

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد حباب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الآلية والالكتروتقني
Département d'Automatique & Électrotechnique



Mémoire de Master

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Machines Electriques

Présenté par

LARDJANE Ikram

&

ROUABAH Rofeida

Détection de défaut de capteur à effet Hall pour la MAS

Proposé par : Pr FERDJOUNI. A & EL MERRAOUI. K

Année Universitaire 2023-2024

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH qui nous a donné la force et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Ensuite, nous souhaitons en particulier remercier nos parents pour leur amour et leur soutien inconditionnel tout au long de notre vie et pour leurs nombreuses années de sacrifice et d'éducation.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant, le Pr. FERDJOUNI Abdelaziz, pour ses précieux conseils et son soutien tout au long de cette période de travail.

Nous tenons également à remercier particulièrement notre Co-promotrice madame

EL MERRAOUI Khadidja pour ses conseils, son soutien, sa disponibilité et son suivi durant la période de réalisation ce travaille.

Nous sommes très reconnaissants envers l'administration, l'équipe pédagogique de l'université SSAD DAHLAB BLIDA 01 et nos enseignants pour la qualité de la formation que nous avons reçue au cours de ces 5 dernières années. Nous leur adressons nos sincères remerciements.

Je remercie aussi mon binôme ROUABAH rofeida pour leur patience et leur soutien.

Nous souhaitons adresser aussi nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Leur contribution a été inestimable et nous sommes profondément reconnaissants envers eux pour leur soutien et leur engagement envers notre travail.

DEDICACE

À ma chère mère, Pour ton amour inconditionnel, ta patience infinie et ton soutien constant. Ta force et ton dévouement ont été ma source d'inspiration et ma motivation tout au long de ce parcours. Ce mémoire est autant le tien que le mien.

À mon père, Pour tes précieux conseils, ta sagesse et ta confiance en mes capacités. Ton encouragement m'a permis de surmonter les obstacles et de toujours viser plus haut. Merci de croire en moi. je t'aime papa.

À mes sœurs Rania et Loubna, Pour votre complicité, vos rires et votre soutien indéfectible. Chacun de vous a apporté une part de bonheur et de sérénité dans ma vie, m'aidant ainsi à réaliser ce projet.

À mon petite frères Aissa Pour ton soutien indéfectible et ta présence constante à mes côtés.

À mes amis : Samra, les deux Marouat , Rania ,Meija, Bessmala , Samah ,Khaoula ,Amira et Mounia ,Wafaa,Lamis ,Pour votre amitié sincère, votre aide précieuse et votre compréhension. Vous avez été présents dans les moments de doute comme dans les instants de joie.

À mes cousines et mes cousins : Chahira, Malak, Bessma, Ibrahim, Youcef

Pour vos encouragements, votre bienveillance et vos mots réconfortants.

A mon ami MOUSSOUS Rafik Merci pour tout soutien indéfectible tout au long de cette aventure.

A mes amis de promo, mes enseignants et à ceux qui m'ont donné l'aide un jour, que Allah vous paye pour tous vos bienfaits. Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédié ce mémoire.

Ce mémoire est le fruit de l'amour, du soutien et de l'encouragement de vous tous. Merci de m'avoir accompagné dans cette aventure et de m'avoir aidé à atteindre cet objectif. Avec toute ma gratitude et mon affection,

L.Ikram

Dédicace

A ma chère maman, ma raison de vivre, en témoignage de ma reconnaissance pour sa patience, son amour, ses conseils et ses sacrifices.

A mon cher papa, pour son amour, ses efforts, ses conseils et pour tout l'encouragement

A mes chers frères Abdelaziz et Mohamed Aness,

A ma chère sœur Rihab,

Pour ses soutiens morale et leurs amours, que Allah vous garde pour moi.

A mes grands-parents,

Que je souhaite une bonne santé.

A toute ma famille,

A mon cher binôme, Ikram LARDJANE

Pour son entente, sa sympathie et son amour.

A mes chères amies, Maroua, Maroua, Rania, Samah, khaoula, Ihsène, Samra, Hind, fati, sarah, et surtout Ikram MEKKI, Khaoula ATCHI

Pour leurs aides et leurs supports dans les moments difficiles.

A mes amis de promo, mes enseignants et à ceux qui m'ont donné l'aide un jour, que Allah vous paye pour tous vos bienfaits. Pour finir, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je dédie ce mémoire.

R.Rofaida

الهدف الأساسي لهذا المذكرة هو اقتراح طريقة لكشف وتحديد مواقع العيوب في أجهزة قياس التيار بتأثير هول للمحركات غير المتزامنة (MAS). تعتمد هذه الطريقة على إنشاء بقايا باستخدام المراقبين. يتم استخدام إستراتيجية GOS. يعتمد المراقبين (Luenberger) على نظام يولد إشارات ثلاثية المراحل , مماثلة لتيارات المحرك غير المتزامن بدون عيوب لتوليد هذه البقايا. تؤكد محاكاة سيناريوهات عديدة لعيوب في المستشعر صحة هذا النهج.

الكلمات المفتاحية: مستشعر، تأثير هول، بقايا، GOS، مراقب، Luenberger

RESUME

L'objectif fondamental de ce mémoire est de proposer une méthode permettant de détecter et localiser des défauts dans les capteurs de courant à effet Hall de la machine asynchrone (MAS). Cette méthode est basée sur la génération des résidus à base d'observateurs. La stratégie GOS est utilisée. Des observateurs de Luenberger basés sur un système générant des signaux triphasés analogues aux courants d'une machine asynchrone, sans défauts, sont utilisés pour générer ces résidus. Des simulations de plusieurs scénarios de défauts de capteur valident cette approche.

Mots clé : capteur, effet hall, résidus, GOS, observateur, Luenberger

Abstract

The fundamental aim of this thesis is to propose a method for detecting and locating faults in asynchronous machine current transducers. This method is based on observer-based residual generation. The GOS strategy is used. Luenberger observers based on a system generating three-phase signals analogous to the currents of an asynchronous machine, without faults, are used to generate these residuals. Simulations of several sensor fault scenarios validate this approach.

Keywords : sensor, hall effect, residual, GOS, observer, luenberger

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 01 : MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE	3
1.1. INTRODUCTION	4
1.2. DEFINITION	4
1.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	4
1.4. CONSTITUTION DE LA MAS	5
1.4.1. Le Stator	5
1.4.2. Le Rotor	6
1.5. TRANSFORMATION DE PARK	6
1.6. CHOIX DE REPERE (d-q).....	7
1.7. HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES	8
1.8. MODELISATION D'UNE MAS	8
1.8.1. Equations Electriques et magnétiques	8
1.8.2. Equation mécanique	13
1.9. MODELE D'ETAT DANS UN REPERE LIE AU STATOR	13
1.10. RESULTATS DE SIMULATION DE LA MAS	14
1.11. CONCLUSION :	17
CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS	19
2.1. INTRODUCTION	20
2.2. DEFINITION D'UN CAPTEUR.....	20
2.3. CAPTEUR A EFFET HALL	20
2.4. CAPTEUR A EFFET HALL LEM.....	21
2.4.1. Les Capteurs De Tension	21
2.4.2. Types De Signaux De Sortie	21
2.4.3. Capteurs De Courant A Effet Hall en Boucle Ouverte	23
2.4.4. Les Capteurs De Courant A Effet Hall A Boucle Fermé	25
2.5. TERMINOLOGIES	27
2.6. CLASSES DES DEFAUTS DE CAPTEURS	28
2.6.1. Modélisation De Défaut	29
2.6.2. Types Des Défauts	29
2.7. PERFORMANCES DE DETECTION	30
2.8. METHODE DE DETECTION ET LOCALISATION DES DEFAUTS	30
2.8.1 Espace De Parité :	32
2.8.2 Par Estimation :	32
2.8.3 Par composants principales.....	32

2.8.4	Par tests statistique	32
2.9	CONCLUSION.....	33
CHAPITRE 03 : GENERATION DES RESIDUS.....		34
3.1.	INTRODUCTION :	35
3.2.	PRINCIPE DE GENERATION DES RESIDUS.....	35
3.3.	DETECTION ET LOCALISATION DES DEFAUTS.....	37
3.4.	GENERALITE SUR L'OBSERVATEUR.....	39
3.4.1.	Observateurs Linéaires	39
3.4.2.	Observateurs non Linéaires	39
3.5.	Structure des résidus générés à base d'observateur	40
3.5.1.	Structure d'observateur simplifié (SOS).....	40
3.5.2.	Structure d'observateurs dédiés(DOS	41
3.5.3.	Structure d'observateur généralisé	41
3.6.	OBSERVATEUR DE LUENBERGER	42
3.7.	DEVLOPPEMENT DES EQUATION D'OBSERVATEUR	43
3.8.	SIMULATION ET COMMENTAIRE.....	45
3.9.	CONCLUSION :	62
CONCLUSION GENERALE.....		63
REFERENCES		65

TABLE DES FIGURES

Chapitre 01 : modélisation de la MAS

FIGURE (1.1) : CONSTITUTION DE LA MAS.	5
FIGURE (1.2): IMAGE DE STATOR	6
FIGURE (1.3): IMAGE DE ROTOR [4].	6
FIGURE (1.4): REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU PRINCIPE DE LA TRANSFORMATION DE PARK [5].	7
FIGURE (1.5): LES COURANTS STATORIQUE.	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (1.6): LES COURANT IDS ET IQS.	14
FIGURE (1.7): FLUX ROTORIQUE.	15
FIGURE (1.8): LA VITESSE DANS LA MAS.	15
FIGURE (1.9): COUPLE ELECTROMAGNETIQUE.	16

Chapitre 02 : les capteurs

FIGURE (2.1) : CLASSIFICATION DES DEFAULTS.	20
FIGURE (2.2): PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU CAPTEUR.	20
FIGURE (2.3): PRINCIPE DE LA MESURE DES TENSIONS.	21
FIGURE (2.4): SIGNAL DE SORTIE DE LA SERIE LTS ET HTS.	22
FIGURE (2.5): ILLUSTRATION DE L'EFFET HALL.	23
FIGURE (2.6): CONVERSION DU COURANT PRIMAIRE EN TENSION DE SORTIE.	24
FIGURE (2.7): COURBE DE MAGNETISATION.	24
FIGURE (2.8): FONCTIONNEMENT D'UN CAPTEUR A BOUCLE FERME.	25
FIGURE (2.9): PLAGE DE FREQUENCES DU MODE HALL A BOUCLE FERMEE ET TRANSFORMATEUR DU COURANT.	26
FIGURE (2.10) : (A) ERREUR ZERO ET (B) D'ECHELLE.	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (2.11): (A) L'ERREUR LINEAIRE ET (B) L'ERREUR LINEAIRE.	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (2.12): MODELISATION DES DEFAULTS ADDITIFS ET MULTIPLICATIFS.	29
FIGURE (2.13): EVOLUTIONS TEMPORELLES DE DIFFERENTS TYPES DES DEFAULTS.	30
FIGURE (2.14): ARCHITECTURE DE REDONDANCE PHYSIQUE ET ANALYTIQUE.	32

Chapitre 03 : génération des résidus

FIGURE (3.1): STRUCTURE GENERALE D'UN GENERATEUR DES RESIDUS.	36
FIGURE (3.2): SCHEMA DE PRINCIPE DE L'OBSERVATEUR.	39
FIGURE (3.3): SCHEMA DE PRINCIPE DU DIAGNOSTIC DES DEFAULTS A BASE D'OBSERVATEURS.	40
FIGURE (3.4): STRUCTURE D'OBSERVATEUR SIMPLE.	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3.5): STRUCTURE D'OBSERVATEUR DEDIE(DOS).	41

FIGURE (3. 6): STRUCTURE D'OBSERVATEUR GENERALISE.....	42
FIGURE (3. 7): SCHEMAS DE PRINCIPE DE L'OBSERVATEUR DE LUENBERGER.	43
FIGURE (3. 8): SCHEMAS BLOC DE LA MACHINE ASYNCHRONE AVEC L'OBSERVATEUR.	47
FIGURE (3. 9): DEFAUTS DE CAPTEUR 01.....	48
FIGURE (3. 10): RESULTAT DE SIMULATION DEFAUT 1.....	48
FIGURE (3. 11): SIMULATION DEFAUT 3.	48
FIGURE (3. 12): SIMULATION DEFAUT 3.	48
FIGURE (3. 13): LES RESIDUS DE DEFAUT DE CAS 1.	49
FIGURE (3. 14): DEFAUT SUR LE CAPTEUR 1	50
FIGURE (3. 15): DEFAUT SUR SUR LE CAPTEUR 2.....	50
FIGURE (3. 16): DEFAUT SUR CAPTEUR 3.....	50
FIGURE (3. 17): LES RESIDUS DE CAS DE 2 CAPTEURS EN DEFAUT.	51
FIGURE (3. 18): DEFAUT SUR DE CAPTEUR 1.	52
FIGURE (3. 19): DEFAUT SUR DE CAPTEUR 2.	52
FIGURE (3. 20): DEFAUT SUR CAPTEUR 3.....	52
FIGURE (3. 21): LES RESIDUS 3 CAPTEURS EN DEFAUT.	53
FIGURE (3. 22): LES RESIDUS DEFAUT GRADUEL (RAMP).	55
FIGURE (3. 23): LES RESIDUS DEFAUT RAMP EN DEUX CAPTEURS.	56
FIGURE (3. 24): LES RESIDUS EN DE TOUS LES CAPTEURS EST EN DEFAUT.	58
FIGURE (3.25): LES RESIDUS EN CAS DEFAUT ECHELON SUR 1 CAPTEUR AVEC UN AUTRE DEFAUT DE COURT DE CIRCUIT.....	59
FIGURE (3.26): DEFAUT SUR CAPTEUR 1.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3. 27): DEFAUT SUR CAPTEUR 2.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3. 28): DEFAUT SUR CAPTEUR 3.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3. 29): LES RESIDUS EN CAS DE DEFAUT DE CAPTEUR 02 AVEC UN DEFAUT DE DESEQUILIBRE.	60
FIGURE (3- 30): DEFAUT SUR CAPTEUR 1.	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3. 31): DEFAUT SUR CAPTEUR 2.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3.32): DEFAUT SUR CAPTEUR 3.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURE (3.33): LES RESIDUS EN CAS D'UN DEFAUT ECHELON AVEC UNE CHARGE DE 3.8N/M.	61

Liste d'abréviation

L_S : Matrice d'inductances statoriques

L_R : Matrice d'inductances rotoriques

L_{RS} : Matrices des inductances mutuelles stator-rotor.

L_{ms} : Inductance de magnétisation statoriques.

L_{mr} : Inductance de magnétisation rotoriques.

L_{ls} : Inductance de fuite statorique

L_{lr} : Inductance de fuite rotorique

L_{sr} : Inductance mutuelle maximale stator-rotor.

ω_S : La pulsation statorique

ω_R : La pulsation rotorique

J : L'inertie de la partie tournante

C_e : Le couple électromagnétique

C_r : Le couple résistant

f_v : Coefficient de frottement

T_s : Constante de temps statorique.

T_r : Constante de temps rotorique.

δ : Constante de blander

K : constante de Hall du matériau utilisé.

d : épaisseur de la plaquette signal d'offset de la cellule en l'absence de champ externe

\hat{x} : Vecteur d'état reconstruit par l'observateur.

\hat{Y} : Vecteur de sortie de l'observateur.

d-q : Système de coordonnées directes et quadratures

x(t) : est le vecteur d'état

u(t) : est le vecteur d'entrée

y(t) : est le vecteur de sortie

A, B, C : sont les matrices du système

L : est la matrice de gain de l'observateur

GOS : Génération des Observateurs Simplifiés

MAS : Machine Asynchrone

SOS : Structure d'Observateur Simplifié

DOS : Structure d'Observateurs Dédiés

LTS : Low Tension Sensor (Capteur de Courant à Basse Tension)

HTS : High Tension Sensor (Capteur de Courant à Haute Tension)

R_h : Constante de Hall

V_h : Tension de Hall

I_c : Courant de Commande

B : Induction Magnétique

d : Épaisseur de la Plaquette

V_{os} : Signal d'Offse

M₀ : l'amplitude du signal initial

∅ : l'angle initial

I_{mes} : courant mesurer

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

De plus en plus, les automaticiens se préoccupent des problèmes de surveillance des défauts, dans les processus industriels. En effet, l'automatisation des procédés dans l'industrie a atteint un niveau élevé, ce qui fait que la surveillance manuelle est devenue obsolète, difficile à réaliser et même à gérer.

En outre, pour certains processus, des pannes ou des erreurs de capteurs non détectées peuvent entraîner des fausses alarmes ou des accidents dangereux (centrales nucléaires, aéronautique, etc.). La détection d'un défaut doit permettre d'éviter ce genre de problème, d'améliorer considérablement la disponibilité du processus et de réduire les coûts de sa maintenance. On dit qu'il y a un défaut dans un système dynamique lorsque la différence entre le comportement du système et son modèle nominal est importante.

Le capteur occupe une place centrale dans une installation industrielle. Il est important de noter que le capteur étant le collecteur d'information sur le processus, on ne peut détecter un défaut sur celui-ci que si l'information qu'il délivre est comparée à une ou plusieurs autres informations redondantes.

Dans cette étude nous nous intéressons à la détection de défauts d'un instrument de mesure des grandeurs physiques qui est le capteur, considéré comme l'organe de la chaîne de mesure le plus sensible car sa qualité est liée à la sienne.

Plusieurs approches de détection des défauts ont été élaborées selon leurs natures. Lorsque la sécurité de fonctionnement de l'installation industrielle est fondamentale, on a recours à la redondance matérielle qui utilise un ensemble de capteurs redondants (au moins trois). Dans les unités industrielles existantes, l'installation de capteurs supplémentaires pour réaliser la redondance est souvent irréalisable à cause de l'espace étroit qui est réservé pour un seul capteur, ou à cause du coût financier prohibitif. En outre, une panne commune à tous les capteurs est toujours possible du fait que ceux-ci peuvent avoir, par exemple, la même alimentation électrique.

Pour parer à ces inconvénients, il faut recourir aux informations délivrées par les autres capteurs. On utilise alors la redondance analytique qui est basée sur la combinaison des signaux d'information disponibles (les entrées et les mesures connues) et d'un modèle mathématique du système.

Dans le présent sujet, on se propose de détecter et localiser les défauts basés sur le modèle dynamique continue du procédé et plus précisément nous avons focalisé notre recherche sur les défauts provenant des capteurs.

Les divers défauts qui peuvent apparaître sur les capteurs doivent être inventoriés et modélisés (modélisation du défaut). Pendant le développement et la mise en œuvre les méthodes, nous avons retenus la modélisation du défaut additif.

Ce mémoire comporte, outre cette introduction, trois chapitres et une conclusion générale avec les perspectives.

Le premier chapitre a été consacré à l'étude de la machine asynchrone. Nous avons exploré sa structure, son fonctionnement et son importance dans les applications industrielles. La compréhension des dynamiques et des caractéristiques des machines asynchrones est essentielle pour concevoir des systèmes de détection de défauts efficaces, car elle permet de définir précisément les paramètres et les comportements attendus du système sous surveillance.

Le second chapitre expose la terminologie employée dans le domaine de détection et localisations des défauts des capteurs. Ensuite, la présentation des différentes classes des défauts et leurs types. A la fin du chapitre on trouve une brève description de quelques méthodes de détection.

Le dernier chapitre est composé de deux sections pour détailler la méthode de détection de défaut au niveau des capteurs de courant de la MAS.

La première section présente les générations des résidus a base d'observateurs de Luenberger. La deuxième partie présente l'utilisation du signal maximum sur les résidus pour la détection de défauts de capteurs a effet Hall.

On termine ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE 01 :

MODELISATION DE LA

MACHINE ASYNCHRONE

1.1. INTRODUCTION

Dans la plupart des entraînements électriques, le moteur asynchrone est le plus couramment employé. Il a principalement l'avantage de ne pas avoir de contacts électriques glissants, ce qui entraîne une structure simple, robuste et facile à construire. Le stator est directement connecté au réseau industriel à tension et fréquence constante, et il tourne à une vitesse très proche de la vitesse de synchronisme. Il est utilisé pour effectuer la quasi-totalité des entraînements à vitesse constante. Il offre également la possibilité de réaliser des entraînements à différentes vitesses et son influence dans ce domaine ne cesse d'augmenter. Dans ce chapitre, nous commençons par rappeler la structure de la machine asynchrone et son principe de fonctionnement. Un développement de modèle d'état de la MAS est ensuite effectué.

1.2. DEFINITION

La machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont le stator et le rotor sont mécaniquement séparés. Le rotor peut être bobiné ou à cage d'écureuil.

1.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement de la machine repose sur les lois fondamentales de l'induction électromagnétique. En effet, le stator alimenté par un système de tensions triphasées équilibrées crée un champ magnétique tournant. La vitesse de rotation du champ tournant statorique N_s , appelée vitesse synchrone, est rigidement liée à la fréquence de la tension d'alimentation f (Hz) et au nombre de paires de pôles p de chacun des enroulements par :

$$N_s = \frac{60f}{p} ; [tr/min] \quad (1-1)$$

Soumis au champ tournant créé par le stator, les enroulements rotoriques sont le siège d'un système de forces électromotrices triphasées engendrant elles-mêmes trois courants rotoriques. Ces courants rotoriques par leurs effets vont s'opposer à la cause qui leur a donné naissance. Ainsi, les effets de l'induction statorique sur les courants induits rotoriques se manifestent par un couple électromagnétique qui lance le rotor à une vitesse N en essayant d'atteindre la vitesse synchrone mais en vain. Il est évident que le couple s'annule si le rotor arrive à tourner à la vitesse synchrone. Le fonctionnement du moteur est donc caractérisé par le glissement défini ainsi :

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (1-2)$$

Contrairement à la machine à courant continu et la machine synchrone, seuls les enroulements statoriques sont généralement reliés au réseau de tensions créent cette induction motrice. Les

CHAPITRE 01 : MODELISATION DE LA MAS

enroulements rotoriques ne sont pas reliés à aucune source de tension, mais court-circuités sur eux-mêmes c'est la raison pour laquelle, on l'appelle aussi la machine d'induction [1].

1.4. CONSTITUTION DE LA MAS

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction 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. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil. Toutefois, nous admettrons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit[2].

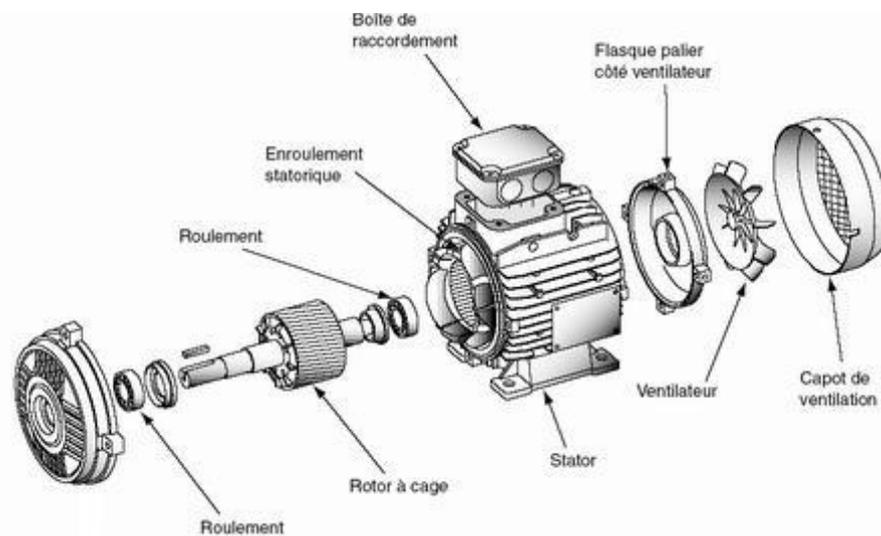


Figure (1.1) : constitution de la MAS.

Les éléments de constitution d'une machine asynchrone illustrés dans la figure (1-1) sont :

1.4.1. Le Stator

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine figure (1.2). Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines[2].



Figure (1.2): Image de stator .

1.4.2. Le Rotor

Un rotor est la partie tournante d'une machine électrique ou mécanique. Dans le contexte des moteurs électriques, comme les moteurs asynchrones, le rotor est l'élément interne qui tourne sous l'influence du champ magnétique créé par le stator, convertissant ainsi l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe principalement deux types de rotors : le rotor en cage d'écureuil et le rotor bobiné, chacun ayant des applications spécifiques en fonction des besoins en performance et en contrôle du moteur [3].



Figure (1.3): Image de rotor [3].

1.5. TRANSFORMATION DE PARK

La transformation de Park est constituée d'une transformation triphasée-biphasée suivie d'une rotation. Elle permet de passer du repère a,b,c vers le repère mobile d-q. 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 (resp. par θ_r) l'angle de la transformation de Park des grandeurs statoriques (resp. rotoriques) (ceci se fait en liant les angles θ_s et θ_r par la relation : $\theta_s = \theta_r + \theta$ [4]).

$$[K_s] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

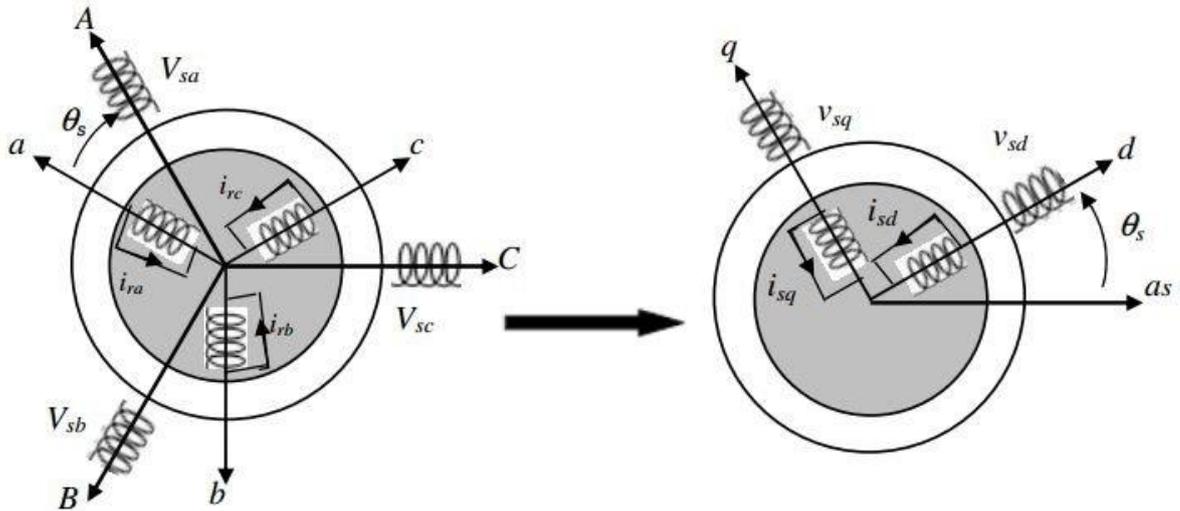


Figure (1.4): Représentation schématique du principe de la transformation de Park [4].

1.6. CHOIX DE REPERE (d-q)

Le repère d-q peut être choisi de manière quelconque, ce qui rend la transformation de Park attrayante et flexible pour différentes applications. Il existe trois choix importants pour le repère d-q :

- Repère d-q fixe lié au stator ($\theta_s = 0$) : Les grandeurs électriques sont sinusoïdales et évoluent en régime permanent à la pulsation statorique.
- Repère d-q lié au rotor ($\theta_r = 0$) : Les grandeurs évoluent en régime permanent à la pulsation des courants rotoriques ω_r , qui est de faible fréquence (fréquence de glissement).
- Repère d-q lié au champ tournant de la machine : Le modèle est décrit par des équations plus simples. En régime permanent, les grandeurs sont continuées. Ce choix est souvent utilisé pour l'étude de la commande.
- L'écriture des flux devient particulièrement intéressante, les sous-matrices devenant diagonales et ne dépendant plus de θ .

1.7. HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES

Pour simplifier la modélisation de la MAS qui présente des phénomènes complexes tel que la saturation, l'hystérésis, le courant de Foucault..., certaines hypothèses pour simplifier la modélisation de la MAS qui présente des phénomènes complexes tel simplificatrices sont prises en considération. Ces hypothèses sont :

- Parfaite symétrie de la machine (symétrie axiale, enroulement triphasés équilibrés).
- La densité que la saturation, l'hystérésis, les courant de Foucault..., certaines hypothèses de courant est uniforme dans la section des conducteurs.
- La distribution spatiale des forces magnétomotrices est supposée sinusoïdale le long de l'entrefer.
- La saturation dans le circuit magnétique est négligée.
- Phénomène d'hystérésis négligée.
- Parfaite symétrie de la machine (symétrie axiale, enroulement triphasés équilibrés).
- La distribution spatiale des forces magnétomotrices est supposée sinusoïdale le long de l'entrefer.
- Le rotor à cage est décrit par un enroulement triphasé équilibré [5].

1.8. MODELISATION D'UNE MAS

Les trois vecteurs sont orientés a_s , b_s et c_s dans le repère triphasé en fonction des axes des trois enroulements statoriques de la machine. Cela s'applique également au rotor. La référence est généralement l'axe a_s , tandis que l'angle θ détermine la position du rotor par rapport au stator, Figure (1.4) [6].

1.8.1. Equations Electriques et magnétiques

Nous procédons, dans ce paragraphe, à la mise en équations de la machine asynchrone tenant compte des hypothèses simplificatrices citées précédemment [5].

a) Au niveau du stator

$$\begin{cases} V_{as} = R_s I_{as} + \frac{d}{dt} \Phi_{as} \\ V_{bs} = R_s I_{bs} + \frac{d}{dt} \Phi_{bs} \\ V_{cs} = R_s I_{cs} + \frac{d}{dt} \Phi_{cs} \end{cases} \quad (1-4)$$

CHAPITRE 01 : MODELISATION DE LA MAS

Les grandeurs V_{abcs} et i_{abcs} et ϕ_{abcs} sont des vecteurs de dimension 3x1 définis comme suit :

$$V_{abcs} = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} \quad i_{abcs} = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} \quad \phi_{abcs} = \begin{bmatrix} \phi_{as} \\ \phi_{bs} \\ \phi_{cs} \end{bmatrix} \quad (1-5)$$

b) Au niveau de rotor

$$\begin{cases} V_{ar} = R_r I_{ar} + \frac{d}{dt} \phi_{ar} \\ V_{br} = R_r I_{br} + \frac{d}{dt} \phi_{br} \\ V_{cr} = R_r I_{cr} + \frac{d}{dt} \phi_{cr} \end{cases} \quad (1-6)$$

Les grandeurs V_{abcr} et i_{abcr} et ϕ_{abcr} sont des vecteurs de dimension 3x1 définis comme suit :

$$V_{abcr} = \begin{bmatrix} v_{ar} \\ v_{br} \\ v_{cr} \end{bmatrix} \quad i_{abcr} = \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad \phi_{abcr} = \begin{bmatrix} \phi_{ar} \\ \phi_{br} \\ \phi_{cr} \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

r_s est la résistance d'un enroulement au stator tel que :

$$R_s = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} : \text{Matrice des résistances du stator.}$$

r_r est la résistance d'un enroulement au rotor tel que :

$$R_r = \begin{bmatrix} r_r & 0 & 0 \\ 0 & r_r & 0 \\ 0 & 0 & r_r \end{bmatrix} : \text{Matrice des résistances du rotor}$$

Les flux de la machine sont en relation avec le courant par l'intermédiaire des équations suivantes :

$$[\phi_{abcs}] = [L_s][I_{abcs}] + [L_{sr}][I_{abcr}] \quad (1-8)$$

$$[\phi_{abcr}] = [L_{sr}]^T[I_{abcs}] + [L_r][I_{abcr}] \quad (1-9)$$

Avec :

$$[L_r] = \begin{pmatrix} L_{mr} + L_{lr} & \frac{L_{mr}}{2} & \frac{L_{mr}}{2} \\ \frac{L_{mr}}{2} & L_{mr} + L_{lr} & \frac{L_{mr}}{2} \\ \frac{L_{mr}}{2} & \frac{L_{mr}}{2} & L_{mr} + L_{lr} \end{pmatrix} \quad (1-10)$$

$$[L_s] = \begin{pmatrix} L_{ms} + L_{ls} & \frac{L_{ms}}{2} & \frac{L_{ms}}{2} \\ \frac{L_{ms}}{2} & L_{ms} + L_{ls} & \frac{L_{ms}}{2} \\ \frac{L_{ms}}{2} & \frac{L_{ms}}{2} & L_{ms} + L_{ls} \end{pmatrix} \quad (1-11)$$

$$[L_{sr}] = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (1-12)$$

$$[L_{rs}] = [L_{sr}]^T \quad (1-13)$$

$[L_s]$: Matrice d'inductances statoriques

$[L_r]$: Matrice d'inductances rotoriques

$[L_{rs}]$: Matrices des inductances mutuelles stator-rotor.

L_{ms} : Inductance de magnétisation statorique.

L_{mr} : Inductance de magnétisation rotorique.

L_{ls} : Inductance de fuite statorique

L_{lr} : Inductance de fuite rotorique

L_{sr} : Inductance mutuelle maximale stator-rotor.

L'application de la transformation de Park aux différentes grandeurs triphasées se fait de la manière suivante :

La transformation des grandeurs est définie par :

$$[x_{dgo}] = [K][x_{abc}] \quad (1-14)$$

CHAPITRE 01 : MODELISATION DE LA MAS

$[x]$: Tension, courant ou flux

La matrice de transformation :

$$[K] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (1-15)$$

Où la constante $2/3$ est choisie pour non conservation de puissance mais de L'amplitude des grandeurs électromagnétiques. La transformation inverse est également donné par:

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (1-16)$$

La transformation inverse est définie par :

$$[x_{dq0}] = [K]^{-1}[x_{abc}] \quad (1-17)$$

La matrice de transformation inverse :

$$[K]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (1-18)$$

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_o \end{bmatrix} \quad (1-19)$$

Application aux équations de tension :

$$[V_{dqos}] = [R_s][I_{abcs}][K_s] + [K_s] \frac{d}{dt} [\emptyset_{abcs}] \quad (1-20)$$

$$[V_{dqos}] = [R_s][I_{dqos}] + [K_s] \left(\left(\frac{d}{dt} [K_s]^{-1} \right) [\emptyset_{dqos}] + \left(\frac{d}{dt} \emptyset_{dqos} \right) [K_s]^{-1} \right) \quad (1-21)$$

CHAPITRE 01 : MODELISATION DE LA MAS

On a :

$$[K_s] \frac{d}{dt} [K_s]^{-1} = \omega_s \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ et } [K_r] \frac{d}{dt} [K_r]^{-1} = \omega_r \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1-22)$$

ω_s : La pulsation statorique

ω_r : La pulsation rotorique

Après simplification, on obtient :

➤ Au stator :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} - \omega_s \phi_{ds} + \frac{d}{dt} \phi_{ds} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \omega_s \phi_{qs} + \frac{d}{dt} \phi_{qs} \\ V_{os} = R_s I_{os} + \frac{d}{dt} \phi_{os} \end{cases} \quad (1-23)$$

➤ Au rotor :

$$\begin{cases} V_{dr} = R_r I_{dr} - \omega_r \phi_{dr} + \frac{d}{dt} \phi_{dr} \\ V_{qr} = R_r I_{qr} + \omega_r \phi_{qr} + \frac{d}{dt} \phi_{qr} \\ 0 = R_r I_{or} + \frac{d}{dt} \phi_{or} \end{cases} \quad (1-24)$$

Application aux équations de flux :

$$[\phi_{abcs}] = [L_s][I_{abcs}] + [L_{sr}][I_{abcr}] \quad (1-25)$$

$$[\phi_{dqos}] = [K_s][L_s][K_s]^{-1}[I_{dqos}] + [K_s][L_{sr}][K_r]^{-1}[I_{dqor}] \quad (1-26)$$

On a :

$$[K_s][L_s][K_s]^{-1} = \begin{pmatrix} L_s & 0 & 0 \\ 0 & L_s & 0 \\ 0 & 0 & L_s \end{pmatrix} \quad (1-27)$$

$$[K_r][L_r][K_r]^{-1} = \begin{pmatrix} L_r & 0 & 0 \\ 0 & L_r & 0 \\ 0 & 0 & L_r \end{pmatrix} \quad (1-28)$$

$$[K_s][L_{sr}][K_r]^{-1} = [K_r][L_{sr}]^T[K_s]^{-1} = \begin{pmatrix} L_m & 0 & 0 \\ 0 & L_m & 0 \\ 0 & 0 & L_m \end{pmatrix} \quad (1-29)$$

L_s : Inductance cyclique statorique

L_r : Inductance cyclique rotorique

L_m : L'inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor

Finalement on obtient :

➤ Au stator :

$$\begin{cases} \emptyset_{ds} = L_s I_{ds} + L_m I_{dr} \\ \emptyset_{qs} = L_s I_{qs} + L_m I_{qr} \\ \emptyset_{os} = L_{ls} I_{os} \end{cases} \quad (1-30)$$

➤ Au rotor :

$$\begin{aligned} \emptyset_{dr} &= L_r I_{dr} + L_m I_{ds} \\ \emptyset_{qr} &= L_r I_{qr} + L_m I_{qs} \\ \emptyset_{or} &= L_{lr} I_{or} \end{aligned} \quad (1-31)$$

1.8.2. Equation mécanique

L'équation mécanique est définie par :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_e - C_r - f_v \Omega \quad (1-32)$$

J : L'inertie de la partie tournante

C_e : Le couple électromagnétique

C_r : Le couple résistant

f_v : Coefficient de frottement

1.9. MODELE D'ETAT DANS UN REPERE LIE AU STATOR

Pour notre étude on choisira le repère lié au stator et obtient le modèle suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{ds}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) I_{ds} + \left(\frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r}\right) \Phi_{dr} + \left(\frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\right) p\Omega \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma T_s} V_{ds} \\ \frac{dI_{qs}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right) I_{qs} + \left(\frac{1-\sigma}{\sigma L_m}\right) p\Omega \Phi_{dr} + \left(\frac{1-\sigma}{\sigma L_m T_r}\right) p\Omega \Phi_{dr} + \frac{1}{\sigma T_s} V_{qs} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = \frac{L_m}{L_r} I_{ds} - \frac{1}{T_r} \Phi_{dr} - p\Omega \Phi_{qr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = \frac{L_m}{L_r} I_{qs} + p\Omega \Phi_{dr} - \frac{1}{T_r} \Phi_{qr} \\ \frac{d\Omega}{dt} = p \frac{L_m}{j L_r} (\Phi_{dr} I_{qs} - \Phi_{qr} I_{dr}) - \frac{1}{j} C_r + \frac{f_v}{j} \Omega \end{array} \right. \quad (1-33)$$

Avec :

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} \text{ Constante de temps statorique.}$$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} \text{ Constante de temps rotorique.}$$

$$\delta = 1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s} \text{ constante de blander}$$

1.10. RESULTATS DE SIMULATION DE LA MAS

La simulation d'un démarrage à vide sous une tension sinusoïdale suivi de l'application du couple résistant ($C_r = 3.8 \text{ Nm}$) à l'instant $t=0.6 \text{ s}$. Lors de l'application de cette charge, nous remarquons que la machine répond à cette perturbation, par une diminution de la vitesse, le couple électromagnétique augmente et prend la valeur du couple de charge (3.8 Nm). Les figures suivantes illustrent les résultats de cette simulation.

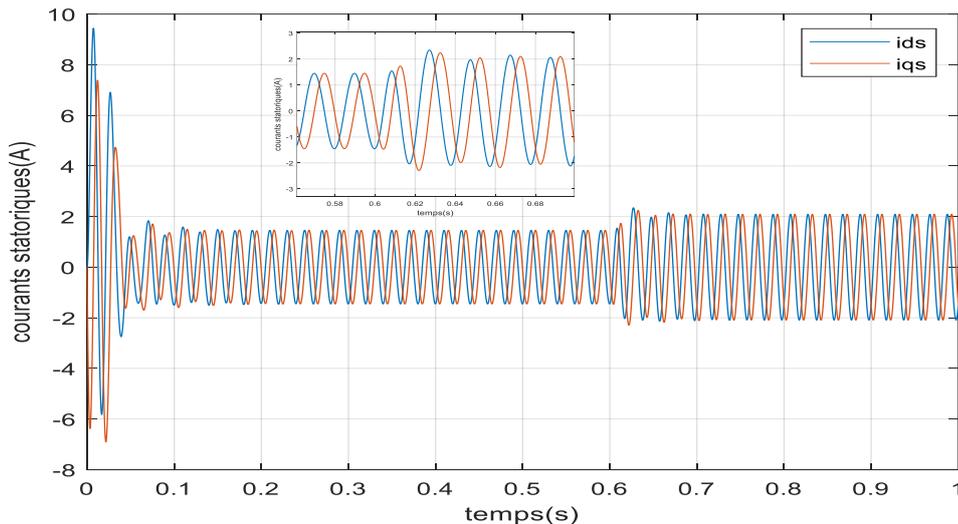


Figure (1.5): les courant Ids et Iqs.

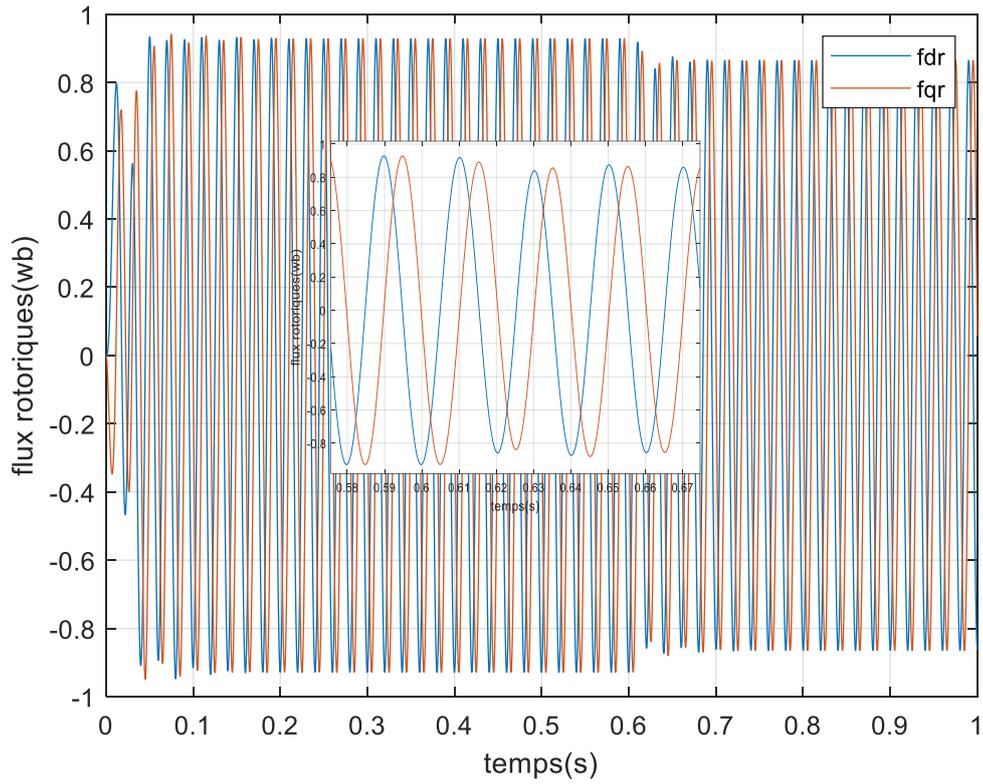


Figure (1.5): flux rotorique.

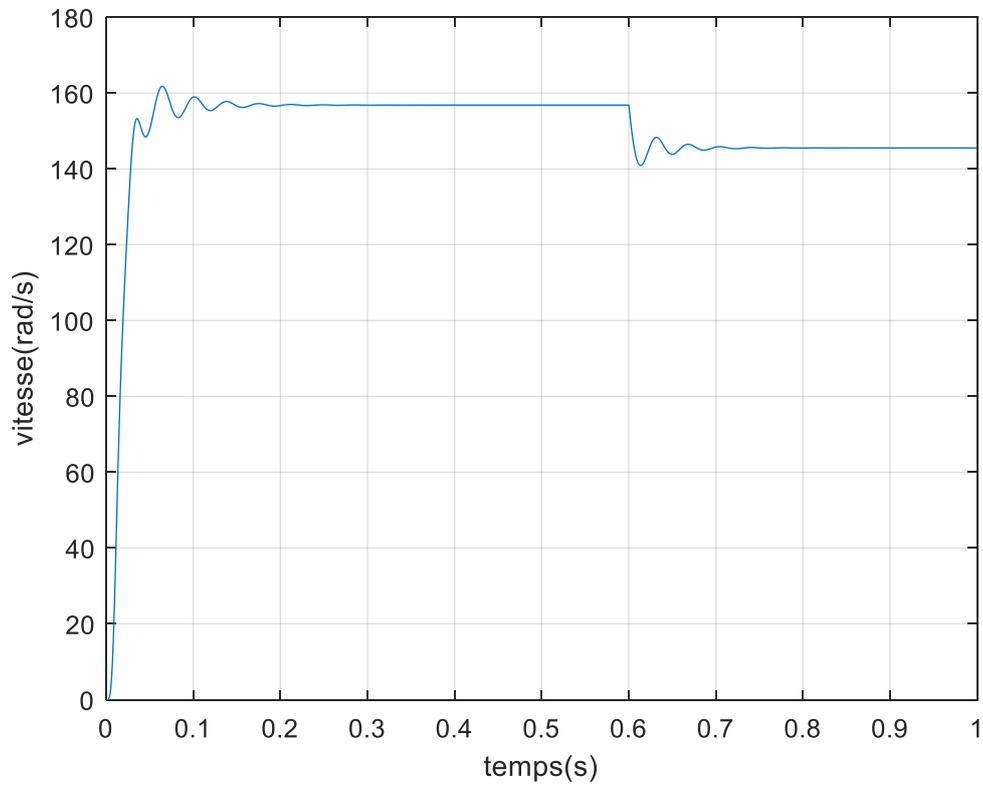


Figure (1- 6): la vitesse dans la MAS.

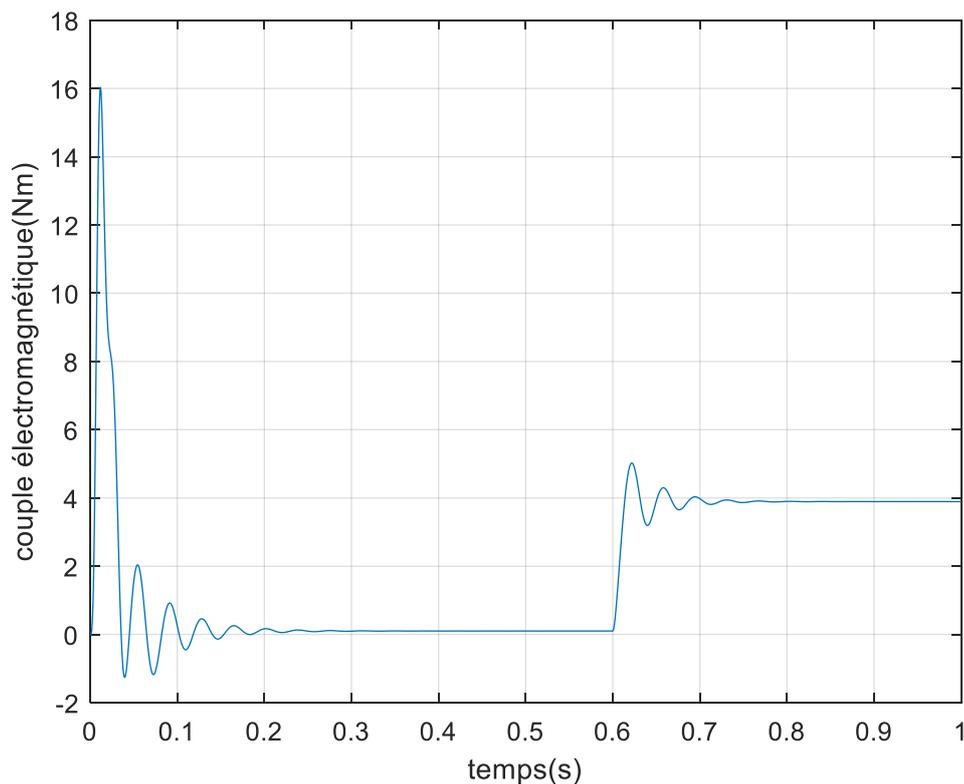


Figure (1.7): couple électromagnétique.

➤ Interprétation des graphes de simulation

Toutes les grandeurs s'établissent rapidement après un régime transitoire de 0.3s qui représente le temps de réponse de la machine.

Un fort appel du courant statorique, certes court, puis se stabilise à la valeur constante de 1.45 A qui définit le courant nécessaire à la magnétisation de la machine à vide figure(1.5). Un fort appel du courant rotorique, certes court, puis se stabilise à une valeur presque nulle, à vide (figure (1.5)).

Aux premiers instants de démarrage, le couple électromagnétique présente des pulsations qui atteignent une valeur maximale de 16.3 Nm. Cela est nécessaire pour vaincre l'inertie du moteur, après il revient à une valeur très faible pour compenser les pertes mécaniques à vide figure (1.8).

Aux premiers instants de démarrage, le couple électromagnétique présente des pulsations qui atteignent une valeur maximale de 16.3 Nm. Cela est nécessaire pour vaincre l'inertie du moteur, après il revient à une valeur très faible pour compenser les pertes mécaniques à vide figure (1.8).

L'évolution de la vitesse en fonction du temps montre un accroissement régulier, puis elle

s'établit au voisinage de la vitesse du synchronisme ($\approx 156.8 \text{ rad/s}$) après 0,3s figure (1.8).

Avec l'application d'un couple de charge ($C_r = 3.8 \text{ Nm}$) à la machine à l'instant $t = 0.6 \text{ s}$, le courant statorique augmente, le couple électromagnétique s'accroît pour s'établir à la valeur C_r imposée par la charge, et la vitesse diminue à 145.5 rad/s .

1.11. CONCLUSION :

A la fin de ce chapitre on conclue que La combinaison de la modélisation théorique et de la simulation sur Simulink offre une approche complète pour l'étude des machines asynchrones. La modélisation théorique fournit une compréhension profonde des principes fondamentaux et des comportements attendus, tandis que la simulation sur Simulink permet de visualiser ces comportements et de tester la machine dans des scénarios variés. Ensemble, ces outils sont essentiels pour la conception, l'optimisation, et l'analyse des performances des MAS.

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

2.1. INTRODUCTION

La détection des défauts initialement centrée sur le domaine industrielle, a bénéficié des contributions de diverses recherches, offrant une gamme variée d'approches. Ces méthodes ont été améliorées pour répondre aux besoins croissants de l'industrie en matière de sécurité, de fiabilité et d'automatisation ; Ce chapitre se concentre sur les anomalies des capteurs explorant les techniques de détection et de localisation tout en clarifiant les termes utilisés pour une meilleure compréhension.

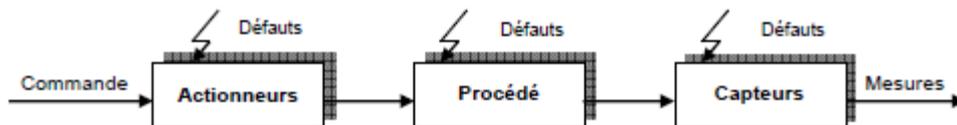


Figure (2.1) : Classification des défauts.

2.2. DEFINITION D'UN CAPTEUR

Un capteur est un dispositif conçu pour détecter et mesurer une caractéristique physique telle que la température, la longueur, la force ou la pression, puis la convertir en un signal souvent électrique (tension ou courant) [7].

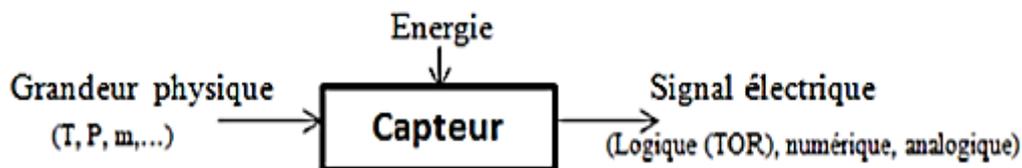


Figure (2.2):Principe de fonctionnement du capteur.

2.3. CAPTEUR A EFFET HALL

Un capteur à effet hall permet de mesurer une variation de champ magnétique. L'effet Hall est découvert en 1879 par le physicien américain du même nom. Il découle de la force de Lorentz agissant sur les porteurs de charge d'un courant traversant un conducteur ou un semi-conducteur exposé à un champ magnétique[9].

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

2.4. CAPTEUR A EFFET HALL LEM

LEM étudie depuis 1972 les problèmes que lui posent ses clients et a ainsi développé une vaste gamme de capteurs de courant et de tension galvaniquement isolés qui se sont imposés comme des standards [9].

2.4.1. Les Capteurs De Tension

La mesure de tension passe généralement par la collecte d'un petit courant I_{mes} qui lui est proportionnel (figure 2.2), lui-même mesuré par des capteurs de courant LEM adaptés. I_{mes} étant de faible intensité pour limiter la consommation en puissance, ces capteurs doivent être d'une très grande sensibilité. Ils doivent également présenter une inductance d'insertion limitée pour garantir une bonne plage de fréquence. Pour y parvenir, une résistance R_1 est généralement montée en série avec l'enroulement primaire afin de réduire la constante de temps électrique et également d'ajuster le courant I_{mes} pour limiter la sensibilité au mode commun, la résistance R_1 est souvent partagée en deux résistances placées de part et d'autre du capteur [9].

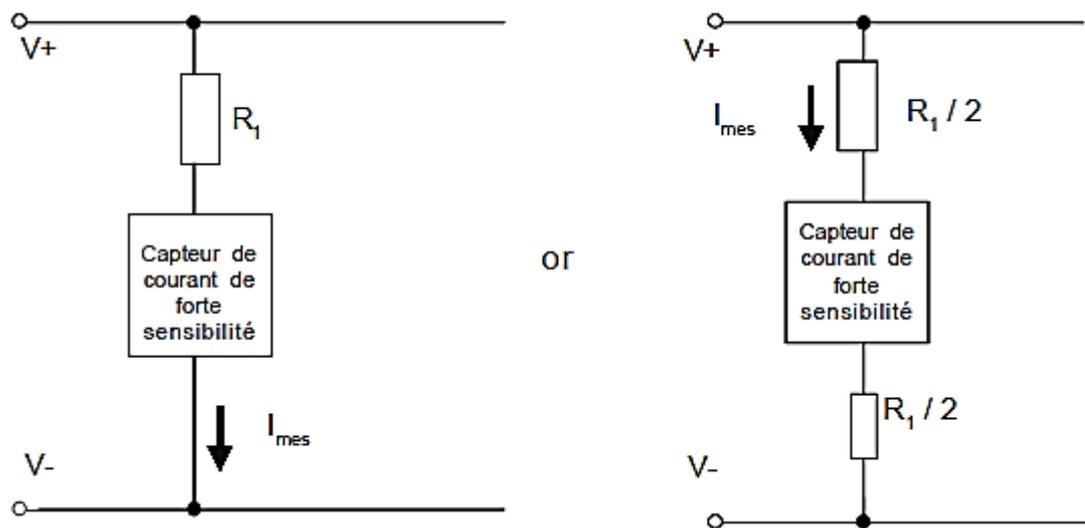


Figure (2.3): Principe de la mesure des tensions.

2.4.2. Types De Signaux De Sortie

Les capteurs LEM peuvent fournir différents types de signaux de sortie :

- en tension
- en courant
- loop powered (capteur alimenté par les fils de sortie)

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

Les sorties en tension sont soit proportionnelles à la variable électrique mesurée (courant ou tension), soit adaptées à une interface spécifique telle que l'entrée d'un convertisseur A/D, d'un DSP ou d'un microprocesseur figure(2.3), On peut également prévoir des sorties ratio métrique.

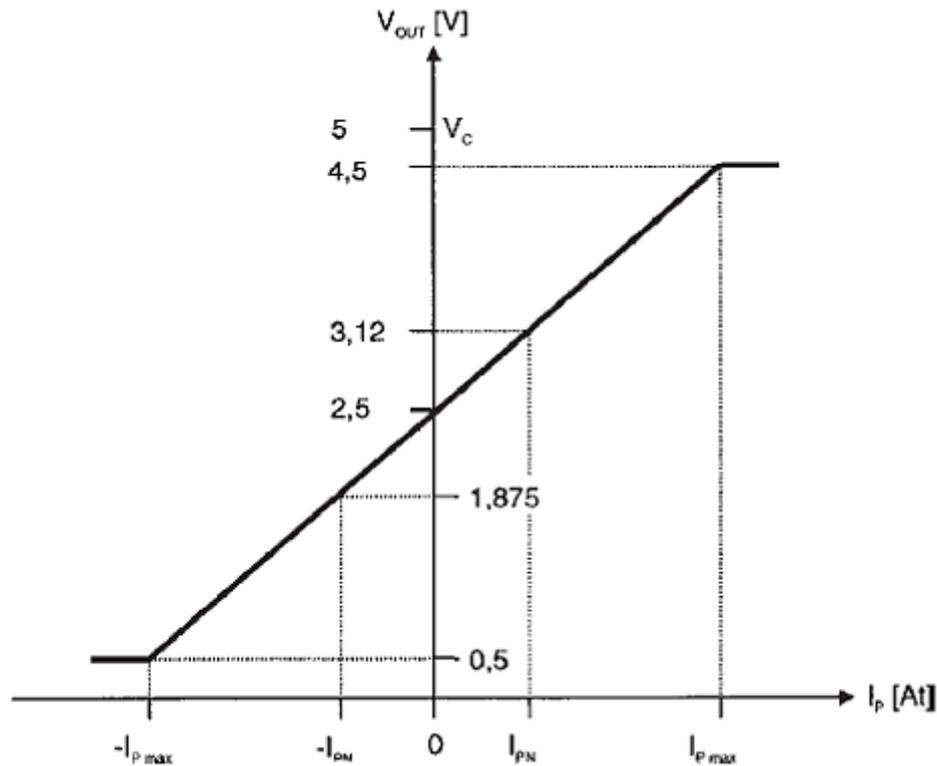


Figure (2.4): signal de sortie de la série LTS et HTS.

L'effet hall découvert en 1879 par le physicien du meme nom est la base de trois technologies LEM, Hall à boucle ouverte, Hall à boucle fermé et Eta ; Il découle de la force de Lorentz $F_1 = q * (V * E)F_1$ agissant sur les porteurs de charge d'un courant traversant un conducteur ou un semiconducteur exposé un champ magnétique .

Une cellule de Hallse présente sous la forme d'une plaquette semi-conducteur d'une épaisseur d , est traversée longitudinalement par un courant de commande I_c (figure2.3) ,En présence d'une induction magnétique B , les porteurs de charge de ce courant subissent une force de Lorentz F_l perpendiculaire à leur mouvement et au champ B , Ceci entraine une variation de leur nombre sur les cotés de la cellule se manifestant par une différence de potontiel que l'on appelle tension de Hall V_h [9].

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

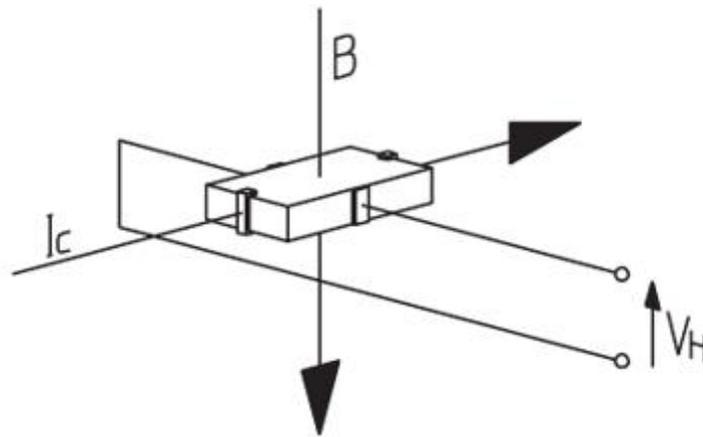


Figure (2.5): Illustration de L'effet Hall.

Pour la disposition décrite ci-dessus figure(2-5) (induction magnétique perpendiculaire au courant) on a :

$$V_h = \frac{K}{d} * I_c * B + V_{0h} \quad (2- 1)$$

Avec :

K : constante de Hall du matériau utilisé.

d : épaisseur de la plaquette signal d'offset de la cellule en l'absence de champ externe

Un tel dispositif (cellule+alimentation I_c) est appelé générateur de Hall, et le produit

$(\frac{K}{d}) * I_c$ sa sensibilité. La sensibilité et la tension d'offset des générateurs de Hall varient avec la température, ces variations peuvent en général être compensées par le circuit électrique du capteur .

2.4.3. Capteurs De Courant A Effet Hall en Boucle Ouverte

- **Construction et fonctionnement :** l'induction magnétique B nécessaire à l'application de la tension de Hall est générée par le courant primaire I_p à mesure (figure 2-5) .L'utilisation d'un circuit magnétique permet d'amplifier le flux et de compense sur la cellule de Hall, ainsi que de protéger la cellule contre les perturbations magnétiques extérieures . Le courant de commande I_c est fourni par une source de courant constant intégrée au capteur .

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

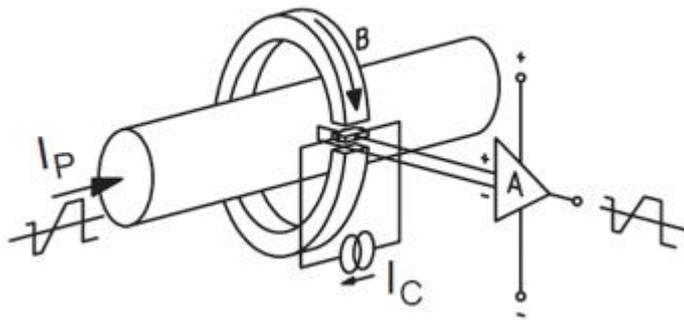


Figure (2.6): conversion du courant primaire en tension de sortie.

Dans la zone linéaire du cycle d'hystérésis du matériau composant le circuit magnétique (figure 2-6), B est proportionnel à I_P et la tension de Hall V_h est proportionnelle au courant à mesurer, au facteur près de l'offset V_{0h} .

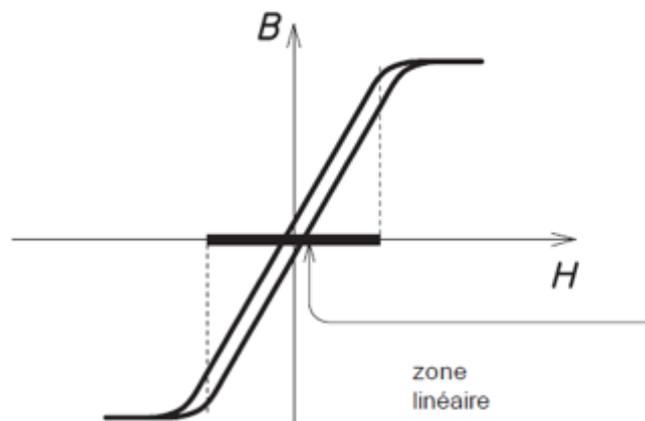


Figure (2.7): Courbe de magnétisation.

Le signal de mesure V_h est amplifié et traité pour fournir le type de signal souhaité par l'utilisateur (tension, courant).

➤ Avantages et limites

❖ Avantages :

- peuvent mesurer des courant continus, alternatifs et de formes complexes .
- Assurent l'isolation galvanique du système de mesure face au circuit à mesurer.
- Faible consommation et remarquable tenue aux surcharge de courant .

❖ Limites :

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

- Bande passante moins large et temps de retard plus long que les technologies plus performantes plus que sa sensibilité des performance à la température.

2.4.4. Les Capteurs De Courant A Effet Hall A Boucle Fermé

Les capteurs à boucle fermée (dit également à compensation ou à flux nul) comprennent un circuit de compensation intégré qui en améliore sensiblement les performances .

Tandis que les capteurs de boucle ouverte fournissent comme tension de sortie V_{out} la tension de Hall V_h amplifiée, les capteurs à boucle fermée (figure 2.7) utilisent la tension de Hall comme signal de contre réaction .Ce signal pilote le courant I_s d'un bobinage secondaire de manière que ce flux secondaire compense exactement le flux créé par le courant primaire, le flux total dans le noyau et dans la cellule de Hall reste alors toujours théoriquement nul.

Le courant secondaire I_s réduit en proportion du rapport de transformation, est nettement inférieur au courant à mesurer I_p dans la mesure ou le nombre de spires N_s du secondaire est supérieur à celui N_p du primaire, lorsque les ampères-tours des deux bobines sont égaux, le flux magnétique est compensé (flux total=0).

$$N_p * I_p = N_s * I_s \quad (2- 2)$$

Que l'on peut récrire :

$$I_s = I_p * (N_p/N_s) \quad (2- 3)$$

Le courant secondaire I_s est donc l'image exacte du courant I_p à mesurer . L'insertion d'une résistance de mesure R_M en série avec l'enroulement secondaire (figure 2.7) permet de récolter une tension à l'image du courant à mesurer [11].

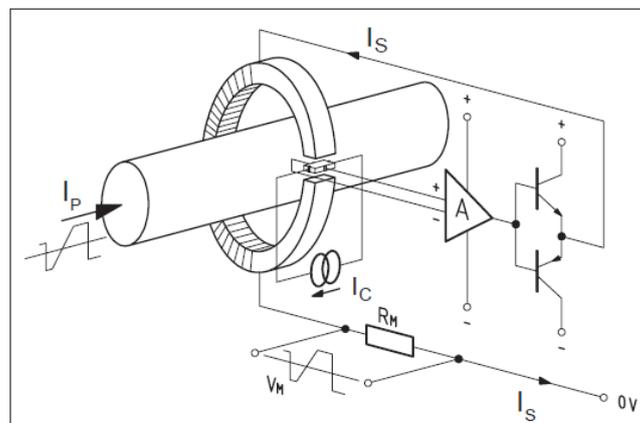


Figure (2.8): Fonctionnement d'un capteur à boucle fermée.

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

la capacité du capteur à fournir Les capteurs à boucle fermée peuvent assurer la mesure du courant sur une très large bande de fréquences grace à la combinaison de deux mode de fonctionnement :

effet Hall en boucle fermée, qui assure la mesure des courant continus et des fréquences basses et myennes et un transformateur de courant pour les hautes fréquences

En effet, la fréquence de fonctionnement du système effet Hall à boucle fermée est limitée par :

- a) un courant I_s suffisant malgré le comportement inductif de la bobine secondaire
- b) la chute de tension sur la résistance de mesure
- c) la tension d'alimentation limitée alimentant le secondaire

Pour les fréquences supérieures à quelques KHz (2 à 10 KHz selon la conception du capteur) la bobine secondaire agit alors comme un classique transformateur du courant convertissant la composante variablr du courant primaire en un courant secondaire à son image pouvant à son tour etre envoyé dans la résistance de mesure [10].

Le grand art est de concevoir ces capteurs de manière que leur précision de mesure reste assurée sur toute la bande des fréquence, y compris au point de croisement des deux courbe (figure(2.8)).

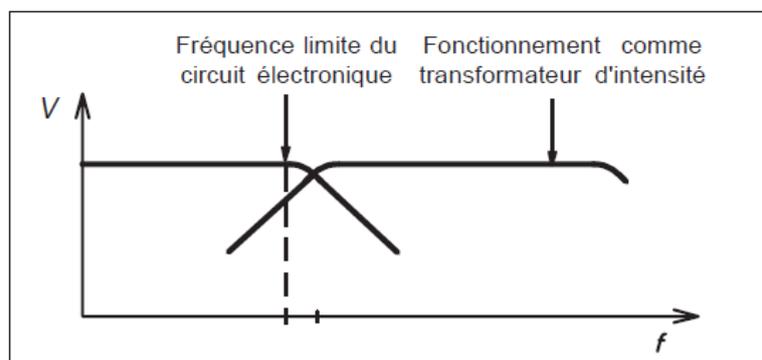


Figure (2.9): Plage de fréquences du mode Hall à boucle fermée et transformateur du courant.

➤ Avantages et limites

❖ Avantages :

- Mesure des courants continus, alternatifs et à forme d'onde complexe.

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

- Excellente précision et très bonne linéarité.
- Faible dérive thermique.
- Temps de retard très court et large gamme de fréquences.
- ❖ Limites :
 - Consommation du circuit secondaire (nécessité d'une source pour le courant de compensation).
 - Dimensions (sensible surtout dans la mesure des grands courants), court par rapport aux capteurs à boucle ouverte.

Ces inconvénients sont généralement acceptés dans l'industrie, et les techniques de production modernes permettent de maîtriser les coûts, en particulier pour les petits courants.

2.5. TERMINOLOGIES

La diversité des définitions trouvées dans différents travaux fait que nous avons jugé important d'établir un lexique sur les termes qui seront utiles pour la compréhension de notre mémoire [10].

- **Défaut** : Un défaut c'est ce qui est en contradiction avec le modèle de fonctionnement normal. Autrement, c'est un écart non permis d'au moins une propriété structurale ou d'un paramètre caractéristique du système par rapport au comportement nominal (usuel ou acceptable).
- **Défaillance** : Une interruption permanente de la capacité du système à remplir une fonction requise dans des conditions d'opérations spécifiées.
- **Dérive** : Une est phénomène plus long à détecter du fait de leur faible amplitude à l'origine et de leur lente évolution.
- **Panne** : La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, c'est un état résultant d'un ou plusieurs événements de défaillance, un défaut peut s'aggraver et devenir une panne ou cas où il provoque un dysfonctionnement ou un arrêt processus ou du système.
- **Erreurs** : L'erreur est définie comme la différence entre la valeur délivrée par le système (capteur) et la valeur réelle (physique) que l'on cherche à mesurer.
- **Perturbation** : C'est l'apparition imprévue, brusque ou progressive, d'information.

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

- **Détection du défaut :** La détection permet de déceler tout écart du comportement normal du système et alerte les opérateurs humains de supervision de la présence d'un défaut et sons temps d'apparition.
- **Localisation du défaut :** La localisation ou l'isolation d'un défaut consiste à déterminer la région physique du système dans laquelle la défaillance s'est produite.
- **Identification du défaut :** Elle permet de remonter à l'origine du défaut après sa détection et de déterminer sa taille et son comportement temporel.
- **Modèle analytique :** Les modèles analytiques étant une représentation mathématique des lois d'évolution des variables physiques du système, le système y est décrit par un ensemble d'équations issues des lois de la physique.
- **Résidu :** Nommé aussi innovation les signaux portants de l'information, basés sur l'écart entre les mesures et les calculs basés sur le modèle.
- **Seuil :** La valeur limite de l'écart d'un résidu par rapport à zéro de façon que si elle est dépassée, un défaut est considéré comme détecté.
- **Effet de défaillance :** la conséquence d'un mode de défaillance sur l'opération, la fonction, ou le statut d'une variable.
- **Modélisation du défaut :** Détermination d'un modèle mathématique pour décrit.

2.6. CLASSES DES DEFAUTS DE CAPTEURS

On peut classer les défauts de capteurs selon leur origine en deux classes : les erreurs et les panes [9].

a) Erreurs :

- 1- **Les erreurs de justesse :** les plus connu dans cette catégorie sont l'erreur de zéro ou « offset » et l'erreur d'échelle ou « de gain » (figure2-10)

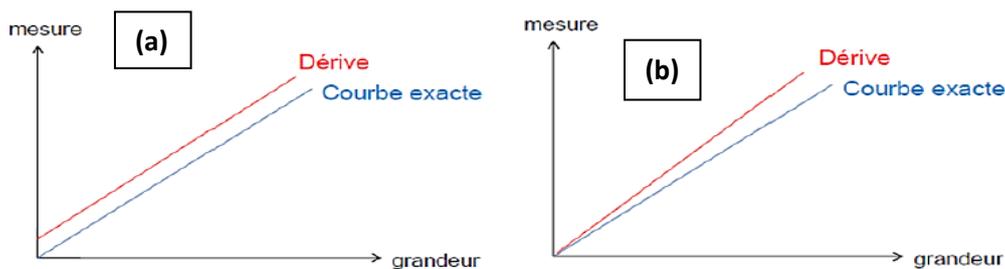


Figure (2.10) : (a) Erreur zéro et (b) d'échelle.

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

- 2- **Les erreurs de fidélité** : les principales erreurs sont ceux de linéarité et de d'hystérésis.
- 3- **Les erreurs de précision** : sont des erreurs globales qui regroupent les erreurs de justesse et les erreurs de fidélité.
- 4- **Les pannes** : La panne est l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise , c'est un état résultant d'un ou plusieurs évènement de défaillance, un défaut peut s'aggravé et devenir une panne ou cas où il provoque un dysfonctionnement ou un arrêt processus ou du système .

Différents types de pannes peuvent être identifiés dans le fonctionnement des capteurs : les pannes naissantes, parfois difficiles à distinguer des erreurs à variations aléatoires ; les pannes passagères ou intermittentes, dont la modification ressemble à des erreurs accidentelles ; les pannes permanentes, entraînant l'arrêt du fonctionnement du capteur ; et enfin, les pannes catastrophiques, pouvant mettre en danger le produit fabriqué, le processus ou le personnel.

2.6.1. Modélisation De Défaut

La modélisation de défauts consiste à formaliser notre connaissance des défauts et de leur impact sur un système, permettant de les classifier en défauts additifs et multiplicatifs[9].

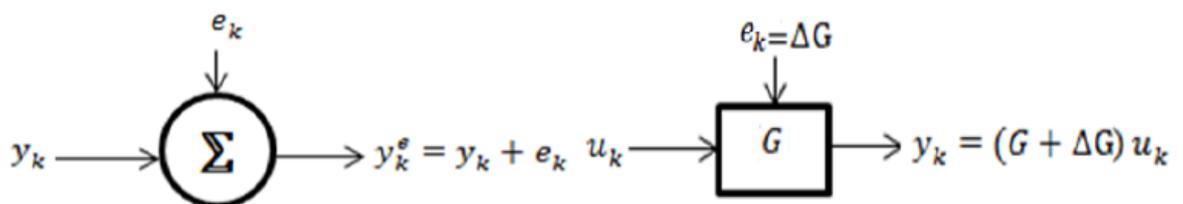


Figure (2.10): Modélisation des défauts additifs et multiplicatifs.

2.6.2. Types Des Défauts

On peut classer les défauts selon leur comportement dans le temps sur trois types :

a) **Défaut abrupt** : représente le comportement temporel du défaut et un seuil constant. Ce type de défauts est caractérisé par une discontinuité dans l'évolution temporelle qui décrit le comportement dynamique d'une panne brutale traduit par un arrêt total ou partiel de l'élément sous surveillance.

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

b) Défaut intermittent : Ce défaut est un cas particulier de défaut abrupt avec la propriété particulière que le signal revient de façon aléatoire à sa valeur normale. Ce type de défauts caractérise les faux contacts.

c) Défaut graduel : On l'appelle des fois dérives, à un comportement temporel lent. Il est très difficile à détecter ce type de défaut car son évolution temporelle a la même signature que celle d'une modification paramétrique lente représentant un non stationnarité du procédé.

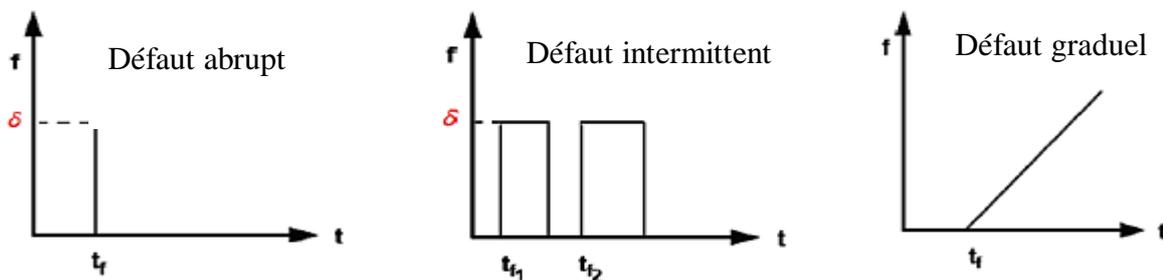


Figure (2.11): Evolutions temporelles de différents types des défauts.

2.7. PERFORMANCES DE DETECTION

Lors de la conception du module de détection et localisation, il est crucial d'évaluer la performance du système, pour ce faire il faut définir certains aspects clés qui garantissent une exécution efficace [9]. On a plusieurs types de performances de détection :

- 1- pourcentage de fausse détection.
- 2- pourcentage de détection ratée.
- 3- dynamique du résidu
- 4- caractéristiques temporelles

2.8 METHODE DE DETECTION ET LOCALISATION DES DEFAUTS

Dans cette partie, nous présentons quelques méthodes de détection de défauts qui peuvent être appliquées sur des processus linéaires dynamiques. Nous ne donnons ici que des indications sur les principes des différentes techniques.

2.8.1 par comparaison à un seuil

Cette technique traditionnelle consiste à comparer chaque variable à des seuils de vraisemblance définis expérimentalement par apprentissage. En cas de dépassement de ces

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

seuils par une ou plusieurs variables dû à des défaillances, il y a alarme. Cette méthode simple est utilisée essentiellement pour détecter des pannes franches [10].

2.8.2 Par Redondance

Le moyen le plus direct pour obtenir une information fiable sur une même variable est de disposer de plusieurs systèmes ou instruments la mesurant simultanément.

Alors, la détection des défauts par redondance peut être faite par deux méthodes selon la natures (hardware ou software) des dispositifs mis en, parallèle ; soit par redondance matérielle ou par redondance analytique (algorithmique) [11].

a) Redondance Matérielle

La redondance permettra facilement de détecter un capteur défaillant. Néanmoins cette technique souffre d'un désavantage majeur qui réside dans le fait d'augmenter le nombre de capteurs revient à accroître considérablement son coût et à affronter des problèmes d'encombrement liées à l'installation et sa maintenance.

b) Redondance analytique

Ce type de redondance fait appel à des modèles analytiques représentatifs des relations de causalité et aux autres contraintes existant entre les signaux présents dans le système. Les procédés ainsi modélisés ne suivent pas toujours une telle représentation idéale ceci est dû à la présence d'incertitudes sur les paramètres du modèle à savoir les modifications structurelles du système, les non-linéarités et finalement l'effet des perturbations et des bruits de mesure. Un couplage entre ces deux méthodes (redondante et analytique) peut se faire comme le montre qui permettra d'avoir des informations additionnelles en exploitant les avantages de chacune [11].

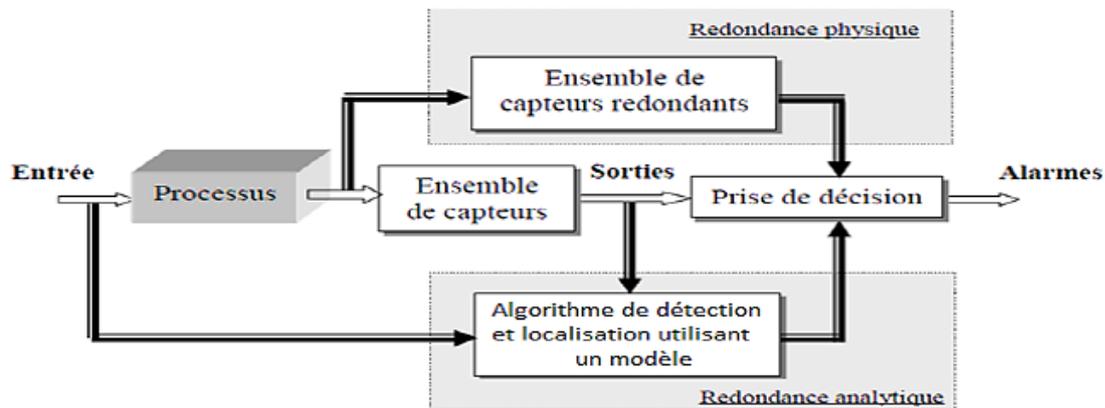


Figure (2.12): Architecture de redondance physique et analytique.

2.8.1 Espace De Parité :

Dans Patton et Chen décrivent les relations de parité comme étant des équations qui génèrent un résidu. Ces relations de redondance analytique lient différentes variables du système et peuvent être de deux types [12]:

- a) **Statiques** : ce sont des relations entre les différentes sorties du système à un instant . Ce type de relations permet de détecter l'apparition d'un défaut capteur par la déviation du résidu. Idéalement, en l'absence de défaut le résidu est nul. Toute déviation est synonyme de l'apparition d'un défaut.
- b) **Dynamiques** : ce sont des fonctions traduisant le lien dynamique entre les sorties mesurées et les entrées du système à différents instants.

2.8.2 Par Estimation :

La détection par estimation d'état en utilisant un ensemble d'observateur de Luenberger . Chaque observateur opère avec un ou plusieurs capteurs défaillants. Parmi les architectures existantes utilisant cette technique, on trouve les approches GOS et DOS [12].

2.8.3 Par composantes principales

Cette approche repose sur l'utilisation de l'analyse en composantes principales pour modéliser le comportement normal du processus, les défauts sont détectés en comparant le comportement observé avec celui prédit par le modèle [13].

2.8.4 Par tests statistique

En absence de valeurs de référence, des tests statistiques de comparaison avec deux fenêtres mobiles peuvent être utilisés pour détecter les défauts de capteurs, divers tests y

CHAPITRE 02 : LES CAPTEURS

compris ceux de la moyenne de variance, et de détection des valeurs extrêmes, peuvent être adaptés à cette fin [9].

2.9 CONCLUSION

Après avoir défini la terminologie utilisée dans le domaine de la détection des défauts, et présenter les principaux défauts pouvant apparaître sur les capteurs ainsi leur modélisation, nous avons cité les méthodes de détection de défauts les plus utilisées avec peu de détail. Dans notre mémoire, on a appliqué la méthode de génération des résidus avec un observateur dans la surveillance des défauts des capteurs et ce vu les résultats encourageants qu'elle a donnés.

CHAPITRE 03 : GENERATION DES RESIDUS

3.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre se concentre sur la détection des défauts, en mettant en avant un élément détecteur présent. Ce signal est robuste face à diverses perturbations telles que le déséquilibre de la tension d'alimentation et la charge appliquée, et il est insensible à une réduction de spires au niveau des enroulements statoriques de la MAS. Les résultats de la simulation sont présentés, pour les cas de capteur sain et en défaut, pour les trois scénarios ci-dessous:

- ✚ un moteur sain
- ✚ déséquilibre de l'alimentation
- ✚ défaut de court-circuit de spires sur une phase de la MAS.

La génération des résidus consiste à calculer les écarts entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle. Ces résidus permettent de détecter la présence de défaut de capteur.

3.2. PRINCIPE DE GENERATION DES RESIDUS

Le principe fondamental des algorithmes de diagnostic repose sur la comparaison entre les données observées lors du fonctionnement réel d'un système et les connaissances que l'on possède sur son fonctionnement normal (pour la détection des anomalies) ou sur ses états de dysfonctionnement (pour la localisation et l'identification des problèmes). Ces méthodes consistent principalement à générer des résidus à partir des mesures relevées, lesquelles sont ensuite analysées pour détecter et localiser les éléments défectueux. Ainsi, la conception efficace d'un système de diagnostic dépend en grande partie de la qualité du modèle utilisé, qui doit décrire de manière précise le comportement du système physique. En général, un système linéaire prenant en compte les effets des défauts et des perturbations de type additifs peut être représenté par les équations 3.1 et 3.2.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{U}(t) + \mathbf{D}_x\mathbf{d}(t) + \mathbf{F}_x\mathbf{f}(t) \quad (3.1)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{F}_y\mathbf{f}(t) \quad (3.2)$$

La représentation du système (3.1) par matrices fonction de transfert est donnée par la relation suivante (équation 3.3):

$$\mathbf{y}(s) = \mathbf{G}_u(s)\mathbf{u}(s) + \mathbf{G}_d(s)\mathbf{d}(s) + \mathbf{G}_f(s)\mathbf{f}(s) \quad (3.3)$$

Avec :

G_d : Matrice de perturbation

G_f : Matrice de défaut

Le problème de génération de résidus consiste à construire un dispositif, appelé générateur de résidus, permettant d'élaborer, à partir des grandeurs d'entrées et de sorties mesurées un vecteur

D'indicateurs de défauts appelé vecteur de résidus et nommé $r(t) \in R^q$, tel que

$$\begin{cases} r(t) \neq 0 \text{ si } f(t) \neq 0 \\ r(t) = 0 \text{ si } f(t) = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Figure (3.1) donne la structure générale d'un générateur de résidus.

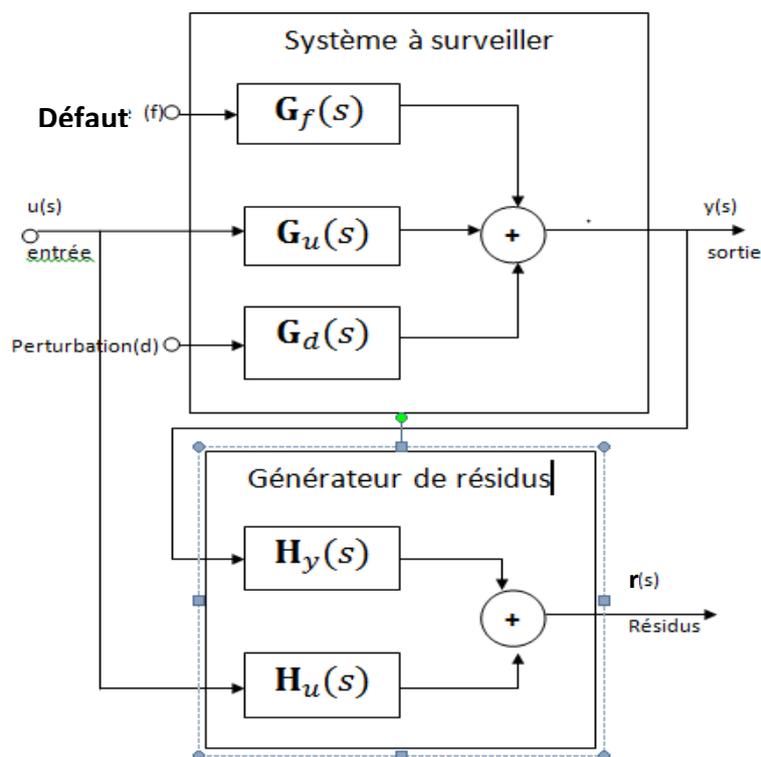


Figure (3.1): structure générale d'un générateur des résidus.

Le générateur de résidus a pour fonction de produire des signaux, appelés résidus, qui ne réagissent qu'en présence de défauts $r(s) = 0$.

Dès qu'il y'a un défaut, un résidu sera généré, tel que :

$$r(s) = H_y(s)y(s) + H_u(s)u(s) \quad (3.4)$$

On remplace $y(s)$ dans (3.5), on aura :

$$r(s) = H_u(s).u(s) + H_y(s).(G_u(s).u(s) + G_f(s).f(s) + G_d(s)d(s)) \quad (3.5)$$

H_u et H_y Doivent satisfaire les relations suivantes (équation 3.8):

$$\begin{cases} H_y(s).G_f(s) \neq 0 \\ H_y(s).G_d(s) = 0, \\ H_y(s).G_u(s) + H_u(s) = 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

Si les deux relations sont vérifiées alors :

$$\begin{cases} r(s) = H_y(s).G_f(s).f(s) \\ Q(s) = H_y(s).G_f(s) \end{cases} \quad (3.9)$$

Donc :

$$r(s) = Q(s).f(s) \quad (3.7)$$

$Q(s)$ est la matrice de transfert entre le vecteur des défauts et le vecteur des résidus, cette matrice de transfert permet de nous renseigner sur la possibilité d'isoler les défauts en nous fournissant un ensemble logique de signatures des défauts.

3.3. DETECTION ET LOCALISATION DES DÉFAUTS

Un schéma de détection, basé sur la stratégie Generalized Observer Scheme (GOS), est présenté dans la figure (3.2). L'effet d'un défaut unique sur les résidus produits par les observateurs (GOS) est représenté dans le tableau (3.1), ci-dessous.

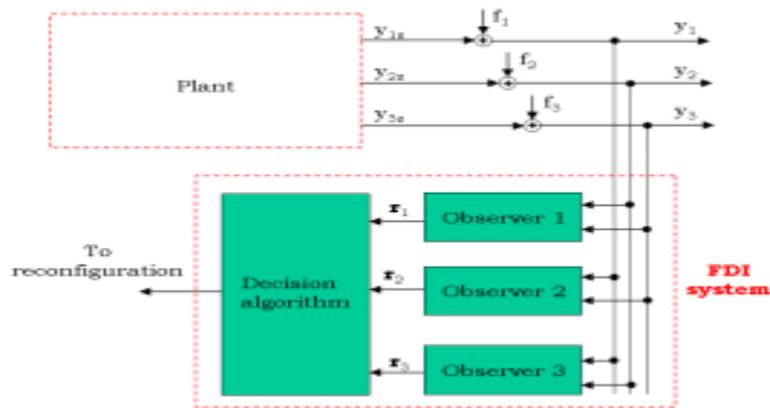


Figure (3.2) : Système de détection de défaut GOS [19]

Ce tableau indique un « × » dans la ligne correspondant à $r_{i,j}$. Lorsqu'un défaut est situé dans la colonne correspondante à $r_{i,j}$ affecte la j^{eme} composante du i^{eme} vecteur de résidu, et un «0» lorsque le résidu présente une très faible sensibilité au défaut.

	d1	d2	d3
r1, 1	0	×	0
r1, 2	0	0	×
r2, 1	×	0	0
r2, 2	0	0	×
r3, 1	×	0	0
r3, 2	0	×	0

Tableau (3- 1):Effet des défauts sur les résidus[19]

3.4. GENERALITE SUR L'OBSERVATEUR

L'observateur est un outil mathématique qui reconstruit les états d'un système en utilisant ses entrées et sorties mesurées (Figure 3.2). Il peut être linéaire ou non linéaire, en fonction du système auquel il est destiné [14].

3.4.1. Observateurs Linéaires

Les observateurs les plus courants sont l'observateur de Luenberger pour les systèmes déterministes et le filtre de Kalman pour les systèmes stochastique. Ils sont adaptés aux systèmes linéaire, qu'ils soient continue ou discrets.

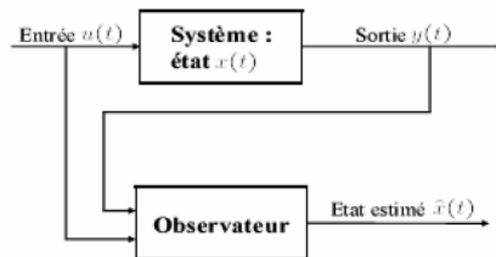


Figure (3.2): Schéma de principe de l'observateur.

3.4.2. Observateurs non Linéaires

Les mêmes approches sont utilisées, parfois en s'appuyant sur les méthodes des observateurs linéaires, mais avec des hypothèses très strictes sur la nature des non-linéarités. Il existe des méthodes spécifiques aux systèmes non linéaires [15][16].

3.4.3 PRINCIPE DE GENERATION DE RESIDUS A BASE D'OBSERVATEURS

Le principe de génération de résidus à base d'observateur consiste à estimer une partie ou l'ensemble des grandeurs mesurables du système à surveiller. Le résidu est calculé alors en faisant la différence, éventuellement filtrée, entre les sorties réelles et celles estimées.

L'observateur revient alors à un modèle parallèle au système avec une contre réaction qui pondère l'écart de sortie. Ce principe est illustre sur la figure (figure 3.3).

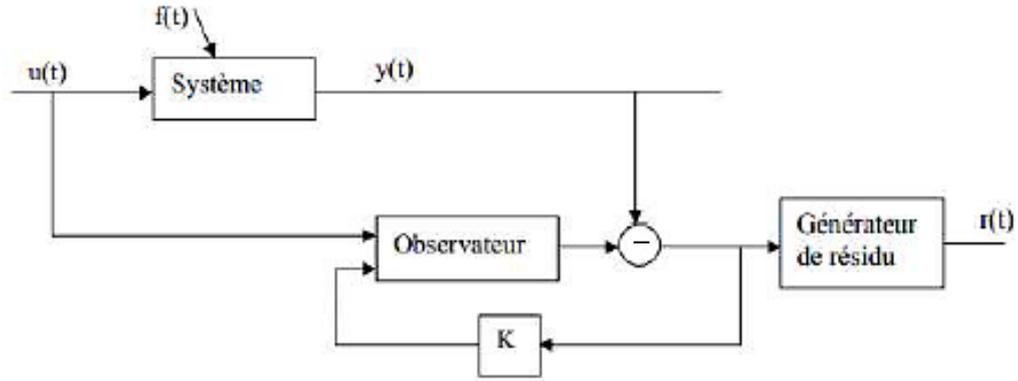


Figure (3.3): schéma de principe du diagnostic des défauts à base d'observateurs.

Cette approche offre des propriétés très intéressantes. Elle donne lieu à des résidus très flexibles et la souplesse, dans le choix de paramètres, permet de s'affranchir de certaines entrées inconnues, améliorant ainsi les caractéristique des résidus telles que leur robustesse vis-à-vis perturbations et leur sensibilité aux défauts.

3.5. Structure des résidus générés à base d'observateur

Il est important d'obtenir une structure du résidu permettant son évaluation. Les résidus doivent être produits, de manière que pour chaque défaut un ou un ensemble de résidus soient affectés. Cependant, même si l'apparition de défauts multiples est peu probable, les résidus doivent être capables de situer chacun des défauts arrivant simultanément, en occurrence, il devrait être garanti que le recouvrement des effets résultants de la combinaison des défauts ne mène pas à une décision fautive, par exemple détection manquée d'un défaut ou mauvaise isolation du défaut. Il existe plusieurs manières de définir les résidus structurés afin de parvenir à une évaluation correcte du résidu. Les résidus structurés sont conçus de manière à être chacun affecté par un sous ensemble de défaut et robuste (non affecté) par rapport aux défauts restants. Ainsi, lorsqu'une défaillance apparaît, seul un sous ensemble de résidus réagit. Le résidu est dit structuré par rapport à un vecteur de défaillances f_1 s'il n'est affecté que par les défaillances f_1 s'il est robuste aux autres. Dans la littérature, on distingue trois structures de génération de résidus à base d'observateur ou chacune est définie par un schéma particulier.

3.5.1. Structure d'observateur simplifié (SOS)

La structure de banc comporte un unique observateur pour repérer un groupe particulier de défaut. La précision des estimations dépend de la présence ou non de ces défauts spécifique.

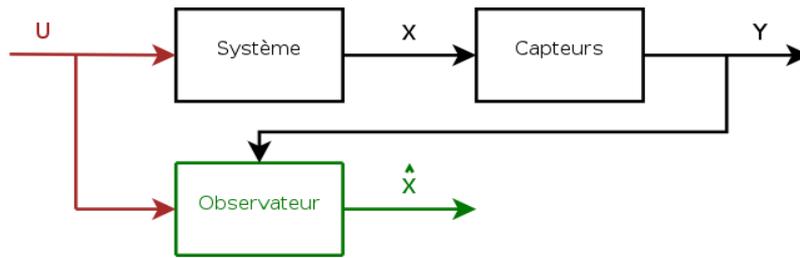


Figure (3.4): Structure d'observateur simplifié

3.5.2. Structure d'observateurs dédiés(DOS)

Dans cette structure, un observateur est dédié à chaque défaut, générant un résidu sensible à ce défaut uniquement. Lorsqu'un défaut est détecté les estimations de cet observateur peuvent être fausses, mais celles des autres convergent vers les mesures correctes, sauf sur le défaut détecté. Ce principe reste efficace même lors de la présence de plusieurs défauts simultanés.

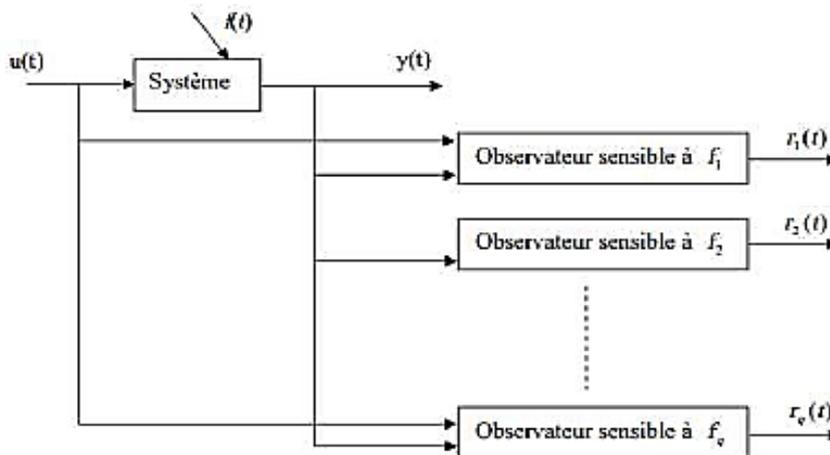


Figure (3.4): Structure d'observateur dédié(DOS).

3.5.3. Structure d'observateur généralisé

Dans ce genre de structure, il s'agit de synthétiser un certain nombre d'observateurs ou chacun d'entre eux étant insensible à un seul défaut. Si un défaut apparaît alors, toutes les estimations d'états seront erronées sauf celles issues de l'observateur insensible à ce seul défaut.

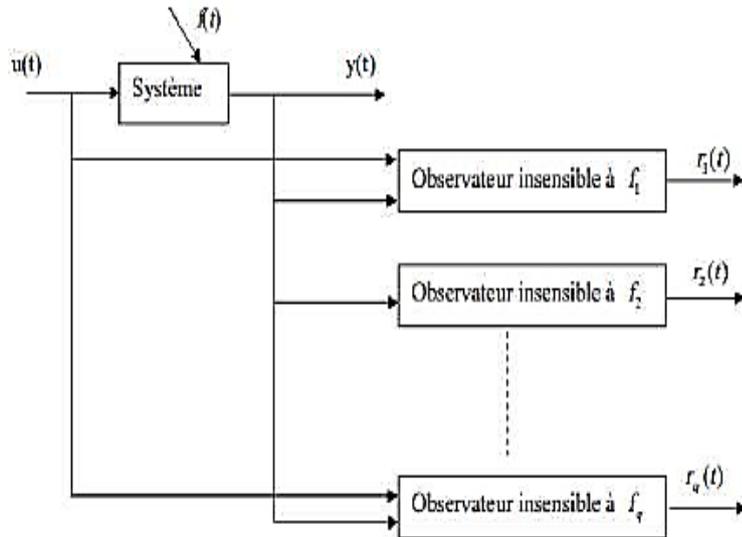


Figure (3.5): structure d'observateur généralisé(GOS).

3.6. OBSERVATEUR DE LUENBERGER

Soit le système linéaire décrit par l'équation suivante:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y = Cx(t) \end{cases} \quad (3.8)$$

Les matrices A, B et C sont constantes. On se place dans le cadre déterministe (les bruits sont négligés). L'observabilité du système (3.13) doit être confirmée en premier lieu, l'observateur linéaire de Luenberger est composé d'un estimateur fonctionnant en boucle ouverte qui est caractérisé par la même dynamique que celle du système. La structure fonctionnant en boucle fermée obtenue par l'intermédiaire du gain L, impose la dynamique propre de cet observateur. L'erreur $e = (\hat{Y} - Y) = C(\hat{x} - x)$ assure le fonctionnement en boucle fermé. Elle est multipliée par une matrice de gain L et envoyée à l'entrée de l'observateur pour corriger les variables d'états estimées. L'observateur de Luenberger est décrit par l'équation suivante :

$$\dot{\hat{x}}(t) = (A - LC)\hat{x}(t) + Bu(t) \quad (3.9)$$

Un choix judicieux du gain L tel que les valeurs propres de la matrice $(A - LC)$ soient à parties réelles strictement négatives, peut modifier la dynamique de l'observateur et de la vitesse de convergence de l'erreur vers zéro.

Les différentes grandeurs citées dans la figure (3-7) sont :

u : Vecteur d'entrée du système et de l'observateur.

x : Vecteur d'état.

Y : Vecteur de sortie du système.

\hat{x} : Vecteur d'état reconstruit par l'observateur.

\hat{Y} : Vecteur de sortie de l'observateur.

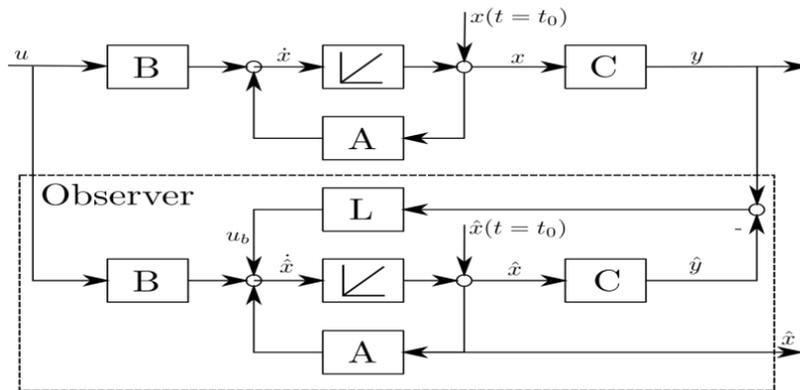


Figure (3.6): Schémas de principe de l'observateur de Luenberger.

3.7. DEVELOPPEMENT DES EQUATION D'OBSERVATEUR

Soit le signal sinusoïdal d'amplitude M_0 , fréquence angulaire ω_e et de phase ϕ_0 représenté par l'équation (3.17) [19] :

$$y(t) = M_0 \sin(\omega_e t + \phi_0) \quad (3.17)$$

Ce signal peut représenter la sortie du modèle d'espace d'état bidimensionnel décrit par les équations (3.18) (3.19) [19]:

$$\dot{x}(t) = A_0 x(t) + B u(t) \quad (3.18)$$

$$y(t) = C_0 x(t) \quad (3.19)$$

Avec :

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & \omega_e \\ -\omega_e & 0 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Après la transformer de Laplace au système (3.18) on obtient les résultats suivante

On applique la transformer de Laplace inverse

$$(sI - A_0) \cdot \begin{bmatrix} s & \omega_e \\ -\omega_e & 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\det} \begin{bmatrix} s & \omega_e \\ -\omega_e & 0 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$(sI - A_0)^{-1} = \frac{1}{s^2 + \omega_e^2} \begin{bmatrix} s & -\omega_e \\ \omega_e & 0 \end{bmatrix} x_0 \quad (3.22)$$

$$[sI - A_0]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{s}{s^2 + \omega^2} & \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \\ \frac{-\omega}{s^2 + \omega^2} & \frac{s}{s^2 + \omega^2} \end{bmatrix} x_0 \quad (3.23)$$

Calcule la transformation de Laplace inverse $[L^{-1}]$ (on fait une décomposition)

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \omega x_2 \\ \dot{x}_2 = -\omega x_1 \end{cases} \quad (3.24)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_a \sin(\omega t + \phi_0) \\ \dot{x}_2 = x_b \sin(\omega t + \phi_0 - \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (3.25)$$

$$x(0) = \begin{bmatrix} M_0 \sin(\phi_0) \\ M_0 \cos(\phi_0) \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Considérons maintenant un système électrique triphasé équilibré, ce qui signifie que tous les signaux ont des amplitudes de crête identiques égales à M , des fréquences égales à ω_e , et que le déphasage entre les signaux est exactement de $\frac{2\pi}{3}$. Un tel système est décrit par la série d'équations suivante :

$$y_a(t) = M \sin(\omega t + \phi_a)$$

$$y_b(t) = M \sin\left(\omega t + \phi_a - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3.27)$$

$$y_c(t) = M \sin\left(\omega t + \phi_a + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Pour calculer $x(0)$, état initial de système nous devons connaître les valeurs des états $x_1(0)$ et $x_2(t)$ à l'instant $t=0$

$$x_0 = M \begin{bmatrix} \sin(\phi_0) \\ \cos(\phi_0) \\ \sin\left(\phi_a - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\phi_a - \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

M_0 : l'amplitude de la signal initial

ϕ : l'angle initial

$$x_1(0) = M_0 \sin(\phi_a) \quad (3.29)$$

$$x_2(0) = M_0 \cos(\phi_a) \quad (3.30)$$

$$x_3(0) = M_0 \sin\left(\omega t + \phi_a - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3.31)$$

$$x_4(0) = M_0 \cos\left(\omega t + \phi_a - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3.32)$$

On développe maintenant les équations de l'observateur de Luenberger. Le modèle de l'observateur est donné par l'équation (3.10). On calcule l'erreur d'estimation.

$$e = \hat{x} - x \quad (3.33)$$

Le dérivé de l'erreur est donné par l'équation (3.34)

$$\dot{e} = \dot{\hat{x}} - \dot{x} \quad (3.34)$$

Après calcul on obtient l'équation de la dérivé de l'erreur

$$\dot{e} = (A_0 - LC)e \quad (3.35)$$

On choisit les valeurs propres pour le système (3.35), on déduit la valeur du gain L

3.8. SIMULATION ET COMMENTAIRE

➤ Outil de simulation

Nous utilisons le logiciel MATLAB (MATrix Laboratory), et son utilitaire Simulink, qui permet la simulation des systèmes dynamiques à l'aide des schémas - blocs. Les résidus, représentant les différences entre les mesures et les signaux générés

par les observateurs, sont essentiels pour cette analyse. Chaque cas de défaut présente des particularités qui peuvent être identifiées à travers les variations des résidus.

➤ **Scénarios de l'occurrence et de détection de défauts**

Les observateurs de Luenberger sont développés avec le choix de ses valeurs propre de $\lambda_1 = -10$ et $\lambda_2 = -11$ pour un suivi rapide des états observer .le gain des observateurs obtenus sont $L = (21 \ 37.25)$.

La figure (3-8) présente le schéma bloc de la machine asynchrone (le système) couplée avec les observateurs 1,2 et 3. On applique des défauts (abrupts ou bien graduels) sur chaque observateur pour voir la réponse des résidus. Plusieurs cas sont traités. D'abord, un défaut abrupt (de type échelon) est appliqué sur un, deux ou trois capteurs et on recueille les résidus correspondants. Ensuite, un défaut graduel (de type rampe) est appliqué sur un, deux ou trois capteurs et on recueille les résidus correspondants.

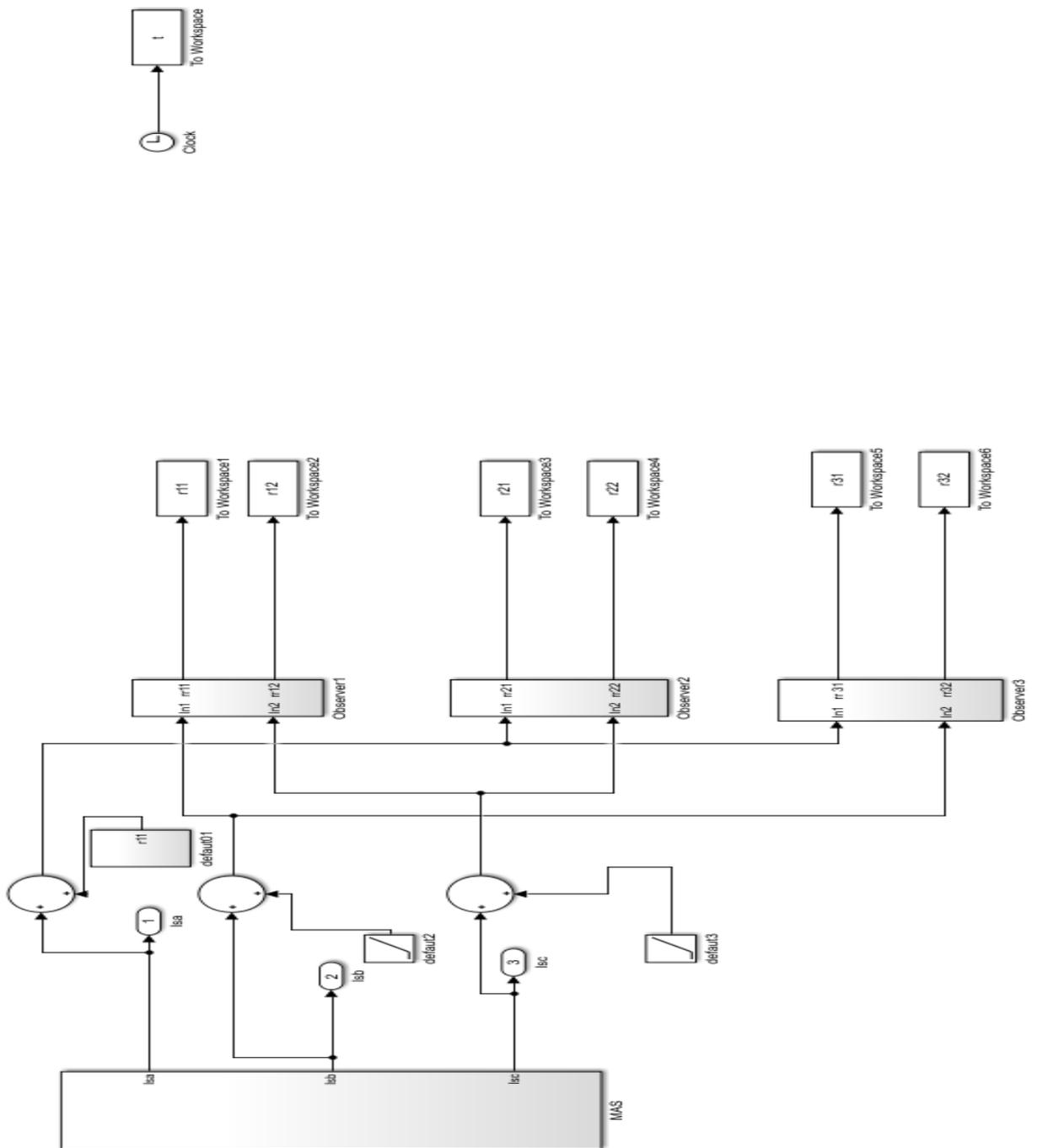


Figure (3.7):schémas bloc de la machine asynchrone avec l'observateur.

- **Cas 1 : Le défaut se produit sur le capteur 1** :c'est un défaut généré par un ensemble de signaux pour produire un défaut, d1, sur le capteur O1.

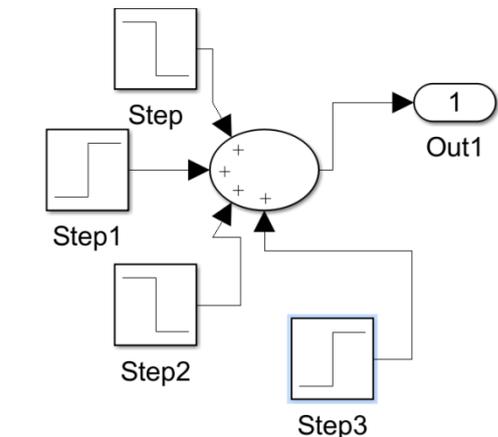


Figure (3.8): défauts de capteur 01 (d1)



Figure (3. 9):Forme temporelle du défaut d1.

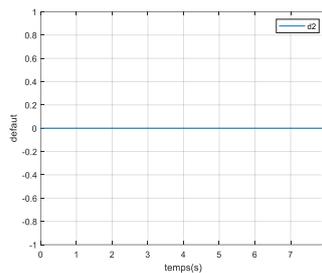


Figure (3.10): simulation défaut d2

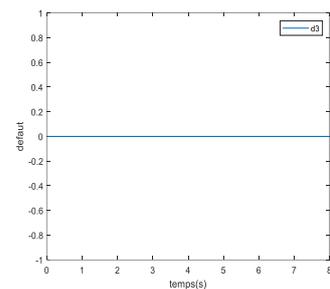


Figure (3. 11): simulation défaut d3.

La figure (3-10) montre le défaut d1, correspondant à la figure (3-9). A l'instant $t=0s$, le défaut est nul. A l'instant $t=1s$, il prend la valeur (-2), ensuite, il augmente de façon abrupte et atteint la valeur (+3). Il maintient cette valeur jusqu'à $t=5s$, ensuite il s'annule. Les défauts d2 et d3 sont nuls.

Les résultats obtenus sont donnés par la figure 3.13.

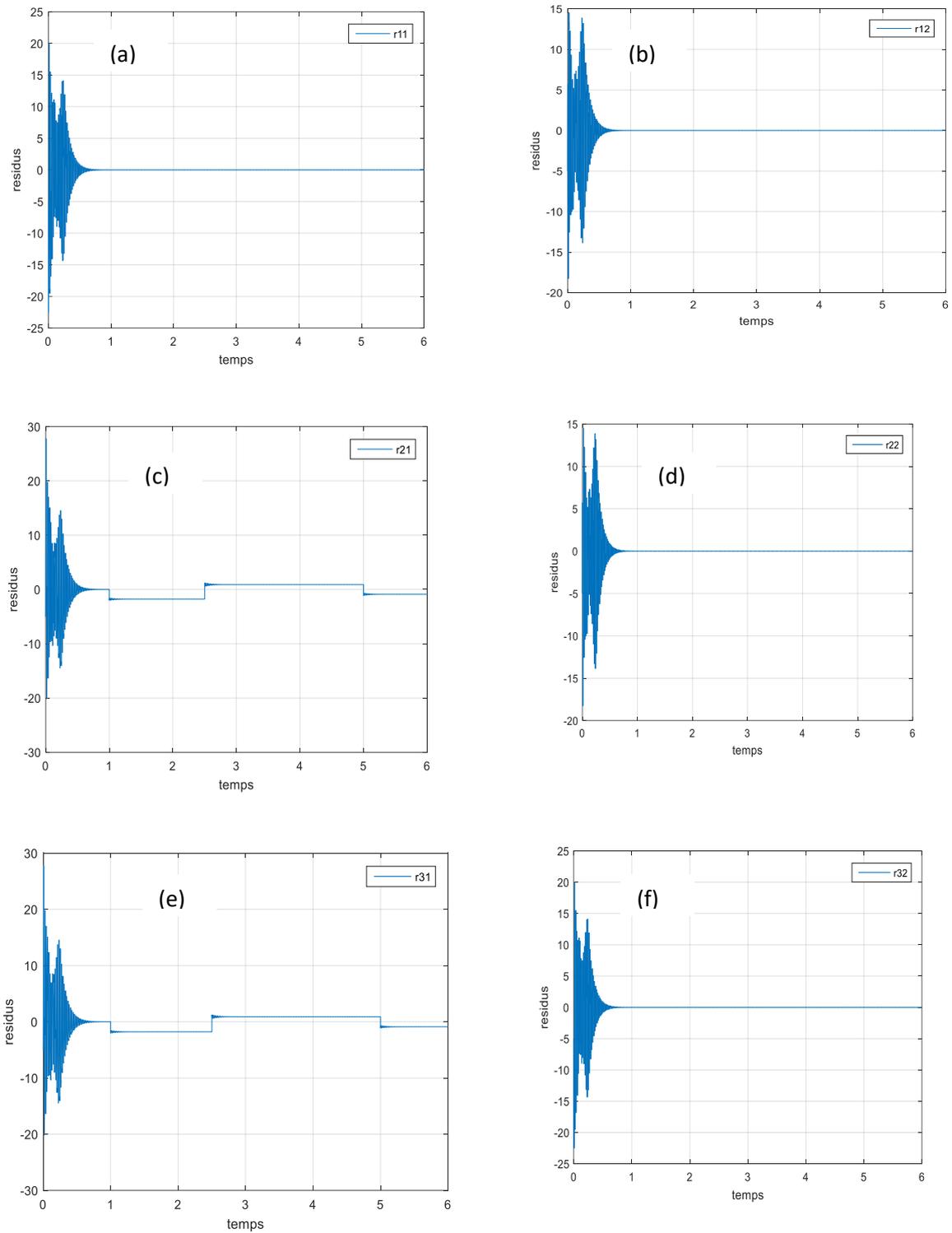


Figure (3- 12): les résidus de défaut de cas 1.

- ✚ Dans ce cas les résidus $r_{1.1}$, $r_{1.2}$, $r_{2.2}$ et $r_{3.1}$ (Figure 3.13 a, b, c et f) ne sont pas sensibles au défaut de capteur 1 par contre les résidus $r_{2.1}$ et $r_{3.1}$ sont sensible à ce défaut (Figure 3.13 d et e).

➤ **Cas de 2 Capteurs en défaut**



Figure (3.13): défaut sur le capteur 1

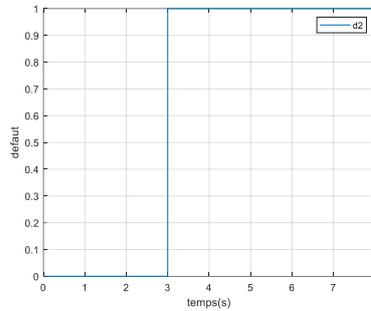


Figure (3. 14): défaut sur le capteur 2.

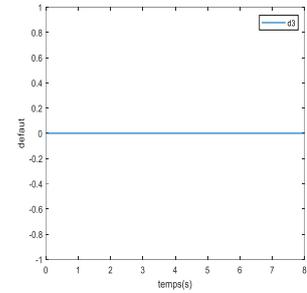
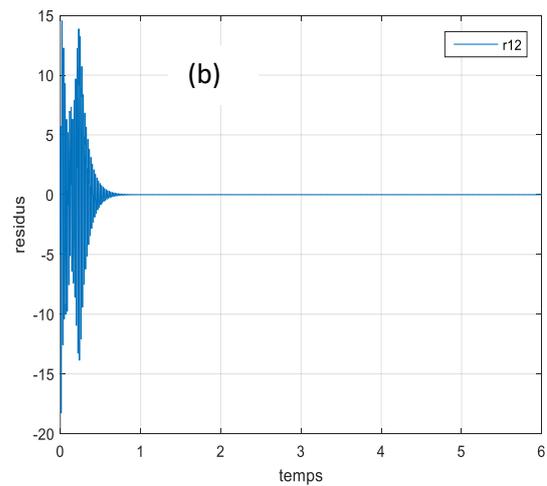
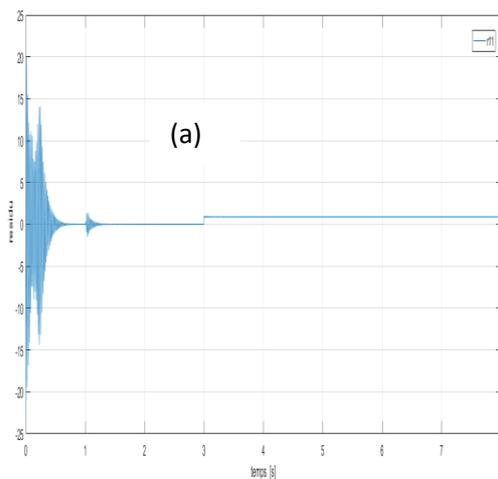


Figure (3. 15): défaut sur capteur 3.

- ✚ La figure (3-14) montre le premier défaut qui est une somme d'échelons. Il est analogue au défaut d_1 de la première simulation.
- ✚ La figure (3-15) montre le deuxième défaut à l'instant $t=3s$ on a appliqué un défaut échelon d'une amplitude de 1.
- ✚ La figure (3-16) montre que le capteur 3 est sain aucun défaut n'est appliqué.

Les résidus obtenus sont donnés par la figure (3.17)



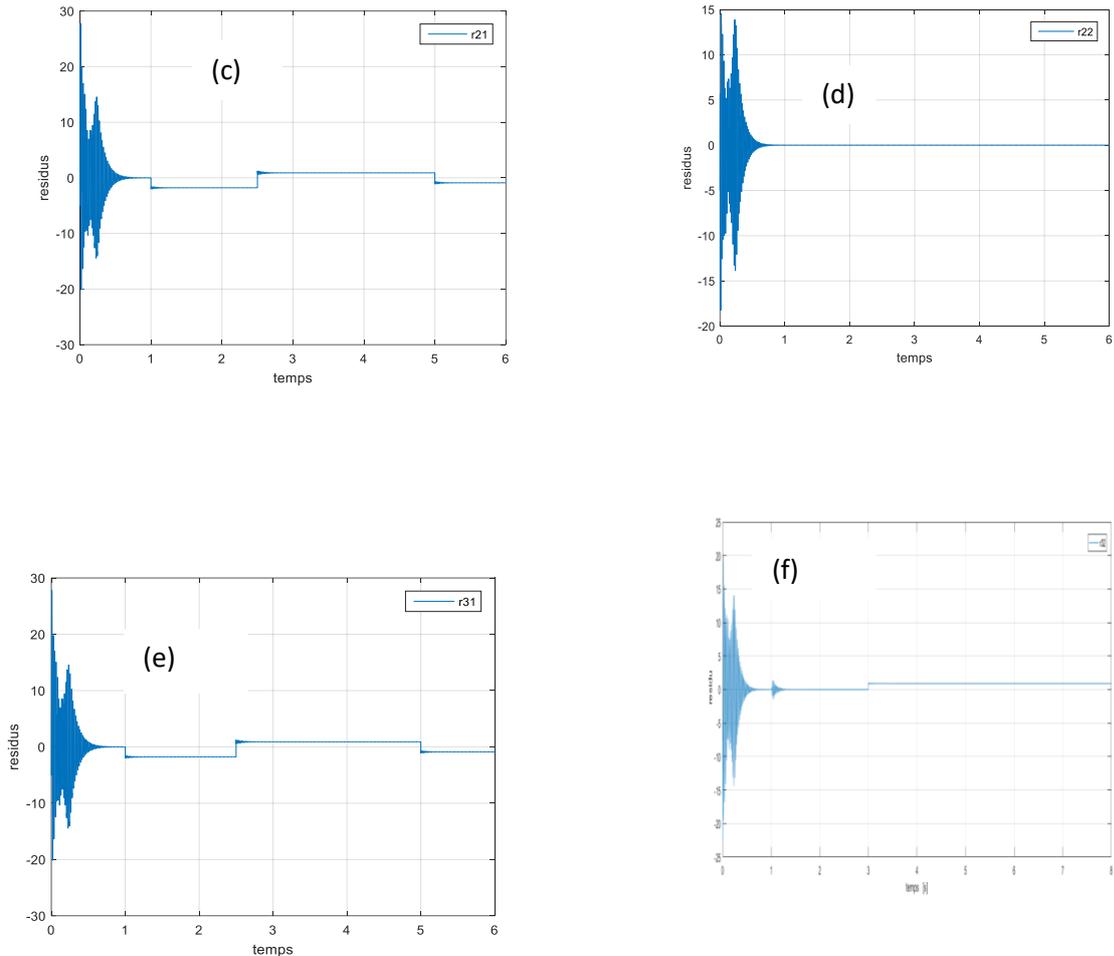


Figure (3.16): les résidus de Cas de 2 Capteurs en défaut.

✚ Les résidus $r_{1.1}$, $r_{2.1}$, $r_{2.2}$ et $r_{3.1}$ sont sensibles aux défauts mais les résidus $r_{3.2}$ et $r_{1.2}$ ne sont pas sensibles.

Les résidus $r_{1.1}$, $r_{2.1}$, $r_{2.2}$ et $r_{3.1}$ permet de localiser précisément les défauts sur les capteurs affectés, chaque résidus réagit différemment en fonction de la nature et de l'emplacement des défauts.

➤ **Cas3 : tous les capteurs sont en défaut**

Les défauts se produisent sur les trois capteurs. L'évolution de chaque'un des défauts est illustré par les figures 3.18, 3.19 et 3.20.

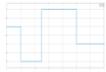


Figure (3.17): défaut sur le capteur « 1 »

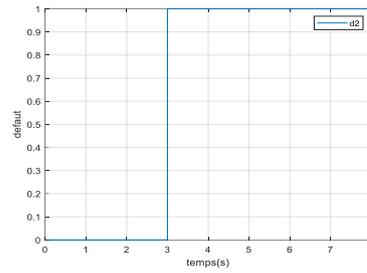


Figure (3. 18): défaut sur le capteur « 2 ».

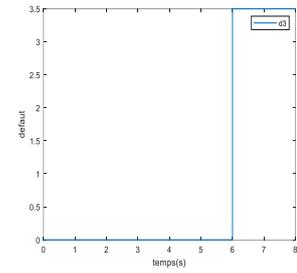
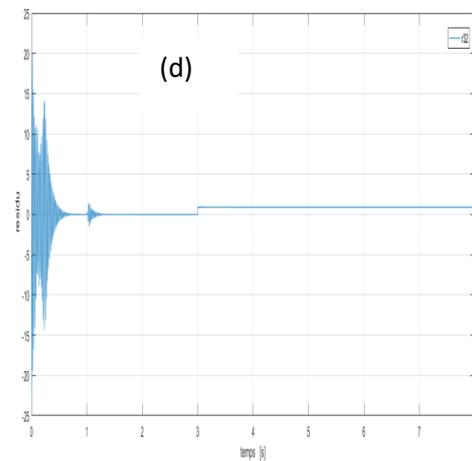
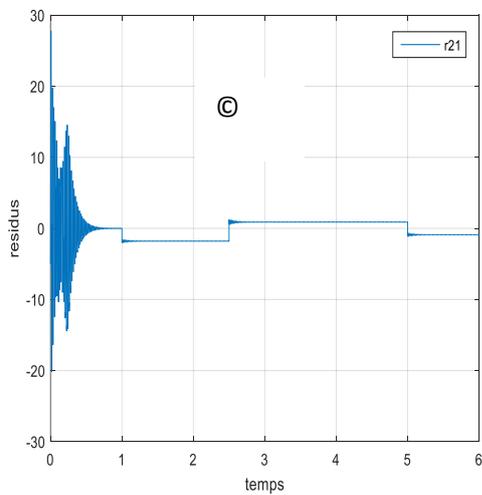
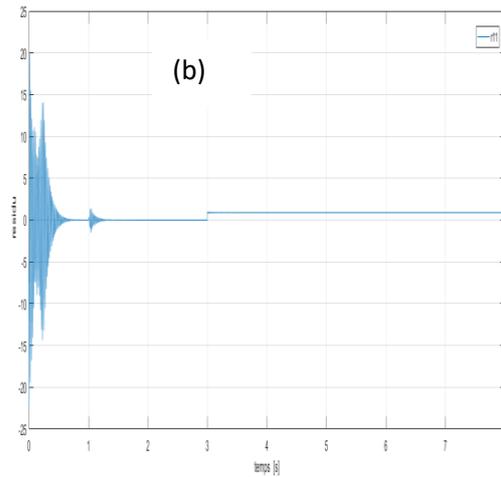
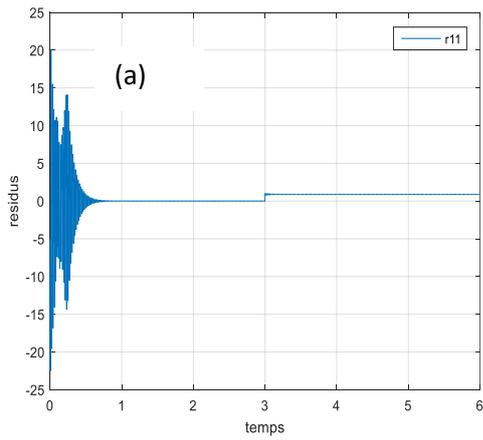


Figure (3. 19): défaut sur le capteur « 3 »

Les résidus obtenus sont donnés par la figure (3.21)



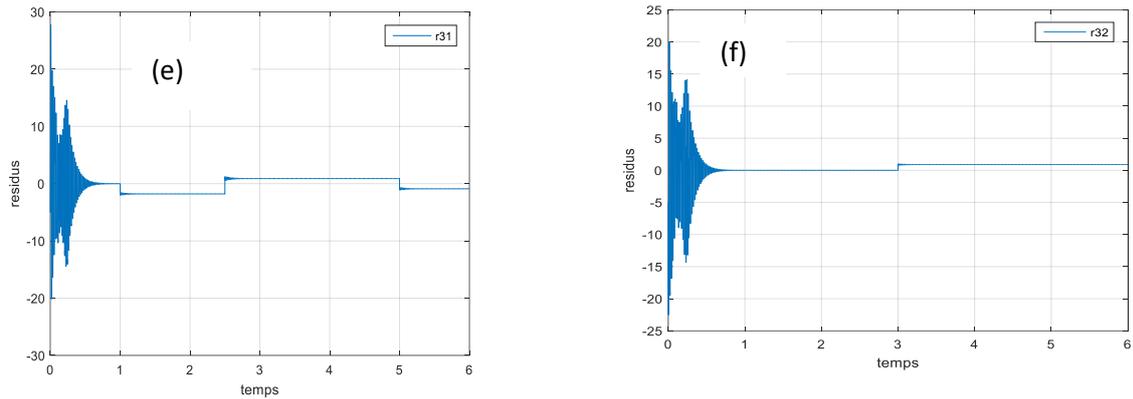


Figure (3.20): les résidus 3 capteurs en défaut.

✚ Dans ce cas, les résidus sont tous sensibles aux trois défauts (d1, d2 et d3)

➤ **Simulation d'un défaut graduel (rampe)**

Un défaut graduel est réalisé à l'aide de la fonction rampe. La figure 3.22 illustre le schéma Simulink utilisé.

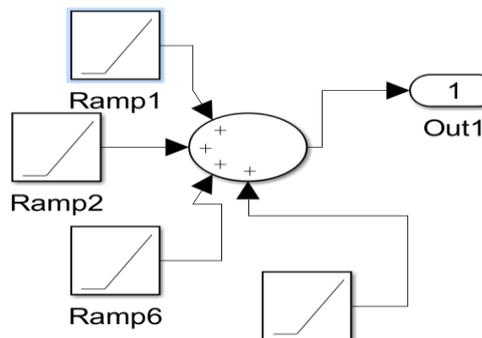


Figure (3.22) : défaut sur le capteur 1

✚ La figure (3-23) montre le résultat obtenu pour simuler le défaut graduel (défaut d1).

La figure (3-23) montre qu'à $t=1s$ la pente égale a « -2 », ensuite a $t=2s$ la pente égale a « + 3 » et à l'instant $t=1.5s$ la valeur sera « -1 » et à la fin $t=2.5s$ la valeur est égale a « 0.5 ». Les autres capteurs sont sains, figures 3.24 et 3.25

➤ **Cas de défaut graduel (rampe) sur le premier capteur**

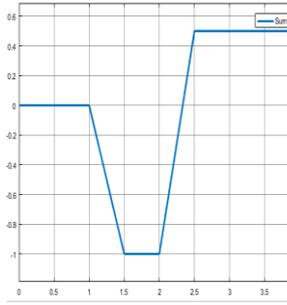


Figure (3.23) :
défaut sur le
capteur « 1 » d1

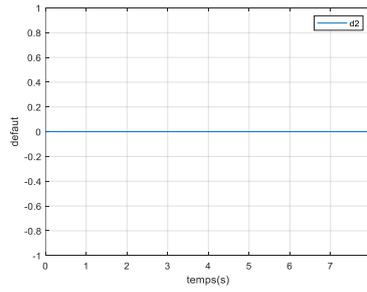


Figure (3.24) : Défaut sur
capteur « 2 » d2

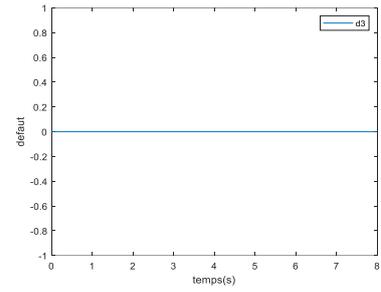
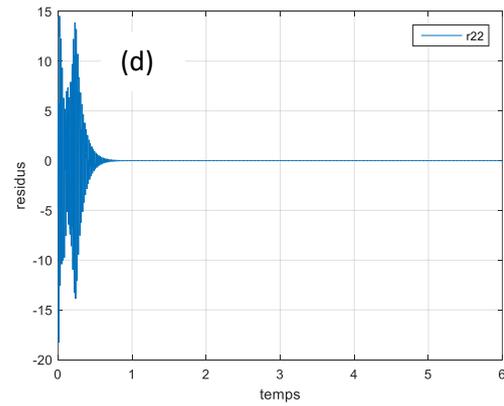
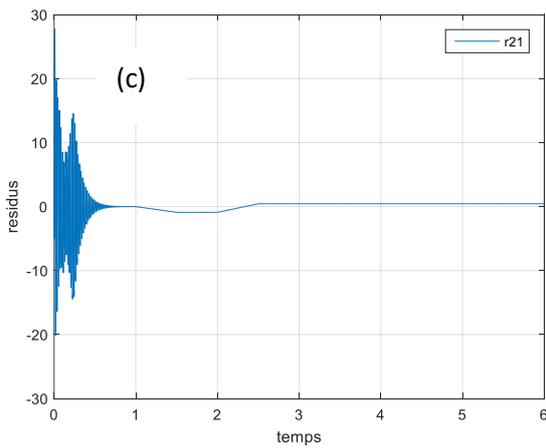
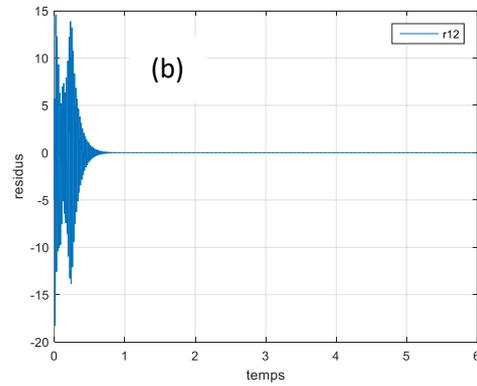
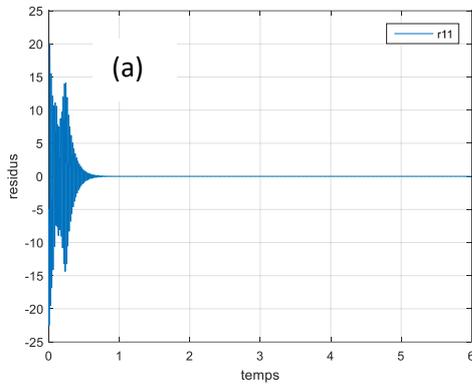


Figure (3.25) : Défaut sur le
capteur « 3 » d3

Les résultats obtenus sont donnés par la figure (3. 26)



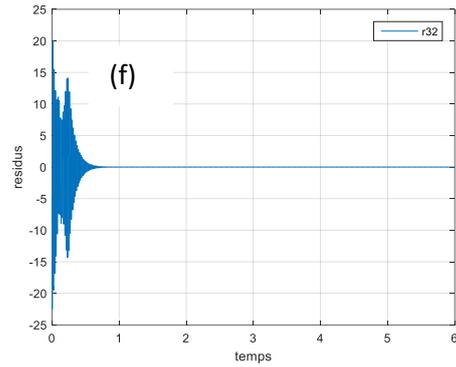
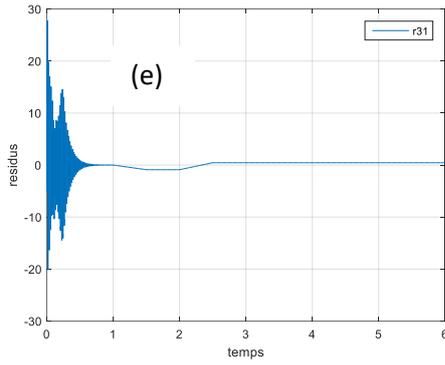
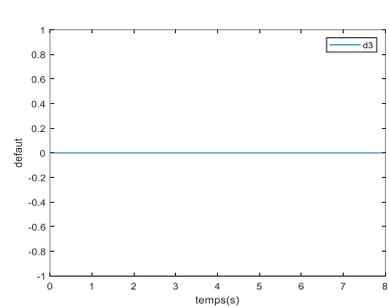
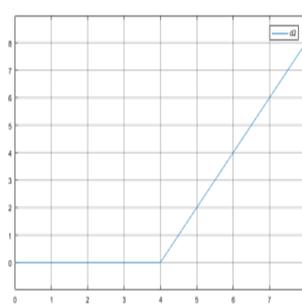
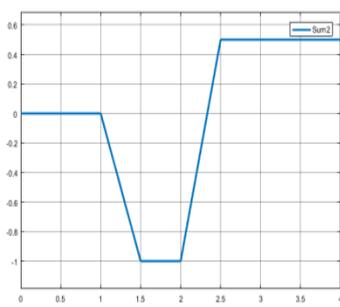


Figure (3.26): les résidus du défaut graduel (rampe).

La figure (3-26) « a », « b », « c », et « f » montre que les résidus r1.1, r1.2, r2.2, r3.2 ne sont pas sensibles au défaut, par contre les résidus r212 et r3.1 (figure 3-26) sont sensibles à ce défaut; et ils évoluent de la même façon que le défaut.

➤ **Cas de défaut graduel (rampe) sur deux capteurs**



Figure(3.26) :simulation du défaut d1

Figure(3.27) : simulation du défaut d2 (rampe)

Figure (3.28) : simulation de défaut d3

Les résultats obtenus sont donnés par la figure (3-29).

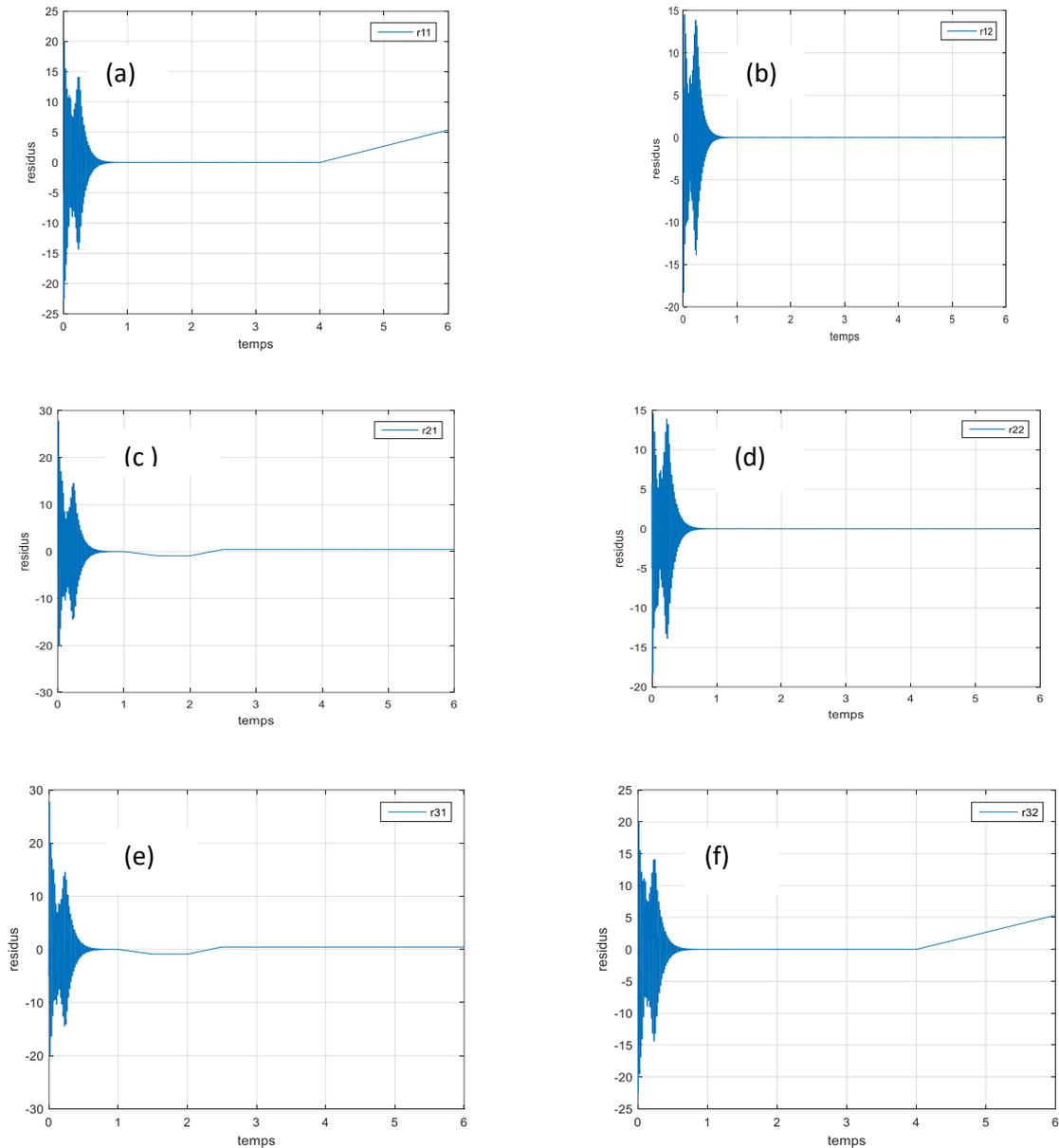


Figure (3.29): les résidus des défauts graduels sur deux capteurs.

Dans ce cas, la figure (3.29) montre que :

- ✚ La figure (3.29) « c » et « e » montrent que les résidus sont sensible au premier défaut ils suivent son évolution.
- ✚ La même chose pour les figures « a » et « f » ils sont sensibles au défaut et ils varient de la même façon que ce dernier.

➤ **Cas 3 : tous les capteurs sont en défaut**

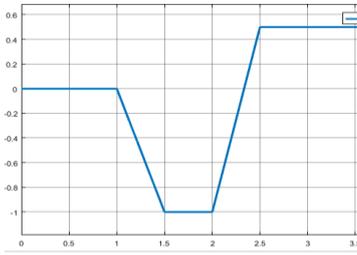


Figure (3.30) : Evolution du défaut d1

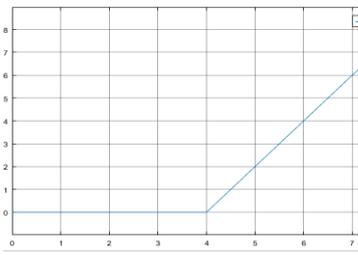


Figure (3-31) : Evolution du défaut d2

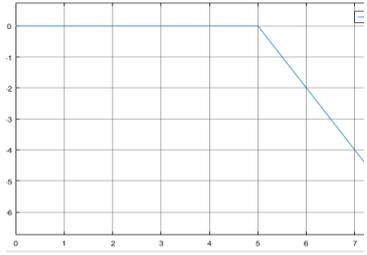
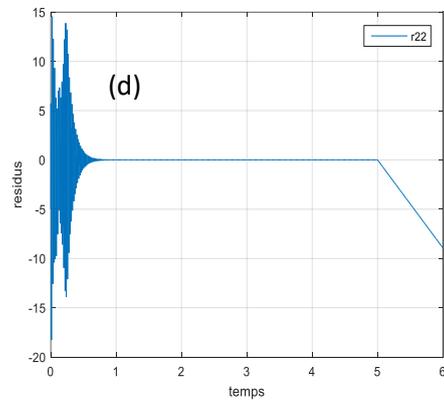
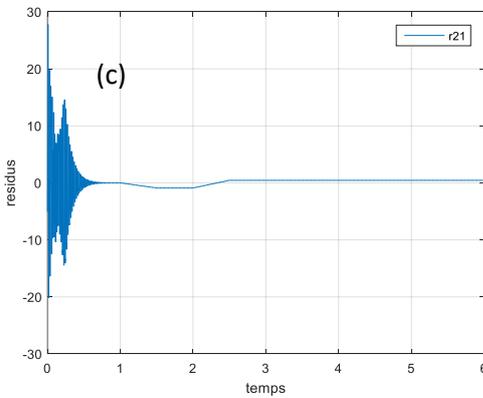
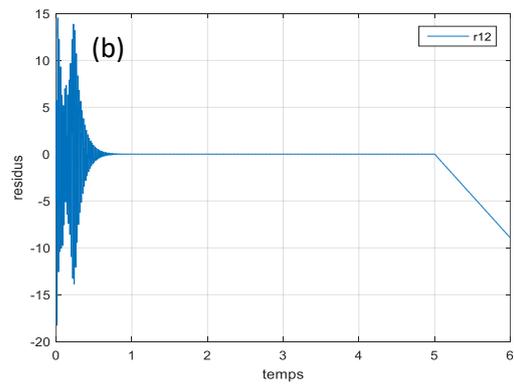
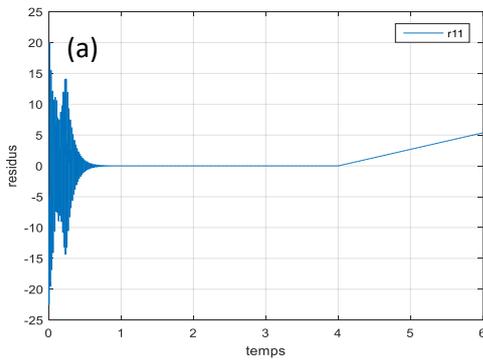


Figure (3-32) : Evolution du défaut d3

Les résultats obtenus sont donnés par la figure (3-33).



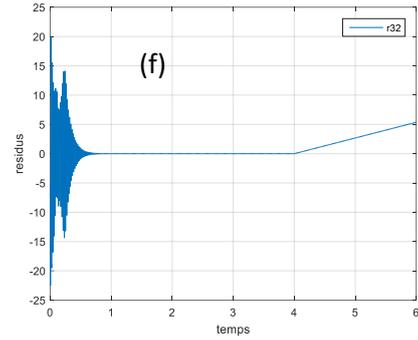
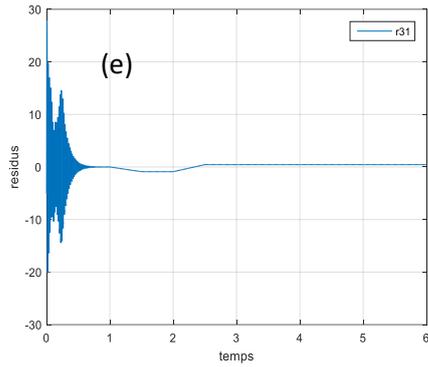


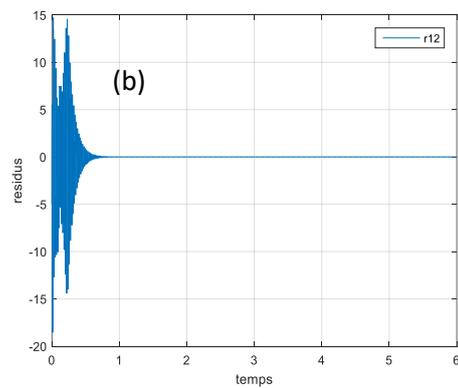
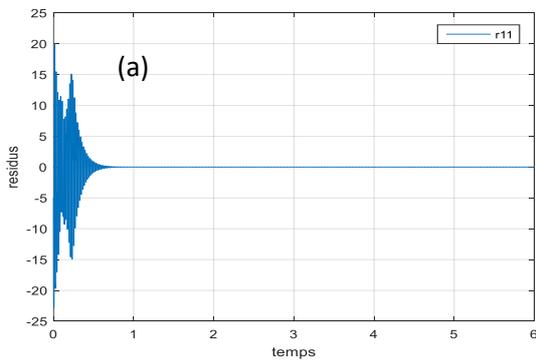
Figure (3.33): les résidus dans le cas de trois capteurs en défaut.

✚ la figure (3-33) exprime que tous les résidus sont sensibles aux défauts.

Les figures « a » et « f » sont sensible au défaut de capteur d2, et les figures « c » et « e » sont sensible au premier défaut (d1), et les figures « b » et « d » sont sensibles au défaut (d3) et ils varient de la même façon que les défauts appliqués.

➤ **Cas défaut de court de circuit de spires**

On simule un défaut de court circuit de 6 spires sur une phase du stator de la MAS a $t=3s$. On suppose que tous les capteurs sont sains



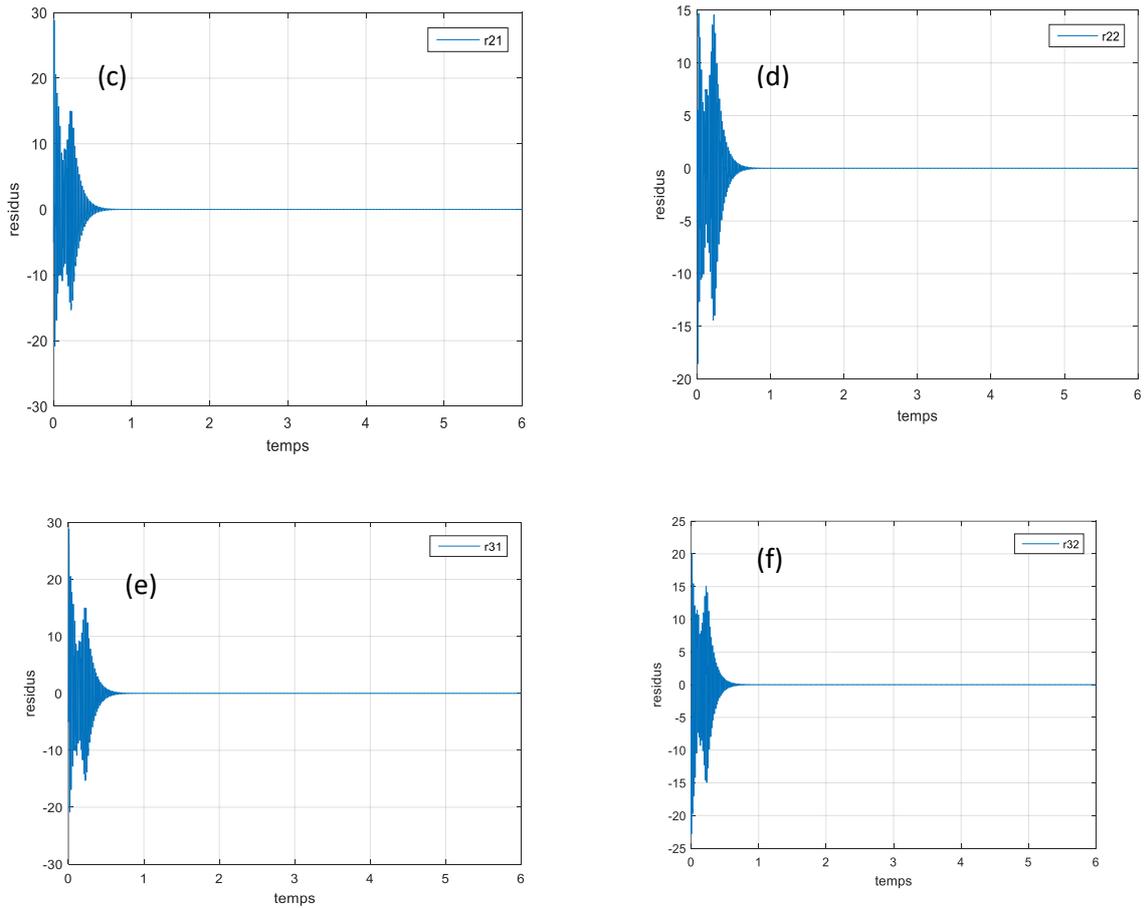


Figure (3.34):les résidus dans le cas de défaut échelon sur 1 capteur avec un autre défaut de court de circuit de spires statoriques.

✚ Cas de défaut de court de circuit dans la MAS :

Défaut de court-circuit de 6 spire sur une phase : Les résidus $r_{1.1}$, $r_{1.2}$, $r_{2.1}$, $r_{2.2}$, $r_{3.1}$, $r_{3.2}$, ne sont pas sensibles a ce défaut

➤ **Cas un défaut de déséquilibre**

On simule un défaut de déséquilibre de 5% de sur une phase de la MAS a $t=3s$. On suppose que tous les capteurs sont sains.

La figure (3-35) illustre les résultats obtenus.

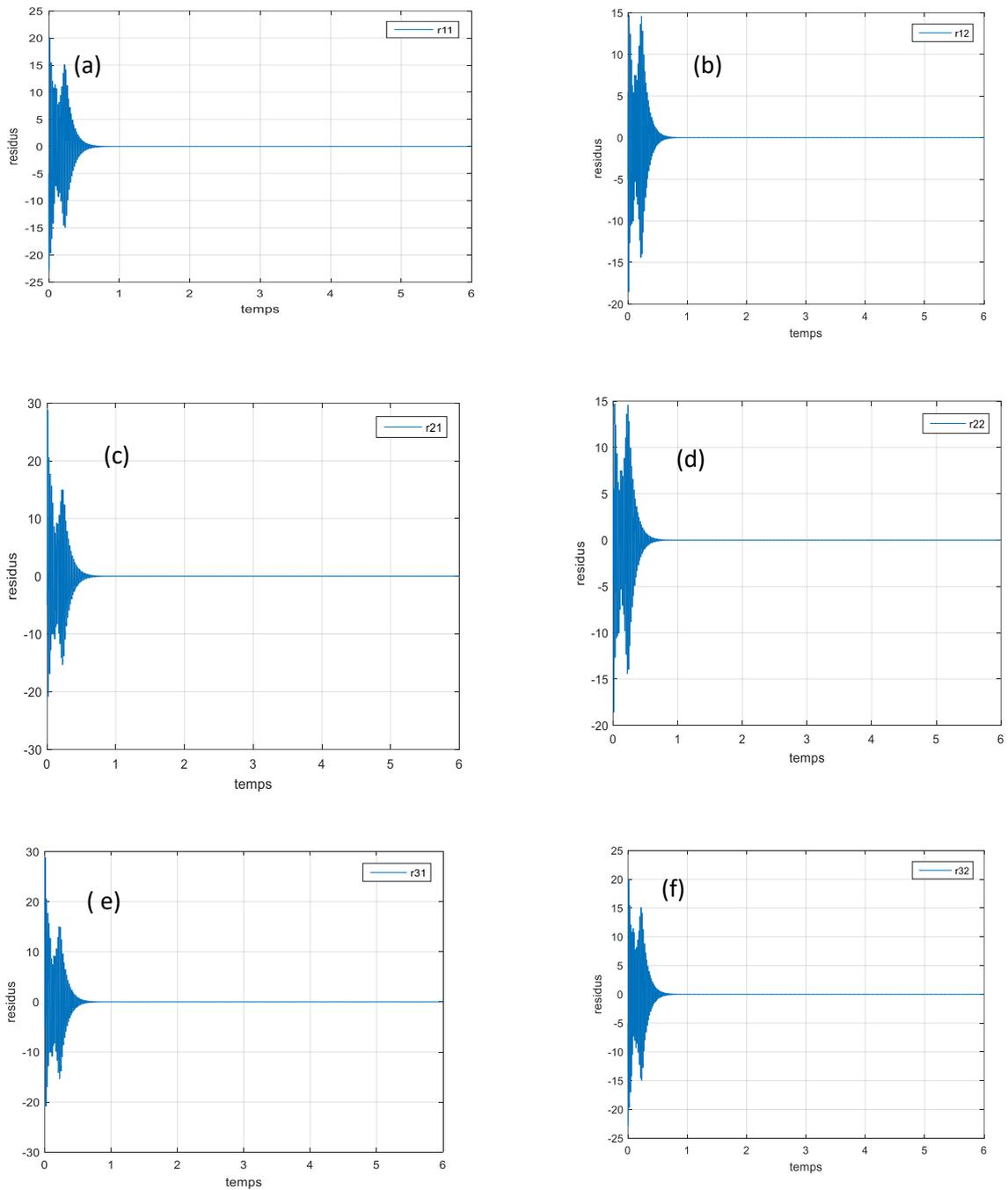


Figure (3.35): les résidus dans le cas d'un déséquilibre de la tension d'alimentation.

✚ défaut un déséquilibre de la tension d'alimentation : Les résidus $r_{1.1}$, $r_{1.2}$, $r_{2.1}$, $r_{2.2}$, $r_{3.1}$, $r_{3.2}$, ne sont pas sensibles au défaut de déséquilibre de la tension d'alimentation

➤ **Cas de l'application d'un couple de charge**

On applique un couple de charge de 3.8N.m sur la MAS à $t=3s$. On suppose que tous les capteurs sont sains

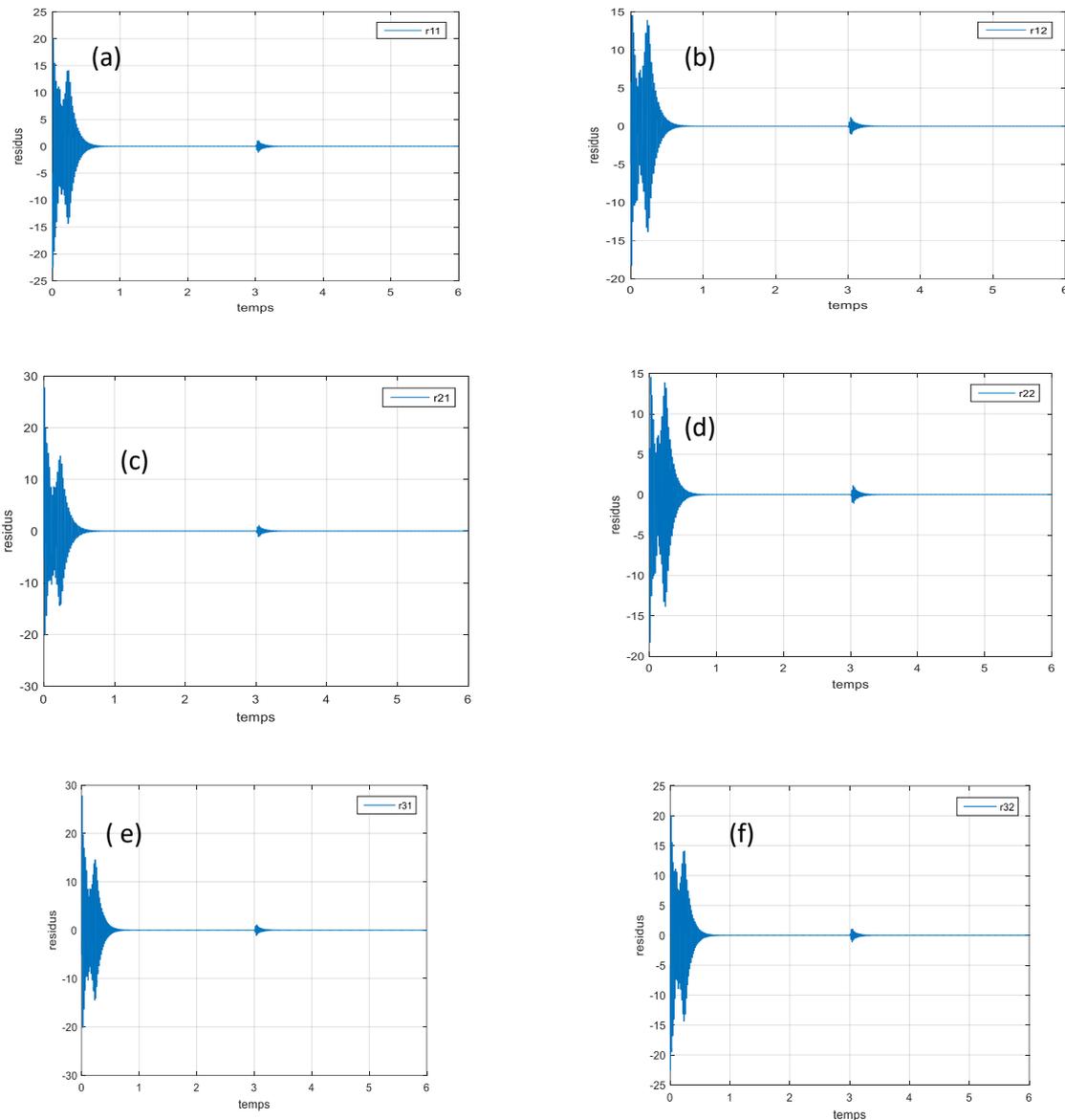


Figure (3.36):les résidus lors de l'application d'un couple de charge de 3.8N/m.

✚ Cas avec une charge de 3.8N.m :

Les résidus montrent l'impact de la charge de 3.8N.m sur la détection des défauts échelon.

L'impact d'une charge externe sur les résidus révèle comment les conditions opérationnelles n'influence pas.

3.9. CONCLUSION :

Dans ce troisième chapitre, nous avons exploré en profondeur le concept de génération des résidus en utilisant un observateur de Luenberger.

Nous avons commencé par rappeler les bases théoriques de l'observateur de Luenberger, en soulignant son rôle crucial dans l'estimation des états d'un système à partir des mesures de sortie. En mettant l'accent sur l'importance de la construction d'un modèle mathématique précis du système étudié, nous avons montré comment cet observateur permet de générer des résidus, qui sont des indicateurs essentiels pour détecter des anomalies.

Les résultats de simulations effectuées à l'aide du modèle du MAS et des observateurs de Luenberger sont très intéressants. En effet, dans le cas du MAS sain et le défaut se produit dans le(s) capteur(s), les résidus suivent le défaut et arrivent à le détecter. Lorsqu'on applique un défaut de court-circuit de spires statoriques ou on applique un déséquilibre dans l'alimentation le résidu ne détecte pas ce défaut alors il n'est pas sensible à ces défauts.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, ce mémoire est une étude sur les techniques de détection de défauts dans les systèmes de capteurs, en se concentrant spécifiquement sur les machines asynchrones. L'approche adoptée dans cette étude repose sur la génération de résidus à l'aide d'un observateur de Luenberger, ce qui permet la mise en place de systèmes plus sûrs et plus fiables. Cette méthode permet de détecter les anomalies de manière plus précise et plus rapide, réduisant ainsi les risques de défaillances graves et les coûts associés à la maintenance corrective. Par conséquent, elle améliore la performance globale des systèmes de surveillance en offrant une meilleure précision dans l'identification des défauts, ce qui est crucial pour le bon fonctionnement des machines asynchrones.

La technique de génération des résidus par un observateur de Luenberger est particulièrement intéressante car elle permet de comparer les signaux de sortie des capteurs avec les valeurs estimées par un modèle mathématique. En cas de divergence significative entre ces deux données, un défaut est suspecté, permettant ainsi une détection rapide et efficace. Cette approche se distingue par sa capacité à fonctionner en temps réel, ce qui est essentiel pour la surveillance continue des machines asynchrones dans des environnements industriels où la fiabilité et la disponibilité des équipements sont des priorités absolues.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire démontrent non seulement l'efficacité de la méthode proposée, mais aussi son potentiel à être intégrée dans des systèmes de surveillance existants. L'un des principaux avantages de l'utilisation de l'observateur de Luenberger est sa flexibilité, permettant son adaptation à différentes configurations de machines et de capteurs. De plus, cette technique est capable de prendre en compte les variations des conditions de fonctionnement, ce qui la rend particulièrement robuste face aux perturbations et aux bruits qui peuvent affecter les mesures des capteurs.

Annexes

Les paramètres la machine saine que nous avons utilisé :

$R_r=2.61$;résistance rotorique

$R_s=4.287$; résistance statorique

$L_r=0.368$; l'inductance rotorique

$L_s=0.404$; l'inductance statorique

$L_m=0.368$; l'inductance de magnétisme

$J=0.0256$; L'inertie de la partie tournante

$f_v=0$; Coefficient de frottement

$p=2$;nombre de paire de pôles

REFERENCES

- [1] S. AG ATTAYOUB.T. WALLY MODIBO, «Modélisation de la machine asynchrone déséquilibrée et en présence de défaut statorique,» Université Saad Dahlab, Blida, 2018.
- [2]] P. Barret, Régimes transitoires des machines tournantes électriques, Paris: Eyrolles, 1987.
- [3] «Marposs "rotor",» Marposs, 1999. [En ligne]. Available: <https://www.marposs.com/fre/application/rotor>.
- [4] A. Guezmil, «Sur la Synthèse et l'Implémentation des Observateurs d'État pour le Diagnostic et la Commande de la Machine Asynchrone,» December 2017. [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/publication/322208455_Sur_la_Synthese_et_l'Implementation_des_Observateurs_d'Etat_pour_le_Diagnostic_et_la_Commande_de_la_Machine_Asynchrone.
- [5] W. D. Djeddar « La commande scalaire de la machine asynchrone ,» université Saad Dahlab, Blida, 2019.
- [6] W. SAID «Modélisation de la machine asynchrone asymétrique et en présence de default,» Université Saad Dahlab, Blida, 2019.
- [7] «HBK capteur de mesure,» HBK, 23 janvier 2020. [En ligne]. Available: <https://www.hbm.com/fr/5501/capteurs-mesure/>.
- [8] E. Ramsden, Hall-effect sensors-Theory and applications, Amsterdam/Boston: Elsevier, 2011.
- [9] A. Aitouche, «détection et localisation de défaillances de capteurs ,» Université de Nancy, Nancy,France, 1990.
- [10] T. Lequeu, «Informations sur les capteurs de tensions et de courants LEM,» Librairie des fichiers PDF de composants , octobre 2022.LEM.
- [11] R. Fellouah, «contribution au diagnostic de pannes pour les systèmes différentiellement++++,» université de Toulouse,, Toulouse, France, 2007.
- [12] D. R. Maquin, «Diagnostic des systèmes linéaires,» Centre de Recherche en Automatique de Nancy, Nancy, France, 2000.
- [13] A. E. B. M. Morris, «Process Performance Monitoring and Fault Detection Through Multivariate Statistical Process Control,» *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 30, n° %118, pp. 1-14, 1997.
- [14] K. El Merraoui, «Diagnostic de défauts à l'aide d'observateur d'états,» Université Saad Dahlab, Blida, 2008.

- [15] D. Luenberger, «an introduction to observers,» *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 11, n° 12, pp. 190-197, 1971.
- [16] E. Cherrier, «Estimation de l'état et des entrées inconnues pour une classe de système non linéaires,» INP Lorraine, FRANCE, 2006.
- [17] «energie plus "Moteur asynchrone",» wallonie energie SPW, 2021. [En ligne]. Available: <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-asynchrone/>.
- [18] «Made-in-China "Made-in-China",» Made-in-China, 1996. [En ligne]. Available: https://fr.made-in-china.com/co_mc-motor/product_3-Phase-Motor-Stator-Winding-Rotor-Stator-for-High-Speed-Motor_ysnhuynyhg.html.
- [19] M. Galvez-Carrillo and M. Kinnaert “Model-based sensor fault detection and isolation in balanced three-phase signals”
Proceedings of the 15th IFAC Symposium on System Identification Saint-Malo, France, July 6-8, 2009

