.2. Méthodes externes.....	06
1.4.3. Méthodes inductives	06
1.4.4. Les méthodes déductives	06
1.4.5. Traitement signal	07
1.5. Conclusion	07

CHAPITRE 2 : Modélisation de la chaine d'entraînement onduleur-machine

2.1.Introduction	08
2.2.Machine asynchrone	08
2.2.1. Modèle mathématique de la MAS	10
2.2.1.1.Équations en triphasée.....	10
2.2.2. Transformation de Park.....	13
2.2.3. Simulation et discussion	14
2.3.Définition de l'onduleur triphasé.....	15
2.3.1. Modèle mathématique de l'onduleur de tension.....	16
2.3.2. Classification des onduleurs.....	17
2.3.2.1.Onduleur autonome	17

Sommaire

2.3.2.2. Onduleur non autonome.....	17
2.3.3. Différents type d'onduleur pour l'alimentation des machines asynchrones.....	17
2.3.3.1. Onduleur de courant.....	17
2.3.3.2. Onduleur de tension.....	17
2.4. Modélisation de l'alimentation de la machine par onduleur.....	18
2.4.1. Commande à l'arguer d'impulsion (MLI)	19
2.4.1.1. Objectif de la Technique MLI	20
2.4.2. Simulation de l'onduleur à MLI.....	21
2.4.3. Simulation de l'ossiation machine-onduleur.....	22
2.5. Conclusion.....	24

CHAPITRE 3 : Détection et identification des défauts de l'onduleur

3.1. Introduction.....	25
3.2. Défauts interne du convertisseur.....	26
3.2.1. Étude du défaut d'ouverture des interrupteurs.....	26
3.2.1.1. Algorithme de commutation du Tr_1	26
3.2.1.2. Algorithme de commutation du Tr_2	26
3.2.1.3. Algorithme de commutation du Tr_3	26
3.2.1.4. Algorithme de commutation du Tr_4	26
3.2.1.5. Algorithme de commutation du Tr_5	27
3.2.1.6. Algorithme de commutation du Tr_6	27
3.2.2. Validation par simulation	27
3.2.2.1. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_1	29
3.2.2.2. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_2	31
3.2.2.3. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_3	32
3.2.2.4. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_4	33
3.2.2.5. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_5	34
3.2.2.6. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_6	35
3.3. Méthode de diagnostic du défaut d'ouverture de l'interrupteur	36
3.3.1. Analyse de la trajectoire du vecteur courant.....	36
3.3.1.1. Phase B en défaut : interrupteur ouvert :	37
3.3.1.2. Phase A en défaut : interrupteur ouvert :	37
3.3.1.3. Phase C en défaut : interrupteur ouvert :	37

Sommaire

3.4. Conclusion.....	40
----------------------	----

CHAPITRE 4 : Détection et identification des défauts d'onduleur par méthode de résidus

4.1. Introduction	41
4.2. Méthode de calcul des résidus	41
4.2.1. Principe de Génération des résidus.....	41
4.3. Détection et localisation des défaillances	42
4.3.1. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_1	42
4.3.2. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_2	44
4.3.3. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_3	45
4.3.4. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_4	46
4.3.5. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_5	47
4.3.6. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_6	48
4.4. Interprétation de détection et localisation des défauts	50
4.5. Conclusion.....	51

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure 1. 1. Présentation des méthodes de diagnostic	04
Figure 1. 2. Structure d'un système de diagnostic à base d'un modèle.....	04
Figure 1.3. Détection de défauts basée sur les modèles.....	05
Figure 1. 4. Structure d'un système de diagnostic orienté données	06
Figure. 1.5 .Méthodes de diagnostic	06

Chapitre 2

Figure 2.1. Machine asynchrone	09
Figure.2.2. Stator d'une machine asynchrone	09
Figure 2.3.Rotor à cage	10
Figure 2.4.Symbole_convention_asynchrone	10
Figure 2.5. Représentation spatial des enroulements de la MAS	11
Figure 2.6. Transformation de Park	13
Figure 2.7. Grandeurs électriques et mécanique de la machine à l'état sain .	14
Figure 2.8. composants des courant statorique	15
Figure 2.9.Trois phases d'onduleur	15
Figure 2.10. Schéma structurel d'un tel onduleur triphasé à deux niveaux.....	16
Figure 2.11. Onduleur a deux niveaux	16
Figure 2.12. : Schéma de l'onduleur de tension.....	18
Figure 2.13. Schéma d'un bras de l'onduleur	18
Figure 2.14. Schéma équivalent de l'onduleur.....	18
Figure 2.15. Commande sinus-triangle	21
Figure 2.16. Intervalles de conduction d'interrupteur T_{r1}	21
Figure 2.17. Intervalles de conduction d'interrupteur T_{r2}	21

Liste des Figures

Figure 2.18. Vitesse, couple, courant statorique	22
Figure 2.19. Composons des courant statorique	23
Figure 2.20. Courant statorique i_{sa} (ZOME)	23

Chapitre 3

Figure 3.1. Grandeurs électriques et mécanique de la machine à l'état sain.....	28
Figure 3.2. Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r1} '	30
Figure 3.3. Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r2} '	31
Figure 3.4. Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r3} '	32
Figure 3.5. Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r4} '	33
Figure 3.6. Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r5} '	34
Figure 3.7. Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r6} '	35
Figure 3.8. Transformation de concordia	36
Figure 3.9. Trajectoires du contour de Park dans le référentiel (α, β)	38
Figure 3.10. Signature 'cas sain'	38
Figure 3.11. Signature 'défaut T_{r1} '	39
Figure 3.12. Signature 'défaut T_{r4} '	39
Figure 3.13. Signature 'défaut T_{r2} '	39
Figure 3.14. Signature 'défaut T_{r5} '	39
Figure 3.15. Signature 'défaut T_{r3} '	39
Figure 3.16. Signature 'défaut T_{r6} '	39

Chapitre 4

Figure 4.1 Principe de génération des résidus pour la détection de défaut.....	42
Figure 4.2 Résidu de la phase a T_{r1}	43
Figure 4.3 Résidu de la phase b T_{r1}	43
Figure 4.4 Résidu de la phase c T_{r1}	43
Figure 4.5 Résidu de la phase a T_{r2}	44

Liste des Figures

Figure 4.6 Résidu de la phase b T_{r2}	44
Figure 4.7 Résidu de la phase c T_{r2}	44
Figure 4.8 Résidu de la phase a T_{r3}	45
Figure 4.9 Résidu de la phase b T_{r3}	45
Figure 4.10 Résidu de la phase c T_{r3}	45
Figure 4.11 Résidu de la phase T_{r4}	46
Figure 4.12 Résidu de la phase b T_{r4}	46
Figure 4.13 Résidu de la phase c T_{r4}	46
Figure 4.14 Résidu de la phase a T_{r5}	47
Figure 4.15 Résidu de la phase b T_{r5}	47
Figure 4.16 Résidu de la phase c T_{r5}	47
Figure 4.17 Résidu de la phase a T_{r6}	48
Figure 4.18 Résidu de la phase b T_{r6}	48
Figure 4.19 Résidu de la phase c T_{r6}	48

RESUME

L'onduleur de tension alimentant un moteur asynchrone à cage peut avoir des défauts de fonctionnement de l'un des semi conducteurs de puissance.

Ce travail présente donc des méthodes de détection et localisation de défauts d'ouverture des composants semi conducteurs.

Principalement, deux méthodes sont considérées à savoir : le tracé des composantes des courants dans le plan de Concordia et les méthodes des résidus.

Abstract

The voltage inverter which supplies an asynchronous cage motor may have malfunctions of one of the semiconductors power.

This work deals with the methods which detect and localize the opening faults of semiconductor components.

Mainly, there are two methods to know: the drawing of the components of the currents in the Concordia plane and the residuals methods .

الملخص

الملخص

منوب الجهد الذي يغدي المحرك الغير متزامن يمكن أن يحدث فيه أخطاء عمل لأحد أشباه نواقل القوة. ادن هذا العمل يمثل آليات كشف مواقع خطأ انفتاح أشباه النواقل. و في الأساس توجد آليتان من الواجب معرفتهما: - كونكوغتيا و الية حساب البقايا

INTRODUCTION GENERALE

Les méthodes de diagnostic de défauts au sein d'un des composants d'une chaîne d'entraînement électrique à vitesse variable, se développent de manière significative. Ces méthodes ont pour objectif de détecter et diagnostiquer le défaut éventuel d'une manière précoce afin d'éviter les arrêts inattendus de l'installation et ainsi causée des pertes financières conséquentes. Les variateurs de vitesse peuvent faire l'objet de défauts de l'un de leur composant semi conducteur. Soit, qu'il se bloque continuellement en position ouverte ou fermée causant un dysfonctionnement de la chaîne. Alors, c'est dans ce cadre que s'inscrit le contenu du travail réalisé dans ce projet de fin d'études.

Pour cela le mémoire est structuré en quatre (4) chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté l'essentiel des méthodes de diagnostic que nous avons eu l'occasion de consulter.

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés à la modélisation de la machine asynchrone à cage d'écureuil. Ceci en vue de sa simulation et de son association à un onduleur triphasé de tension.

Dans le troisième chapitre, nous avons commencé à présenter l'intérêt de l'onduleur de tension dans le domaine de variation de la vitesse. Par la suite, nous avons présenté les défauts éventuels (fermeture et ouverture) mais on s'est intéressé, principalement, aux défauts d'ouverture des semi conducteurs de l'onduleur. Les modèles seront établis et les résultats de simulations présentés et discutés.

Finalement, dans le quatrième chapitre, la détection de défauts à base de résidus est développée et un algorithme de détection des cas de défauts étudiés est proposé.

Ce contenu de mémoire est suivi d'une conclusion générale mettant en avant les points forts de ce travail de fin d'études master_2.

CHAPITRE 1

METHODES DE DIAGNOSTIC

1.1. 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.

Le vocabulaire relatif au diagnostic est [1] :

- **Système "dispositif"**: un 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.
- **Anomalie**: particularité non conforme à la loi naturelle ou à la logique. Plus précisément: particularité non conforme à une référence comportementale ou fonctionnelle.
- **Observation**: c'est une information obtenue sur le dispositif réel. Cette information peut être obtenue soit à une entrée, soit à une sortie du dispositif ou encore entre deux composants de celui-ci.
- **Symptôme**: caractère distinctif d'un état fonctionnel anormal (variation anormale d'une quantité observable).

- **Résidu** : souvent, lorsque le modèle comportemental de référence est analytique, les signaux porteurs de signes ou de symptômes sont appelés résidus parce qu'ils résultent d'une comparaison entre un comportement réel et un comportement de référence.
- **Défaillance**: l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un système à accomplir sa ou ses fonctions requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques". Elle définit une anomalie fonctionnelle au sein du système. La défaillance peut se produire à différents niveaux: capteurs, actionneurs, composants du procédé, contrôle dans le cas d'une boucle.
- **Panne** : C'est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Il est clair que dès l'apparition d'une défaillance, caractérisée par la cessation du dispositif à accomplir sa fonction, on déclarera le dispositif en panne. Par conséquent une panne résulte toujours d'une défaillance mais la présence d'une défaillance n'entraîne pas obligatoirement la présence d'une panne.
- **Défaut** : dysfonctionnement tolérable qui ne cause pas un arrêt complet du système dû à une imperfection physique liée à la conception ou à la mise en œuvre du dispositif, il peut donner lieu à une défaillance.

1.2 Présentation des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic se répartissent en deux grandes classes.

- ❖ **Dans le premier cas** : on utilise des redondances d'informations et la connaissance fournie par le modèle mathématique pour caractériser le mode de fonctionnement ou l'état du système, puis décider s'il est normal ou anormal [2].
- ❖ **Dans le deuxième cas** : c'est l'analyse des données fournies par le système qui permet de décider de son état. Les méthodes les plus familières aux automaticiens sont les méthodes basées sur l'utilisation de modèles mathématiques. Celles-ci utilisent la redondance existant entre les différentes variables mesurées en termes de relations statiques ou dynamiques. Dans l'étude qui suit, il sera question de présenter les différentes méthodes de détection et d'isolation des défauts. L'intérêt portera surtout sur les méthodes à base de modèle mathématique [3].

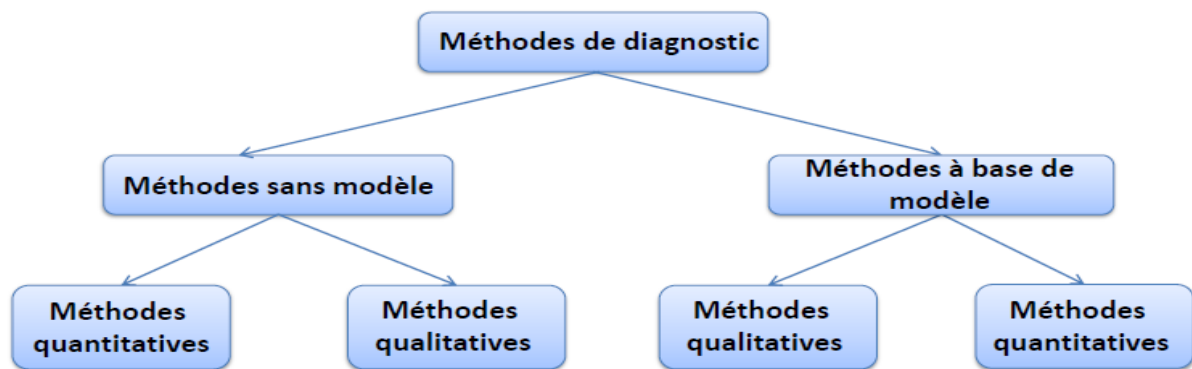


Figure 1. 1. Présentation des méthodes de diagnostic

1.3 Méthodes de diagnostic à base de modèles qualitatifs, quantitatifs

Dont les premiers permettent d'abstraire le comportement du procédé avec un certain degré d'abstraction et ne représentent pas la physique du système, mais sa description en termes de mode de fonctionnement [3] ; les secondes méthodes reposent sur l'estimation de l'état, des paramètres ou de l'espace de parité en utilisant des modèles mathématiques du système décrivant le comportement du système [4].

1.3.1 Méthodes de diagnostic à base de modèle et sans modèle

Consistent à comparer le comportement du système avec le comportement celui du modèle qualitatif et/ou quantitatif établi. Ainsi, Tout écart est alors synonyme d'une défaillance, comme indiqué par les schémas des figures 1.2 et figure 1.3. Ces deux types d'approches peuvent coexister au sein d'une même méthode de diagnostic [3].

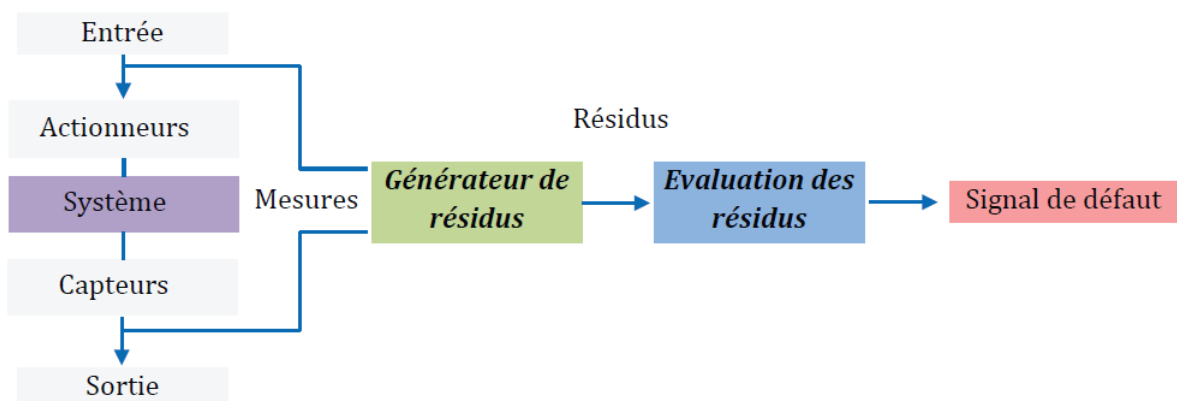


Figure 1. 2. Structure d'un système de diagnostic à base d'un modèle

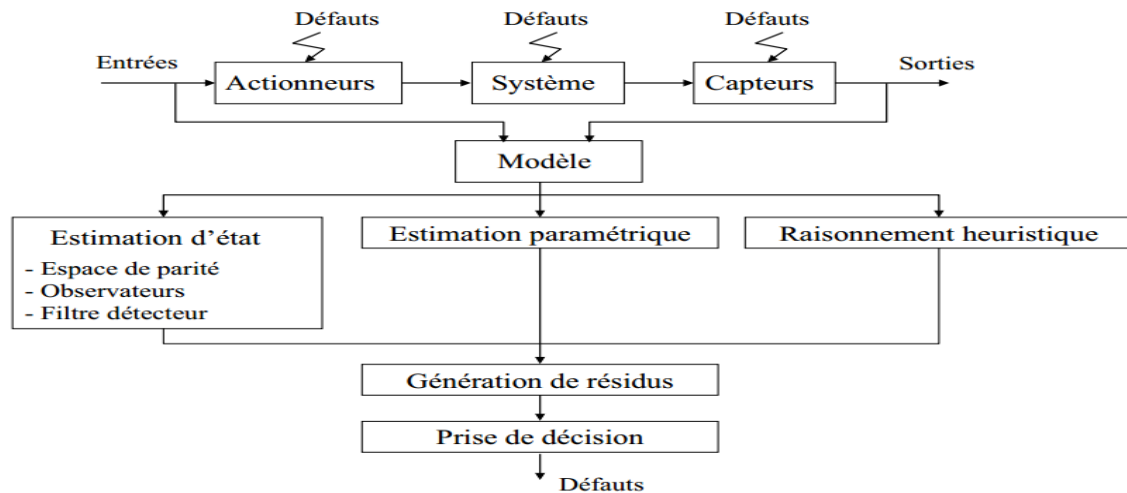


Figure 1.3. Détection de défauts basée sur les modèles

Par ailleurs, des méthodes de diagnostic sans modèle (diagnostic orienté données) ou seule la disponibilité des données de mesure est nécessaire. Les méthodes orientées données peuvent être : des systèmes experts, des méthodes statistiques comme l'analyse en composantes principales (ACP), la classification et des méthodes basées sur l'intelligence artificielle comme les réseaux de neurones. La figure 1.4 donne le schéma conceptuel du diagnostic orienté données [4].

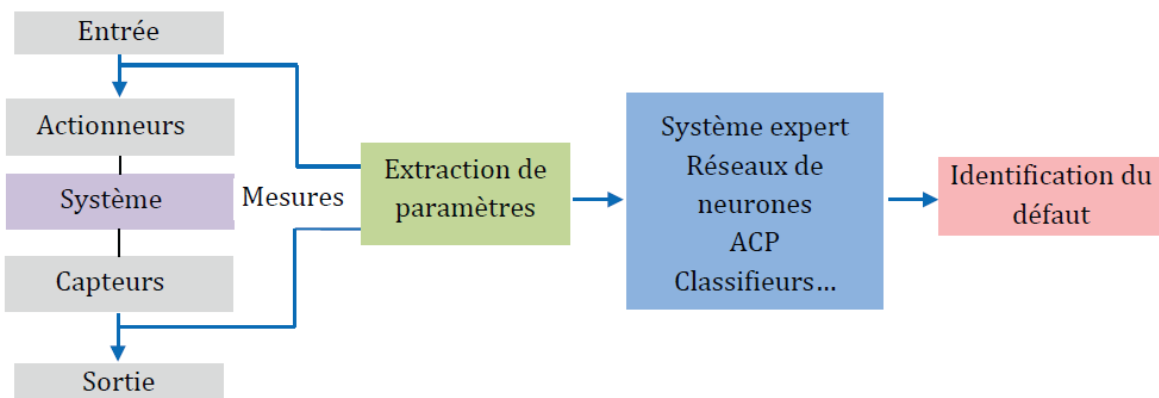


Figure 1.4 Structure d'un système de diagnostic orienté données

1.4 Classifications des méthodes de diagnostic

Les premières méthodes de diagnostic ont été basées sur la redondance matérielle, parce qu'elle est très répandue dans les domaines où la sûreté de fonctionnement est cruciale comme

dans l'aéronautique ou le nucléaire. Dans la littérature on distingue plusieurs classifications des méthodes de diagnostic.

Toutes ces méthodes sont résumées à la figure suivante :

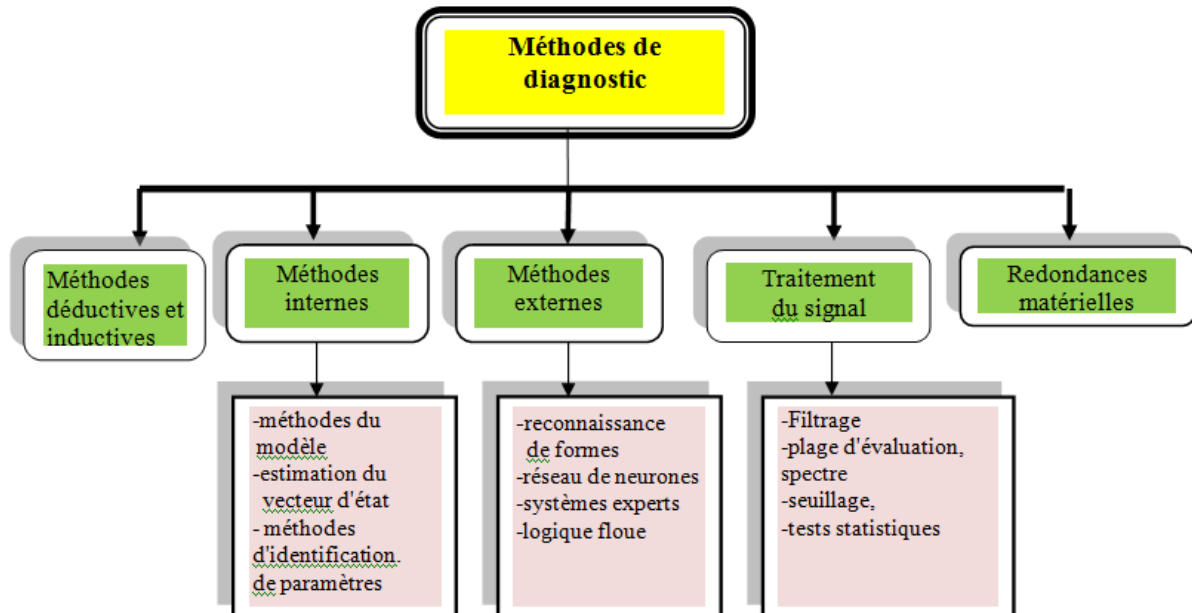


Figure. 1.5 Méthodes de diagnostic.

1.4.1 Méthodes internes

Ces méthodes sont basées sur des modèles physiques ou mathématiques validés par les techniques d'identification de paramètres. Le diagnostic de défaillance est possible en suivant en temps réel l'évolution des paramètres physiques ou bien en utilisant l'inversion de modèles de type « boîte noire ».

1.4.2 Méthodes externes

Ces méthodes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle et les approches probabilistes [1].

1.4.3 Méthodes inductives

Ces méthodes correspondent à une approche montante où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable. En d'autres termes, il faut interpréter les symptômes ainsi que leurs combinaisons possibles afin de trouver le défaut.

1.4.4 Méthodes déductives

Pour ces méthodes, la démarche est inversée puisque on débâte avec l'événement indésirable et on cherche ensuite toutes les causes possibles par une approche descendante. Une vérification des effets trouvés par rapport aux effets possibles permet de confirmer ou d'infirmer l'existence du défaut.

1.4.5 Traitement signal

Le traitement et l'analyse d'un signal pouvant être parfois utiles dans le domaine de diagnostic, En effet, la mesure d'un signal contient des oscillations qui peuvent être harmoniques, de nature stochastique ou les deux simultanément. La variation de ces signaux peut être reliée aux défauts [2].

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté différentes méthodes diagnostic. Les méthodes de classification offrent la possibilité de travailler à partir d'un logiciel. De telles méthodes sont appropriées en l'absence de connaissances fondamentales utiles à la définition d'un modèle quantitatif. Notons, le contenu de ce chapitre n'est qu'une introduction pour notre travail qui consiste à diagnostiquer les défauts éventuels d'un onduleur triphasé.

CHAPITRE 2

MODELISATION DE LA CHAINE D'ENTRAINEMENT ONDULEUR MACHINE

2.1. Introduction

La machine asynchrone (MAS) présente l'avantage d'être robuste, peu coûteuse et de construction simple. Cette simplicité s'accompagne d'une grande complexité physique liée aux interactions électromagnétique entre le stator et le rotor.

La conception d'une chaîne de commande exige une phase de modélisation afin de dimensionner et valider les stratégies retenues. Mais, on ne peut parler de la commande de la machine asynchrone, sans qu'on parle du convertisseur qui lui est associé, de son alimentation et de sa commande.

Dans ce chapitre, on présente la modélisation de l'alimentation de la machine constituée d'un onduleur de tension contrôlé par la technique MLI. Nous traiterons la modélisation de l'association convertisseur-machine ou on présentera un modèle générale associant la machine asynchrone à son alimentation.

2.2. Machine asynchrone

La machine asynchrone à cage ou machines à cage d'écureuil est réversible et susceptible de se comporter, selon la source d'énergie, soit en « moteur » soit en « générateur », dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse [5].

Le terme **asynchrone** provient du fait que la vitesse de rotation du rotor de ces machines n'est pas exactement déterminée par la fréquence des courants qui traversent leur stator [6].

Elle comprend un stator et un rotor constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation sur le quel sont placés les enroulements qui seront accessibles de l'extérieur [7].



Figure 2.1. Machine asynchrone

- **Le stator**

Le circuit magnétique est un empilement de tôles d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude (figure 2.2). Le bobinage statorique est constitué de deux parties: les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Quant aux têtes de bobines, elles permettent la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique [7].

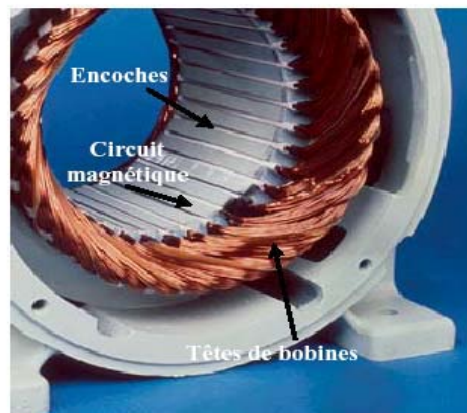


Figure.2.2 Stator d'une machine asynchrone

- **Le Rotor**

Le circuit magnétique du rotor est constitué d'un assemblage de tôles ferromagnétiques rainurées. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans les plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un noyau. On trouve deux types de rotors : bobiné ou à cage d'écureuil.



Figure 2.3 Rotor à cage

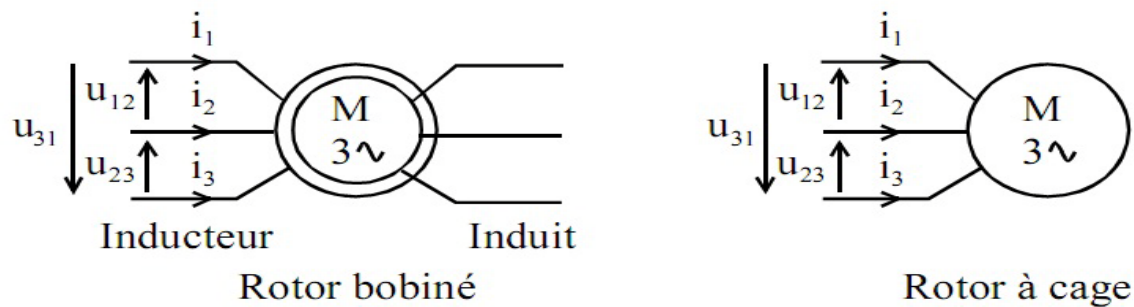


Figure 2.4 Symbole convention asynchrone

- **Rotor Bobiné**

Les enroulements rotoriques sont localisés dans les encoches situées à la périphérie du rotor. Ces enroulements sont bobinés de manière à obtenir un enroulement triphasé à « p » paires de pôle. Les bobinages rotoriques sont toujours couplés en étoile, et les trois bornes accessibles sont reliées à la carcasse du stator à l'aide d'un système constitué de trois bagues tournants et de trois balais fixes [8].

- **Rotor à cage**

La grande majorité des moteurs sont à cages. Dans chaque encoche rotorique est placée une barre. Ces barres sont en cuivre pour les moteurs de forte puissance, et en alliage d'aluminium pour les machines de faible et moyenne puissance. Elles sont réunies à chaque extrémité du rotor par des anneaux réalisant le court-circuit. L'enroulement rotorique ainsi réalisé n'est pas accessible à partir du stator [8].

2.2.1. Modèle mathématique de la MAS

2.2.1.1 Equations en triphasée

Le stator est constitué de trois enroulements répartis dans l'espace, et séparés d'un angle électrique de 120° , les mêmes propos s'appliquent au rotor qu'il soit à cage d'écoreuil ou formé de trois bobines.

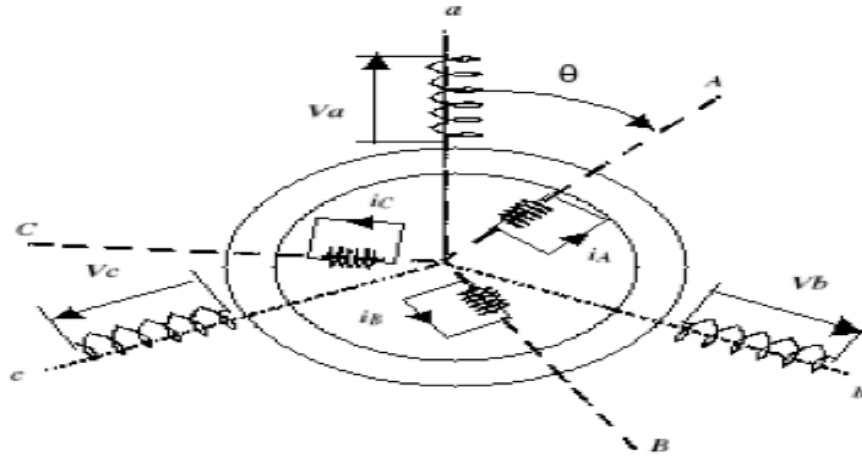


Figure 2.5 Représentation spatiale des enroulements de la MAS

Dans le repère triphasé, les trois vecteurs s_a , s_b , s_c , sont orientés selon les axes des trois enroulements statoriques de la machine. Il est de même pour le rotor.

L'axe s_a est souvent considéré comme référence, et l'angle θ définit la position du rotor par rapport au stator.

En tenant compte des hypothèses simplificatrices [8], les équations électriques des tensions statoriques et rotoriques peuvent s'écrire sous forme matricielle en appliquant la loi d'Ohm comme suit [7]:

- Au stator:

$$[V_{sabc}] = [R_s][I_{sabc}] + \frac{d\psi_{sabc}}{dt} \quad (2.1)$$

- Au rotor:

$$[V_{rabc}] = [R_r][I_{rabc}] + \frac{d\psi_{rabc}}{dt} \quad (2.2)$$

Les grandeurs, $[V_{sabc}]$, $[I_{sabc}]$, $[\psi_{sabc}]$, sont des vecteurs de dimension 3x1 définis comme suit:

$$[V_{sabc}] = \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} ; \quad [I_{rabc}] = \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} ; \quad [\psi_{sabc}] = \begin{bmatrix} \psi_{sa} \\ \psi_{sb} \\ \psi_{sc} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Celles du rotor sont :

$$[V_{rabc}] = \begin{bmatrix} v_{ra} \\ v_{rb} \\ v_{rc} \end{bmatrix}; \quad [I_{rabc}] = \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \end{bmatrix}; \quad [\psi_{rabc}] = \begin{bmatrix} \psi_{ra} \\ \psi_{rb} \\ \psi_{rc} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Les matrices des résistances des enroulements statoriques et rotoriques sont définies comme suit:

$$[R_s] = R_s \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad [R_r] = R_{sr} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (2.5)$$

Les flux totaux de la machine sont en relation avec les courants par l'intermédiaire des équations suivantes:

$$[\psi_{sabc}] = [L_{ss}] [I_{sabc}] + [L_{msr}] [I_{rabc}] \quad (2.6)$$

$$[\psi_{rabc}] = [L_{ss}] [I_{rabc}] + [L_{mrr}] [I_{sabc}] \quad (2.7)$$

Avec,

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & l_{ms} & l_{ms} \\ l_{ms} & l_s & l_{ms} \\ l_{ms} & l_{ms} & l_s \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$[L_{rrs}] = \begin{bmatrix} l_r & l_{mr} & l_{mr} \\ l_{mr} & l_s & l_{mr} \\ l_{mr} & l_{mr} & l_r \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$[L_{ss}] = l_m \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta) - 4\pi/3 & \cos(\theta) + 2\pi/3 \\ \cos(\theta) + 2\pi/3 & \cos(\theta) & \cos(\theta) - 4\pi/3 \\ \cos(\theta) - 4\pi/3 & \cos(\theta) + 4\pi/3 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$[L_{ss}]$: Matrice des inductances propres et mutuelles entre phases statoriques ;
 $[L_{rr}]$: Matrice des inductances propres et mutuelles entre phases rotoriques ;
 $[L_{msr}]$: Matrice des inductances mutuelles entre phases statoriques et rotoriques ;
 l_{ms} : Inductance mutuelle entre enroulements statorique ;
 l_{mr} : Inductance mutuelle entre enroulement rotorique ;
 l_m : Maximum de l'inductance mutuelle entre une phase du stator et une phase de rotor.

Notons que, la matrice des inductances mutuelles rotoriques n'est d'autre que la transposée de celle des inductances mutuelles statoriques; $[L_{mrs}] = [L_{msr}]^t$.

2.2.2. Transformation de Park

La transformation de Park est constituée d'une transformation triphasée - diphasée suivie d'une rotation. Elle permet de passer du repère 'abc' vers le repère mobile 'dq'. Pour chaque ensemble de grandeurs (statoriques et rotoriques), on applique la transformation de Park. Pour simplifier les équations, et par conséquent le modèle, les repères de la transformation de Park des grandeurs statoriques et celle des grandeurs rotoriques doivent coïncider. En effet, si l'on note par θ_s (respectivement. par θ_r) l'angle de la transformation de Park par les grandeurs statoriques (resp. rotoriques) (figure 2.5), ceci se fait en liant les angles [9]. : $\theta_r + \theta_s = q$

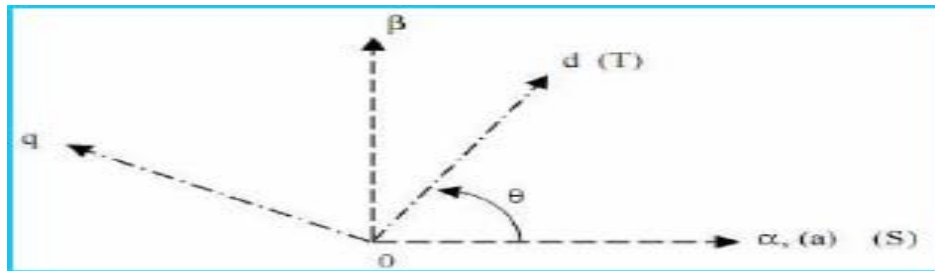


Figure 2.6 Transformation de Park

Les amplitudes directe (d) et en quadrature (q) des grandeurs statoriques et rotoriques sont fictives ; les équivalences pour ces grandeurs avec les grandeurs par phase sont comme suit :

$$\begin{pmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_0 \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta - 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{pmatrix} = p(\theta) \begin{pmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

$$\begin{pmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \\ V_{cr} \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta - 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{pmatrix} = p(\theta) \begin{pmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Les équations précédentes peuvent être appliquées aussi pour n'importe quelles autres grandeurs telles que les courants et les flux [10].

2.2.3. Simulation et discussion

Dans ce cas, on considère que la machine est saine, alimentée directement par le réseau triphasé équilibré. Les figure 2.7 a, b et c, montrent respectivement la vitesse de rotation, le couple électromagnétique et les courants des trois phase statoriques.

Sous ces conditions la vitesse augmente pour atteindre sa vitesse permanente 157 rad/s (régime permanent) et ce après 0.1s environ. Or, que le couple (figure 2.7.b) présente d'abord des oscillations avant de se stabiliser à la valeur nulle (sans charge). La figure 2.7.c montre que les courants évoluent en régime transitoire avant de se stabiliser avec des amplitudes d'environ 50A. Les composantes i_{sd} et i_{sq} des courants statoriques sont illustrées par les figures 2.8.a et 2.8.b, respectivement.

- **Résulta SIMULINK**

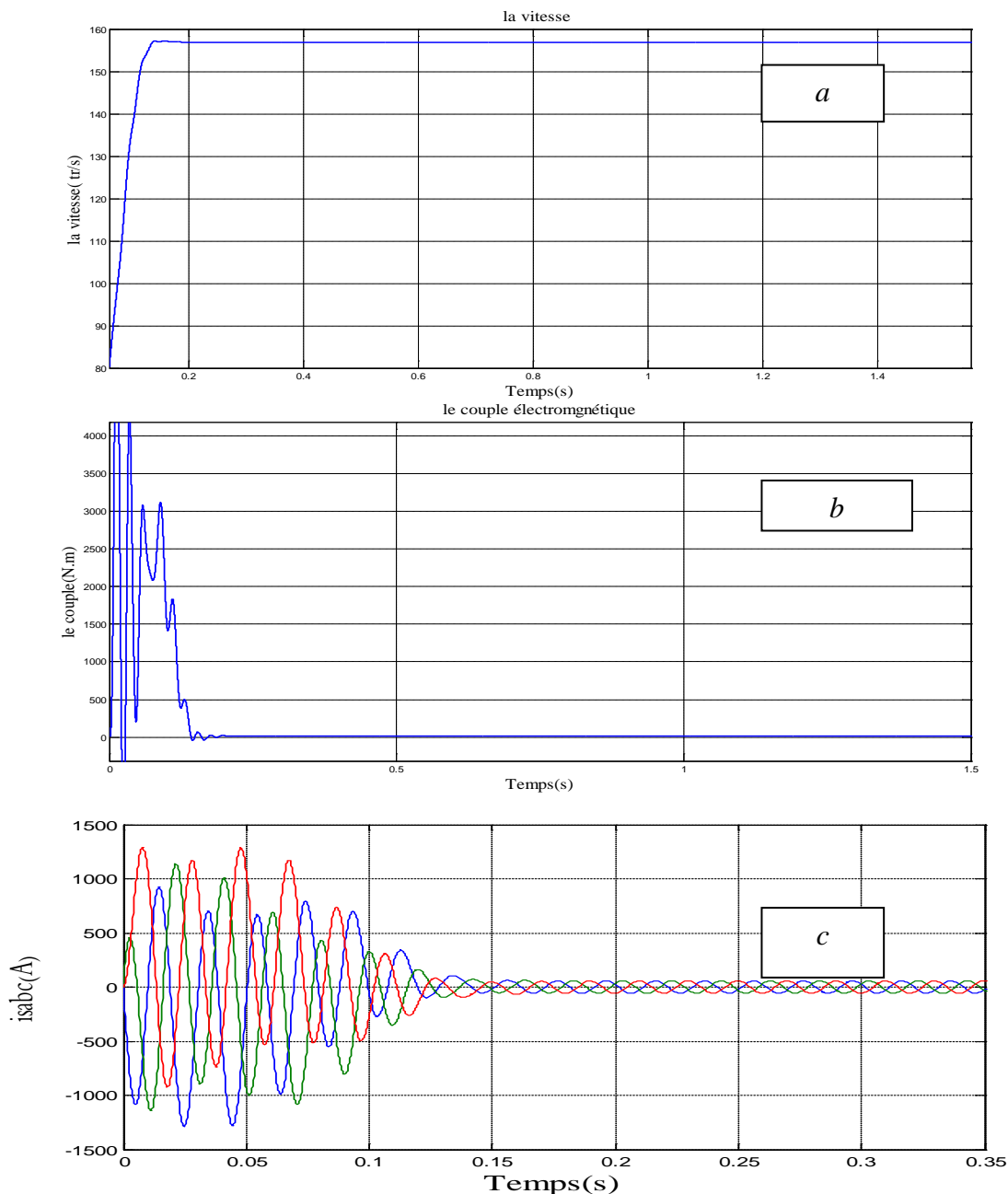


Figure 2.7 Grandeurs électriques et mécaniques de la machine à l'état sain

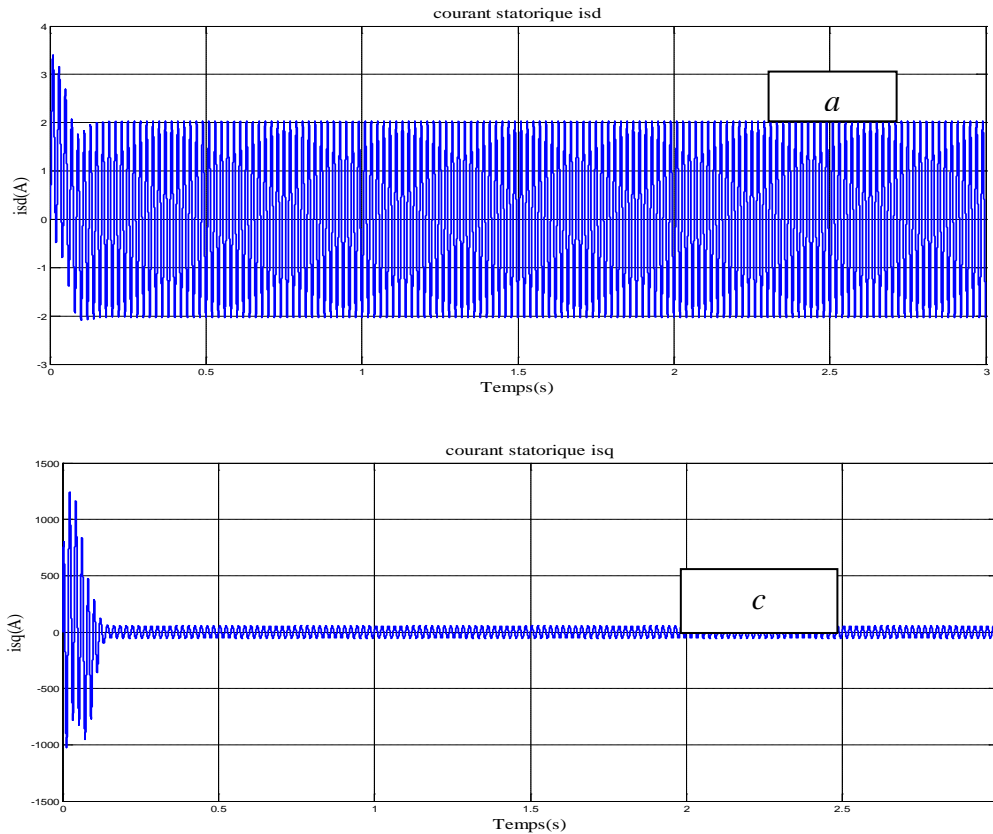


Figure 2.8 Composons des courants statoriques

2.3. Définition de l'onduleur triphasé

Un onduleur de tension triphasé, est un dispositif d'électronique de puissance à base de transistors IGBT constitué de trois bras, avec deux interrupteurs pour chaque bras, chaque interrupteur est monté en parallèle inverse avec une diode de récupération. Le schéma structurel d'un tel onduleur triphasé à deux niveaux est illustré par la figure 2.9 et 2.10 [10].

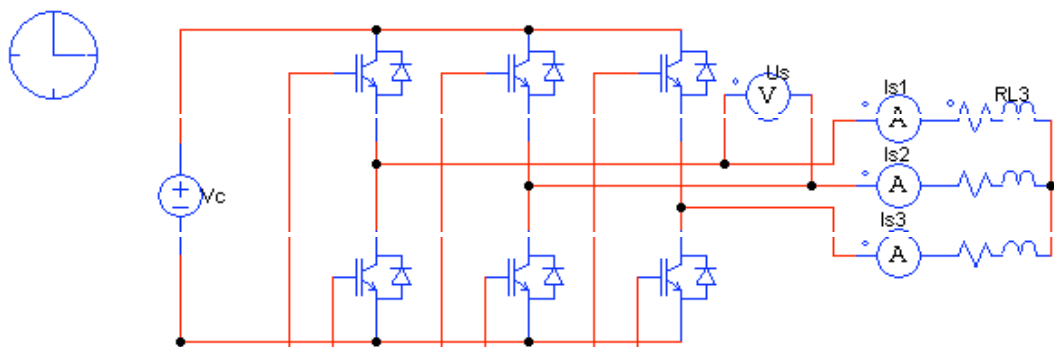


Figure 2.9 Onduleur triphasé

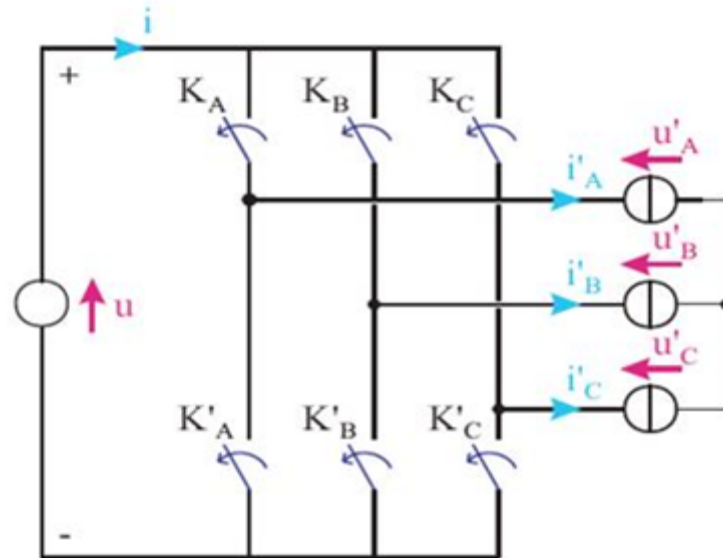


Figure. 2.10 Schéma structurel d'un onduleur triphasé à deux niveaux

2.3.1. Modèle mathématique de l'onduleur de tension

L'état des interrupteurs, supposés parfaits peuvent être définis par trois grandeurs Booléennes de commande S_i ($i = a, b, c$):

- $S_i = 1$ le cas où l'interrupteur de haut est fermé et celui d'en bas ouvert,
- $S_i = 0$ le cas où l'interrupteur de haut est ouvert et celui d'en bas fermé.

Dans ces conditions on peut écrire les tensions v_{i0} en fonction des signaux de commandes S_i et en tenant compte du point fictif "o" représenté sur la figure 2.11 [10].

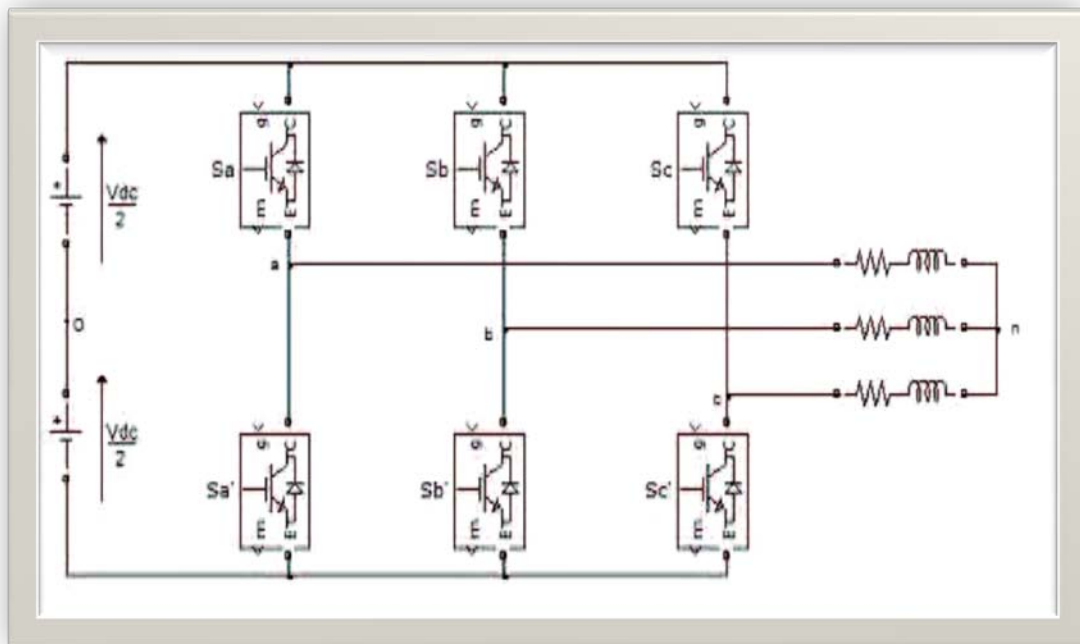


Figure 2.11 L'onduleur à deux niveaux

2.3.2. Classification des onduleurs

Les onduleurs sont en général classés selon les modes de commutation de leurs interrupteurs.

2.3.2.1. Onduleur autonome

C'est un système qui nécessite des composants commandés à la fois à la fermeture et à l'ouverture, de fréquence variable, dont les instants de commutations sont imposés par des circuits externes [11].

2.3.2.2 Onduleur non autonome

Dans ce cas, les composants utilisés peuvent être de simples thyristors commandés uniquement à la fermeture et la commutation est « naturelle » contrairement à l'onduleur autonome [11].

2.3.3. Différents types d'onduleurs pour l'alimentation des machines asynchrones

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.

L'onduleur est la dernière partie du variateur de vitesse située avant le moteur. Il fournit des grandeurs électriques variables au moteur. Dans tous les cas, l'onduleur est composé de semi-conducteurs disposés par paires en trois bras. Les semi-conducteurs de l'onduleur commutent sur des signaux en provenance du circuit de commande [12].

2.3.3.1. Onduleur de courant

Lorsqu'il fonctionne en source de courant, le redresseur fournit un courant constant à l'onduleur ; une inductance de lissage l'aide à maintenir le courant constant [11].

2.3.3.2. Onduleur de tension

Lorsqu'il fonctionne en source de tension, le redresseur fournit à l'onduleur une tension constante. La présence d'un condensateur dans le circuit de liaison aide alors à maintenir une tension constante à l'entrée de l'onduleur. Pour réaliser des onduleurs destinés à alimenter une charge ordinaire d'impédance très variable à partir d'un redresseur, on choisit des onduleurs de tension. [12]

2.4. Modélisation de l'alimentation de la machine par onduleur

La figure 2.12 montre le schéma d'un onduleur triphasé alimentant le MAS

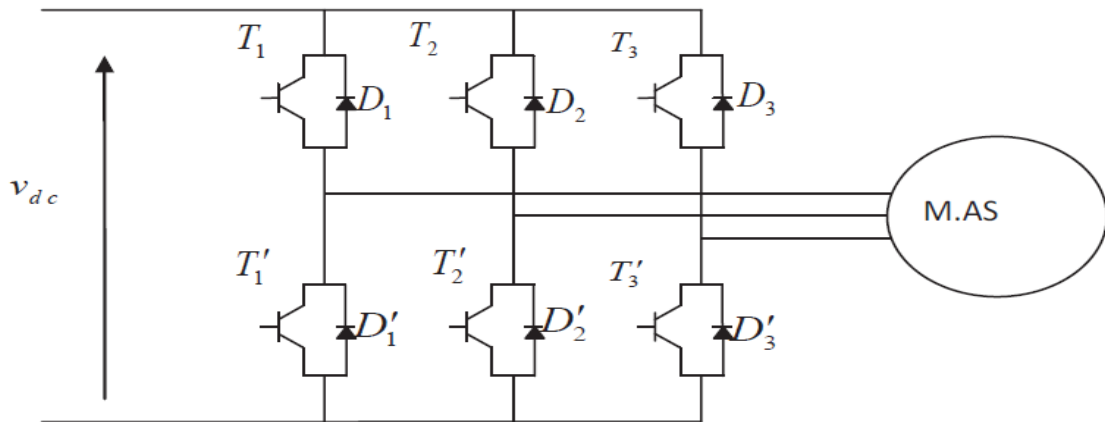


Figure 2.12 Schéma de l'onduleur de tension.

L'onduleur de tension est constitué de trois bras de commutation à transistors.

Chaque bras est composé de deux cellules comportant chacune une diode et un transistor.

Tous ces éléments sont considérés comme des interrupteurs idéaux. En mode comandable, le bras est un commutateur à deux positions qui permet d'obtenir à la sortie deux niveaux de tension. Un bras de l'onduleur est représenté par la figure 2.13 [13].



Figure 2.13. Schéma d'un bras de l'onduleur

Le schéma équivalent de l'onduleur est représenté par la figure 2.14.

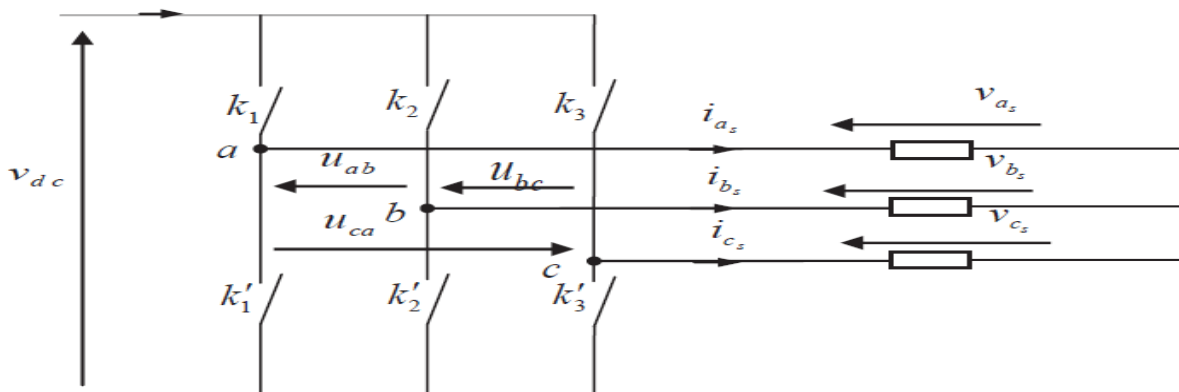


Figure 2.14 Schéma équivalent de l'onduleur

L'onduleur est modélisé en associant à chaque bras une fonction logique F qui détermine sont états de conduction [14] :

$$F1 = \begin{cases} 1 & \text{si } \dots k_1 \text{ fermé } \dots \text{ et } k'_1 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } \dots k'_1 \text{ fermé } \dots \text{ et } k_1 \text{ ouvert} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$F2 = \begin{cases} 1 & \text{si } \dots k_2 \text{ fermé } \dots \text{ et } k'_2 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } \dots k'_2 \text{ fermé } \dots \text{ et } k_2 \text{ ouvert} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$F3 = \begin{cases} 1 & \text{si } \dots k_3 \text{ fermé } \dots \text{ et } k'_3 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } \dots k'_3 \text{ fermé } \dots \text{ et } k_3 \text{ ouvert} \end{cases} \quad (2.15)$$

Ainsi, les tensions de ligne sont donnée par :

$$U_{ab} = V_{as} - V_{bs} = V_{dc} (F1 - F2) \quad (2.16)$$

$$U_{ab} = V_{as} - V_{bs} = V_{dc} (F1 - F3) \quad (2.17)$$

$$U_{ab} = V_{as} - V_{bs} = V_{dc} (F2 - F3) \quad (2.18)$$

Les tensions V_{as} V_{bs} V_{cs} forment un système de tensions triphasées, équilibrées, alors des les relations (2.16)-(2.18) on déduit :

$$V_{as} = V_{dc} / 3 (2F1 - F2 - F3) \quad (2.19)$$

$$V_{bs} = V_{dc} / 3 (2F2 - F1 - F3) \quad (2.20)$$

$$V_{cs} = V_{dc} / 3 (2F3 - F1 - F2) \quad (2.21)$$

Donc :

$$\begin{pmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{pmatrix} = V_{dc} / 3 \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

V_{dc} : C'est la tension d'alimentation continue de l'onduleur.

2.4.1. Commande à l'arguer d'impulsion (MLI)

La modulation de largeur d'impulsions (MLI), est une technique couramment utilisée pour synthétiser des signaux continus à l'aide de circuits à fonctionnement tout ou rien, ou plus généralement à états discrets .Le principe général est qu'en appliquant une succession d'états discrets pendant des durées bien choisies, on peut obtenir en moyenne sur une certaine durée n'importe quelle valeur intermédiaire .

L'utilisation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) ou Pulse Width Modulation (PWM) permet d'éliminer les premiers rangs d'harmoniques de courant afin d'améliorer le facteur de puissance. Cependant, cette technique ne résoud pas totalement le problème des harmoniques de courant [10].

2.4.1.1. Objectif de la technique MLI

Les objectifs principaux d'une MLI sont les suivants:

- Obtenir dans la charge électrique des courants dans la variation est proche de la sinusoïdale par le contrôle de l'évolution des rapports cycliques et grâce à une fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie [14].
- Imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées.
- Permettre un contrôle fin de l'amplitude du fondamentale des tensions de sortie généralement sur la plus grande plage possible et pour une fréquence de sorties larges variable [11].

Les paramètres essentiels de MLI sont par conséquent :

- L'indice de modulation: $m = f_p / f_r$;

Avec f_p fréquence de la porteuse et f_r est la fréquence du signal de référence.

- L'indice de réglage : $r = \frac{V_r}{V_p}$

Avec V_r : amplitude du signal de référence et V_p : amplitude du signal de porteuse

On cherche généralement à obtenir une valeur maximale de "r" la plus élevée possible (de 0.8 à 1). La technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) permet de commander la tension de sortie de l'onduleur en amplitude et en fréquence à partir des signaux de commandes des interrupteurs de l'onduleur tout en limitant l'effet des harmoniques.

Il existe différentes structures de Modulation de Largeur d'Impulsion permettant de gérer les trois courants d'alimentation de la machine asynchrone à partir des courants de référence calculés au niveau de la commande .Trois types de MLI sont généralement utilisés [15]:

- *La MLI pré calculée* : consiste à calculer les instants de commutation des interrupteurs de puissance de manière à éliminer certaines harmoniques non désirables
- *La MLI dent scie* : est basée sur la comparaison entre une onde modulante, de forme sinusoïdale à faible fréquence, et une autre onde porteuse de forme dent scie à fréquence plus élevée. Les points d'intersection entre la porteuse et la modulante déterminent les instants de commutation
- *La MLI vectorielle* : utilisée dans les commandes modernes des machines asynchrones pour obtenir des formes d'ondes arbitraires non nécessairement sinusoïdales. Le principe de la *MLI vectorielle* consiste à reconstruire le vecteur tension statorique V_s à partir de huit vecteur tension. Chacun de ces vecteurs correspond à une combinaison des états des interrupteurs d'un onduleur de tension triphasé, Cette méthode de MLI peut désormais être implantée dans des circuits intégrés numériques. Elle nécessite toutefois des calculs numériques rapides et précis [14].

2.4.2. Simulation de l'onduleur à MLI

Nous allons maintenant à la conception de la commande MLI à l'aide de l'environnement Matlab/Simulink. Tout d'abord, on va générer 3 signaux sinusoïdaux de fréquence diphasés 120 degrés de $S_1(t)$, $S_2(t)$ et $S_3(t)$ et puis générer un signal triangulaire de fréquence très élevée. Puis, on calcule la différence entre les signaux de référence et le signal triangulaire. et selon le signe de l'erreur, on détermine l'état de commutation du semi conducteur [10].

La figure 2.15 montre les signaux de commande MLI et la figure 2.16, les états de commutations de l'interrupteur du haut et du bas d'un bras d'onduleur triphasé.

En tenant compte de ces conditions, nous avons montré par les figures 2.18 à 2.19, les grandeurs de MAS lorsqu'elle est alimentée par un onduleur de tension commandé en modulation de largeur d'impulsion. On y trouve les mêmes variables discutées que lorsque la machine était alimentée par une source sinusoïdale et en plus la figure 2.20 présente un zoom (agrandissement) sur le courant statorique.

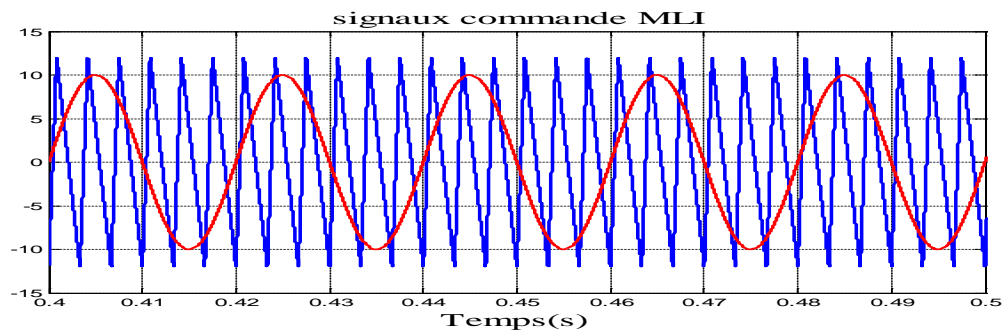


Figure 2.15 Commande sinus-triangle

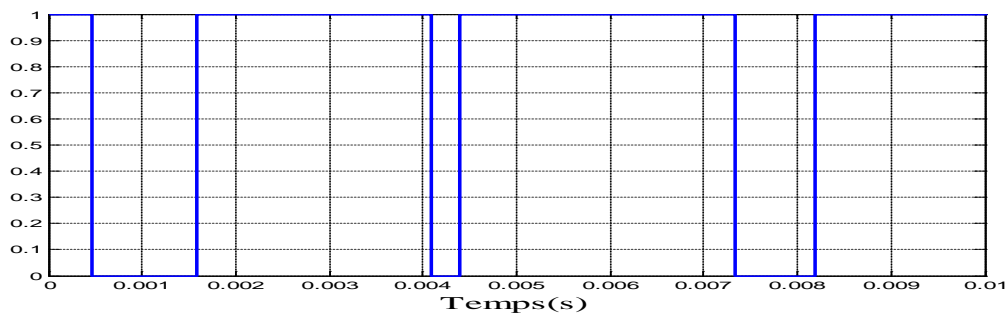


Figure 2.16 Intervalles de conduction d'interrupteur T_{r1}

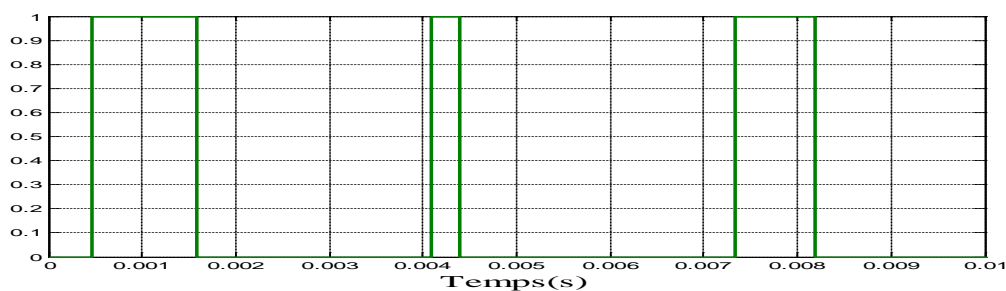


Figure 2.17 Intervalles de conduction d'interrupteur T_{r2}

2.4.3. Simulation de l'ossiation machine-onduleur

Dans ce cas la machine est considérée saine et alimentée par un onduleur de tension à MLI. Le démarrage de la machine s'effectue à vide.

- **Résultats de la simulation**

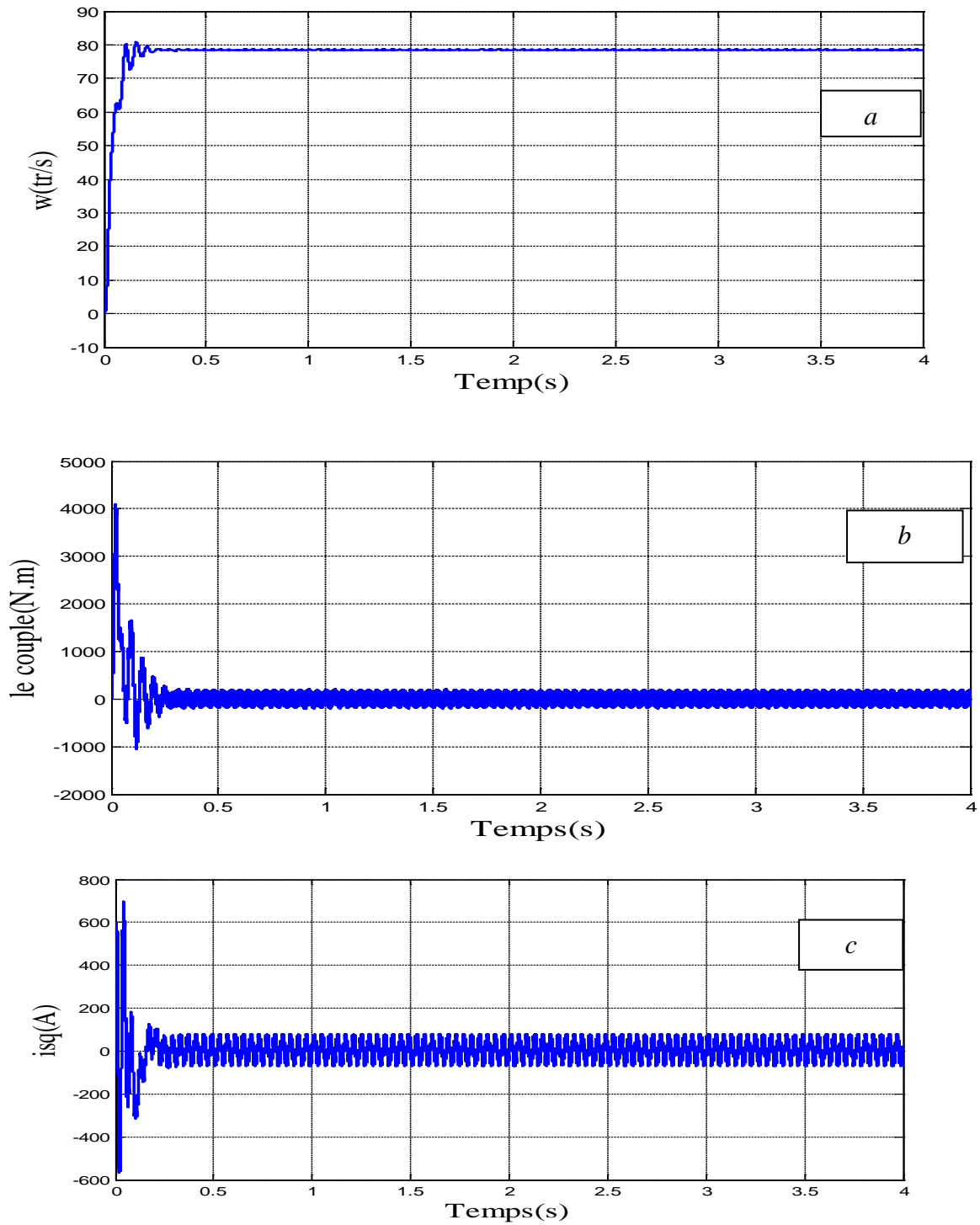


Figure 2.18 Vitesse, Couple, Courant stator

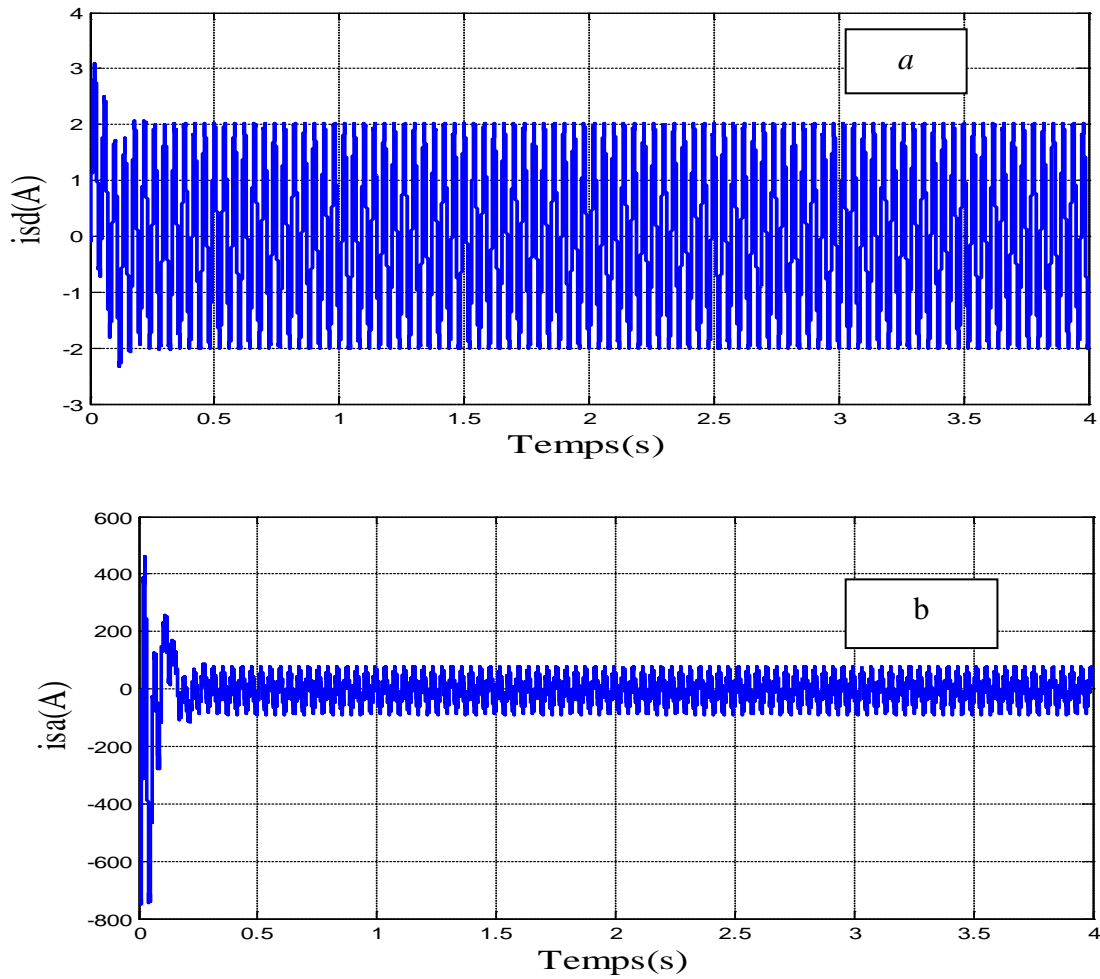


Figure 2.19 Composantes des courants statoriques

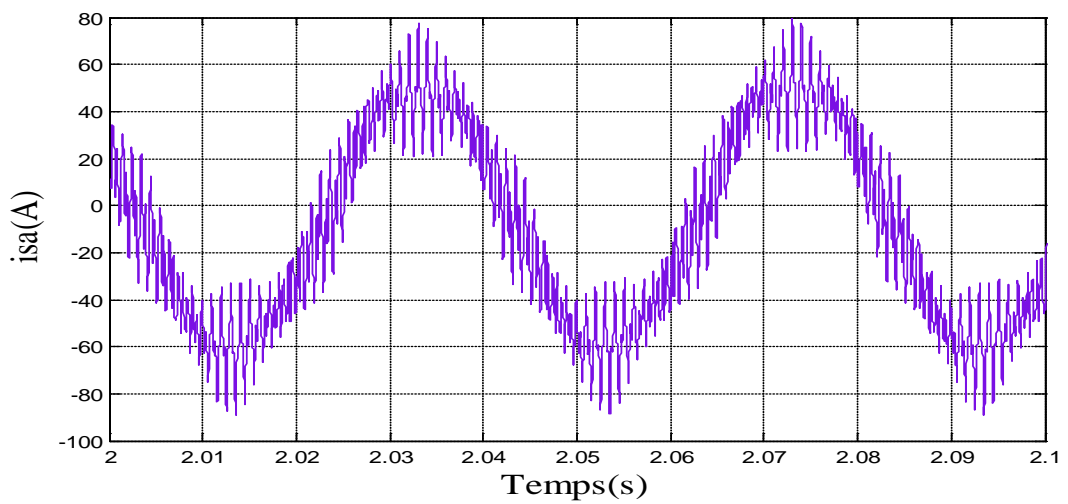


Figure 2.20 Courant statorique i_{sa} (ZOOM)

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation du système convertisseur– machine asynchrone. L'alimentation d'un moteur asynchrone par un convertisseur statique montre l'existence de trop d'oscillations donc d'harmonique dans l'onde de courant qui est l'origine de pulsation du couple. Ces dernières ne gênent pas le fonctionnement de la machine, puisqu'elle est destinée à travailler à haute fréquence. Pour des raisons de rendement, et d'encombrement réduit, l'onduleur à MLI présente une meilleure solution dans les domaines de moyennes et faibles puissances. L'onduleur de tension ne donne un fonctionnement assez simple pour notre étude de diagnostic, ceci fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE 3

DETECTION ET IDENTIFICATION DES DEFAUTS DE L'ONDULEUR

3.1 Introduction

L'intérêt grandissant des industriels pour la maintenance des entraînements électriques justifie l'accent mis pour la recherche sur le diagnostic des associations machine-convertisseur.

Actuellement, un grand nombre des recherches est orienté vers la surveillance de l'état du convertisseur alimentant la machine asynchrone. En effet, un convertisseur tel que l'onduleur à MLI est susceptible de présenter des défauts structurels tels que les défauts d'ouverture des interrupteurs semi-conducteurs et par conséquent, ce type de dysfonctionnement peut induire des endommagements pour le système entier de production si le personnel n'est pas averti et qu'un arrêt intempestif ne soit produit. Puisque, l'appareillage de protection n'intervient qu'au dernier stade de défaut, il est donc évident, que l'investissement dans le domaine de la détection des dysfonctionnements parait une solution incontournable.

Dans ce chapitre nous présentons l'analyse et la simulation des différents défauts du variateur de vitesse de la machine asynchrone à base d'un onduleur de tension.

3.2 Défauts interne du convertisseur

L'onduleur de tension est le convertisseur le plus utilisé pour l'alimentation des machines alternatives. Le fonctionnement des ces convertisseurs repose sur la modification séquentielle des liaisons entre l'alimentation et la charge. Cette modification dite commutation est réalisée par un circuit à commande qui fournit des ordres temporels de déclenchement des interrupteurs. Dans notre cas, on utilise la stratégie de modulation de largeur d'impulsion. Concernant la modélisation de l'onduleur, on considère que, les cellules (Transistors T_{ri} et les Diodes D_i) sont à commutations instantanées et chaque interrupteur à deux états.

En plus des défauts qui peuvent apparaître dans la machine, il n'est pas exclu que le défaut soit dû à une défaillance de l'un des semi conducteurs. Un mauvais fonctionnement d'un semi conducteur peut causer la perte de la commande et l'arrêt même du bras de l'onduleur. Ces types de défauts sont graves et ils causent des défauts des autres dispositifs. Nous présentons une étude pour un défaut de semi conducteur en circuit ouvert [10].

3.2.1 Etude du défaut d'ouverture des interrupteurs

En cas de défaut d'ouverture des interrupteurs à base des semi-conducteurs T_i ($i = 1: 6$). La phase a, b ou c de la machine est connectée à l'électrode positive de la tension continue à travers le courant qui traverse la diode D_i . La tension V dépend de l'état des semi-conducteurs T_{i+3} et de la direction du courant de phase.

3.2.1.1 Algorithme de commutation du T_{r1}

Si l'interrupteur T_{r1} est ouvert, la tension de phase V_a lié à l'état de l'interrupteur T_{r4} complémentaire et le signe du courant I_a de phase puisqu'elle est reliée à l'électrode positive de la source continue par l'intermédiaire du courant qui traverse la diode $D1$. Sachant que les deux autres tensions de phases V_b et V_c ne sont pas affecté par ce défaut (les fonctions de commutation de deux autres bras restent les mêmes), par contre, l'algorithme de commutation du premier bras sera comme suit [16] :

$$C_a = -1 \text{ si } I_a < 0 \text{ } T_{r1} \text{ à l'état } 1 \quad (3.1)$$

$$C_a = 1 \text{ si } I_a < 0 \text{ } T_{r4} \text{ à l'état } 0 \quad (3.2)$$

3.2.1.2. Algorithme de commutation du T_{r2}

Si l'interrupteur T_{r2} est ouvert, la tension de phase V_b lie à l'état de l'interrupteur complémentaire T_{r5} et le signe du courant de phase I_b puisqu'elle est reliée à l'électrode positive de la source continue par l'intermédiaire du courant qui traverse la diode D_2 . Sachant que les deux autres tensions de phases V_a et V_c ne sont pas affecté par ce défaut (les fonctions de commutation de deux autres bras restent les mêmes), mais, la fonction de commutation du deuxième bras, peut être obtenue par :

$$C_b = -1 \text{ si } I_b < 0 \text{ } T_{r5} \text{ à l'état } 1 \quad (3.3)$$

$$C_b = 1 \text{ si } I_b < 0 \text{ } T_{r5} \text{ à l'état } 0 \quad (3.4)$$

3.2.1.3. Algorithme de commutation du T_{r3}

Si l'interrupteur T_{r3} est ouvert, la tension de phase V_c lie à l'état de l'interrupteur complémentaire T_{r6} et le signe du courant de phase I_c puisqu'elle est reliée à l'électrode positive de la source continue par l'intermédiaire du courant qui traverse la diode D_3 .

Sachant que les deux autres tensions de phases V_a et V_b ne sont pas affecté par ce défaut (les fonctions de commutation de deux autres bras restent les mêmes), mais, la fonction de commutation du troisième bras, peut être exprimé par :

$$C_c = -1 \text{ Si } I_c < 0 \text{ } T_{r6} \text{ à l'état } 1 \quad (3.5)$$

$$C_c = 1 \text{ Si } I_c < 0 \text{ } T_{r6} \text{ à l'état } 0 \quad (3.6)$$

3.2.1.4. Algorithme de commutation du $Tr4$

Si l'interrupteur T_{r4} est ouvert, la tension de phase V_a lie à l'état de l'interrupteur complémentaire T_{r1} et le signe du courant de phase I_a puisqu'elle est reliée à l'électrode positive de la source continue par l'intermédiaire du courant qui traverse la diode D_4 .

Sachant que les deux autres tensions de phases V_b et V_c ne sont pas affectées par ce défaut (les fonctions de commutation de deux autres bras restent les mêmes), mais, la fonction de commutation (C_a), peut être exprimée par :

$$C_a = -1 \text{ Si } I_a < 0 \text{ } T_{r1} \text{ à l'état 1} \quad (3.7)$$

$$C_a = 1 \text{ Si } I_a < 0 \text{ } T_{r1} \text{ à l'état 0} \quad (3.8)$$

3.2.1.5. Algorithme de commutation du T_{r5}

Si l'interrupteur T_{r5} est ouvert, la tension de phase V_b lié à l'état de l'interrupteur complémentaire T_{r2} et le signe du courant de phase I_b puisqu'elle est reliée à l'électrode positive de la source continue par l'intermédiaire du courant qui traverse la diode D_5 .

Sachant que les deux autres tensions de phases V_a et V_c ne sont pas affectées par ce défaut (les fonctions de commutation de deux autres bras restent les mêmes), mais, la fonction de commutation (C_b), peut être obtenue par :

$$C_b = -1 \text{ Si } I_b < 0 \text{ } T_{r2} \text{ à l'état 1} \quad (3.9)$$

$$C_b = 1 \text{ Si } I_b < 0 \text{ } T_{r2} \text{ à l'état 0} \quad (3.10)$$

3.2.1.6. Algorithme de commutation du T_{r6}

Si l'interrupteur T_{r6} est ouvert, la tension de phase V_c lié à l'état de l'interrupteur complémentaire T_{r3} et le signe du courant de phase I_c puisqu'elle est reliée à l'électrode positive de la source continue par l'intermédiaire du courant qui traverse la diode D_6 .

Sachant que les deux autres tensions de phases V_a et V_b ne sont pas affectées par ce défaut (les fonctions de commutation de deux autres bras restent les mêmes), mais, la fonction de commutation (C_c), peut être obtenue par :

$$C_c = -1 \text{ Si } I_c < 0 \text{ } T_{r3} \text{ à l'état 1} \quad (3.11)$$

$$C_c = 1 \text{ Si } I_c < 0 \text{ } T_{r3} \text{ à l'état 0} \quad (3.12)$$

3.2.2. Validation par simulation

Les défauts de l'onduleur, on a considéré un défaut d'ouverture des transistors. La tension du bus continu DC = 780 V, f = 50 Hz. Pour l'analyse des défauts des semi-conducteurs, on a commencé à présenter par la figure 3.1 a, b et c respectivement la vitesse, le couple et la superposition des trois courants statoriques lors d'un démarrage. Lorsque la machine est saine. Et, par la figure 3.1 d, e et f les courants des phases a, b et c, séparément.

• Cas sain (Sans Défaut)

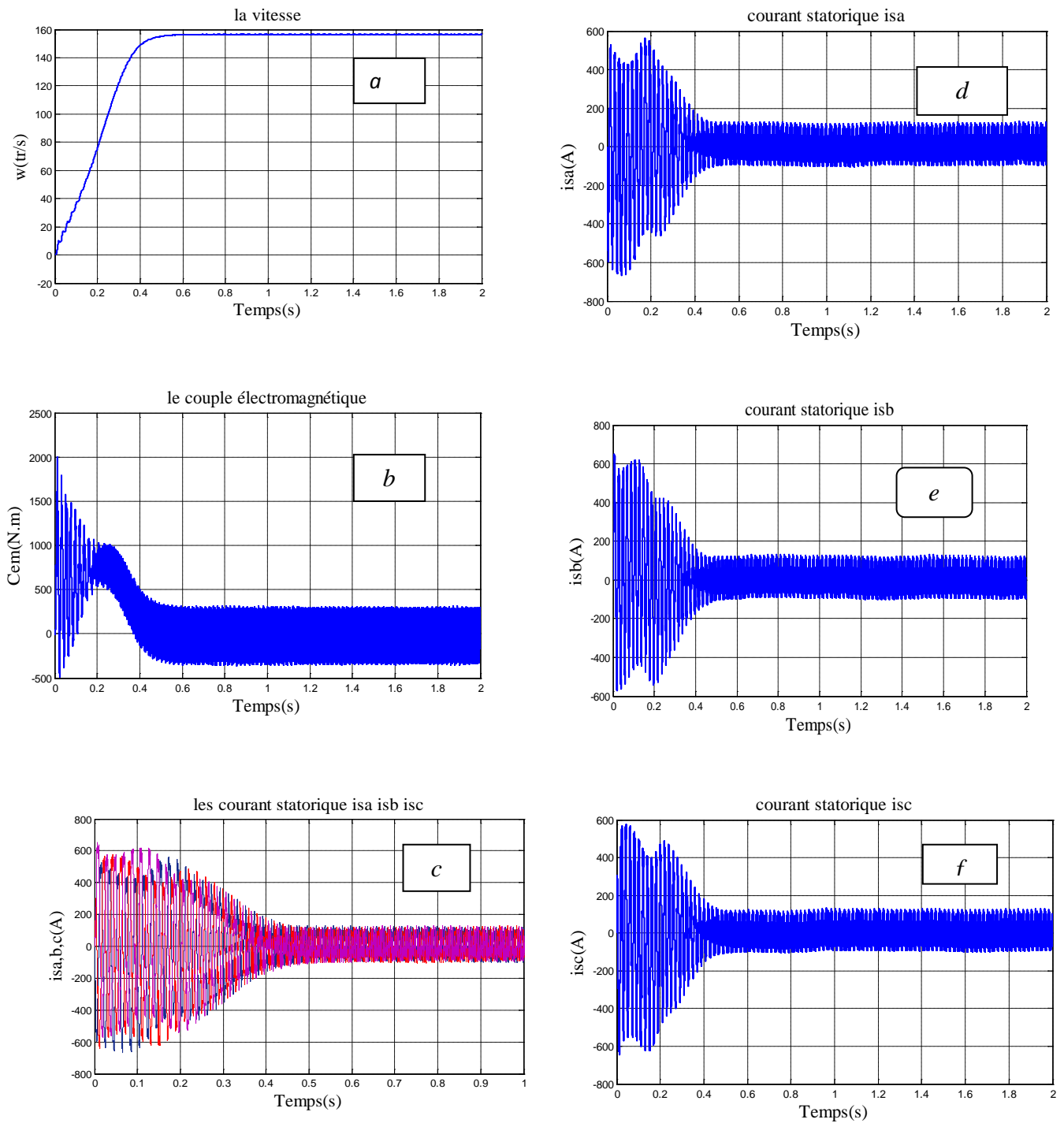


Figure 3.1 Grandeurs électriques et mécanique de la machine à l'état sain

- **Cas Défaut**

Dans ce cas, on expose les résultats des simulations sur différents défauts d'ouvertures des transistors sous les trois bras d'onduleur (T_{r1} T_{r2} T_{r3} T_{r4} T_{r5} T_{r6}), respectivement.

3.2.2.1. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r1}

On considère que la machine est alimentée à travers un convertisseur ayant un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r1} à l'instant $t=0.8$ sec. La figure 3.2, montre les mêmes grandeurs représentées dans le cas sain. Cependant, on observe que dès qu'on provoque le défaut ceci apparait sur les grandeurs

On remarque que l'effet du défaut de l'ouverture de l'interrupteur T_{r1} se manifeste par:

- perte de l'alternance positive du courant de la phase "a", qui est alors unipolaire et non sinusoïdale.
- diminution de la vitesse de rotation provoquée par la réduction de la puissance absorbée par la machine.
- Le régime dégradé se manifeste sur le plan mécanique par une pulsation du couple de la machine à la fréquence électrique. La valeur crête du couple est supérieure par rapport à la valeur nominale dans le cas simulé.

De même, ces grandeurs sont illustrées pour les cas de défauts des autres semi conducteurs et sont représentées par les figures 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 et 3.7.

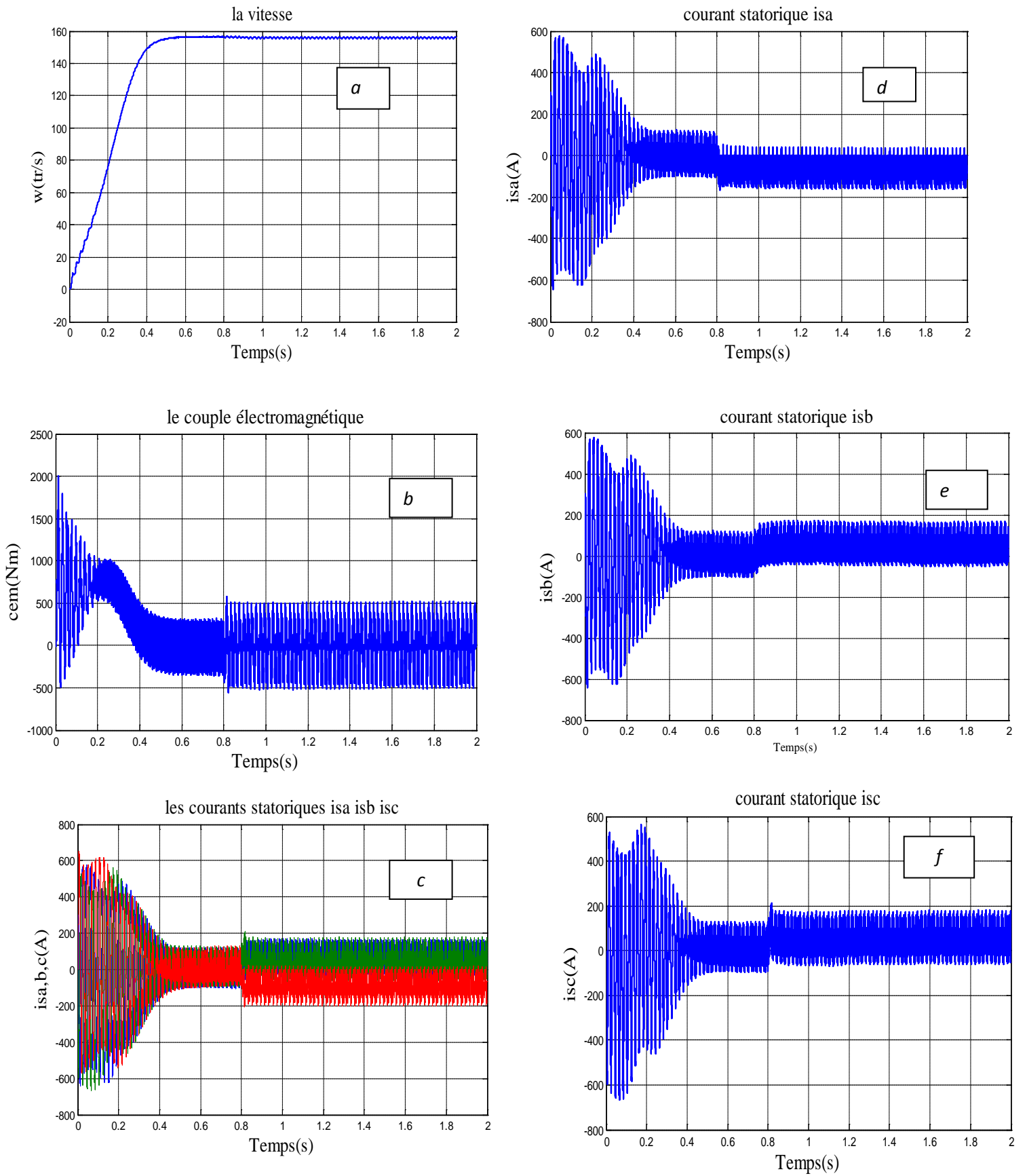


Figure 3.2 Grandeurs électriques et mécanique de la machine 'défaut d'ouverture T_{r1} '

3.2.2.2. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r2}

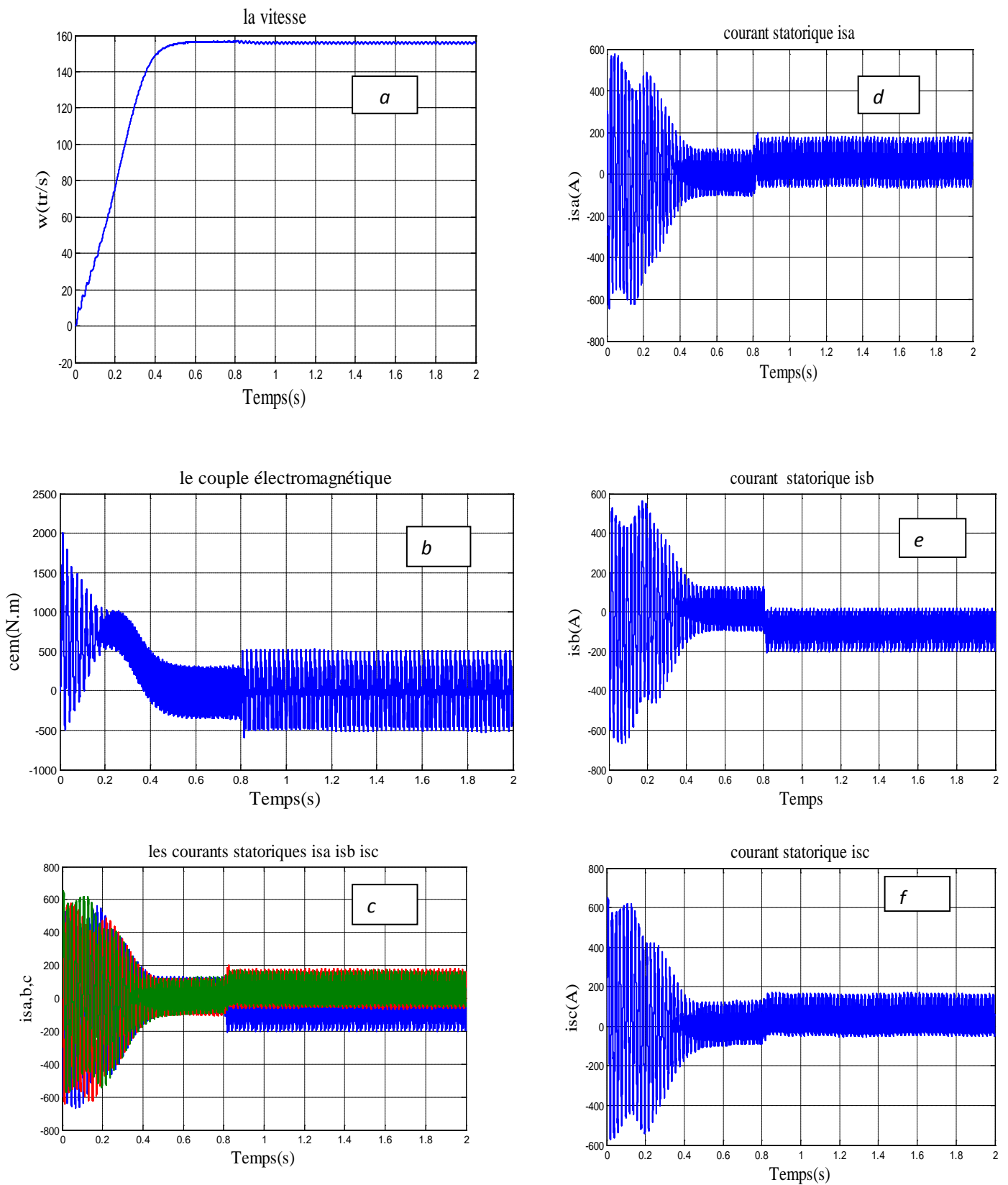


Figure 3.3 Grandeurs électriques et mécaniques de la machine 'défaut d'ouverture T_{r2} '

3.2.2.3 Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r3}

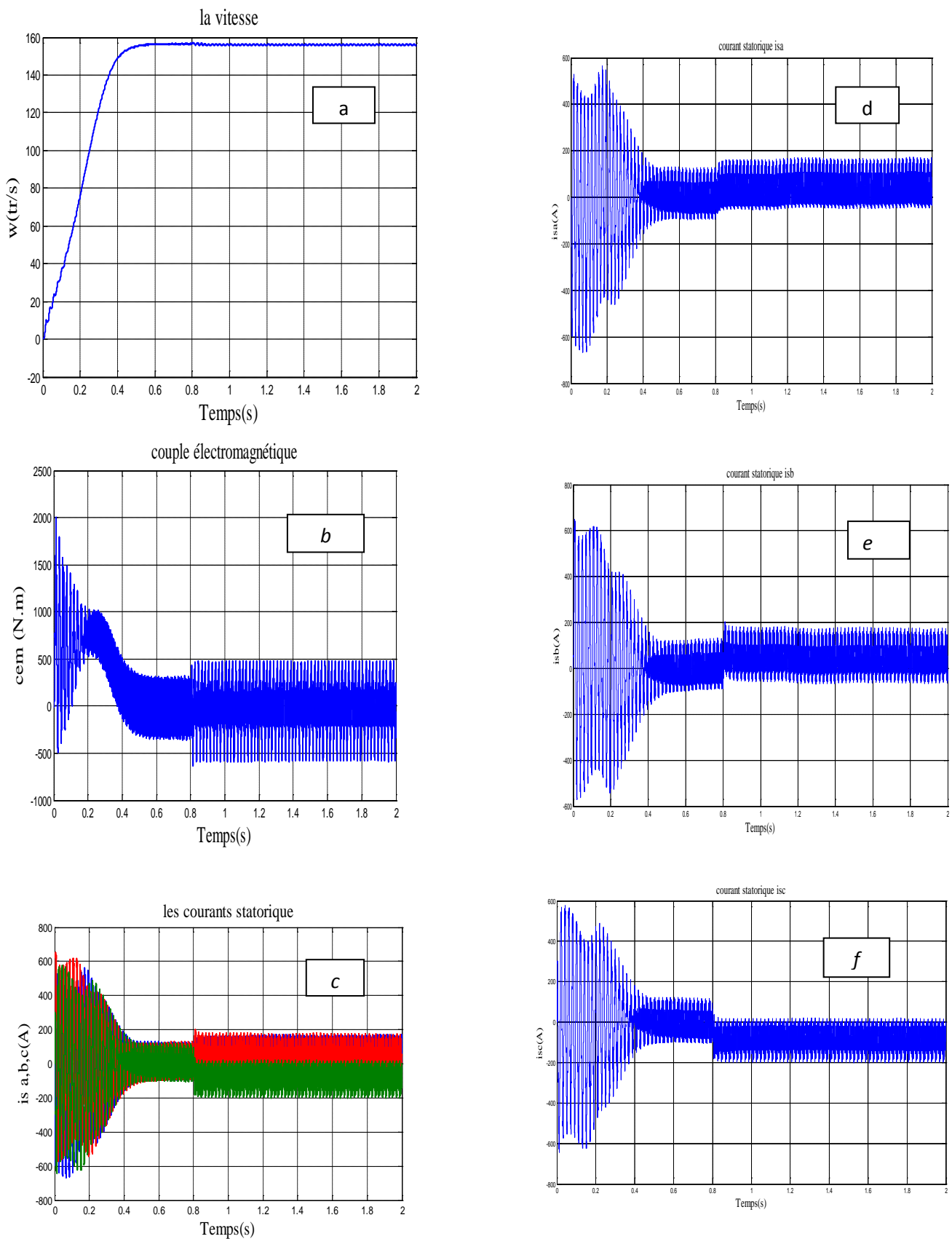


Figure 3.4 Grandeurs électriques et mécaniques de la machine 'défaut d'ouverture T_{r3} '

3.2.2.4. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r4}

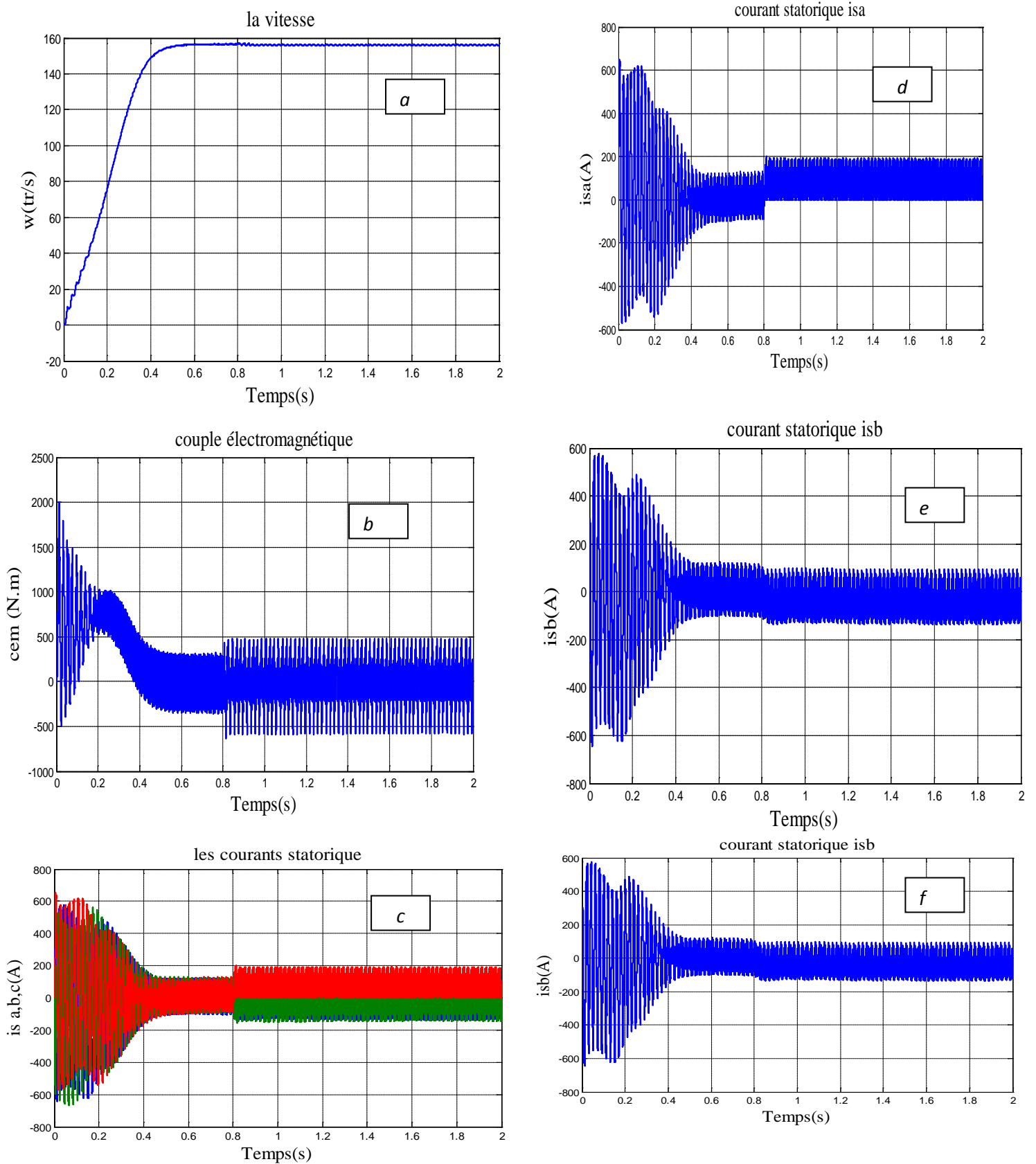


Figure 3.5 Grandeurs électriques et mécaniques de la machine 'défaut d'ouverture T_{r4} '

3.2.2.5. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r5}

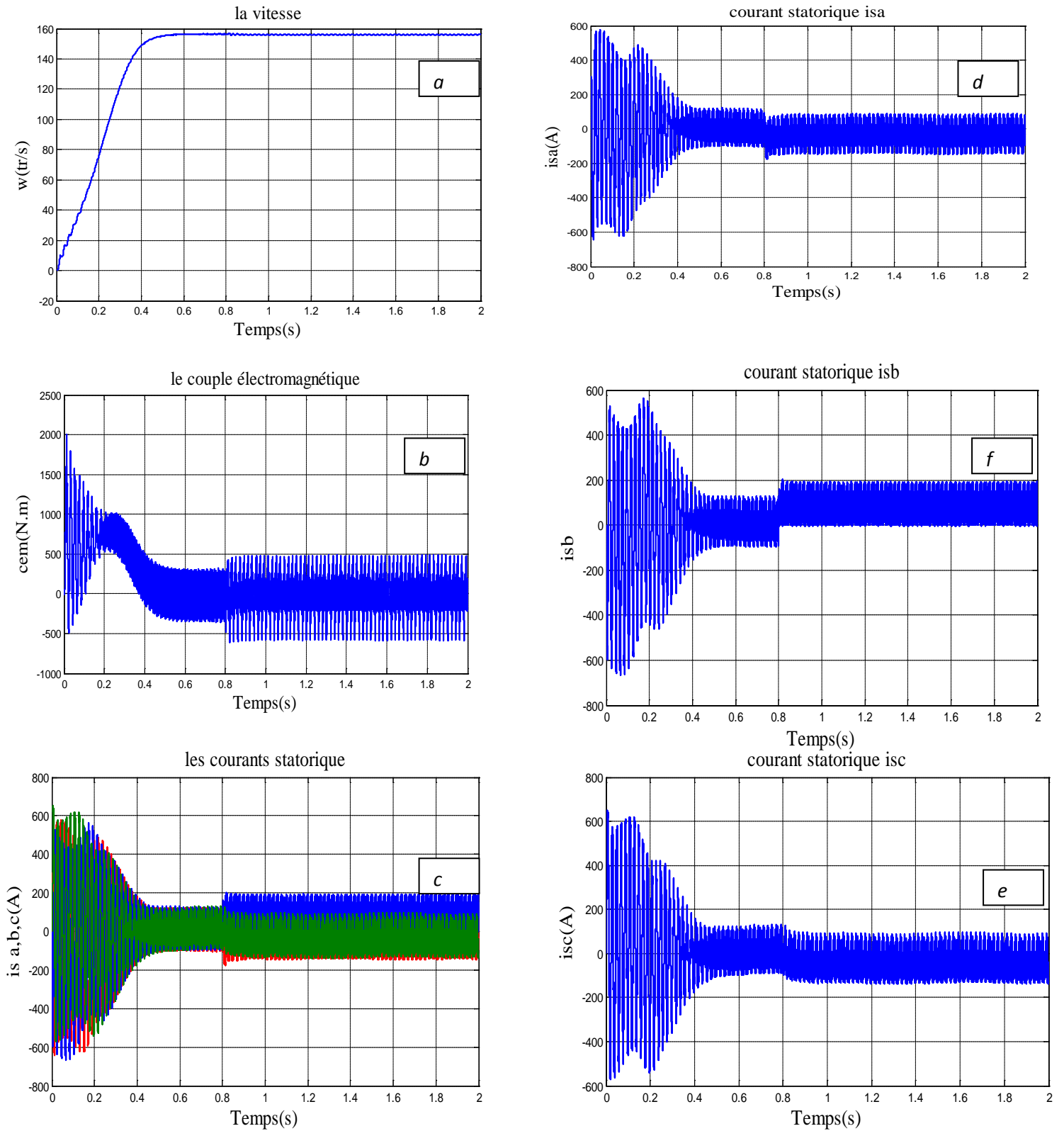


Figure 3.6 Grandeurs électriques et mécaniques de la machine 'défaut d'ouverture T_{r5} '

3.2.2.6. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r6}

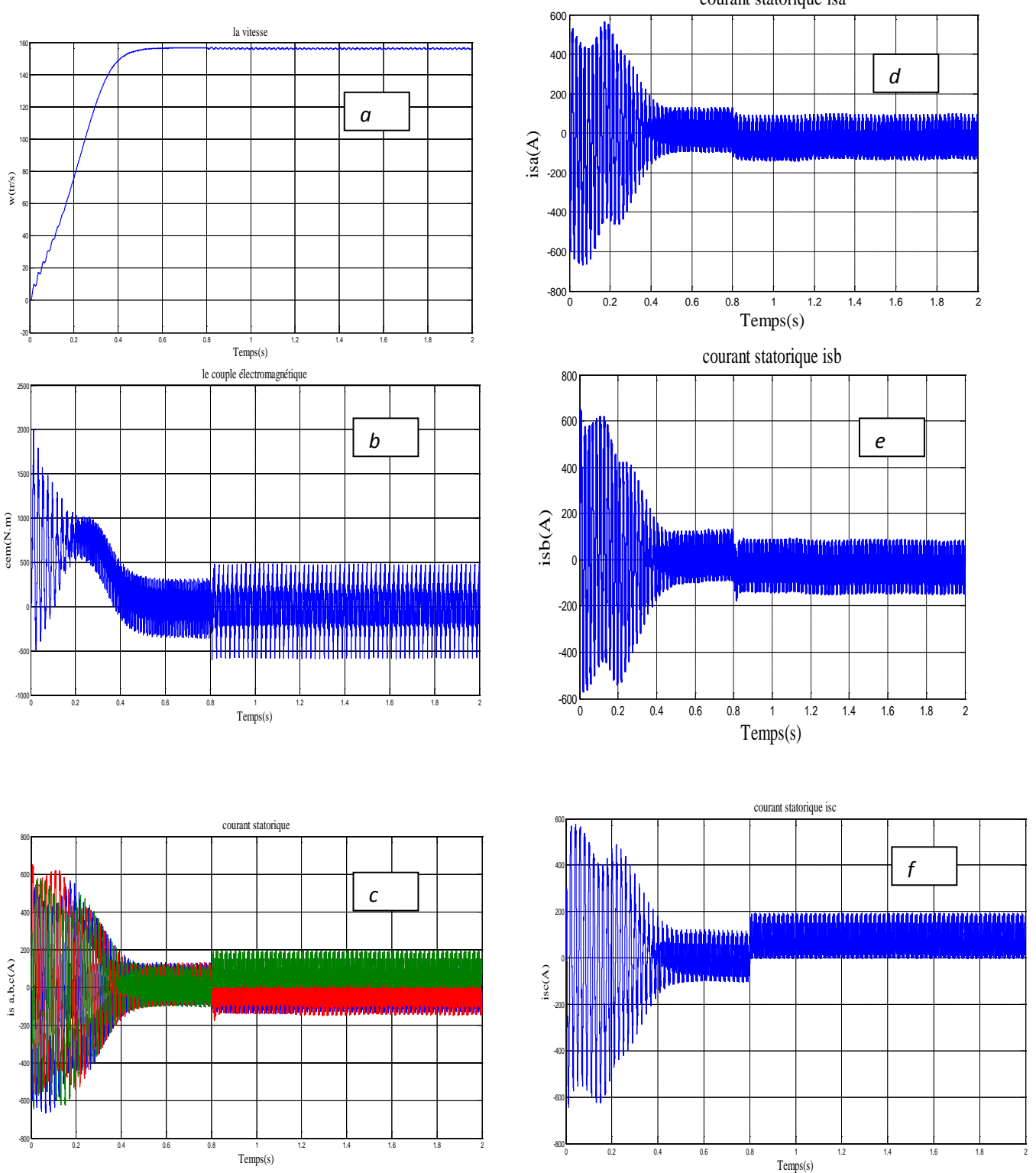


Figure 3.7 Grandeurs électriques et mécaniques de la machine 'défaut d'ouverture T_{r6} '

3.3 Méthode de diagnostic du défaut d'ouverture de l'interrupteur

La méthode utilisée pour la détection et la localisation des défauts dans l'onduleur à MLI, est basée sur l'analyse du vecteur des courants statoriques. La méthode est considérée pour la détection de ce type de défaut à savoir: l'analyse de la trajectoire du vecteur courant (contour de Park) [16].

3.3.1 L'analyse de la trajectoire du vecteur courant

Dans les conditions idéales, on suppose que $i_A + i_B + i_C = 0$

Les courants statoriques s'expriment sous la forme suivante :

$$i_A = 1/3 (i_a - i_b) \quad (3.13)$$

$$i_B = 1/3 (i_a - 2i_b) \quad (3.14)$$

$$i_C = 1/3 (-2i_a - i_b) \quad (3.15)$$

avec (i_a, i_b, i_c) sont les courants de phases, (i_A, i_B, i_C) sont les courants de ligne. La transformation de Concordia permet de passer d'une représentation triphasée à une représentation biphasée équivalente [10].

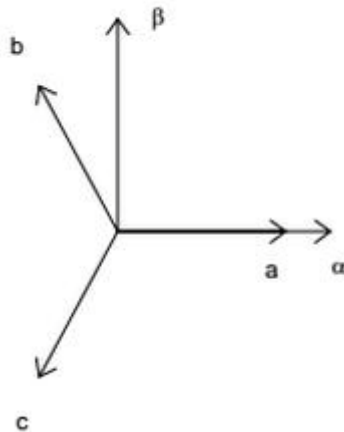


Figure 3.8 Transformation de Concordia

Le système (i_a, i_b, i_c) est transformé à un système biphasé (i_A, i_B, i_C) , les courants biphasés peuvent être donnés par les équations suivantes:

$$I_\alpha = i_a \sqrt{3/2} \quad (3.16)$$

$$I_\beta = \sqrt{2} i_b + \sqrt{2} i_c \quad (3.17)$$

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 rapport Ψ qui représente la pente de la trajectoire moyenne du courant sur un temps discret est défini par :

$$\Psi = \frac{i_{\alpha k} - i_{\alpha k-1}}{i_{\beta k} - i_{\beta k-1}} \quad (3.18)$$

Où k et $k-1$ sont l'instant actuel de calcul et l'instant d'avant.

3.3.1.1 Phase B en défaut : interrupteur ouvert :

Si $Tr2$ ou $Tr5$ est ouvert : le courant de la phase B est nul pendant une demi-période du courant. Les équations (3.13), (3.14) et (3.15) nous donnent $\Psi = \sqrt{3}$ et :

$$I_{\alpha} = \sqrt{3} i_{\beta} \quad (3.19)$$

3.3.1.2. Phase A en défaut : interrupteur ouvert :

Dans le cas de la phase A; avec le même raisonnement $Tr1$ ou $Tr4$ ouvert : les équations (3.13), (3.14) et (3.15) nous donnent et : $\Psi =$ et :

$$i_{\alpha} = 0 \text{ et } i_{\beta} = \sqrt{2} i_B \quad (3.20)$$

3.3.1.3. Phase C en défaut : interrupteur ouvert :

Le défaut concerne la phase C, dans ce cas $Tr3$ ou $Tr6$ ouvert, il vient que

$$\begin{aligned} \Psi &= -\sqrt{3} \text{ et } i_{\beta} = \sqrt{2}/2 i_A \text{ d'où} \\ I_{\alpha} &= -\sqrt{3} i_{\beta} \end{aligned} \quad (3.21)$$

La figure (3.9) illustre les formes de trajectoire de courant de phase Lissajous relatives à chaque interrupteur en défaut.

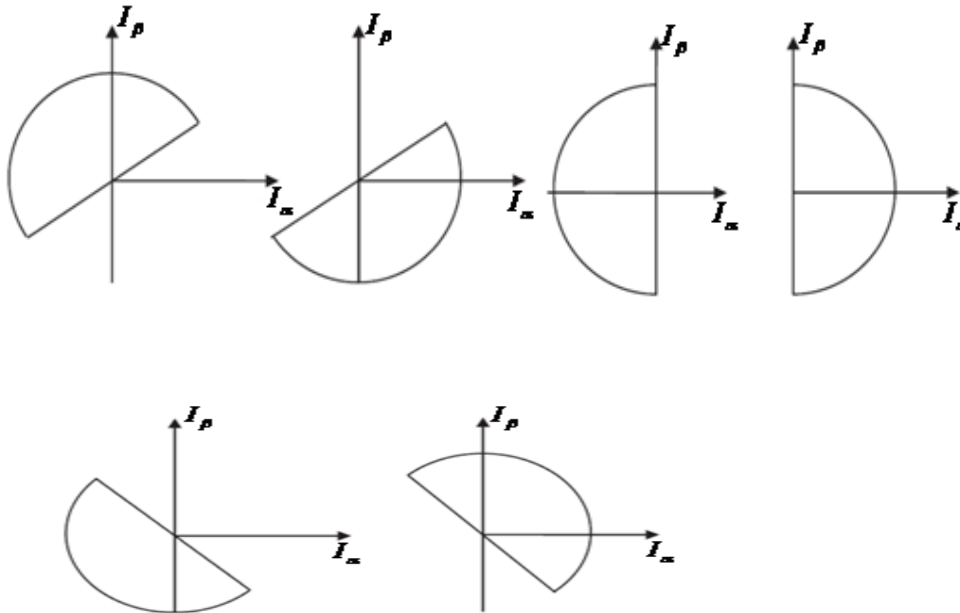


Figure 3.9 Trajectoires du contour de Park dans le référentiel (α, β)

L'observation de la trajectoire des contours de Park figure 3.9, nous observeront que le rapport est constant pendant la moitié de la période et égale à une des constantes mentionnées auparavant. Par conséquent, le bras défectueux dans l'onduleur à MLI peut être localisé en évaluant la valeur de cette constante ψ [16].

3.4 Résultats de simulation

3.4.1 Cas sain (Sans Défaut)

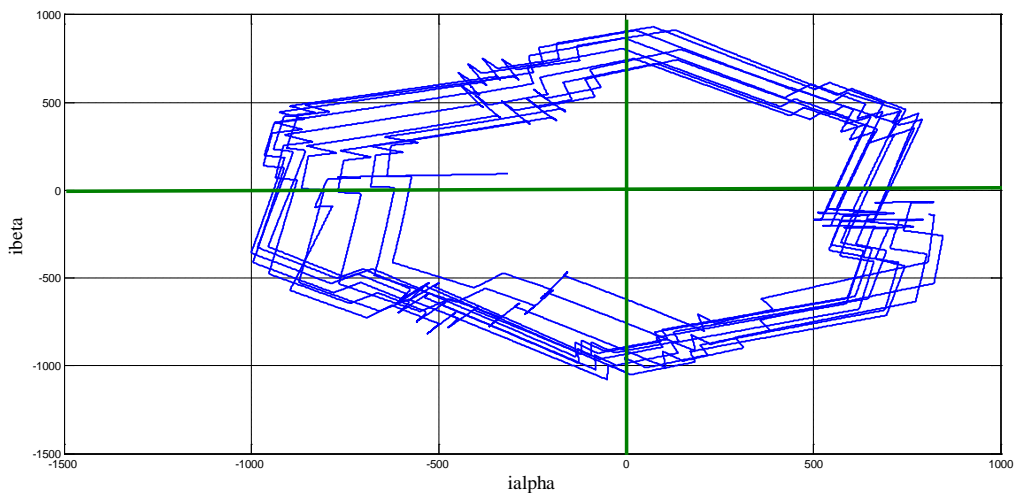


Figure 3.10 Signature 'cas sain'

A l'état sain (Sans défaut), la trajectoire de vecteur courant présente des cercles, figure 3.10

3.4.2 Cas Défaut

Les figures (3.11, 3.12, 3.13 ,3.14, 3.15 ,3.16) représentent les signatures dans le repère de Park dues courants lors d'un défaut dans l'un des interrupteurs :

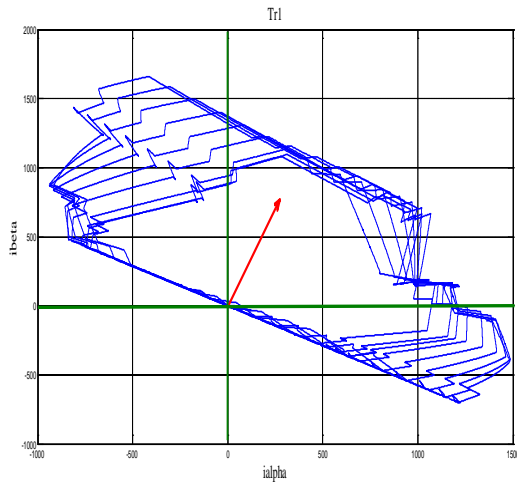


Figure 3.11 Signature 'défaut T_{r1} '

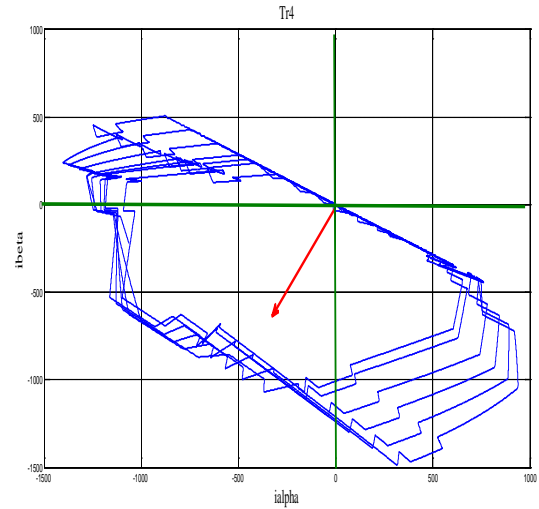


Figure 3.12 Signature 'défaut T_{r4} '

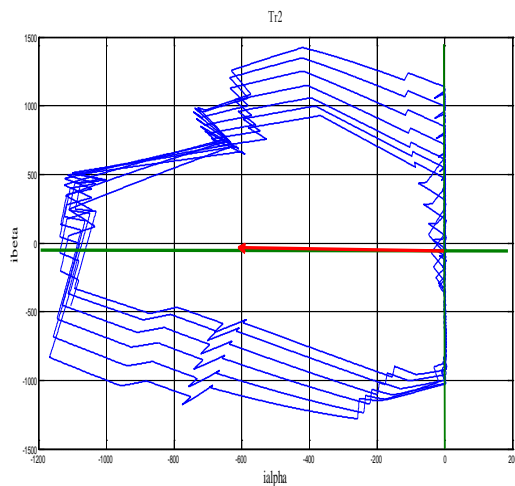


Figure 3.13 Signature 'défaut T_{r2} '

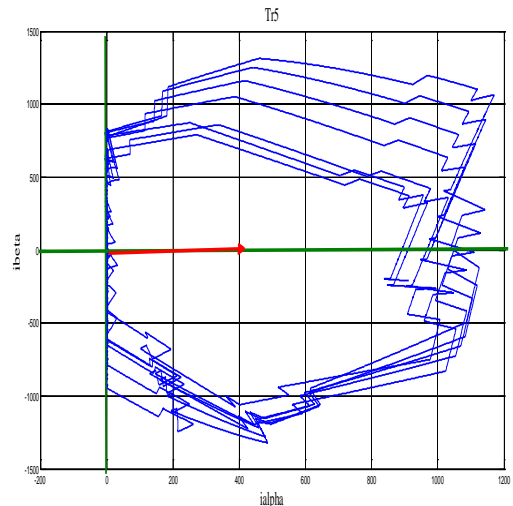


Figure 3.14 Signature 'défaut T_{r5} '

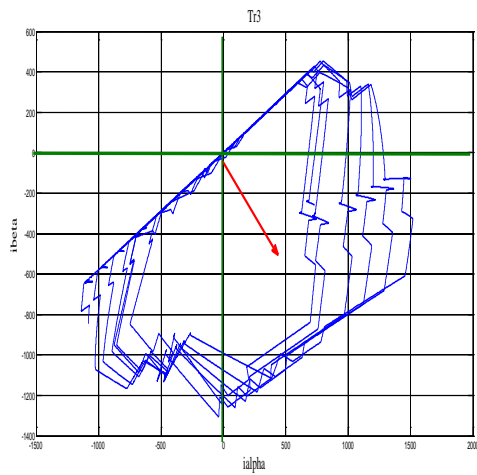


Figure 3.15 Signature 'défaut T_{r3} '

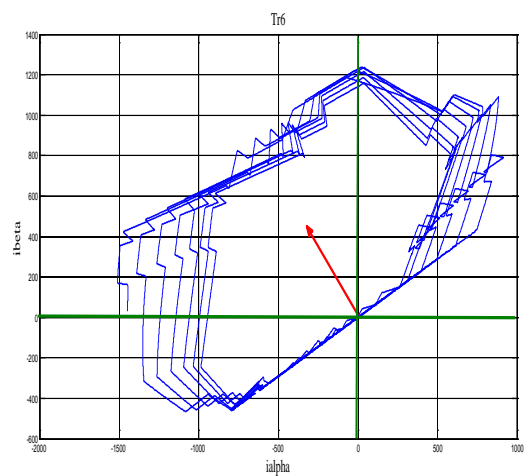


Figure 3.16 Signature 'défaut T_{r6} '

Interprétation :

Dans le cas où l'interrupteur T_{r2} est endommagé, on remarque une demi-ellipse est orienté vers la gauche à la prolongation négative de l'axe Alpha, or quand l'interrupteur T_5 est endommagé nous notons que la demi ellipse est déplacé à la droite de l'axe Alpha, les deux demies ellipses de T_{r2} et T_{r5} sont séparées par un angle de 180° . L'analyse des autres interrupteurs a donnée le même résultat (T_{r1} , T_{r4}) et (T_{r3} , T_{r6}). On note que pour la même cellule, quand un des deux commutateurs est endommagé, leurs demi-ellipses correspondantes sont séparées par un angle de 180° (figure 3.11et 3.12), (figure 3.13 et 3.14), (figure 3.15 et 3.16). Supposons que le défaut est dans la partie supérieure de l'onduleur (T_{r1} , T_{r2} , T_{r3}), leurs demi ellipses correspondants sont séparées par un angle de 120° (figure 3.11, 3.13 et 3.15) et de même si on considère l'endommagement d'un des commutateurs de la position inférieure de l'onduleur (T_{r4} , T_{r5} , T_{r6}). L'angle de séparation entre les demi ellipses est 120° (figure 3.12, 3.14 et 3.16).

3.4. Conclusion

Le programme de simulation étant développé, nous avons considéré l'analyse des résultats de simulation pour le cas de la machine asynchrone associée à l'onduleur sain puis le cas de défauts de chacun des semi conducteurs. Les allures obtenues permettent de détecter et isolé aisément celui qui est en défaut, l'analyse du vecteur courant concerne le suivi de la trajectoire du contour de Park afin de détecter les défauts dans le convertisseur à MLI. La seconde approche estime la fréquence instantanée du vecteur courant. La méthode étudiée et simulée peut s'appliquer pour les onduleurs à deux niveaux dans la pratique. L'analyse des contours de Park dans le référentiel Alpha, Bêta et l'analyse de la fréquence instantanée estimée sont des outils efficaces pour le diagnostic et la localisation de défaut des semi conducteurs défailants. Par ailleurs, si le défaut demeure, les systèmes de protection auront déjà réagi pour arrêter le processus.

CHAPITRE 4

DETECTION ET IDENTIFICATION DES DEFAUTS D'ONDULEUR PAR METHODE DE RESIDUS

4.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la détection de défaut de l'un de semi conducteur de l'onduleur. A cet effet, nous avons utilisé les résidus des courants de phase et nous les avons analysés pour le cas d'ouverture de l'un des semi conducteurs. Enfin, selon l'évolution et les signes résidus nous avons pu détecter et localiser le semi conducteur en défaut.

4.2 Méthode de calcul des résidus

L'approche de génération de résidus repose sur l'estimation des paramètres du modèle.

Les résidus générés peuvent être directement l'écart entre les paramètres nominaux et les paramètres estimés. Les résidus sont générés par un calcul d'angle entre les premières directions principales de référence (représentant le fonctionnement normal) et leur estimation.

L'idée de cette approche est d'effectuer une estimation en ligne des paramètres du modèle.

Des résidus sont générés en comparant la valeur des paramètres en fonctionnement normal à l'estimation courante et le test des résidus obtenus détermine si les changements observés sont significatifs. [17].

4.2.1 Principe de génération des résidus

Le principe de base de la détection des défauts est la génération des résidus qui sera considérée par l'onduleur triphasé à IGBT commandé par modulation de largeur d'impulsion. Le défaut étudié est celui d'ouverture d'un des semi conducteurs de puissance. La détection et la localisation de défaut est basée sur la comparaison du comportement du système réel à surveiller et son modèle. Les vecteurs de sortie du système ou du modèle devront regrouper toutes les grandeurs nécessaires à la détection et la localisation des défauts. Le vecteur résidu n'est autre que la différence entre les grandeurs correspondantes du système réel et de son modèle. La figure (4.1) illustre le principe de détection et de la localisation de défaut d'ouverture de six interrupteurs d'un onduleur à MLI par la génération des résidus est composé par deux modèles en parallèle, l'un du modèle présente l'état sain de l'onduleur et

l'autre modèle de onduleur défaillant au niveau de l'interrupteurs, les moyennes des résidus des trois courants des phases sont utilisées comme des entrées dans le système de décision, où on compare les moyenne des résidus des trois courants des phases par des seuils bien défini pour identifier l'interrupteur défaillant[18].

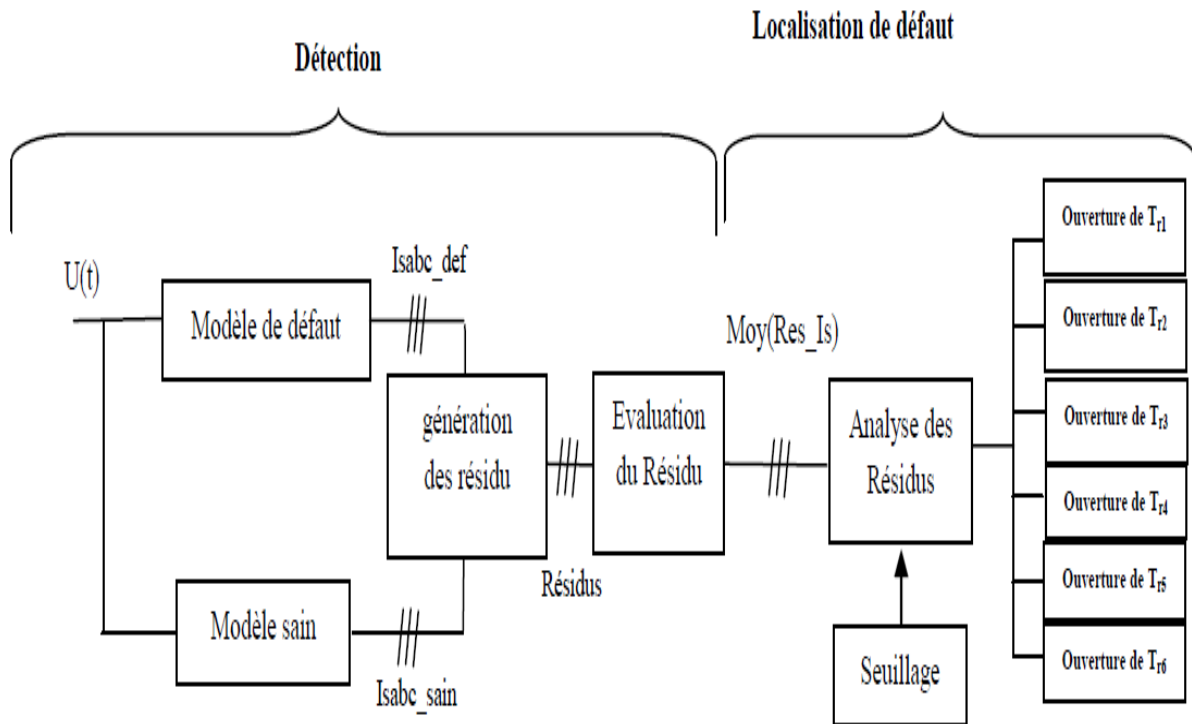


Figure 4.1. Principe de génération des résidus pour la détection de défaut

4.3 Détection et localisation des défaillances

Pour chaque phase, la différence entre le courant réel et celui estimé par le modèle est calculée. L'évaluation des résidus délivrés par les capteurs des courants permet de détecter l'interrupteur en défaut.

4.3.1 Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_1

Pour illustrer l'approche considérée, une simulation du défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_1 à $t=0.8.s$ Les figures présentes l'évolution des résidus des courants statoriques.

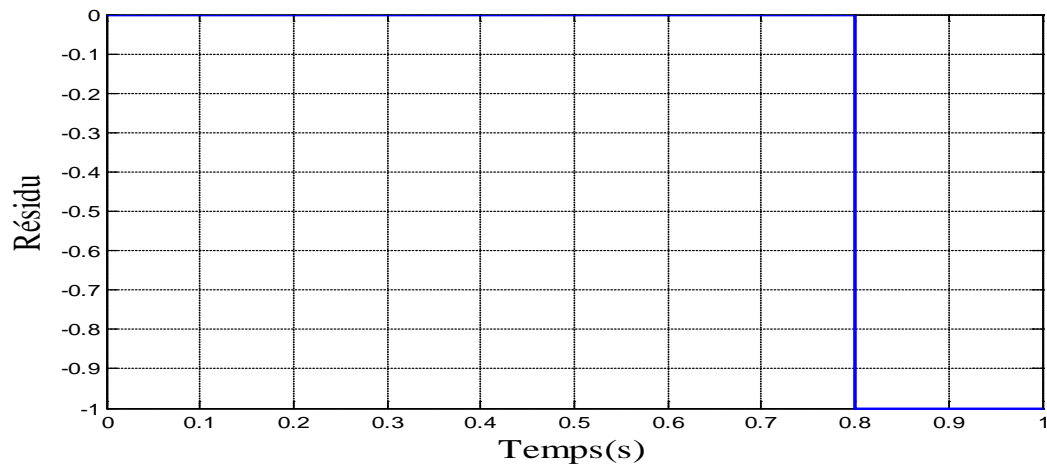


Figure 4.2. Résidu de la phase a 'défaut T_{r1} '

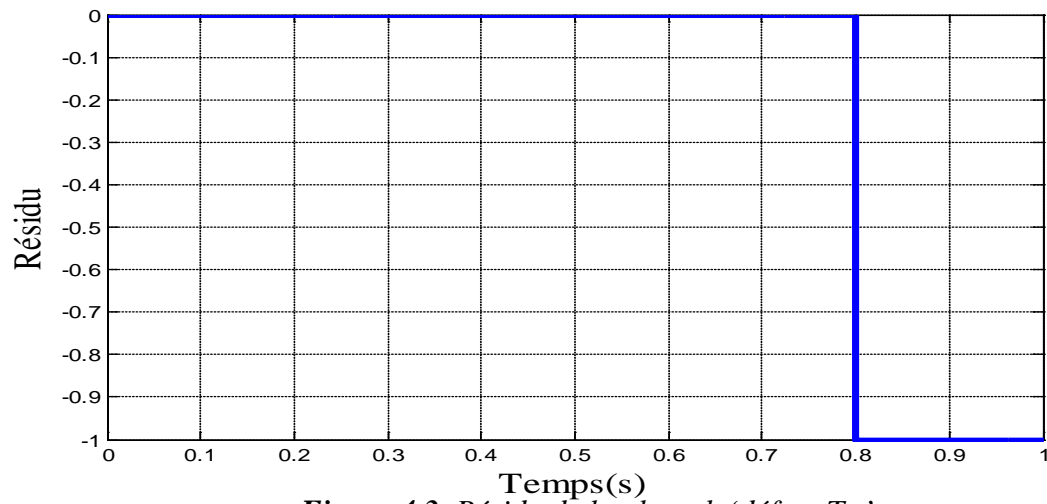


Figure 4.3. Résidu de la phase b 'défaut T_{r1} '

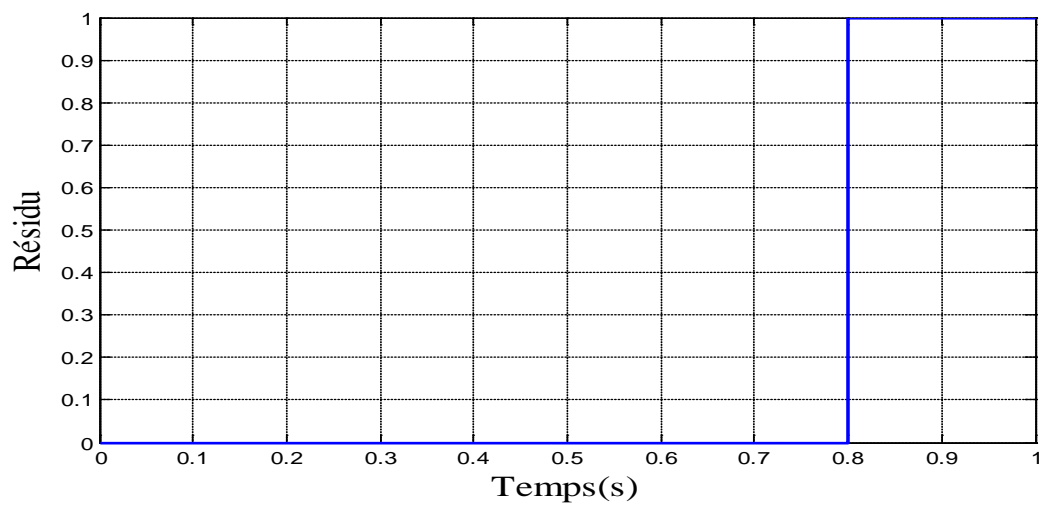


Figure 4.4. Résidu de la phase c 'défaut T_{r1} '

- On remarque que le résidu de la phase (c) prend la valeur négative contrairement aux résidus des autres phases (a) et (b) qui sont positif

4.3.2 Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r2}

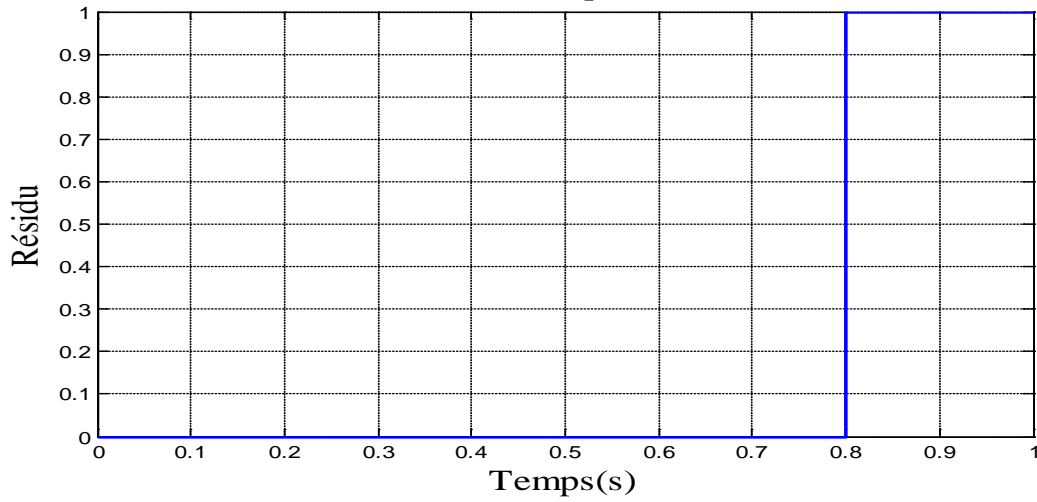


Figure 4.5. Résidu de la phase a 'défaut T_{r2} '

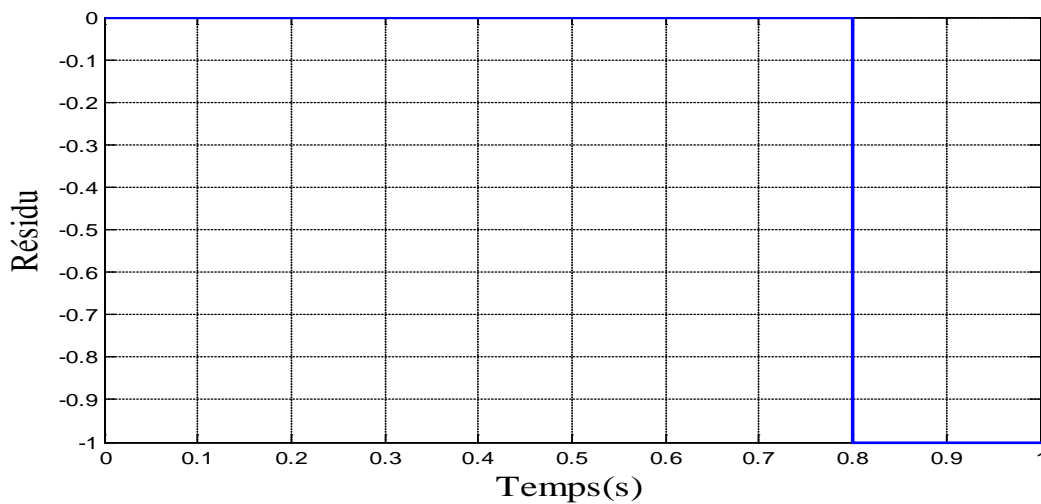


Figure 4.6. Résidu de la phase b 'défaut T_{r2} '

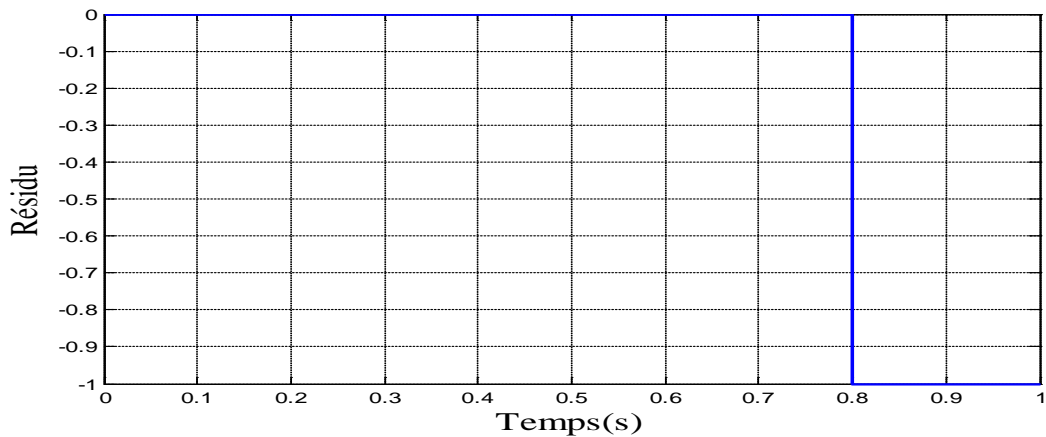


Figure 4.7. Résidu de la phase c 'défaut T_{r2} '

4.3.3 Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r3}

Les résultats présentés expriment la réponse des résidus du système pour le cas de l'application d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur T_{r3}

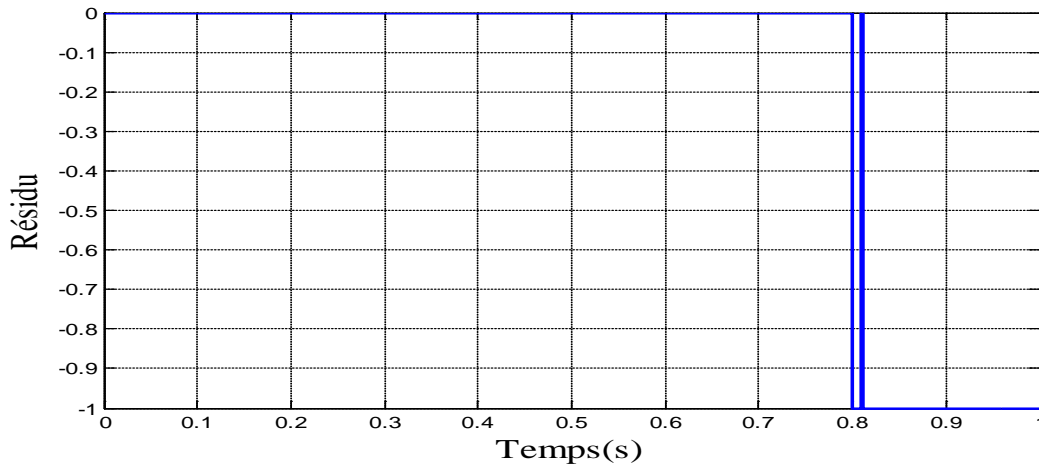


Figure 4.8. Résidu de la phase a 'défaut T_{r3} '

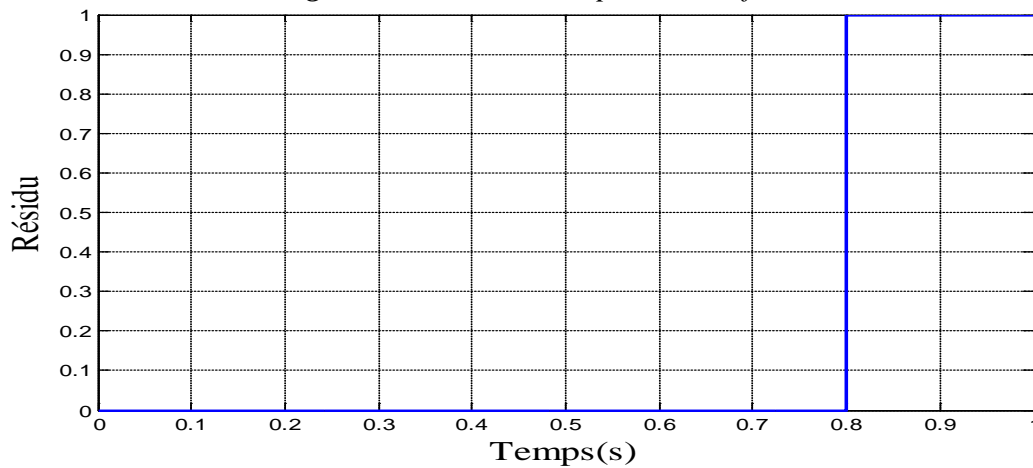


Figure 4.9. Résidu de la phase b 'défaut T_{r3} '

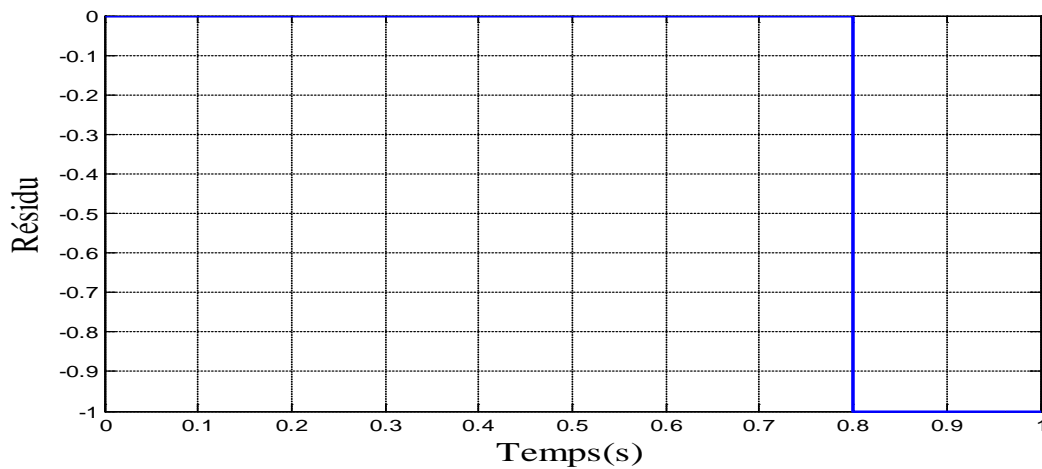


Figure 4.10. Résidu de la phase c 'défaut T_{r3} '

4.3.4. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_4

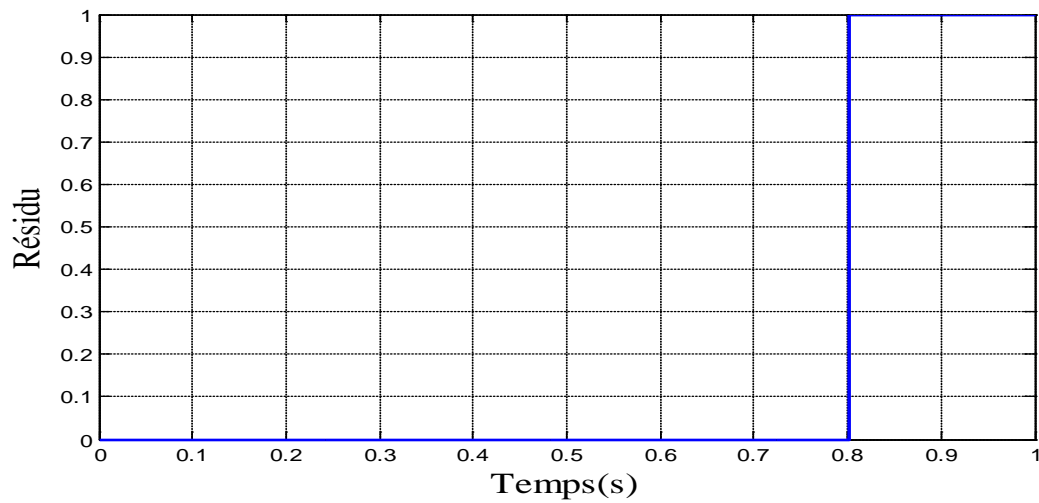


Figure 4.11. Résidu de la phase a 'défaut T_{r4} '

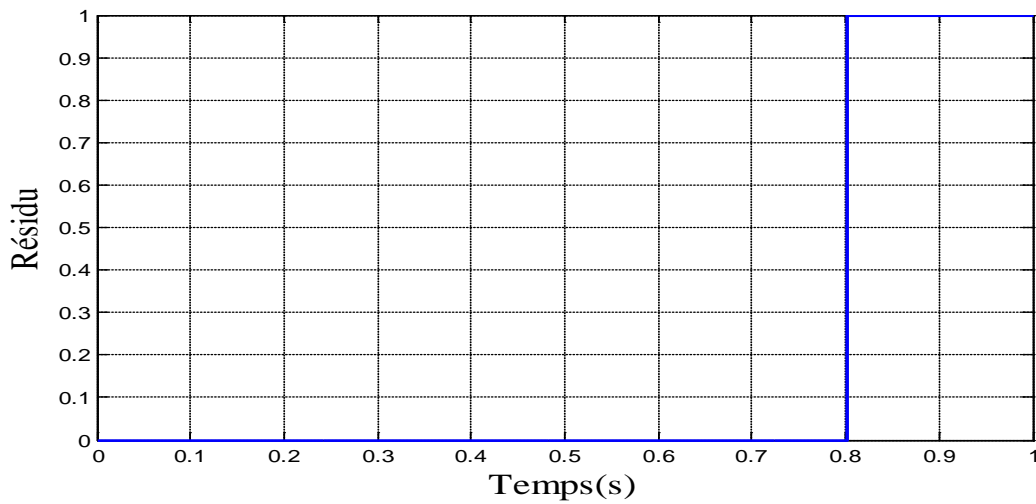


Figure 4.12. Résidu de la phase b 'défaut T_{r4} '

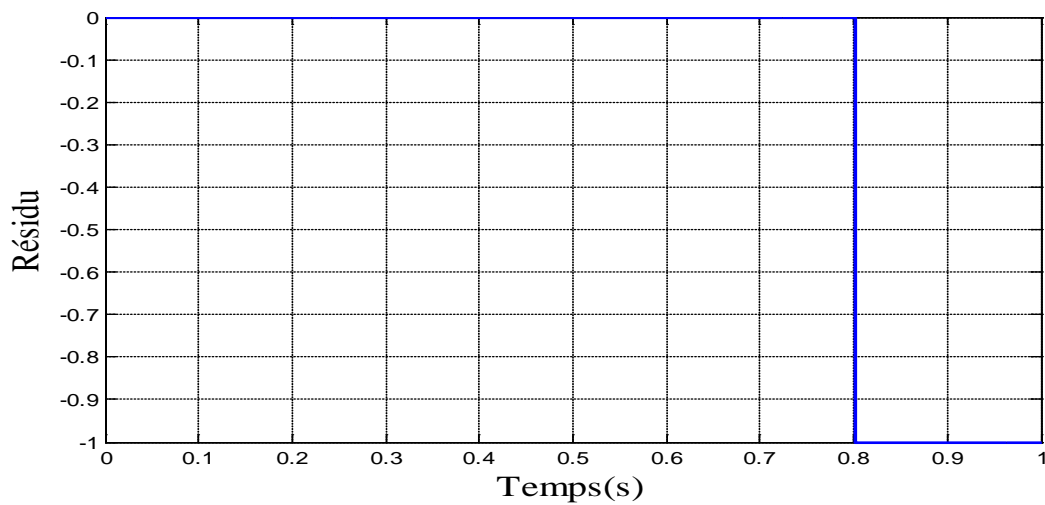
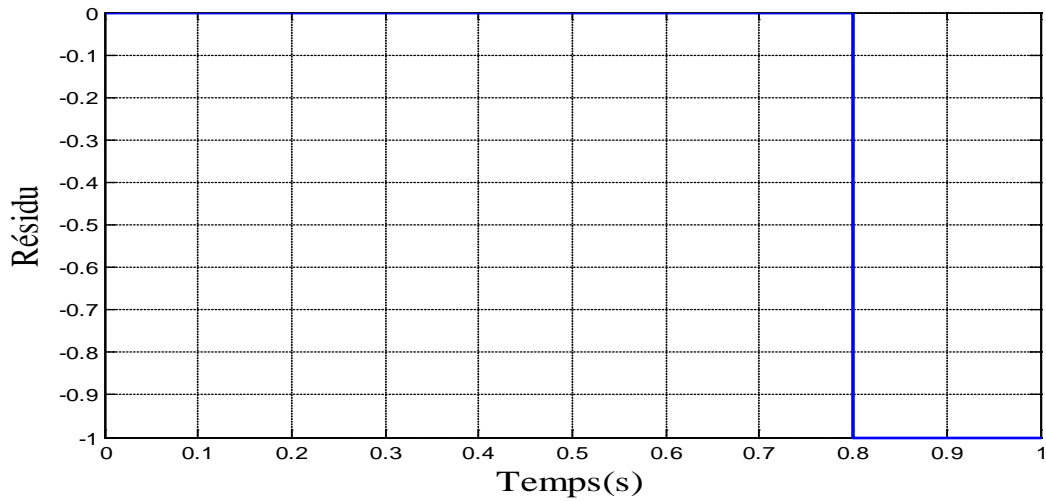
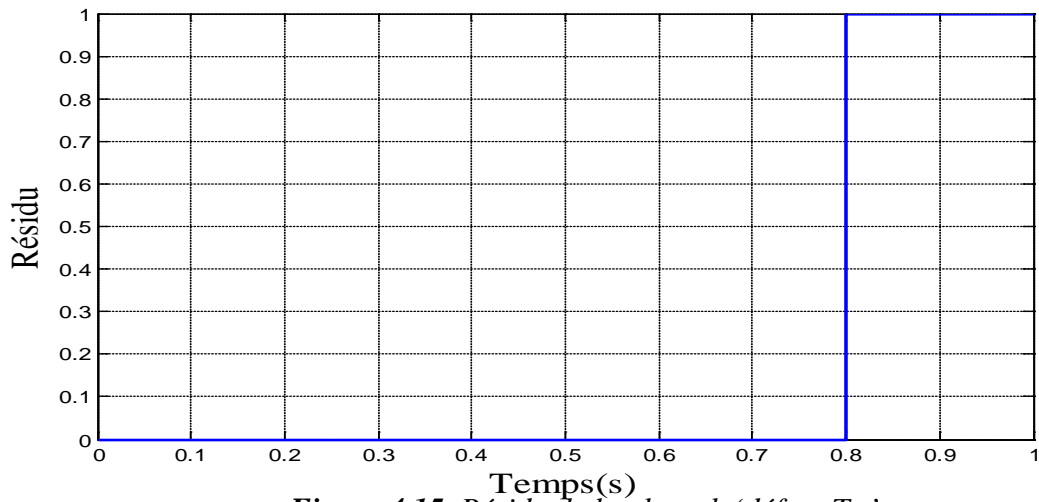
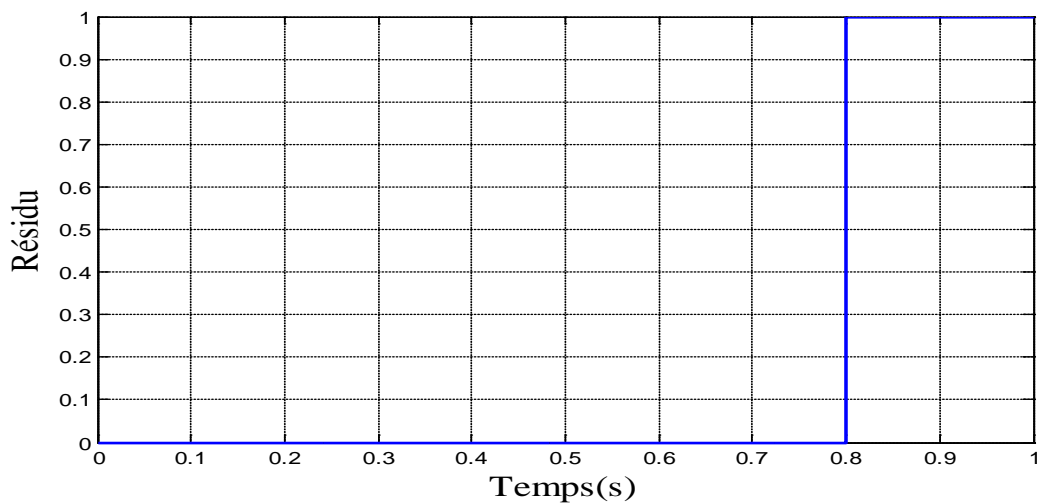


Figure 4.13. Résidu de la phase c 'défaut T_{r4} '

4.3.5. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_5 Figure 4.14. Résidu de la phase a 'défaut Tr_5 'Figure 4.15. Résidu de la phase b 'défaut Tr_5 'Figure 4.16. Résidu de la phase c 'défaut Tr_5 '

4.3.6. Cas d'un défaut d'ouverture de l'interrupteur Tr_6

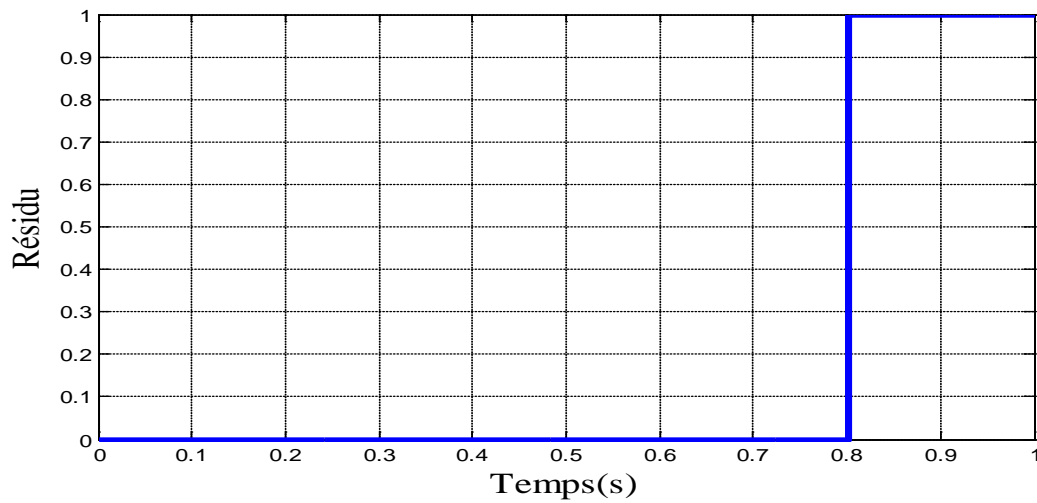


Figure 4.17. Résidu de la phase a 'défaut Tr_6 '

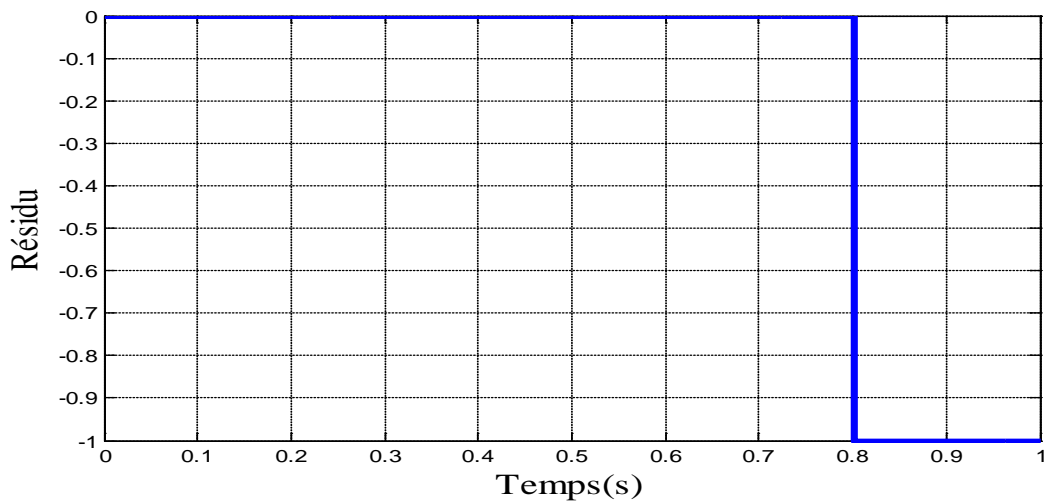


Figure 4.18. Résidu de la phase b 'défaut Tr_6 '

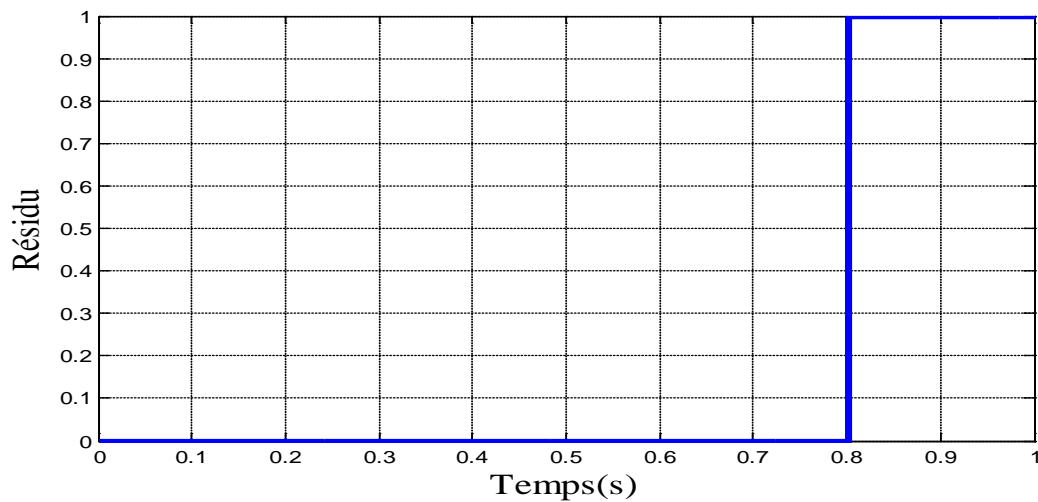


Figure 4.19. Résidu de la phase c 'défaut Tr_6 '

D'après les résultats les signes des résidus sont comme suit [19] :

	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6
Res-1	Négatif	Positif	Négatif	Positif	Négatif	Positif
Res-2	Négatif	Négatif	Positif	Positif	Positif	Négatif
Res-3	Positif	Négatif	Négatif	Négatif	Positif	Positif

Tableau 4.1: Table de signatures théoriques des défauts des interrupteurs

Res-1 : résidu généré pour le courant statorique de la phase a,

Res-2 : résidu généré pour le courant statorique de la phase b,

Res-3 : résidu généré pour le courant statorique de la phase c.

4.4. Interprétation de détection et localisation des défauts

Après analyse de nos résultats, on constate l'évolution des résidus selon les cas suivant :

0	0	0	Sain
-1	-1	1	Tr1
1	-1	-1	Tr2
1	-1	-1	Tr3
1	1	-1	Tr4
-1	1	1	Tr5
1	-1	1	Tr6

Tableau 4.2. Table de l'évolution des résidus

Ceci étant si deux des trois résidus sont de même signe, donc on constate qu'il y a un défaut, et il est situé dans l'un des deux interrupteurs branchés aux bras de l'onduleur ayant des résidus de même signe. Ainsi, on détermine le semi conducteur en défaut en considérant la synchronisation des courants dans les 3 phases. A cet effet, il est dans celui qui est en avance. Par ailleurs, si les résidus de même signe sont négatifs le défaut est dans l'interrupteur du haut pas contre s'ils sont positifs c'est l'interrupteur du bas qui présente le défaut.

4.5. Conclusion

La technique considérée dans cette partie pour le diagnostic de défaut d'un des semi conducteur de l'onduleur s'est avérée prometteuse. En effet, l'analyse a montré que lorsqu'un semi conducteur est en défaut, deux résidus ont le même signe. Alors grâce aux signes et à la synchronisation la localisation est réalisée.

CONCLUSION GENERALE

A l'issue de la réalisation de ce travail de projet de fin d'étude, nous nous sommes initiés aux techniques de diagnostic. Tout en considérant, particulièrement, les défauts d'ouverture des semi conducteurs de puissance du variateur de vitesse (onduleur de tension triphasé).

Grace aux programmes de simulation développés sous l'environnement Matlab/simulink, nous avons pu visualiser le comportement des grandeurs électriques de l'onduleur, tels que, les courants de phases.

Cependant, en appliquant la transformée de Concordia. Le tracé des composants $i_{\beta}=f(i_{\alpha})$ permet de détecter et localiser le défaut ou une de la position de ce tracé résultats.

Egalement, l'application de la technique des résidus (différences entre le courants de cas sain et en cas de défaut) ont permit d'identifier le défaut et de localiser l'interrupteur en défaut. Notons que les deux méthodes développées dans ce mémoire sont simples à implémenter si le matériel est disponible.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

[1] **Bedoud Kholoud** «Modélisation et diagnostic de défaillance d'une électrovanne pneumatique » mémoire de magister Université, de Badji Mokhtar 2010

[2] **Nait Slimani Boukhalfa** « synthèse d'observateur non linéaires : application au diagnostic de défaut » mémoire magister, université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

[3] **Benlaloui Idriss** « commande, observation et diagnostic d'un système non-linéaire : application à la machine asynchrone en présence de défauts » Université de Batna 2 faculté de technologie département d'électrotechnique 2016

[4] **Gaëtan Didier** « modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances » docteur de l'université e Henri le 29 octobre

[5] **Rezgui Salah Eddine** « commande de machine électrique en environnement » , magister en électrotechnique, université mentouri de Constantine, 2009

[6] **Younes Hadjiyasser Gadi** « Détection de défauts dans le convertisseur à MLI d'une machine asynchrone » Sciences et technologies, université kasdi merbah ouargla, 2014

[7] **Abdenour Soualhi** « du diagnostic au pronostic de pannes des entraînements électriques » diplôme de doctorat, l'université claudes bernard lyon 1, 7 août 2006

[8] **Diaf Youssouf** « modelisation et commande d'un onduleur triphase pilote par mli a structure multiniveaux », université kasdi merbah, 2011

[9] **Youcef Soufi**, "Modélisation et diagnostic d'une association convertisseur machine électrique", Thèse de Doctorat d'Etat, Département d'Electronique, Université de Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, le 14 Juin 2012.

[10] **Belhadj saad** « diagnostic des défauts de la machine Asynchrone contrôlée par différentes technique de commande » thèse de doctorat

[11] **Julien dumont** « systeme multiagents pour le diagnostic pluridisciplinaire » specialite : informatique, 5 fevrier 2010

[12] **Allal abderrahim** « grandeur non invasives pour le diagnostic des machine asynchrones » magister en en électronique, 2010

Bibliographie

[13] **guettab abdelkader** «effet de l'alimentation sur la détection des défauts dans une machine asynchrone à cage basée sur l'analyse de signal du courant » en vue de l'obtention du diplôme de magister (école doctorale génie électrique)
option : entraînement des systèmes électriques 2011

[14] **Benali Walid** « Commande LQ d'un moteur synchrone »Mémoire de Magister,
Laboratoire des Systèmes de Propulsion Induction Electromagnétique LSPIE- 2000, Batna,
26/06/2014

[15] **SAHRAOUI Mohamed** «étude comparative des méthode de diagnostic des machine asynchrones », thèse de doctorat , Université Mohamed KHIDER Biskra

[16] **Tahar el bahri (electrical engineer)** «simulation du fonctionnement d'un mas alimenté par onduleur commandé par la mli type svm », école national des sciences appliquer,

[17] **harkat mohamed-faouzi** « détection et localisation de défauts par analyse en composantes principales » formation doctorale en automatique, institut national polytechnique de lorraine

[18] **Noureddine Bessous** « contribution au diagnostic des machines *asynchrones* » diplôme de magister en electrotechnique, université mentouri de constantine,