

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : commande des systèmes électriques

Spécialité : commande électrique

THÈME

Défaut de moteur à réluctance variable double saillance

Préparé par :
BENRAHOU CHERIFA

Devant le Jury :

| Nom et prénoms | Grade | Qualité |
|-----------------------|--------------|------------------|
| Mr.SAIBLA | MAA | Président |
| Mr.NEGADI.K | MCA | Examineur |
| Mr.BECHEIKH.M | MCB | Encadreur |

PROMOTION 2018 /2019

Remerciement

Je remercie ALLAH le tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté la patience de mener à terme ce présent travail A mes parents pour m'avoir encouragé.

Je remercie également monsieur «Mr. BECHIKH » notre directeur de mémoire, pour la qualité du sujet, son support et les orientations durant toute la réalisation de ce mémoire par ces conseils qui m'ont appris la patience et pour la confiance qu'il me accordée.

J'exprime mon vif remerciement mes chères copines pour ses conseils et la confiance qu'il m'accorde quotidiennement précieuse, surtout dans cette période éprouvante qu'est la dernière ligne droite.
A tous les personnes qui ont accepté de me faire partager leur expérience pour ce travail.

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum "

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma
mère ...

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les gardes et les protège.

A mes adorables sœurs OUMAIMA MALEK ET NIHAL

A mes cousines IMENE YOUSRA

A mes copines SAMRA SARRAH ASMA

A tous ceux qui me sont chères. A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

Liste des notations et symboles

| Symboles et abréviations | Signification |
|--------------------------|--|
| MRVDS | Machine à reluctance variable à double saillance |
| N_r | Nombre de dents au rotor |
| N_s | Nombre de dents au stator |
| θ_m | Angle mécanique |
| T | la période du courant de phase |
| N | La vitesse de rotation |
| f | la fréquence électrique. |
| e | Le retour de force électromotrice |
| FEM | FEM force électromotrice |
| Ke | la constante FEM arrière |
| Te | couple |
| IGBT | Transistor bipolaire à grille isolée |
| R | La résistance de l'enroulement |
| U | la tension de phase |
| i | Le courant de la phase |
| Ψ | Le flux total traversant le bobinage |
| Ω | La vitesse angulaire de rotation |
| m | le nombre de phases |
| β_s | Angle denture stator |
| β_r | Angle denture rotor |
| L | Inductance |
| B | le coefficient de frottement visqueux |
| J | le moment d'inertie (kg. m ²) |
| T _L | le couple de charge |
| ω | la vitesse du rotor |
| α_r | le pas des pôles du rotor. |
| β_s | l'arc des pôles du stator. |

Liste des notations et symboles

| | |
|-------------|--|
| β_r : | l'arc de pôle du rotor. |
| $N\psi$ | la liaison de flux due au courant de phase. |
| DC | courants continu |
| AC | courant alternatif |
| R_s | la résistance de chaque enroulement de phase du stator |
| w_0 | la vitesse de rotation initiale |
| L_q | Inductance non alignée |
| L_d | Inductance alignée |
| L_{dsat} | Inductance alignée saturée |
| I_m | Courant maximum |
| ψ_m | La liaison de flux maximale |

Liste de figures

Chapitre I

| | |
|---|----|
| Figure I.1 Un des premiers moteurs à réluctance variable à double saillance (années 1920).. | 4 |
| Figure I.2 structure synchrone et à double saillance d'un MRV..... | 5 |
| Figure I.3 MRV 12/8 typique avec 12 pôles au stator et 8 pôles au rotor..... | 6 |
| Figure I.4 séquence d'alimentation d'un MRVDS..... | 7 |
| Figure I.5 MRV à plus de 2 dents par phase..... | 8 |
| Figure I.6Attraction sur une phase | 10 |
| Figure I.7 schéma équivalent par phase d'un MRVDS..... | 10 |
| Figure. I.8 Représentation du système globale..... | 12 |
| Figure I.9 variation de l'inductance par rapport à la position du rotor..... | 13 |
| Figure I.10 Simple MRVDS avec une phase et deux poles..... | 15 |
| Figure I.11 Position alignée..... | 15 |
| Figure .I.12 Position non alignée..... | 16 |
| Figure I.13 Variation de l'inductance et du couple avec la position du rotor | 17 |
| Figure .I.14 Variation de l'inductance, du courant, de la liaison flux, du couple et des champs électromagnétiques avec la position du rotor, avec courant unidirectionnel..... | 18 |
| Figure I.15 MRV pur à grosses dents..... | 20 |
| Figure I .16 MRV à effet Vernier à stator externe et interne..... | 21 |
| Figure I.17 MRV hybride..... | 22 |
| Figure I .18 MRV utilisée dans le train à grande vitesse pour la climatisation de l'air cycle. | 23 |
| Figure I.19 MVR dans l'environnement extrême..... | 24 |

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Figure II.1 Alimentation en courant unidirectionnel..... | 30 |
|--|----|

Liste de figures

| | |
|--|----|
| Figure II.2 Alimentation en courant bidirectionnel..... | 31 |
| Figure II.3.Onduleur de base de la MRVDS (par phase)..... | 32 |
| Figure II.4 Formes d'onde du courant à haute vitesse en pleine onde de tension..... | 33 |
| Figure II.5 MRVDS et son alimentation..... | 34 |
| Figure II.6 Les défauts au niveau de l'onduleur..... | 36 |
| Figure II.7 Principe de diagnostic par modélisation paramétrique..... | 40 |
| Chapitre III | |
| III.1 Schéma du modèle complet du MRV sous l'environnement MATLAB/SIMULIN..... | 44 |
| Figure.III.2. Moteur à reluctance variable double saillances | 45 |
| Figure III.3.Boîte de dialogue et paramètres..... | 46 |
| Figure III.4.Onglet Paramètres: Modèle générique..... | 47 |
| Figure.III.5.Onglet avancé..... | 48 |
| Figure.III.6.Convertisseur..... | 49 |
| Figure III.7.Les quatre convertisseurs..... | 50 |
| Figure III.8.Composantes de convertisseur..... | 51 |
| Figure.III.9.L'acquisition des données..... | 53 |
| Figure III.10.capteur de position..... | 55 |
| Figure III.11.relais..... | 57 |
| Figure III.12.Forme d'onde de l'évolution de vitesse et du couple lors de fonctionnement normale..... | 58 |
| Figure III.13 paramaitre de IGBT..... | 60 |
| Figure III .14 Forme d'onde de l'évolution de vitesse et du couple lors de fonctionnement en défaut..... | 61 |
| Figure III.15 une partie zoom des formes d'onde de la vitesse et le couple..... | 62 |
| Figure III.16 prise du mémoire de magister en électrotechnique représente un défaut de déformation de la forme modulation de la vitesse et du couple | 63 |

Liste de figures

Liste des tableaux

Tableau II.1 les différents types de défauts et leurs symptômes

Tableau II.2 Les défauts rotoriques des moteurs

Tableau II.3 Les défauts rotoriques des MVR

Tableau II.4 le principe ainsi que les causes sur lesquelles les techniques de diagnostic sont exploitées

SOMMAIRE

Chapitre I : Généralités sur la machine à réluctance variable

| | |
|---|----|
| I.1.Introduction..... | 1 |
| I.2.Historique..... | 2 |
| I.3.Définition | 5 |
| I.4.Constitution d'un moteur à réluctance variable double saillances..... | 5 |
| I.5.Les différentes structures de MVRDS..... | 7 |
| I.6 Principe de fonctionnement de la MRVDS..... | 9 |
| I. La conversion d'énergie électromagnétique..... | 9 |
| I.8 Modélisation du MRVDS..... | 10 |
| I.9Variation de l'inductance avec la position du rotor..... | 15 |
| I.10.Topologies des MRVDS tournantes..... | 19 |
| I.10.1.Les MRVDS purs..... | 19 |
| I.10.2.Les MRVDS à effet VERNIER..... | 20 |
| I.10.3.Les MRVDS hybrides..... | 21 |
| I.11Applications critiques des MRVDS..... | 22 |
| I.12.Les avantages et les inconvénients du MRVDS..... | 25 |
| I.12.1.Les avantages | 25 |
| I.12.2.Les inconvénients du MRVDS..... | 26 |
| Conclusion | 26 |

Chapitre II : les défauts des MVR

| | |
|---|----|
| II.1Introduction | 27 |
| II.2. Les défauts de la machines à réluctance variable double saillances..... | 27 |
| II .3. Au niveau de la machine..... | 28 |
| II.3.1.Les défauts mécaniques | 28 |
| II.3.2.Les défauts rotoriques | 29 |
| II.3.3.Les défauts statoriques..... | 29 |
| II.4 au niveau de l'onduleur « électrique »..... | 30 |
| II.4.1 L'alimentation du MRVDS..... | 30 |
| II.4.1.1 Alimentation en courant unidirectionnel..... | 30 |
| II.4.1.2 Alimentation en courant alternatif | 30 |
| II.4.1.3 Alimentation par convertisseur statique..... | 31 |
| II.4.2 Les défauts au niveau de l'onduleur..... | 34 |
| II.4.2.1 Les origines des défauts | 36 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| II.4. Les techniques de diagnostic et de détection des défauts | 37 |
| II .5. Les différentes méthodes de diagnostic des moteurs..... | 38 |
| II.5.1.Méthode externe..... | 39 |
| II.5.2.Méthode interne..... | 39 |
| II.5.3.Analyse spectral..... | 40 |
| II.5.3.1. Analyse spectrale du courant statorique d'une phase..... | 41 |
| Conclusion..... | 42 |
| Chapitre III : Modélisation & Simulation Du défaut dans le Système MRV | |
| III.1.Introduction..... | 43 |
| III.2. Modèle complet du MRVDS sous l'environnement MATLAB/SIMULINK..... | 43 |
| III.2.1.Moteur à reluctance variable..... | 45 |
| III.2.1.1.Boite de dialogue et paramètres..... | 46 |
| III.2.2.Convertisseur..... | 49 |
| III.2.2.1.Les quatre convertisseurs..... | 50 |
| III.2.2.2.Composantes de chaque convertisseur..... | 51 |
| III.2.3. L'acquisition des données..... | 53 |
| III.2.4. : capteur de position..... | 55 |
| III.2.5.Relay..... | 57 |
| III.3. Résultat de simulation..... | 58 |
| III.3.1 En fonctionnement normale..... | 58 |
| III.4. Fractionnement en défaut..... | 59 |
| III.4.1Résultat de simulation avec défaut..... | 60 |
| Conclusion..... | 63 |

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Introduction générale

Depuis toujours les hommes n'ont cessés d'innover, de développer et d'améliorer les outils afin de remédier aux exigences du quotidien. Et avec l'avènement de la révolution industrielle, les machines ont joué un rôle pas des moindres dans ce domaine. D'ailleurs de nos jours, on ne peut concevoir une économie développée sans impliquer des industries mettant en œuvres des machines robustes et fiables.

Les machines électriques classiques, tel que les machines à courant continu et celles à courant alternatif ont toujours fait leurs preuves. Cela est dû en partie, à leur adaptabilité à différents domaines ainsi qu'à leurs performances en puissances et en vitesses.

Mais vers la fin des années soixante, une nouvelle génération de machines tournantes a connu un essor, notamment avec le développement de l'électronique de puissance. Parmi ces machines nous citons les moteurs à reluctance variable (MRV) ; Ce sont des machines de très simple construction, robustes, peu coûteuses et qui procurent un bon fonctionnement sur des plages très étendues de vitesses et de puissances.

Aujourd'hui les MRV trouvent de plus en plus de domaines d'application comme les appareils ménagers, la traction automobile et ferroviaire et les systèmes embarqués, pour ne citer que l'essentiel.

Chapitre I :

Généralités sur la machine à réluctance variable

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

I.1.Introduction

Le principe des machines à réluctance variable (MRV) est basé sur celui de l'électroaimant. En fait, il s'agit de la plus ancienne méthode de conversion électromécanique.

La dénomination des machines à réluctance variable (MRV) englobe des machines de structures différentes dont la propriété commune est la variation sensible de la forme de l'entrefer durant la rotation. Mais, ces machines n'ont pas les mêmes caractéristiques ni les mêmes performances et ne sont pas destinées au même usage.

La machine à réluctance variable à double saillance (MRVDS) dont les phases sont alimentées en courants unidirectionnels par des convertisseurs à demi-points asymétriques, constitue certainement la solution la plus économique grâce aux matériaux utilisés (tôles fer-silicium et cuivre) et à sa simplicité de fabrication (empilage de tôles, bobines préfabriquées, rotor passif naturellement équilibré...). Ses performances peuvent être comparables à celles des machines à aimants permanents. Elle peut aussi fonctionner à puissance maximale constante. Mais elle produit un couple très pulsateur à haute vitesse et génère un bruit acoustique supérieur à tous ses concurrents.

Dans le présent chapitre, nous présenterons les différents types de machines à réluctance variable selon leurs constructions puis nous procéderons à une étude théorique de leur fonctionnement et finalement en parlera les avantages et inconvénients de ce moteur.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

I.2 HISTORIQUE

L'aventure de l'électricité commence, d'après les historiens, aux alentours de 585 av. J.C., avec les travaux du philosophe grec THALÈS de Millet, lors de l'étude sur l'attraction des corps légers par l'ambre frotté (le nom "électron" (ελεχτρον) signifiant, en grec, ambre). Après une longue période d'oubli, mais probablement non passive, le médecin de la reine d'Angleterre William GILBERT publie, en 1600, un remarquable ouvrage sur les observations des propriétés des aimants et de l'électricité statique : "De magnete". Il considère alors que l'ambre électrisé est une variété d'aimant, c'est peut-être la première fois qu'électricité et magnétisme sont autant rapprochés. Puis, en 1660, en Allemagne, Otto von GUERICKE "invente" la génératrice électrostatique ; il s'agit sans doute de la première machine électrique, dont toutefois la réversibilité ne semble pas avoir été imaginée. Jusque-là, les travaux effectués ne concernaient que l'électrostatique. L'étude expérimentale des phénomènes électriques et magnétiques (traités indépendamment) va connaître durant le XVIIIe siècle un développement prodigieux. Citons deux acteurs importants de cette phase : l'abbé Jean-Antoine NOLLET et l'Américain Benjamin FRANKLIN .Tous deux s'intéressèrent à la foudre et à l'électricité ; ils découvrirent que la foudre était une décharge électrique identique à celles qu'ils savaient produire durant leurs expériences. Ils firent aussi, tous deux, une découverte fondamentale, sans cependant y prêter attention. Ils observèrent une relation entre électricité et magnétisme : ils remarquèrent, en effet, que la foudre pouvait démagnétiser les aimants ou inverser leur polarité. Franklin réalisa même l'expérience avec de l'électricité "artificielle". Les inventions électrotechniques (ce mot n'était pas usité à cette époque, il n'est apparu que vers 1892) vont alors se succéder : en 1745, la bouteille de LEYDE (premier condensateur), la première pile de VOLTA en 1799. Cette dernière découverte sera à l'origine des premières applications industrielles de l'électricité : l'électrolyse. Cependant les piles étaient très coûteuses et dégageaient des "vapeurs" désagréables et nocives. Les premières machines électriques à vocation industrielle seront des génératrices vouées au remplacement des générateurs électrochimiques.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

•Premiers Travaux (1820-1870) :

Les moteurs réluctants furent parmi les premiers moteurs électriques développés dans la période entre 1830 et 1850. Leurs origines remontent à l'électroaimant en fer à cheval de William Sturgeon en 1824, qui fut amélioré ensuite par Joseph Henry en 1831, en essayant de transformer une seule attraction en un mouvement oscillatoire continu. En 1833 le révérend William Ritchie, semble être le premier ayant établi une sorte de loi des circuits magnétiques. Néanmoins la première machine à réluctance reconnaissable fût réalisée par le plus célèbre Davidson comme commande de traction pour une locomotive électrique en 1838.

Cependant, jusqu'au début des années 1870, une période d'essai et d'erreur, subsistait avec l'apparition des moteurs les plus insolites [5].

•Début des Moteurs Réluctants (1870-1920) :

Le développement des premiers commutateurs dans les années 1870, et la découverte de la loi du circuit magnétique en 1880 ont permis le développement et l'entrée en force des moteurs à courant continu et à courant alternatif, qui ont certes fait de l'ombre au moteur réluctant.

Ce n'est qu'après la parution des travaux de John Hopkinson en 1886, qu'on a commencé à effectuer des calculs systématiques sur les moteurs électriques. Une idée à l'esprit commence à être appréciée, celle que le révérend William Ritchie a initiée, en préconisant de garder le circuit magnétique le plus court possible. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, le moteur réluctant fut le jouet des bricoleurs de machines, au grand profit d'une percée des moteurs à Courant Continu et à Courant Alternatif. A l'aube du XXe siècle, le Français Boucherôt réalisa un moteur réluctant synchrone et oscillant, mettant à profit les progrès dans le domaine du courant alternatif. Depuis, plusieurs travaillèrent sur ce nouveau type de moteur, notamment en tant que convertisseur de fréquence [2], [3], [5], [6], [7].

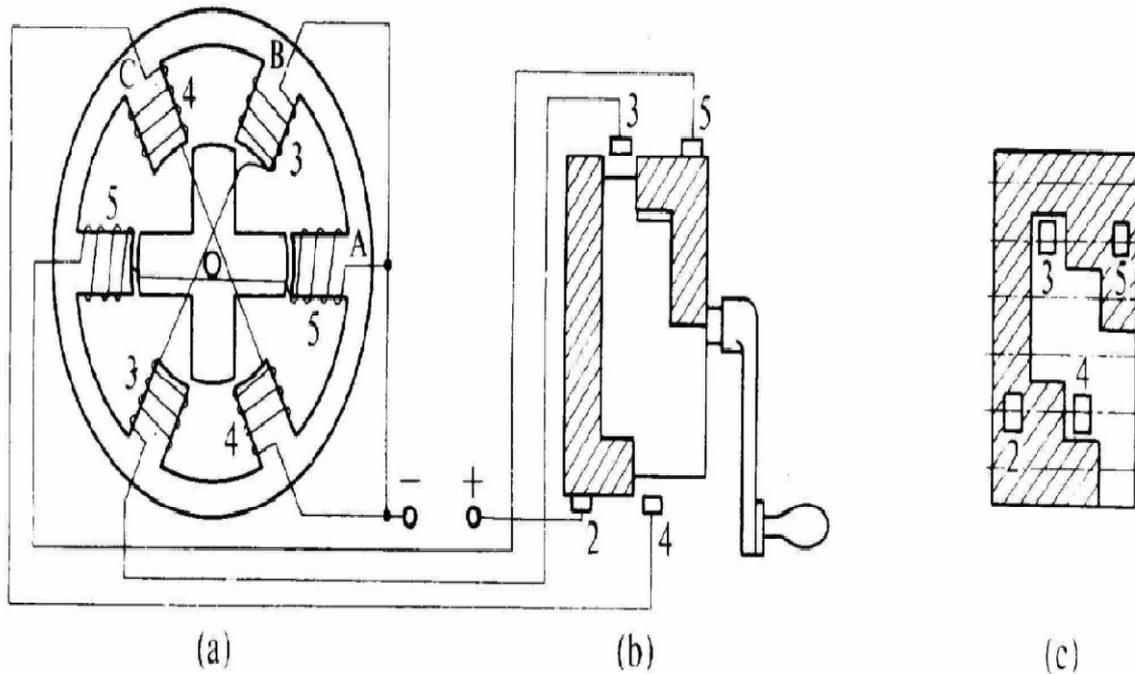


Figure I.1 Un des premiers moteurs à réductance variable à double saillance (années 1920)

• Le Moteur Pas à Pas "M" (1924-1930) :

Le moteur pas à pas "M" représente une autre étape capitale dans l'histoire du moteur réductant. Développé par Clausen en 1924, dans le cadre de vastes travaux initiés après la première guerre mondiale, et ce pour servir à bord des navires de la British Navy pour la commande à distance des batteries de canons.

Le moteur type M comprend trois phases, avec stator complètement bobiné, et un rotor en tôles empilées axialement figure I.1. Ce moteur fut utilisé jusqu'au milieu des années 1950. Le moteur "M" a surtout marqué une convergence entre les deux technologies des moteurs pas à pas et les moteurs synchrones [3], [5].

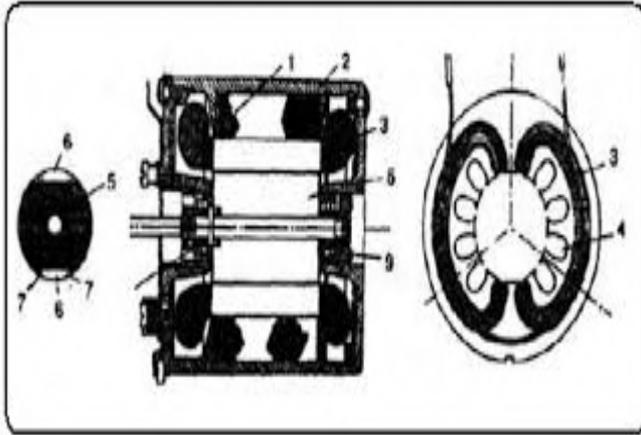


Figure I.2 structure synchrone et à double saillance d'un MRV

1.3 Définitions :

Le moteur réductant est un moteur électrique dans lequel le couple est produit par la tendance de ses parties mobiles, à se déplacer vers une position où l'inductance de l'enroulement excité est maximale.

Alors que le moteur à réductance variable double saillances (MRVDS), est un moteur électrique sans balais comportant un rotor à encoches passif (ni bobinages, ni aimants) se positionnant dans la direction de la plus faible réductance, correspondant à la position de l'inductance maximale.

Sa double saillance (denture au stator et au rotor) lui permet une variation de l'énergie magnétique emmagasinée et donc la production d'un couple électromagnétique avec une bonne utilisation des semi-conducteurs de l'onduleur.

I.4 constitution d'un moteur à réductance variable double saillances.

Le circuit magnétique d'un moteur à réductance variable est constitué d'un stator et d'un rotor.

- **Le stator** : est un empilage de tôles découpées, encochées supportant les bobinages ou les phases.
- **Le rotor** : étant la partie passive de la machine, il ne comporte ni conducteur ni aimant permanent. C'est une masse de tôles d'acier laminé et empilé formant ainsi un nombre de pôles égale à N_r .

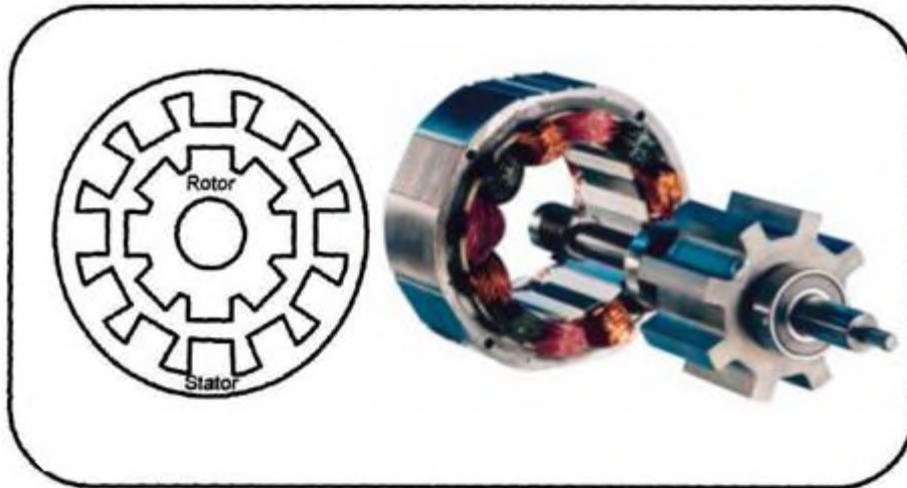


Figure I.3 MRV 12/8 typique avec 12 pôles au stator et 8 pôles au rotor.

Tous du stator et du rotor possèdent, des pôles saillants, mais pas d'enroulement sur le rotor. Le nombre des pôles du stator est souvent différent du nombre des pôles rotoriques, pour éviter ainsi que le rotor reste immobilisé avec un couple de démarrage nul, lorsque les pôles rotoriques se trouvent coincés avec ceux du stator.

Les enroulements dans le stator sont bobinés sur les pôles opposés, connectés en série ou en parallèle pour former un nombre de circuits électriques séparés ou phases. Ces enroulements de phase peuvent être excités séparément ou ensemble selon le schéma de commande. La figure I.3 montre une coupe d'un MRVDS 12/8, possédant 12 pôles statoriques et 8 pôles rotoriques. C'est un moteur à trois phases, chaque phase est composée de trois bobines enroulées sur des pôles opposés [3], [5], [7].

Contrairement aux autres types des machines classiques (moteur asynchrone, moteur à courant continu..) ou l'effet moteur est dû à l'interaction entre le champ magnétique inducteur et le courant circulant dans la partie mobile, le fonctionnement des machines à réluctances variable est basé sur le principe de l'attraction magnétique [4].

Pour que le rotor décrive un tour complet, il faut quatre cycles de fonctionnement par phase, d'où la période du courant à injecter, exprimé en radian, égale à $\pi/2$.

En générale, la période du courant de phase est :

$$T = 2\pi / Nr$$

La vitesse de rotation d'un MRVDS est donnée par :

$$N = 60.f / Nr$$

Avec f est la fréquence électrique.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

Le sens de rotation peut être modifié en changeant la séquence d'alimentation des phases.

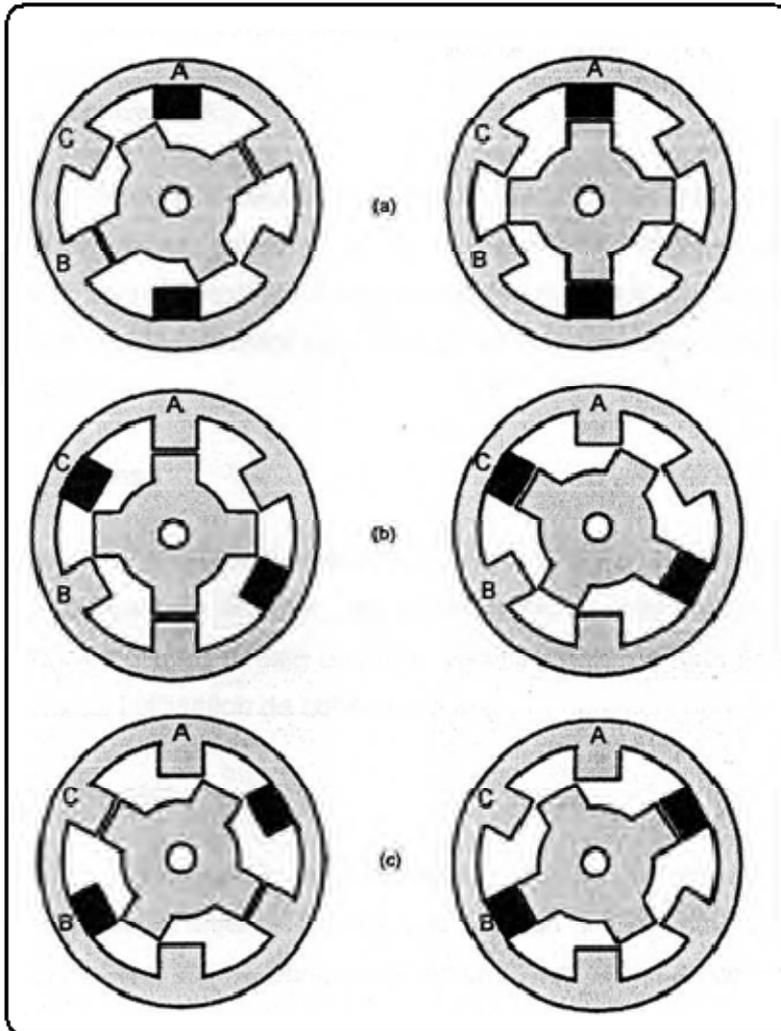


Figure I.4 séquence d'alimentation d'un MRVDS.

I.5 les différentes structures de MVRDS

Dans cette partie nous donnerons les différentes structures de convertisseurs utilisées ou encore les variantes de structure électromagnétique.

La figure I.5 montre les structures magnétiques, dites 6/4, 8/6 et 6/8, les plus utilisées.

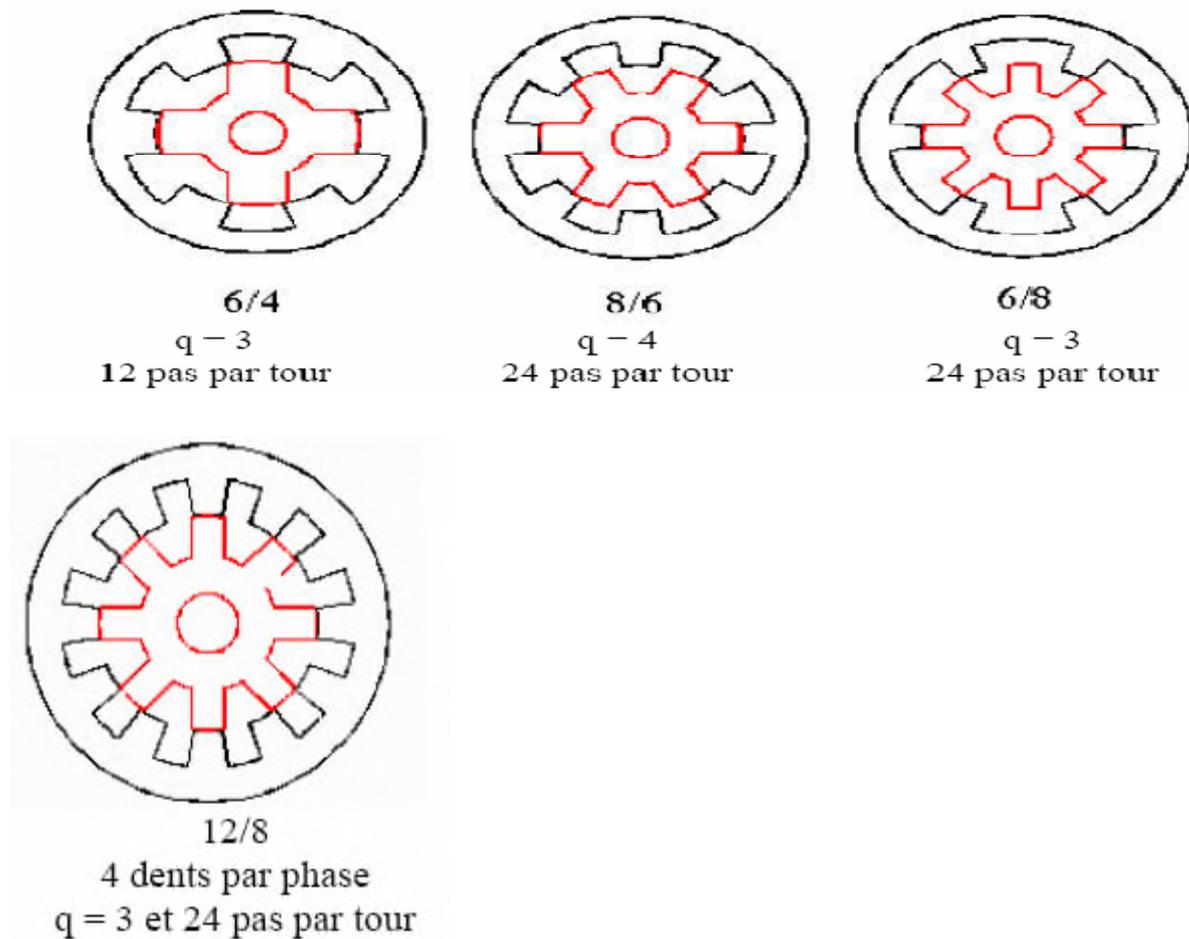


Figure I.5 MRV à plus de 2 dents par phase

Les possibilités de combinaisons de nombres de dents statoriques et rotoriques sont nombreuses et laissent une grande latitude de choix. Cependant, si l'on souhaite minimiser le nombre de phases (complexité du convertisseur statique et nombre de connexions), on dépasse rarement 4.

Chaque phase ne peut donner un couple positif pendant plus d'une demi-période, aussi une machine biphasée à denture symétrique aura-t-elle un couple polyphasé instantané nul pour certaines positions. Pour pouvoir démarrer de n'importe quelle position et dans le sens souhaité, il est nécessaire d'avoir plus de 2 phases. Si un seul sens de rotation est requis, on peut dis symétriser la structure dans le but d'accroître la zone de production de couple positif. Dans ces conditions, une machine biphasée peut fonctionner, son couple instantané est toutefois très ondulé et atteint des valeurs faibles dans certaines positions. Une machine biphasée asymétrique ne peut convenir qu'à des applications particulières où le couple résistant à basse vitesse ne présente pas une valeur trop élevée.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

Les nombres de phases fréquemment utilisés sont 3 et 4, quelquefois 2.

La vitesse de rotation est liée à la fréquence d'alimentation par le nombre N_r de dents rotoriques. Une machine à 6 dents rotoriques aura une fréquence électrique de 600Hz à 6000tr/mn mais avec un flux unidirectionnel dans les dents statoriques (dans ce cas les pertes fer correspondent à une valeur réduite par rapport à celle obtenue avec un flux alternatif : moins de la moitié).

Dans le cas de machines dont la vitesse maximale est supérieure à quelques milliers de tours par minute, pour minimiser les pertes fer sans utiliser des tôles particulièrement fines et de haute qualité, on cherche à réduire le nombre de dents rotoriques.

Pour toutes ces raisons, les structures les plus fréquemment utilisées sont les configurations : 8/6, 6/4, 6/8, 4/2, 6/2.

I.6 Principe de fonctionnement de la MRVDS

La machine à réluctance variable est une machine électrique dont le couple est produit par les forces d'attraction électromagnétiques exercées sur une partie mobile (rotor) qui se déplace vers une position où la réluctance est minimale. Les parties magnétiques du rotor et du stator d'une MRVDS à double saillances possèdent des pôles saillants. Le stator comporte N_s dents et le rotor comporte N_r dents.

Le stator d'une MRVDS est constitué de plusieurs phases électriquement indépendantes. Le rotor de la machine ne comporte aucun enroulement. Chaque phase est constituée par deux enroulements mis en série autour des pôles statoriques diamétralement opposés.

I.7 La conversion d'énergie électromagnétique

Une machine à réluctance variable double saillances est une machine électrique dans laquelle le couple est produit par la tendance de sa partie mobile à se déplacer vers une position où l'inductance de l'enroulement excité est maximisée, cette définition couvre à la fois les machines à réluctance commutée et synchrone. Le moteur à réluctance commutée a des pôles saillants sur le rotor et le stator est fonctionne comme un moteur pas à pas contrôlé.

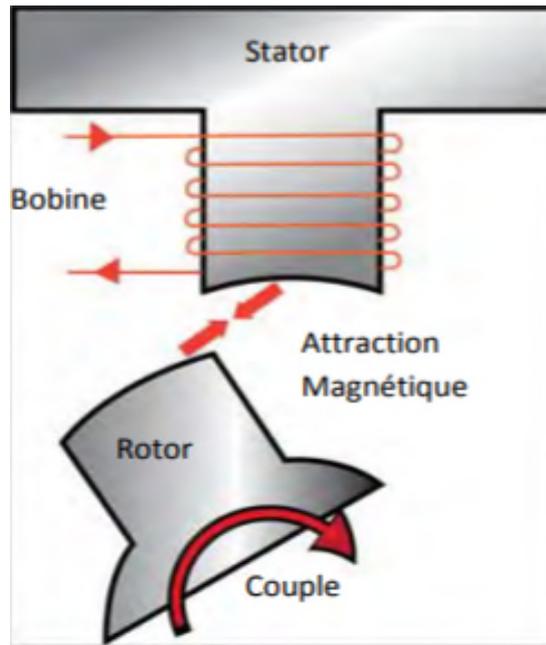


Figure I.6 Attraction sur une phase

I.8 Modélisation du MRVDS

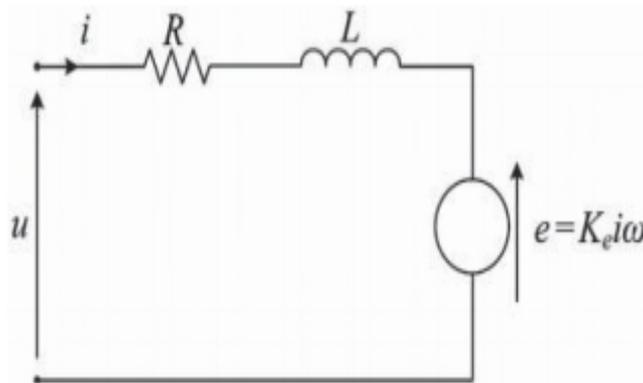


Figure I.7 schéma équivalent par phase d'un MRVDS.

Où les trois termes du côté droit représentent respectivement la chute de tension résistive, la chute de tension inductive et la force électromotrice inverse de la MRVDS. Le retour FEM correspondant, e s'écrit comme suit : [21]

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réductance variable

$$e = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} i \omega = K_e i \omega \quad (1)$$

Où

K_e : est défini comme la constante FEM arrière de MRVDS.

Par conséquent, le modèle par phase de MRVDS est obtenu, comme illustré à la figure I.8.

Comme mentionné précédemment, le couple développé par phase dépend du courant et du taux de changement d'inductance avec la position du rotor. Par conséquent, le couple de sortie résultant T_e .

T_e : est la somme des couples développés à différentes phases:

$$T_e = \sum_{i=1}^m T(i, \theta) \quad (2)$$

Où

m : est le nombre de phases de MRVDS.

Il est à noter qu'il est difficile d'obtenir le profil d'inductance idéal en raison de la présence de saturation magnétique. Cette saturation provoque le profil d'inductance se gondole près du sommet et provoque ainsi un retour décroissant sur la production de couple. De plus, chaque phase ne peut produire un couple positif que dans un demi-pas de pôle de rotor, ce qui entraîne une forte ondulation de couple. Cela crée les problèmes bien connus d'oscillation de vitesse et de bruit acoustique. Néanmoins, cette ondulation de couple peut être atténuée en augmentant le nombre de phases ou en adoptant des moyens de contrôle sophistiqués. Par conséquent, l'équation du mouvement est donnée par :

$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (3)$$

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

Où

J : est le moment d'inertie,

B : le coefficient de frottement visqueux,

T_L : le couple de charge

ω : la vitesse du rotor, qui correspond en fait au taux de changement de la position du rotor $d\theta/dt$.

Quoi que les travaux sont déjà faites sur le moteur à réluctance variable double saillances MRVDS qui sont initialement accomplit pour un système magnétique linéaire reflètent le comportement de cette machine mais en réalité ce moteur fonctionne dans une région de saturation.

Dans le but d'atteindre un couple moteur élevé de la machine, une partie du circuit magnétique rentre dans une région de saturation plus au moins de la période d'excitation. Depuis, l'effet de la saturation rend les paramètres décrivant le comportement du moteur à réluctance variable double saillances (couple électromagnétique, courant électrique par phase et l'inductance des bobines) des fonctions non seulement de la position électrique mais aussi du courant électrique. Nous allons modéliser le moteur à réluctance variable double saillance dans son comportement non linéaire afin d'écrire toute la dynamique de ce type de moteur. [21]

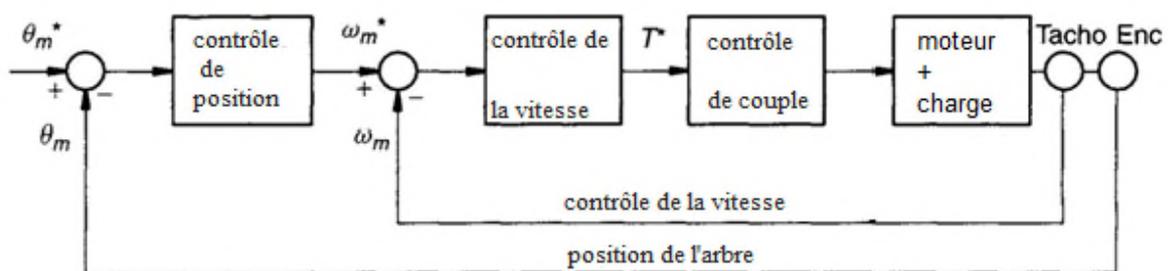


Figure. I.8 Représentation du système global.

Lorsque le rotor se déplace de la position non alignée à la position alignée, la variation de l'inductance de phase avec la position du rotor de la MRVDS est illustrée à la

Figure I.9, où les franges magnétiques et la saturation sont négligées.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réductance variable

On peut constater que cette caractéristique d'inductance est régie par le nombre des pôles du rotor, ainsi que les arcs du stator et du rotor. Les positions correspondantes du rotor θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 et θ_T sont gouverné par Krishnan (2001).

Où :

$\alpha_r = 2\pi/N_r$: est le pas des pôles du rotor.

N_r : est le nombre de pôles du rotor.

β_s : est l'arc des pôles du stator.

β_r : est l'arc de pôle du rotor.

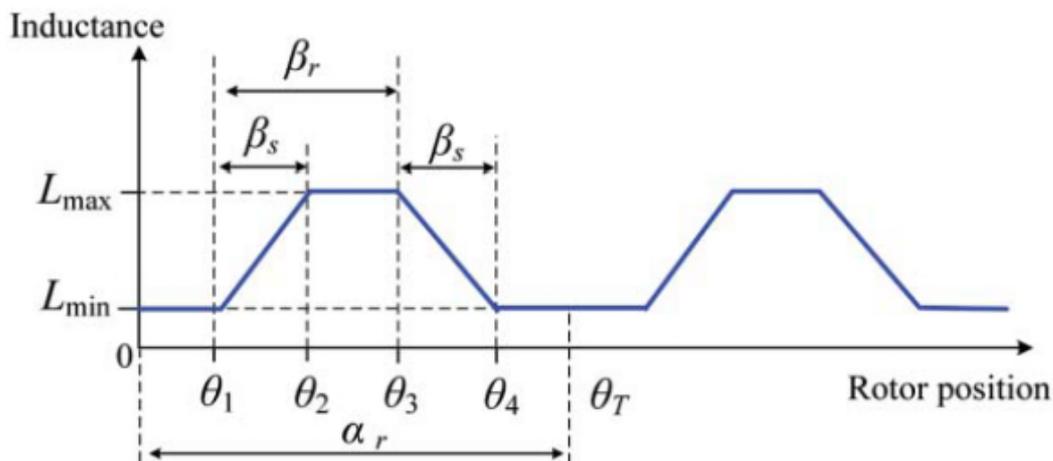


Figure I.9 variation de l'inductance par rapport à la position du rotor.[21]

Le long de la variation de l'inductance de phase avec la position du rotor, il y a cinq régions caractérisées par les fonctionnalités suivantes: [21]

- $0 - \theta_1$: les pôles du stator et du rotor ne se chevauchent pas, appelé position non alignée, de sorte que le flux magnétique et par conséquent l'inductance (L_{\min}) sont minimaux et maintenus constants. Ainsi, cette région ne contribue pas à la production de couple.
- $\theta_1 - \theta_2$: les pôles du stator et du rotor commencent à se chevaucher de θ_1 à θ_2 , de sorte que le flux magnétique et par conséquent, l'inductance de phase augmente avec la position du rotor, ce qui donne un $dL/d\theta$ positif. Comme représenté sur la Figure I.4, lorsqu'un courant est appliqué dans cette région, un couple positif est développé. Il convient de noter que la polarité du courant appliqué n'affecte pas la polarité du couple développé.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réductance variable

- $\theta_2 - \theta_3$: dans cette région, les pôles du stator et du rotor se chevauchent complètement, appelée position alignée, et le mouvement du pôle du rotor ne modifie pas le chevauchement. Le flux magnétique correspondant et par conséquent les inductances de phase (L_{\min}) sont maximales et maintenues constantes. Comme il n'y a pas de changement dans l'inductance, il n'y a pas de production de couple.
- $\theta_3 - \theta_4$: les pôles du stator et du rotor commencent à réduire le chevauchement de 3 à 4, de sorte que le flux magnétique et par conséquent, l'inductance de phase diminue avec la position du rotor, ce qui donne un $dL/d\theta$ négatif, lorsqu'un courant est appliqué, qu'il soit positif ou négatif, un couple négatif peut être créé pour l'opération de régénération.
- $\theta_4 - \theta_T$: les pôles du stator et du rotor sont à nouveau dans la position non alignée, de sorte que l'inductance de phase est maintenue constante à L_{\min} et qu'aucun couple n'est généré.

En négligeant l'inductance mutuelle entre les phases, l'équation de tension de la MRVDS s'écrit comme suit :

$$u = Ri + \frac{dN\psi}{dt} \quad (4)$$

Où

u : est la tension de phase appliquée.

R : est la résistance d'enroulement par phase.

$N\psi$: la liaison de flux due au courant de phase.

i : courant de phase.

Puisque l'inductance L est définie comme la liaison de flux sur le courant, la tension l'équation s'écrit comme suit :

$$u = Ri + \frac{d}{dt}(L(\theta, i)i) = Ri + L(\theta, i)\frac{di}{dt} + \frac{dL(\theta, i)}{d\theta}i\omega \quad (5)$$

I.9 Variation de l'inductance, du couple avec la position du rotor

Dans la machine simple illustrée aux figures I.10 à I.13, l'inductance de bobine L varie avec la position θ du rotor, comme illustré à la figure I.10. La rotation positive se fait dans le sens antihoraire. Supposons que la bobine transporte un courant constant. Le couple moteur positif n'est produit que lorsque l'inductance est en augmentation à mesure que le rotor se rapproche du

Contrôle électronique des machines à réductance commutée.[25]

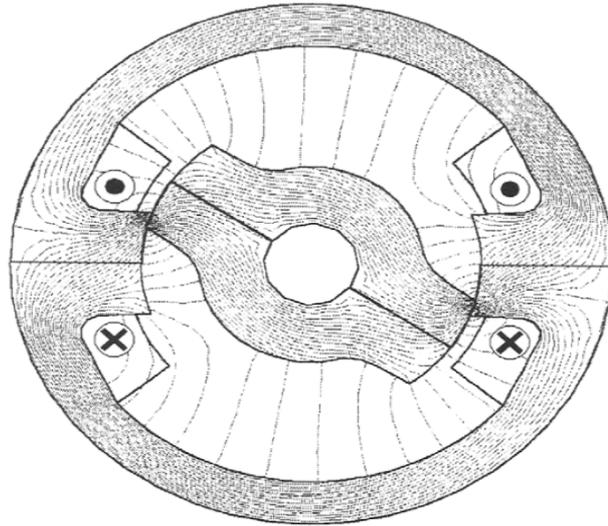


Figure.I.10 Simple MRVDS avec une phase et deux poles

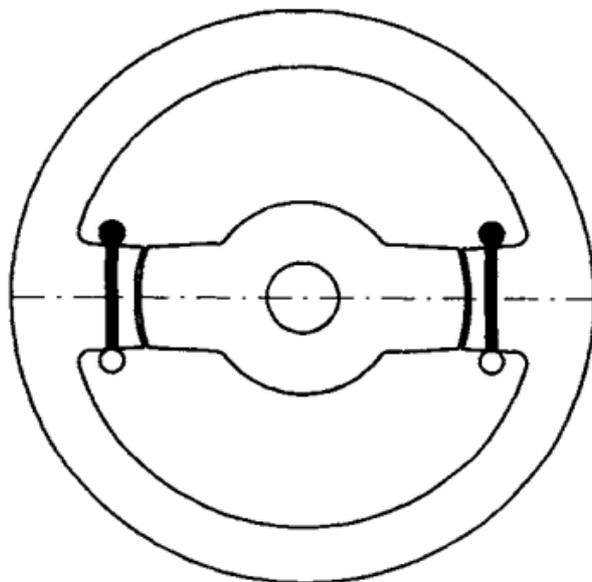


Figure. I.11 Position alignée.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

Position : c'est-à-dire entre les positions J et A. En J, le bord d'attaque du pôle du rotor est aligné avec le premier bord d'un pôle de stator; en A, les pôles du rotor et du stator sont entièrement alignés. Ainsi, J définit le début du chevauchement, A le chevauchement maximum et K la fin de chevauchement.

Le couple change de direction à la position alignée. Si le rotor continue après A, la force d'attraction entre les pôles produit un couple de freinage (freinage). Si la machine tourne à courant constant dans la bobine, le couple négatif et positif les impulsions s'annulent et la moyenne sur un cycle complet est donc zéro. Éliminer impulsions de couple négatives, le courant doit être coupé pendant que les pôles sont séparés, c'est-à-dire pendant les intervalles AK, comme dans la figure I.13.

La forme d'onde de courant idéale est donc une série d'impulsions synchronisées avec les intervalles d'inductance croissants. La forme d'onde de couple idéale a la même forme d'onde que la conversion d'énergie électromagnétique. [25]

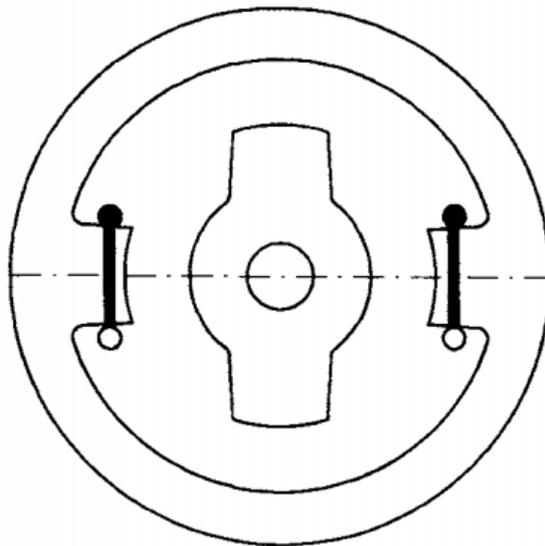


Figure .I.12 Position non alignée.

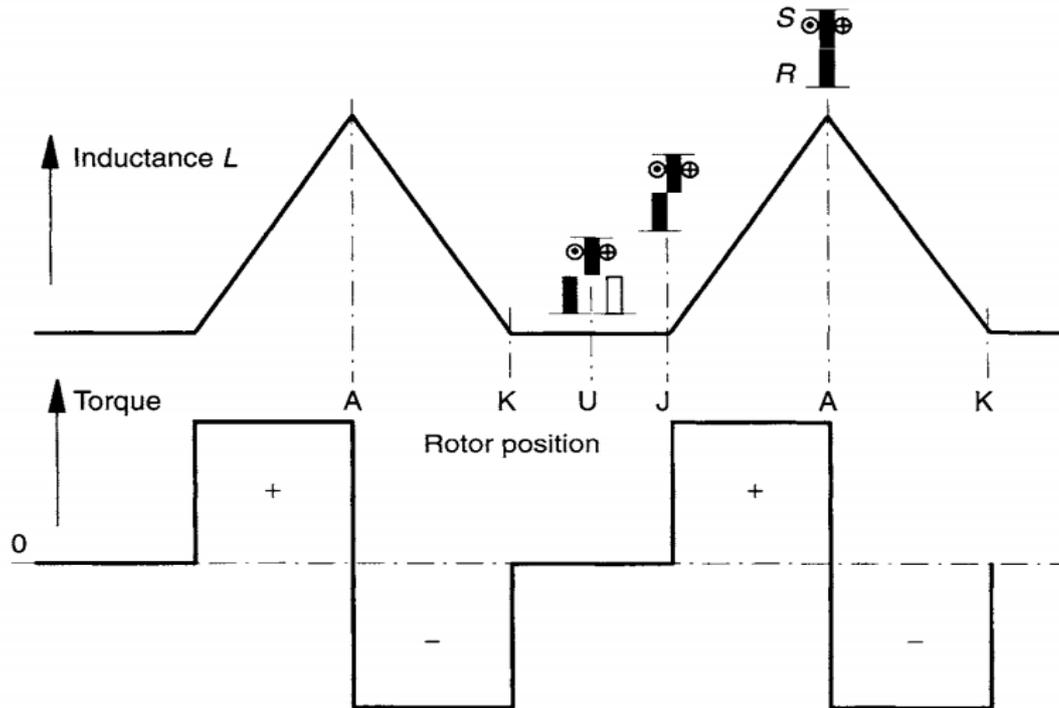


Figure. I.13 Variation de l'inductance et du couple avec la position du rotor [25].

Le courant de bobine est constant. Les petites icônes montrent les positions relatives des pôles du rotor et du stator, le rotor se déplaçant vers la droite.

A = position alignée.

U = position non alignée.

J = début de chevauchement.

K = fin du chevauchement.

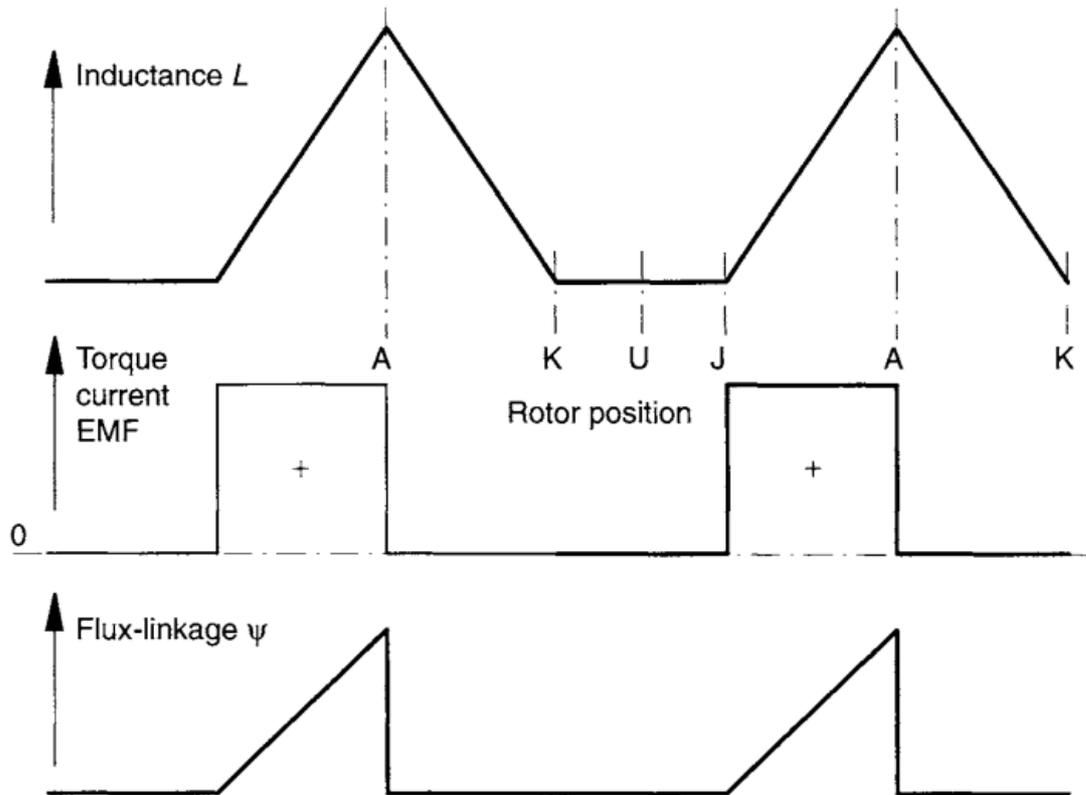


Figure .I.14 Variation de l'inductance, du courant, de la liaison flux, du couple et des champs électromagnétiques avec la position du rotor, avec courant unidirectionnel.

Le cycle de production de couple associé à une impulsion de courant est appelé un accident vasculaire cérébral.

Il est évident que la production d'un couple unidirectionnel continu nécessite plus qu'une phase, de sorte que les vides dans la forme d'onde de couple soient comblés par les courants dans les autres phases. Le nombre de phases et de pôles est présenté à la section 3.4.1.

Normalement, il y a un coup par pôle de rotor dans chaque phase et le courant dans la phase ne coule généralement que pour une fraction du pas des pôles du rotor. Notez que les formes d'onde de courant et d'inductance impliquent une forme d'onde en dents de scie de liaison de flux $\psi = Li$.

Une telle forme d'onde n'est pas pratique car l'extinction soudaine du flux et du courant nécessiterait une tension négative infinie $d\psi/dt = -\infty$.

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réductance variable

De même le courant ne peut pas être établi de manière progressive à moins que l'inductance au début du trait (J) est zéro. En pratique, l'inductance le long de UJ est très faible, de sorte que le bord d'avant di / dt peut être très volumineux, ce qui peut poser un problème pour les semi-conducteurs de puissance.

La forme d'onde du courant rectangulaire de la figure I.14. Peut-être approchée à basse vitesse en coupant le courant le long de JA, ce qui a pour effet de réduire la moyenne avant tension appliquée le long de JA à une valeur V_a inférieure à la tension d'alimentation V_s . S'il n'y a pas hachage après commutation en fin de course, la tension inverse $-V_s$ rend le courant tombe à zéro sur un très petit angle de rotation. [25]

I.10 Topologies des MRVDS tournantes.

Les MRVDS peuvent être à mouvement rotatif ou linéaire, mais dans notre cas nous allons nous intéresser aux machines tournantes.

Celles qui considèrent le nombre de pôles statoriques plus élevé que le nombre de pôles rotoriques (cela n'empêche pas que dans certains cas le rotor contient plus de dent que le stator).

Le choix du nombre des dents et des phases doit se faire par rapport à l'application envisagée et aux performances souhaitées. Les critères qui peuvent influencer le choix pour une topologie particulière incluent, entre autres [12]:

- La valeur du couple et sa forme lors du démarrage, du freinage et en régime permanent.
- Le type d'alimentation (triphase, monophasé, etc.) et le circuit de commande utilisé.
- Les chemins de flux magnétique et les pertes fer produites.

Les principales configurations géométriques des MRVDS rotatifs sont comme suit :

I.10.1 Les MRVDS purs.

Les MRV dits "purs" ont une structure saillante au rotor et au stator, avec un stator "actif" où sont situés les bobinages et un rotor "passif" (sans bobinage ni aimants).

Alimentés avec une tension ou un courant de forme rectangulaire (alimentation en créneaux), ils induisent des couples à caractère pulsé considéré comme inconfortable. On peut citer divers types de structures de MRVDS purs [11]:

CHAPITRE I : Généralités sur la machine à réductance variable

- Structures à double denture à grosses dents à 2 dents par phase.
- Structures à double denture à grosses dents à plus de 2 dents par phase.
- Structures à pôles statoriques dentés (« petites dents ») où un bobinage excite plusieurs dents à la fois : on parle de « bobinage global »

Elle se caractérise par un couple massique élevé et une grande simplicité de construction d'où un faible coût et une bonne robustesse.

Ces atouts lui ont permis de multiples applications : dans l'industrie pour les systèmes de démarreur-alternateur dans les véhicules hybrides ou les avions mais aussi pour les systèmes de génération d'électricité dans l'éolien ou l'aérospatial.



Figure I.15 MRVDS pur à grosses dents.

I.10.2 Les MRVDS à effet VERNIER.

Les MRVDS à effet Vernier ont des structures identiques aux MRVDS pures sauf qu'ils possèdent des enroulements repartis et sont alimentées en courant alternatif sinusoïdal et non en créneaux. Il existe des machines dites « Vernier à grand nombre de dents », qui possèdent deux armatures saillantes; sur chaque armature, les dents sont identiques et équi-réparties mais les nombres de dents statoriques et rotoriques sont légèrement différents (similaire à celui d'une machine synchrone à rotor lisse), ce qui permet d'obtenir une permanence sinusoïdale.

Il y a aussi les machines dites « Vernier à grosses dents » dans lesquelles chaque pôle statorique constitue lui-même la dent.

Les nombres de pôles sont alors relativement faibles et les performances couple-vitesse sont comparables à celles des machines asynchrone et synchrone à aimants avec des fréquences d'alimentation voisines.



Figure I .16 MRVDS à effet Vernier à stator externe et interne.

I.10.3 Les MRVDS hybrides.

Les MRVDS hybrides ont parfois la même structure que les deux types précédents, mais en plus ils sont dotés d'aimants permanents afin d'améliorer leurs performances.

L'adjonction d'aimants dans les structures à double saillance permet de compenser un entrefer trop élevé. Deux machines à aimants à double saillance dérivées des MRVDS: l'une met en œuvre des aimants placés au rotor, la machine se rapprochant des machines synchrones à aimants enterrés (Interior Permanent Magnet); la seconde conserve le rotor

Passif de la MRVDS pure et utilise des aimants placés au stator: on obtient alors une machine à double saillance et aimants permanents statoriques(DSPMM) dite « MRVDS polarisée ».



Figure I.17 MRVDS hybride.

I.11 Applications critiques des MRVDS

Après environ deux décennies de recherche sur la minimisation des vibrations et des bruits acoustiques, cet inconvénient majeur de la MRVDS est limité à un niveau acceptable pour les applications industrielles [10].

Avec leur simplicité, leur robustesse et leur tolérance aux défauts, les MRVDS ont été appliquées dans nombreuses applications industrielles. Nous allons dans la suite présenter quelques applications dites “critiques” apparues dans la littérature.

- **Haute vitesse.** Le premier train à grande vitesse équipé de la MRVDS est un train allemand : ICE3 figure I.18 .

La MRVDS est utilisée pour la climatisation de l’air cycle dans le train, dont la puissance et la vitesse nominales sont respectivement 40 kW et $3,0 \cdot 10^4$ tr/min. Une autre MRVDS à vitesse ultra élevée est conçue par Morel et dans laquelle une nouvelle structure de rotor est proposée afin d’augmenter la rigidité mécanique du rotor et, une vitesse maximale de $2,0 \cdot 10^5$ tr/min est atteinte [9].



MRV compresseur

Figure I.18 MRVDS utilisée dans le train à grande vitesse pour la climatisation de l'air cycle [26].

- **Environnement extrême** : haute température ambiante. L'une des applications à haute température de la MRVDS est illustrée à la figure I.19(a). C'est une machine ayant 12 dents statoriques et 8 dents rotoriques, dont le diamètre externe et la longueur active sont respectivement de 145 mm et de 125 mm et la puissance active est de 7,3 kW.

L'une des applications de la MRVDS dans les environnements humides et sales est illustrée à la figure I.19(b). La MRV utilisée comme la transporteuse de charbon dans la mine de Selby au Royaume-Uni. La vitesse de la machine varie de 0 à 2000 tr/min et la puissance nominale est de 300 kW. [9]



105 °C liquide de refroidissement moteur

(a) Environnement à haute température ambiante.



MRV: 0-2000 tr/min

b- Environnement humide et sale.

Figure I.19 MVRDS dans l'environnement extrême

I.12 Les avantages et les inconvénients du MRVDS.

A partir des caractéristiques et des équations du MRVDS cités plus haut, ce moteur présente des avantages et des inconvénients que nous allons détailler ci-dessous.

I.12.1 Les avantages du MRVDS.

Le MRV ne possède ni balai, ni collecteur, ni aimants permanents, ni bobinage au rotor et les enroulements statoriques sont concentriques, ce qui réduit le coût de fabrication, des matériaux et de maintenance.

Le couple du moteur étant indépendant de la polarité du courant de phase, le convertisseur requiert seulement un interrupteur par phase.

Pour ce qui est de la performance, le MRVDS est avantageux par son rapport couple/volume et son rapport couple/inertie élevés. A titre d'exemple, le MRVDS présente un couple beaucoup plus grand et avec le même rendement que celui d'un moteur à induction de même volume.

Son rendement est constant et maintenu sur une très large plage de vitesse.

Selon la topologie, il présente une grande performance en vitesse et en accélération, une faible inertie due à la légèreté du rotor, il peut supporter des températures élevées par rapport à d'autres moteurs de même puissance.

Il convient parfaitement pour une utilisation en environnement hostile, comme en haute température ou dans un milieu de fortes vibrations, et sa simplicité de construction fait sa robustesse.

Il peut être allongé, rétréci, et peut être conçu pour s'adapter à l'espace disponible ce qui le rend peu encombrant.

Sa configuration se prête à un emploi en tant que moteur, comme en tant que générateur.

De plus, une grande partie de la chaleur est générée au niveau du stator, ce qui rend facile son refroidissement.

En général, les MRVDS possèdent une durée de vie très longue avec une performance très fiable.

CHAPITERE I : Généralités sur la machine à réluctance variable

I.12.2 Les inconvénients du MRVDS.

Parmi les inconvénients du MRVDS, nous pouvons citer son bruit acoustique à cause des ondulations du couple.

De plus, les forces radiales varient du maximum au minimum selon la position du rotor ce qui produit des excentricités mécaniques.

Un autre inconvénient majeur consiste en la nécessité de l'emploi de capteur de position au rotor afin d'alimenter les bobines à des positions précises.

Et enfin, notons que les non linéarités caractérisant le MRVDS impliquent l'utilisation de puissants outils de calcul pour son dimensionnement.

Conclusion

Nous avons donné des généralités sur le MRVDS ; la constitution, les différentes structures Topologies de ce moteur en introduisant le principe de fonctionnement et les différents types rencontrés. Nous avons parlé aussi sur ses applications critiques des MRVDS et finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients du MRVDS.

Prochainement dans le chapitre suivant nous allons traiter généralement les différents défauts du MVRDS et les techniques de diagnostic de ces défauts.

Chapitre II :

Les défauts des MVR

Chapitre II. Les défauts des MVR

II.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de donner une idée sur les principaux défauts pouvant affecter le MVRDS. Par la suite, nous présentons les principales techniques et méthodes de diagnostic utilisées à l'heure actuelle dans l'identification des défauts.

II.2 Les défauts de la machines à réluctance variable double saillances.

Des machines à réluctance variable double saillances (MRVDS) s'agissent de la plus ancienne méthode de conversion électromécanique. Toute machine à réluctance variable pure (nous ne nous intéresserons pas ici aux MRVDS dites excitées dans lesquelles on a recours à des polarisations du circuit magnétique effectuées par des enroulements d'excitation ou par des aimants) est constituée comme en a parler dans le chapitre précédent de deux parties :

Le stator comprend un circuit magnétique denté muni de bobinages, la seconde est simplement un circuit ferromagnétique, lui aussi, denté mais sans aucun conducteur ni aimant. Avant d'étudier les différents types de défauts, il est important de présenter les causes donnant naissance à ces défauts ainsi que leurs conséquences. Les défauts majeurs affectant les moteurs à réluctance variable sont dus à un ensemble de contraintes nocives qui sont généralement de nature thermique, électrique, mécanique, environnementale, électromagnétique, résiduelle et dynamique.

| catégories de défauts | les symptômes produits par ces défauts |
|--|---|
| - Défauts statoriques. - Défauts rotoriques. - Défauts mécaniques. - Défauts d'origine divers | - Déséquilibre des forces électromotrices et des courants de lignes. - Augmentation des couples pulsatoires. - Dégradation du couple moyen de la machine. - Augmentation des pertes et réduction du rendement. - Echauffement excessif. |

Tableau II.1 les différents types de défauts et leurs symptômes

Chapitre II. Les défauts des MVR

On peut distincte les défauts selon leurs origine en deux parties :

➤ **II .3. Au niveau de la machine :**

II.3.1 Les défauts mécaniques

Le tableau suivant (tableau II.2) donne les principaux défauts mécaniques ainsi que leurs causes et conséquences [14].

| Défauts mécaniques | Causes | Conséquences | photos |
|---------------------------|---|---|---|
| Défaillances Des dents | Fissure due à l'utilisation d'un mauvais matériau lors de la construction. Milieux corrosifs (humidité) Excentricité statique, dynamique ou Mixte | Fracture de dent (arrêt de la machine) Flexion de l'arbre. |  |
| Excentricité [19] [16] | Existence des forces magnétiques Radiales déséquilibrées (non uniformité de l'entrefer) Positionnement incorrect du stator ou de rotor au moment de fabrication. | Déformation du rotor (frottement avec le stator). Décalage de la masse rotorique |  |

Tableau II.2 Les défauts mécaniques des MRVDS

Chapitre II. Les défauts des MVR

II.3.2 Les défauts rotoriques

Le tableau suivant présent, les principaux défauts rotoriques ainsi que leurs causes et leurs conséquences [15].

| Défauts rotoriques | Causes | conséquences |
|-------------------------|--|---|
| Rupture des dents | Contraintes thermiques ou électromagnétiques | Le courant circulant dans la dent concernée est nul. |
| Rétrécissement de Rotor | Défaut de fabrication | Réduction de la valeur moyenne du couple électromagnétique. Augmentation de l'amplitude des oscillations du couple et de la vitesse. Production des vibrations mécaniques |

Tableau II.3 Les défauts rotoriques des MVRDS

II.3.3 Les défauts statoriques

Les défauts statoriques sont principalement dus à un problème thermique ou électrique, parmi lesquels on peut citer [14] :

- Court-circuit entre spires ;
- Court-circuit à la tête de la bobine ;
- Ouverture de la phase ;
- Court-circuit phase à phase;
- Court-circuit phase- terre.

Chapitre II. Les défauts des MVR

➤ II.4 au niveau de l'onduleur « électrique »

II.4.1 L'alimentation du MRVDS

Théoriquement, il existe 3 modes fondamentaux d'alimentation en moteur [21]:

❖ II .4.1.1 Alimentation en courant unidirectionnel

Type haché synchronisé (Fig. II.1) avec le mouvement du rotor (capteur position) on obtient l'équivalent d'une machine synchrone.

Ce courant en créneaux est équivalent à la superposition d'un courants continu DC (excitation série) plus un courant alternatif AC dont la pulsation w est reliée à la pulsation de rotation du rotor par : $w = N_r.\Omega$

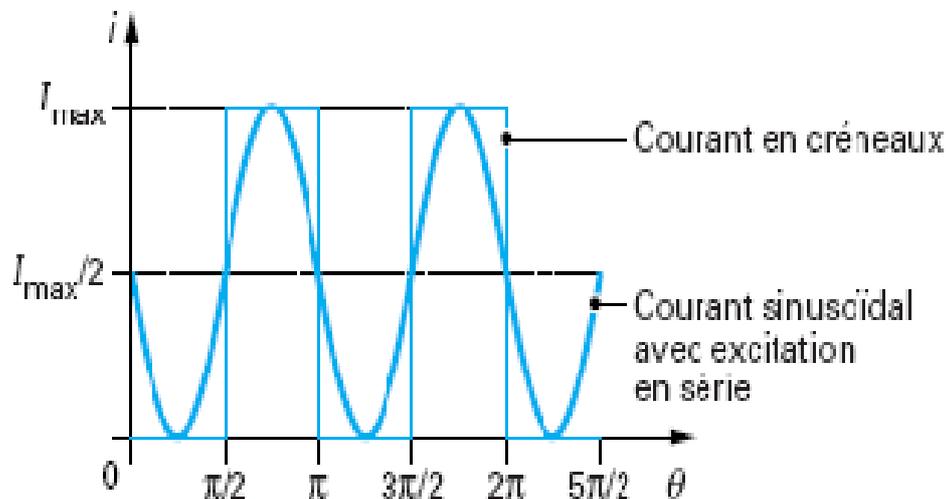


Figure II.1 Alimentation en courant unidirectionnel

❖ II.4.1.2 Alimentation en courant alternatif

En remarquant que le sens du courant n'intervient pas dans le fonctionnement précédent (sens de rotation et signe du couple ne dépendent que des valeurs de θ pour lesquelles le bobinage est alimenté ou non), on devrait obtenir un fonctionnement identique au précédent avec une alimentation purement alternative de pulsation [21]: (Fig. II.2)

$$W' = (N_r/2).\Omega$$

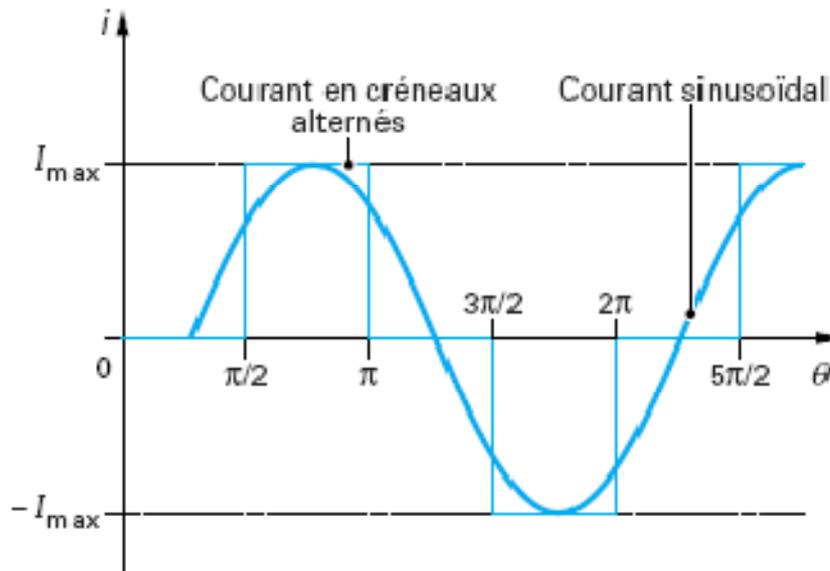
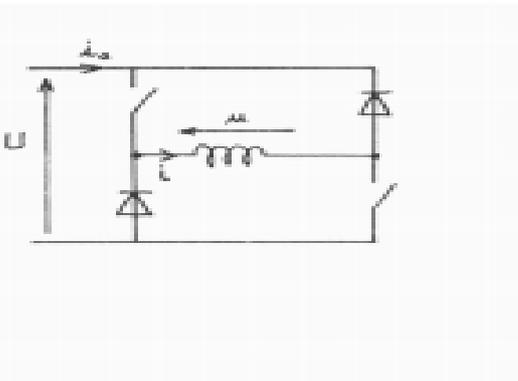


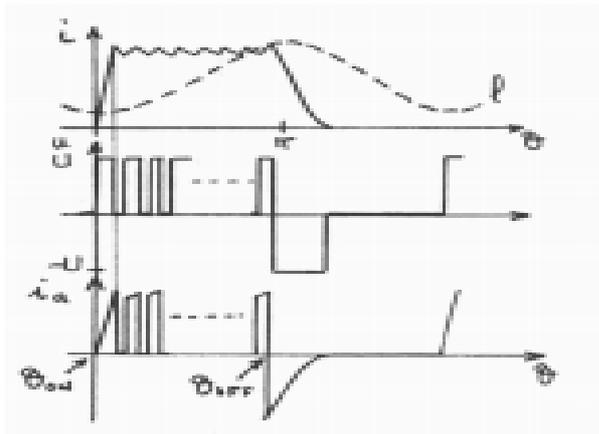
Figure II.2 Alimentation en courant bidirectionnel

❖ II.4.1.3 Alimentation par convertisseur statique

Nous avons vu que ces machines se satisfont de courants unidirectionnels, ainsi les structures de convertisseurs requises différeront-elles sensiblement de celles des machines classiques à courants alternatifs. De même que l'onduleur de base de ces derniers est le bras de pont (une structure triphasée nécessite trois bras), celui de la MRVDS est le demi-point asymétrique figure.II.3.a. [22]



a. Le demi-pont asymétrique



b. Forme d'onde en mode de découpage

Figure II.3. Onduleur de base de la MRVDS (par phase)

Il permet, par la fermeture des deux interrupteurs commandables, l'application de la pleine tension continue aux bornes de l'enroulement et la magnétisation de la phase. Par ouverture des deux commutateurs, l'énergie magnétique non convertie est restituée à la source par la conduction des diodes de récupération.

Enfin, le courant peut être régulé par modulation de largeur d'impulsion pendant la phase de conduction. Figure II.3.b. montre un exemple de formes d'onde d'alimentation synchronisées avec l'onde d'inductance.

On peut remarquer que l'angle correspondant à la coupure du courant est plus long que celui correspondant à son établissement, ceci est dû au fait que l'inductance est plus élevée en conjonction qu'en opposition. Ainsi le traînage du courant à la coupure peut se produire pendant la phase de décroissance de l'inductance et entraîner l'apparition d'un couple instantané négatif (frein). Lorsque la vitesse augmente, on est conduit à "avancer" le début de croissance du courant par rapport à la position d'opposition ce qui engendre à nouveau l'apparition d'un couple instantané négatif (le courant commence à croître alors que l'inductance termine sa décroissance). Malgré ce phénomène, on montre qu'aux vitesses élevées, il est intéressant d'avancer fortement l'angle de mise en conduction (de l'ordre de 60 à 100° électriques) [22].

Chapitre II. Les défauts des MVR

Pour profiter pleinement de l'onduleur et de la machine, on a recours généralement à deux stratégies d'alimentation selon la vitesse de rotation. Aux basses vitesses, on alimente chaque phase en quasi créneaux de courant dont l'amplitude est réglée par modulation de largeur d'impulsion tandis qu'aux vitesses plus élevées, on alimente en pleine onde de tension (il n'y plus de découpage). Dans ce second cas, le réglage du couple s'effectue par variation des angles de commande. Les formes d'onde de courant injectées sont alors très différentes figureII.4.de celles obtenues à basse vitesse figureII.3.[22]

Figure II.4.montre des formes d'onde de courant pour une alimentation en pleine onde de tension. Deux cas se présentent selon la valeur du courant atteinte lors du début de la phase de croissance de l'inductance et selon la vitesse. En effet, d'après l'expression :

$$U = Ri + l(\theta) \frac{di}{dt} + i \cdot w \cdot \frac{dl}{d\theta}$$

(On raisonnera en régime linéaire pour simplifier) et en négligeant la chute résistive (flux forcé), on obtient :

$$\frac{di}{dt} = \frac{u-e}{l(\theta)} \text{ avec } e = w \cdot i \cdot \frac{dl}{d\theta}$$

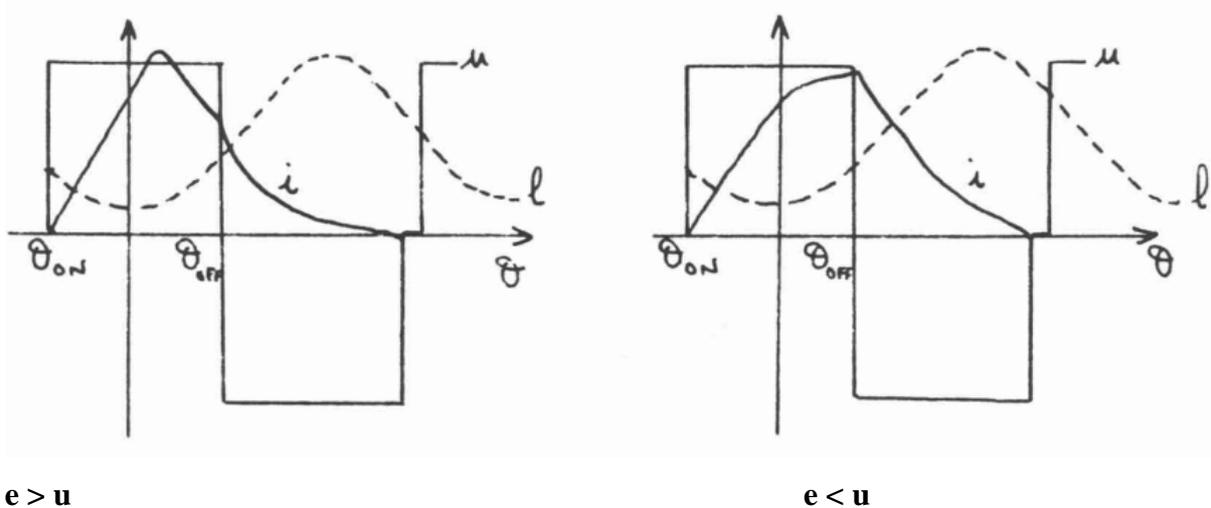


Figure II.4 Formes d'onde du courant à haute vitesse en pleine onde de tension

Chapitre II. Les défauts des MVR

L'onduleur MRVDS est connecté à une alimentation CC, qui peut être dérivée des lignes de service via un redresseur à diodes frontales ou à partir de batteries. Les enroulements de phase du MRVDS sont connectés à l'onduleur, comme indiqué sur la figure II.5. Le circuit de commande fournit un signal de déclenchement aux commutateurs de stratégies de commande particulières et des signaux provenant de divers capteurs [23].

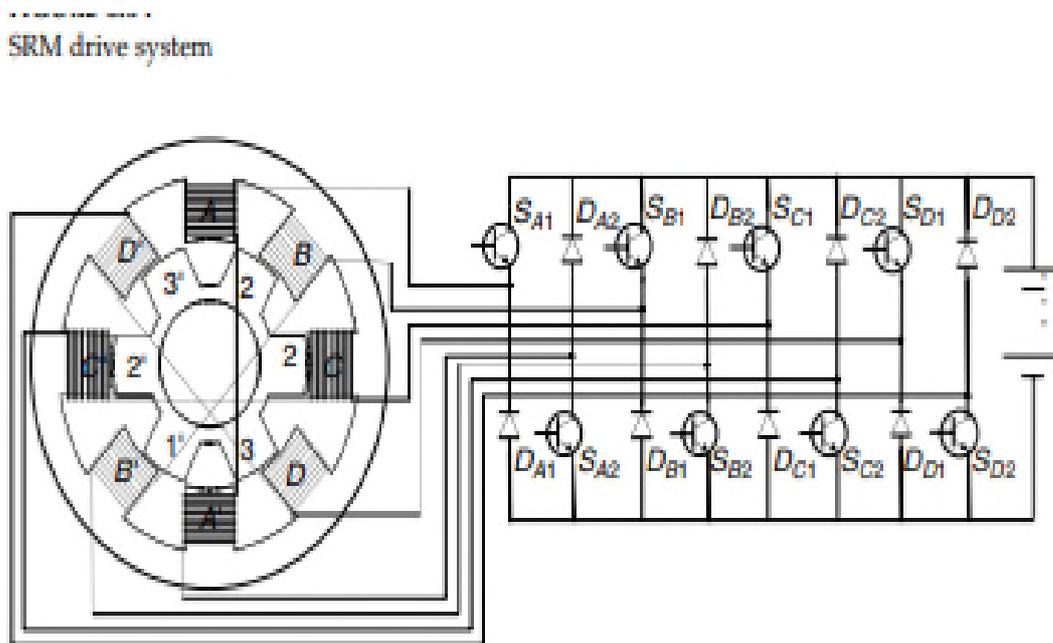


Figure II.5 MRVDS et son alimentation

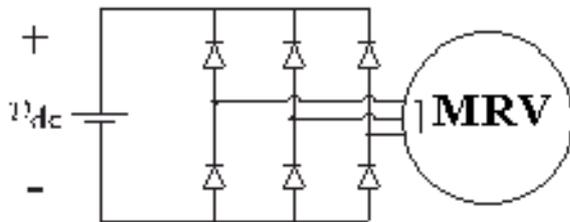
II.4.2 Les défauts au niveau de l'onduleur

Les interrupteurs de l'onduleur doivent supporter de grandes variations de température (cycles thermiques). Pour les transistors bipolaires type IGBT, la disparité entre le coefficient de dilatation thermique et les coefficients du fil en aluminium et de la puce de silicium est la

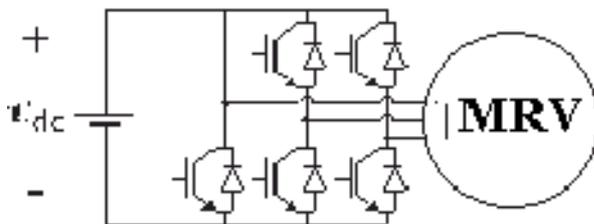
Chapitre II. Les défauts des MVR

cause d'efforts de cisaillement sur les interfaces de liaison qui peuvent mener à la rupture du fil.

Afin de prévoir la durée vie d'un IGBT, le nombre de cycles thermiques qu'il supporte lors du fonctionnement doit être correctement déterminé. Indépendamment des commutateurs d'inverseur, le condensateur C est une pièce importante de l'onduleur et devrait être pris-en considération en estimant la fiabilité de l'onduleur. Afin d'améliorer la fiabilité de l'onduleur, les IGBT et les diodes correspondantes ainsi que les commandes de porte (et les circuits additionnels de commande) peuvent être fusionnés dans un module unique de puissance. De tels modules de puissance sont souvent désignés sous le nom de modules intelligents de puissance. Les circuits additionnels de commande peuvent fournir des fonctions de protection contre la surchauffe, le court-circuit, ...[24]

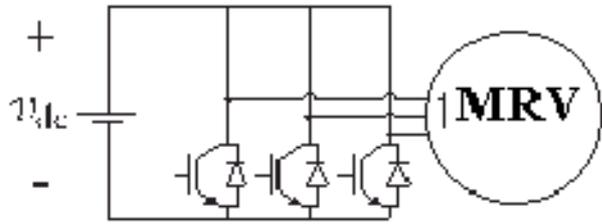


a. Un Onduleur Arrêté

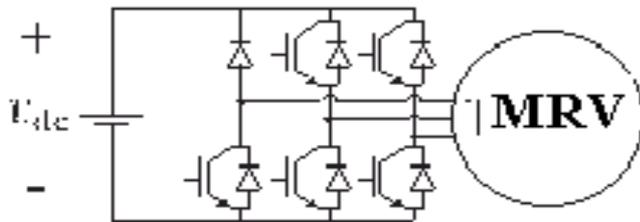


b. Une Phase court circuitée

Chapitre II. Les défauts des MVR



c. Un Court circuit équilibré



d. Une Phase ouverte

Figure II.6 Les défauts au niveau de l'onduleur

II.4.2.1 Les origines des défauts

Sont diverses ; nous citerons à titre indicatif des origines type:

- ◆ Mécaniques: mauvaise fabrication, vibrations de la machine, forces électromagnétiques déséquilibrées, force centrifuge, fluctuations de la charge;
- ◆ Électriques: dégradations d'isolement, décharges partielles, étincelles;
- ◆ Thermiques: pertes dans le cuivre, manque de refroidissement général ou localisé;
- ◆ Environnementales: humidité, ozone, poussière.

Ces défauts pouvant induire :

- ◆ Un déséquilibre des courants de lignes et des tensions;
- ◆ Une augmentation des oscillations du couple;
- ◆ Une diminution du couple moyen;
- ◆ Une augmentation des pertes et donc une réduction de l'efficacité énergétique;
- ◆ Un échauffement excessif et donc un vieillissement accéléré. [25]

Chapitre II. Les défauts des MVR

II.5 Les techniques de diagnostic et de détection des défauts

Il existe plusieurs techniques de diagnostic et de détection des défauts.

Le tableau ci-dessous, donne le principe ainsi que les causes sur lesquelles les techniques de diagnostic sont exploitées [18].

| Techniques de diagnostic par | Principe | Application suite aux causes : |
|--|--|--|
| L'analyse chimique. | Détection par une technique d'absorption infrarouge du gaz. | La dégradation de l'isolation électrique dans le moteur produisant ainsi le gaz d'oxyde de carbone qui apparait dans le circuit de refroidissement |
| Analyse de la température | Détection par des dispositifs à infrarouge au niveau des parties chaudes dont les températures peuvent dépasser les températures limites prédéterminées. | Un frottement excessif au niveau des paliers ou bien des billes de roulements. Une corrosion, une oxydation ou une tresse défectueuse. |
| Mesure du flux magnétique axial de fuite | Détection par exploitation des sondes à effet Hall. (utilisation des bobines exploratrices placées à l'extérieur de la machine, perpendiculairement à l'axe du rotor). | Des défauts d'asymétrie de fabrication (les circuits électriques et magnétiques ne sont jamais parfaits). |

Chapitre II. Les défauts des MVR

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| L'analyse vibratoire | Détection par des capteurs tels que : Accéléromètre (mesure de l'accélération de la vibration). Vélocimétrie (mesure de la vitesse de la vibration). De proximité (mesure du déplacement de l'arbre par rapport au capteur). | Un défaut de roulements. Des mauvaises fixations et erreurs de fondation. |
| Analyse du courant statorique | Mesures par capteur de courants. | Des défauts électromagnétiques(déséquilibres de phase, court-circuit entre spires, excentricités d'entrefer...) |

tableau II.4 le principe ainsi que les causes sur lesquelles les techniques de diagnostic sont exploitées

II .6 Les différentes méthodes de diagnostic des moteur

Il existe une variété de méthodes de diagnostic et de détection, certaines d'entre elles sont basées sur l'observation et la mesure (mesure du champ magnétique, mesure de bruit mesure de la vibration...etc.) et d'autres sont basées sur la surveillance et la comparaison des caractéristiques électromagnétiques (courant statorique, couple et vitesse de rotation) à celles du moteur sain. Donc le diagnostic se fait selon deux approches différentes.

Ces deux grandes familles (externes et internes) permettent de générer une information pertinente (paramètres, vecteur forme, règles, etc....) pour l'élaboration des indicateurs de défauts pour le système. Le choix d'une méthode se fera en fonction de la nature de ces indicateurs de défauts. Ces deux types de méthodes donnent un large éventail de signatures plus ou moins pertinentes vis-à-vis des différents défauts pouvant se produire sur un moteur électrique .défauts pour le système. Le choix d'une méthode se fera en fonction de la nature de ces indicateurs de défauts.

Chapitre II. Les défauts des MVR

Ces deux types de méthodes donnent un large éventail de signatures plus ou moins pertinentes vis-à-vis des différents défauts pouvant se produire sur un moteur électrique.

II.6.1 Méthodes externes (sans connaissance à priori)

a) Principe

Ces méthodes dites ‘sans modèles’ se basent sur la mesure de signaux vibratoires, électriques, électromagnétiques rendant directement compte de l’état de la machine (basées sur l’analyse des signaux d’acquisition).

b) Avantages

Elles ont l’avantage de l’indépendance de l’analyse par rapport aux fluctuations internes du système. D’autre part, l’information contenue dans les signaux reste intacte, car elle n’est pas filtrée par la modélisation.

c) Inconvénients

- Elles nécessitent l’utilisation des grandeurs électromagnétiques qui demandent l’emploi des capteurs très sensibles.
- Spectre riche en harmoniques d’origines diverses.

II.6.2 Méthodes internes (avec connaissance a priori)

a) Principe

Ces méthodes sont issues principalement du domaine de l’automatique et supposent une connaissance a priori du système (nécessite la connaissance du comportement dynamique du moteur).

Elles s’appuient sur le suivi d’évolution des paramètres caractéristiques du système étudié ou sur la différence entre le modèle et le processus (méthode des résidus). Une comparaison entre les paramètres mesurés ou calculés et ceux associés à un mode de fonctionnement normal (sain) nous renseigne sur la présence éventuelle d’un défaut.

Chapitre II. Les défauts des MVR

b) Avantage

L'intérêt est porté sur les résultats obtenus à partir du suivi direct des grandeurs telles que les courants, le couple estimé ou mesuré, les flux ou encore les vibrations. (Les signaux et paramètres de sortie sont alors utilisés pour la surveillance et le diagnostic).

c) Inconvénients

- Elles demandent la formulation d'un modèle mathématique du système.
- Si le comportement électrique et dynamique de la machine n'est pas parfaitement connu, les modèles utilisés peuvent fournir une estimation incertaine des grandeurs difficilement mesurables.

Nous présentons un exemple de cas montrant le principe de diagnostic correspondant aux approches internes décrites ci-dessus.

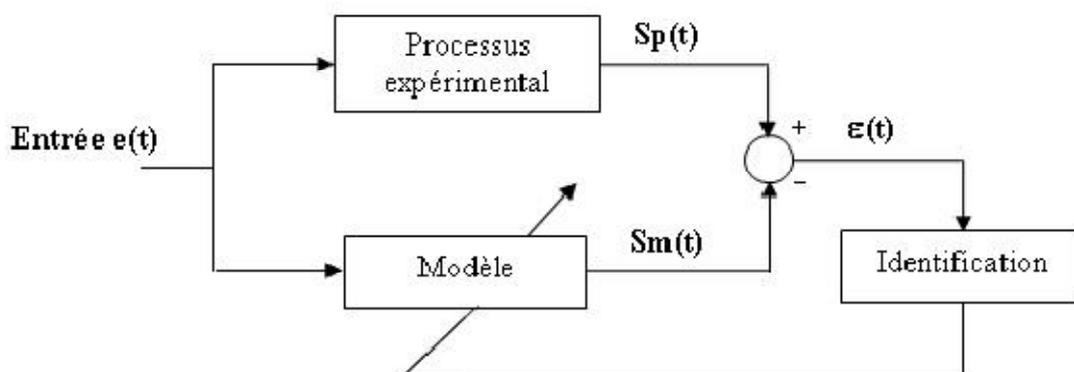


Figure II.7 Principe de diagnostic par modélisation paramétrique

II.6.3 Analyse spectrale

L'analyse spectrale est utilisée depuis de nombreuses années pour le suivi des défaillances dans les machines électriques, essentiellement les ruptures rotoriques, excentricités et le court-circuit dans les bobinages statorique. Ces cas se prêtent bien à cette approche dans la mesure où de nombreux phénomènes se traduisent par l'apparition de fréquences directement liées à la vitesse de rotation ou à des multiples de la fréquence d'alimentation.

La surveillance par analyse spectrale consiste donc à effectuer une simple transformée de Fourier des grandeurs mesurables, et à visualiser leurs spectres. La présence éventuelle d'un

Chapitre II. Les défauts des MVR

défaut sera signalée soit par la création d'une nouvelle harmonique soit par l'augmentation des amplitudes des harmoniques existantes.

Les grandeurs choisies sont soit les grandeurs électriques (plus particulièrement les courants de ligne), soit les grandeurs mécaniques (vibration, couple électromagnétique) [15] [17].

A noter que l'analyse des courants statorique de lignes peut se faire par :

II.6.3.1 Analyse spectrale du courant statorique d'une phase

C'est une méthode qui consiste à analyser le spectre du courant statorique d'une seule phase (ou des trois mais de façon indépendante l'une de l'autre).

Cette analyse est basée sur la comparaison du spectre du courant de phase du notre moteur avec le spectre dit de référence "spectre représentant un moteur sain").

En effet, quand le moteur est sain et fonctionnant de façon optimale, certaines Harmoniques existent, on peut citer par exemple:

- Le fondamental (50Hz, ou 60 Hz selon le réseau utilisé)
- Les harmoniques de temps dus à la pollution du réseau (composantes de fréquences 150Hz, 250Hz, 350Hz, 450Hz,...). De plus, leur niveau d'amplitude est plus important lorsque le moteur est alimenté par le convertisseur statique que pour une alimentation par le réseau triphasé.

Chapitre II. Les défauts des MVR

Conclusion

Nous avons essayé de regrouper le maximum d'information sur les symptômes qu'un moteur à réluctance variable peut manifester.

Pour chaque symptôme, une liste de causes possibles est nécessaire pour la détermination des possibles origines pour chaque type de défaut.

La protection de ces moteurs est une fonction essentielle pour la continuité du fonctionnement des machines et Le choix du dispositif de protection doit être fait avec rigueur.

Dans le chapitre III, on va appliquer une de ces méthodes du diagnostic pour détecter un défaut de rupture d'une phase d'un moteur à réluctance variable sous environnement MATLAB/SIMULINK.

Chapitre III :
Simulation Du défaut dans le
Système MVR

III.1 Introduction

Afin de pouvoir étudier le comportement dynamique du moteur à réluctance variable double saillances dans son état sain et avec un défaut de rupture d'une phase qui est parmi les différents défauts dans MRVDS q' en a déjà parlé dans le 2eme chapitre.

Nous avons élaboré un modèle de simulation par SimPower incluant le fonctionnement de ce moteur.

III.2 modèle complet du MRVDS sous l'environnement MATLAB/SIMULINK.

La figure.III.1.représente le diagramme général de simulation utilisé pour le modèle de MRVDS. [24]

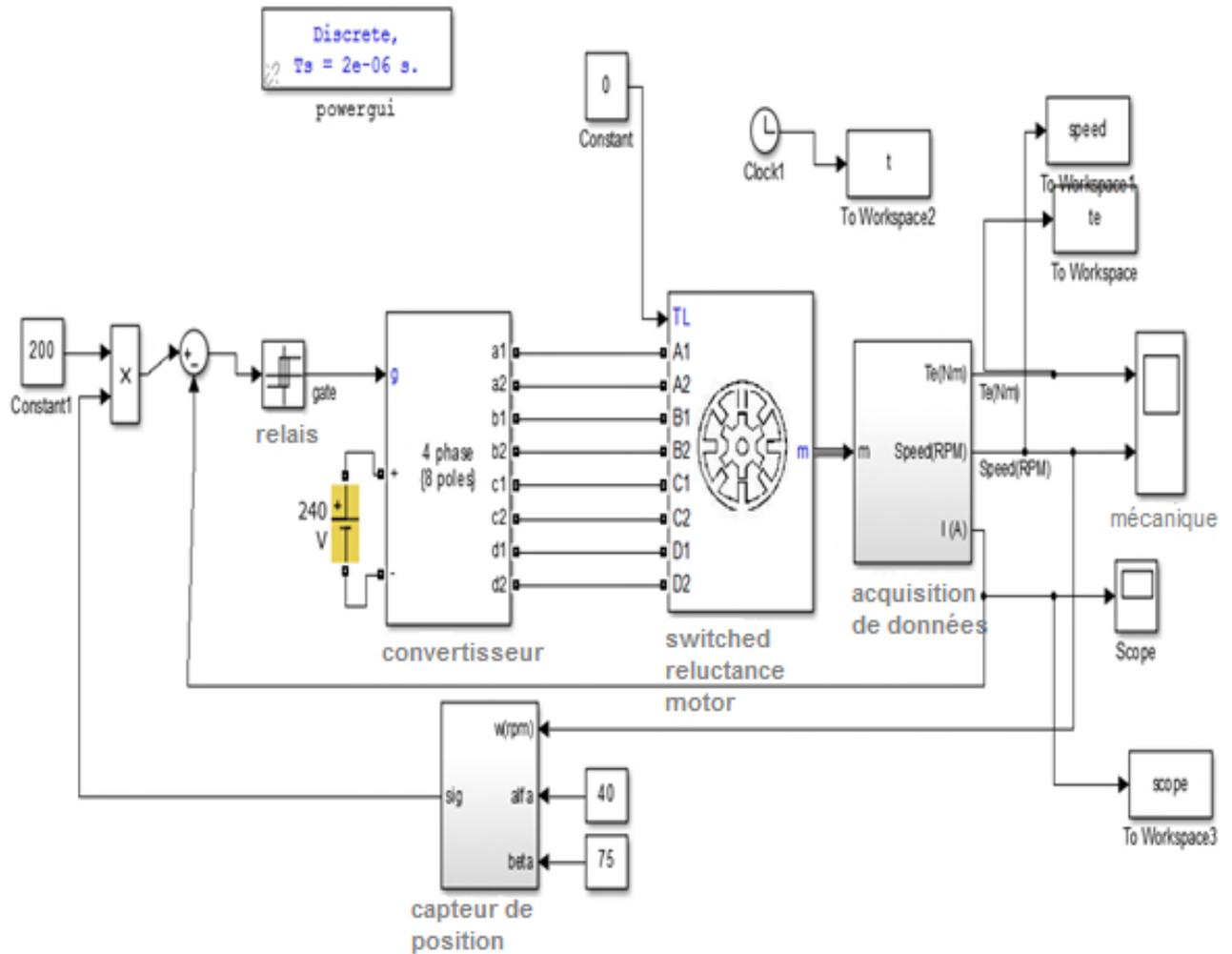


Figure III.1 Schéma du modèle complet du MRVDS sous l'environnement MATLAB/SIMULINK.

En vas présenter le contenu de chaque phase de le modèle de simulation de MRVDS et déterminons l'emplacement de chaque bloc dans MATLAB avec une description de celle-ci et déterminons le rôle de chaque bloc comme suite :

III.2.1.Moteur à réductance variable.

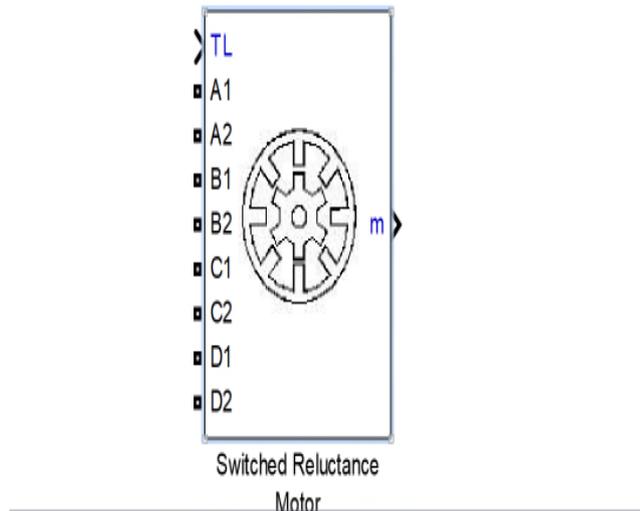


Figure.III.2. Moteur à réductance variable double saillances.

- 1) **Moteur à réductance variable** : Modéliser la dynamique du moteur à réductance variable
 - **Emplacement** : Simscape/ simpower_systemes/machines/switched reluctance motor
 - **Description** : Le bloc de moteur à réductance commutée représente les trois moteurs à réductance commutée les plus courants: MRVDS 6/4, MRVDS 8/6, MRVDS 5/8.
 - **La partie électrique du moteur** : est représentée par un non-linéaire modèle basé sur la caractéristique de magnétisation composée de plusieurs courbes magnétisantes et sur la caractéristique de couple calculée à partir de les courbes d'aimantation
 - **La partie mécanique** : est représentée par un modèle d'espace d'état basé sur le moment d'inertie et le coefficient de frottement visqueux.

Pour être polyvalent, deux modèles sont implémentés pour le bloc MRVDS:

Modèles spécifiques et génériques. Dans le modèle MRVDS spécifique, l'aimantation

Caractéristique du moteur est fourni dans une table de recherche les valeurs sont obtenus par mesure expérimentale ou calculés par éléments finis une analyse.

Chapitre III : Simulation Du défaut dans le Système MVR

Dans le modèle générique, la caractéristique de magnétisation est calculée en utilisant des fonctions non linéaires et des paramètres facilement disponibles. [24]

III.2.1.1.Boîte de dialogue et paramètres

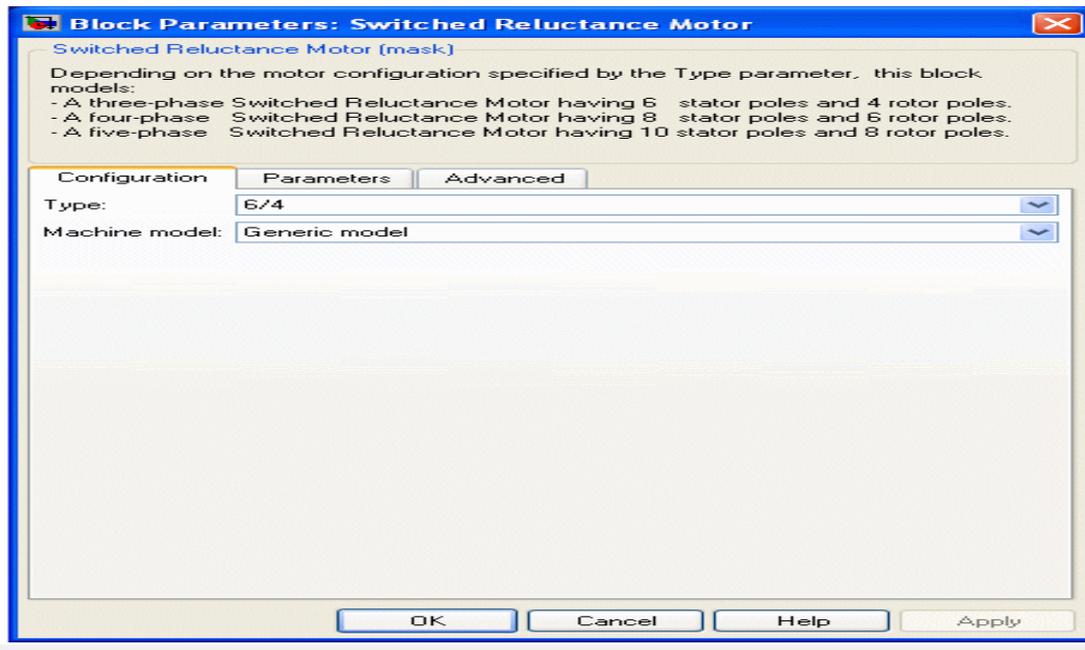


Figure III.3.Boîte de dialogue et paramètres

Type : Spécifie un moteur triphasé 6/4, un moteur 8/6 quatre phases ou une motrice 10/8 à cinq phase.

Modèle de machine : sélectionnez modèle générique ou modèle spécifique. l'onglet paramètres est modifié en conséquence.

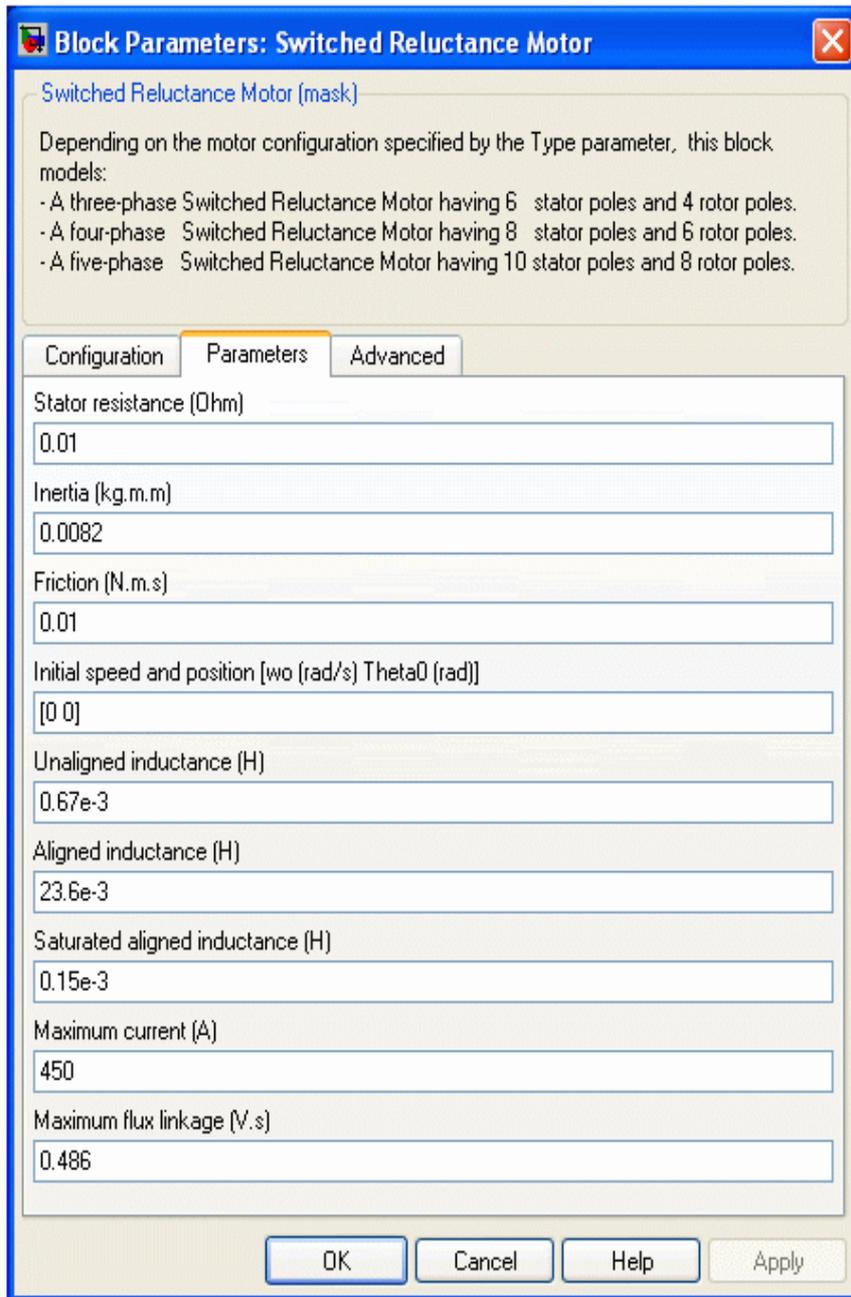


Figure III.4. Onglet Paramètres: Modèle générique

- 1) **Résistance du stator** : la résistance R_s (Ω) de chaque enroulement de phase du stator.
- 2) **Inertie** : le moment d'inertie J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).
- 3) **Friction** : le coefficient de frottement B ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$).
- 4) **Vitesse initiale et position** : la vitesse de rotation initiale ω_0 (rad / s) et la position initiale du rotor θ_0 (rad).
- 5) **Inductance non-alignée** : l'inductance du stator lorsque le rotor est en position non alignée L_q (H).

Chapitre III : Simulation Du défaut dans le Système MVR

- 6) **Inductance alignée** : l'inductance du stator insaturé lorsque le rotor est en position alignée L_d (H).
- 7) **Inductance alignée saturée** : l'inductance du stator saturé lorsque le rotor est en position alignée L_{dsat} (H).
- 8) **Courant maximum** : le courant maximum du stator I_m (A). Liaison de flux maximale : La liaison de flux maximale ψ_m (Wb ou Vs) correspondant à I_m .

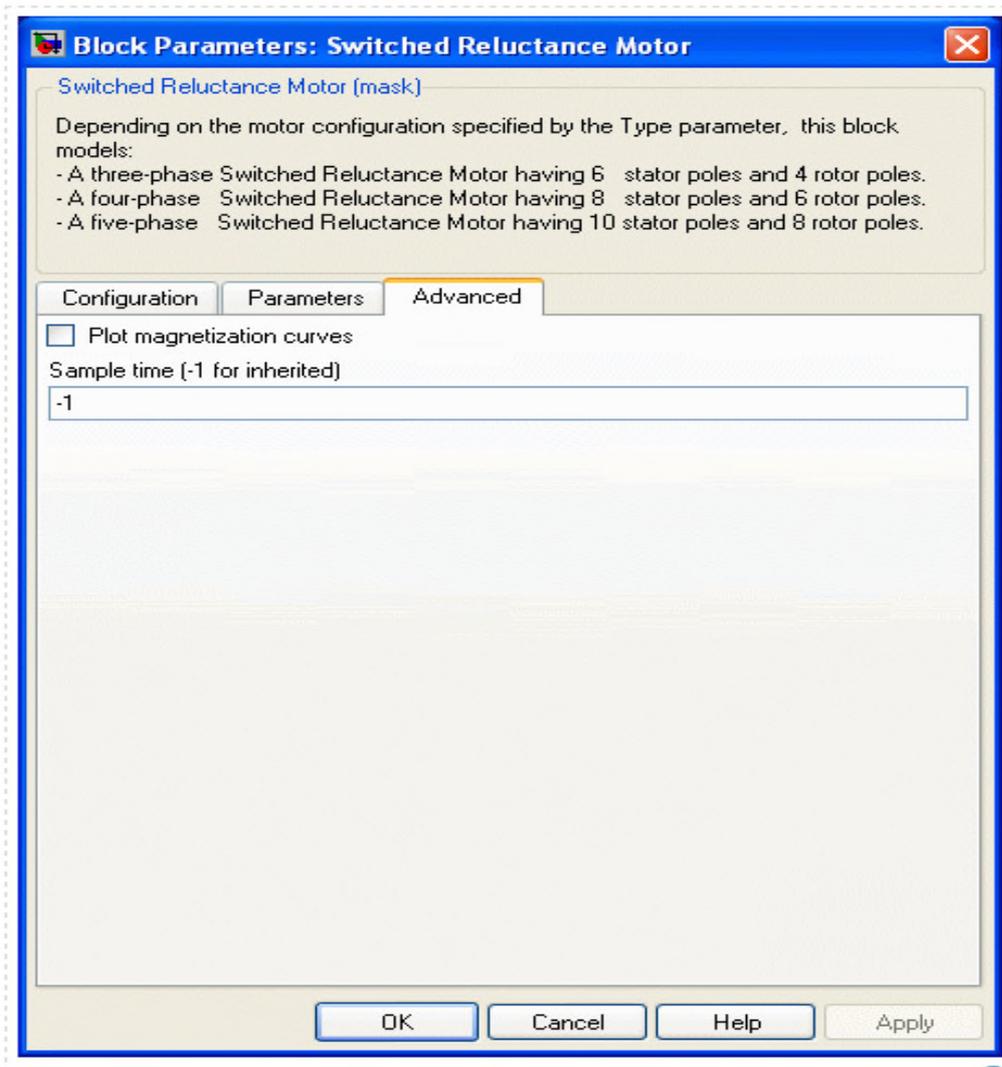


Figure.III.5.Onglet avancé.

- 1) **Courbes d'aimantation de tracé** : Si sélectionné, le masque trace les courbes d'aimantation correspondantes à la table de recherche fournie. Les courbes d'aimantation représentent la liaison de flux de machine par rapport au courant de stator avec la position du rotor en tant que paramètre

Chapitre III : Simulation Du défaut dans le Système MVR

- **Temps d'échantillonnage (-1 pour hériter) :** Spécifie le temps d'échantillonnage utilisé par le bloc. Hériter le temps d'échantillonnage spécifié dans le bloc Power gui, définissez ce paramètre sur (-1). [24]

2)Entrées et sorties

- **TL :** L'entrée de bloc est le couple de charge mécanique (en N.m). TL est positif dans le fonctionnement du moteur et négatif dans le fonctionnement du générateur
- **M :** La sortie de bloc m est un vecteur contenant plusieurs signaux. Vous pouvez démultiplexer ces signaux en utilisant le bloc Bus Selector de la bibliothèque Simulink. [24]

III.2.2.Convertisseur

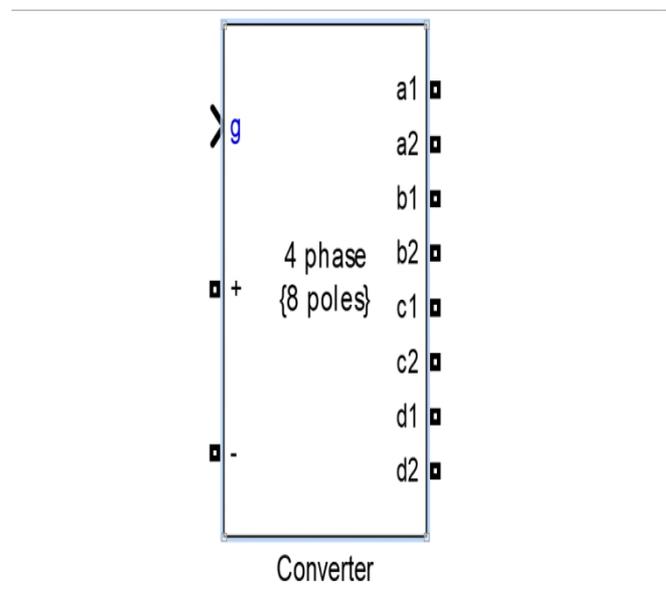


Figure.III.6.Convertisseur

III.2.2.1. Les quatre convertisseurs

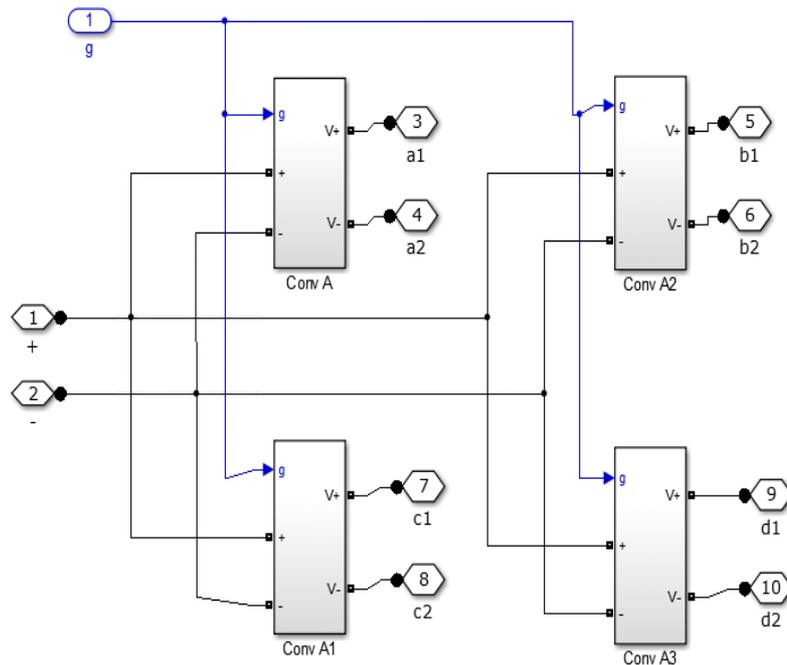


Figure III.7. Les quatre convertisseurs

1) **Sous-système** : Représenter le système dans un autre système.

- **Emplacement** : Ports & Subsystems
- **Description** : Un bloc de sous-système contient un sous-ensemble de blocs ou de code dans un modèle ou un système global.

Le bloc de sous-système peut représenter un sous-système virtuel ou un sous-système non virtuel. Dans les sous-systèmes non virtuels, vous pouvez contrôler le moment où le contenu du sous-système est évalué. Les sous-systèmes non virtuels sont exécutés comme une seule unité (exécution atomique). Vous pouvez créer des sous-systèmes non virtuels exécutés sous conditions qui s'exécutent uniquement lorsqu'une transition se produit sur un déclencheur, un appel de fonction, une action ou une entrée d'activation

Un sous-système est virtuel si le bloc n'est ni exécuté conditionnellement ni atomique.[24]

2) **Port de connexion**

3) **Inport**

III.2.2.2.Composantes de chaque convertisseur

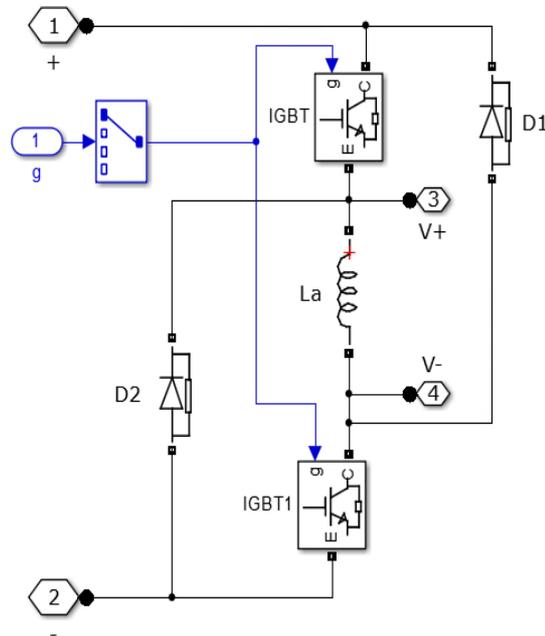


Figure III.8.Composantes de convertisseur

1) **IGBT** : Transistor bipolaire à grille isolée (IGBT)

- **Emplacement** : Power Electronics
- **Description** : Le bloc IGBT implémente un dispositif semi-conducteur contrôlable par le signal de la porte. L'IGBT est simulé en tant que combinaison en série d'une résistance R_{on} , d'une inductance L_{on} et d'une source de tension continue V_f en série avec un interrupteur commandé par un signal logique ($g > 0$ ou $g = 0$).[24]

2) **Sélecteur** : Sélectionner des éléments d'entrée à partir d'un signal vectoriel, matriciel ou multidimensionnel

- **Emplacement** : Signal Routing
- **Description** : Le bloc sélecteur génère en sortie des éléments sélectionnés ou réordonnés d'un vecteur d'entrée, d'une matrice ou d'un signal multidimensionnel. Un bloc de sélection accepte des signaux vectoriels, matriciels ou multidimensionnels en entrée. La boîte de dialogue des paramètres et l'apparence du bloc changent pour refléter le nombre de dimensions de l'input. [24]

3) Diode :

- **Emplacement** : Power Electronics
- **Description** : La diode est un dispositif semi-conducteur qui est contrôlé par son propre tension V_{ak} et courant I_{ak} . [24]

4) la série RLC : Implémenter la branche RLC de la série

- **Emplacement** : éléments.
- **Description** : Le bloc de dérivation série RLC implémente une seule résistance, inductance ou condensateur, ou une combinaison en série de ceux-ci. [24]

5) Port de connexion : Créer un port de connecteur de modélisation physique pour le sous-système

- **Emplacement** : éléments
- **Description** : Le bloc Port de connexion, placé à l'intérieur d'un sous-système composé de blocs SimPowerSystems, crée un port de connecteur Open Model de modélisation physique à la limite du sous-système. Une fois connecté à une ligne de connexion, le port devient solide. Une fois que vous commencez la simulation, le port solide devient un port de terminal électrique, un carré ouvert. [24]

6) Inport : Créer un port d'entrée pour le sous-système ou l'entrée externe

- **Emplacement** : Ports & Subsystems, Sources
- **Description** : Les blocs d'importation sont les liens de l'extérieur un système dans le système. [24]

III.2.3.L'acquisition des données

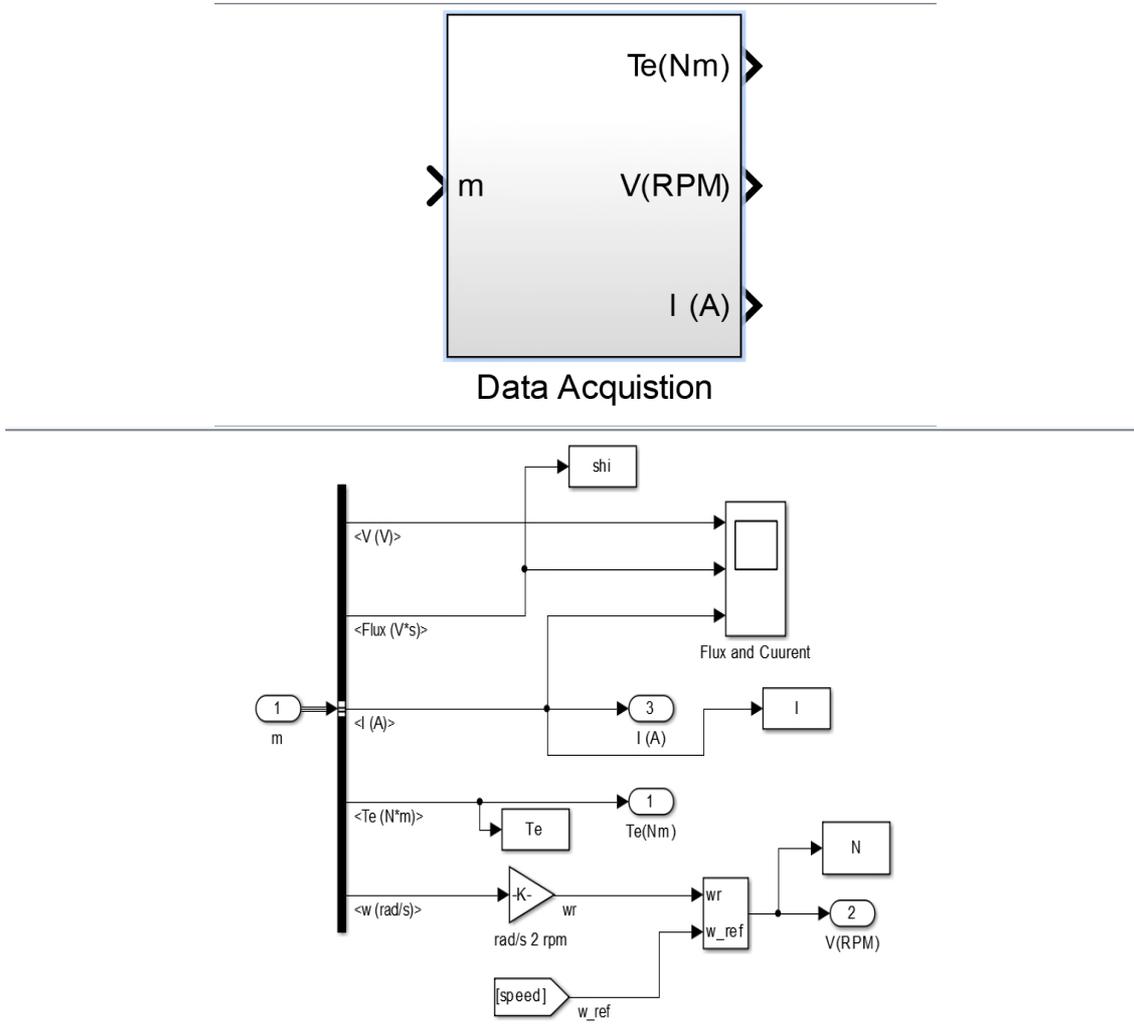


Figure.III.9.L'acquisition des données.

1) Inport

2) À l'espace de travail : Écrire des données dans l'espace de travail MATLAB

- **Emplacement :** Sinks
- **Description :** Le bloc To Workspace entre un signal et écrit les données de signal dans l'espace de travail MATLAB. Pendant la simulation, le bloc écrit des données dans un tampon interne.

Lorsque la simulation est terminée ou en pause, ces données sont écrites dans l'espace de travail. L'icône de bloc affiche le nom du tableau sur lequel les données sont écrites. [24]

Chapitre III : Simulation Du défaut dans le Système MVR

- 3) **Scope and Floating Scope (Portée et portée flottante)** : Afficher les signaux générés pendant la simulation
 - **Emplacement** :sinks
 - **Description** : Le bloc Scope affiche les signaux d'entrée en fonction du temps de simulation.
- 4) **Gain** : Multiplier l'entrée par la constante
 - **Emplacement** : Math Operations
 - **Description** : Le bloc Gain multiplie l'entrée par une valeur constante (gain). L'entrée et le gain peuvent être chacun un scalaire, un vecteur ou une matrice.
- 5) **From** : Accept input from Goto block
 - **Emplacement** : Signal Routing
 - **Description** : Le bloc From accepte un signal provenant d'un bloc Goto correspondant, puis le transmet en sortie. Le type de données de la sortie est le même que celui de l'entrée du bloc Goto. Les blocs From et Goto vous permettent de passer un signal d'un bloc à un autre sans les connecter.
- 6) **Mux** : Combiner plusieurs signaux d'entrée en vecteur
 - **Emplacement** : Signal Routing
 - **Description** : Le bloc Mux combine ses entrées dans une sortie vectorielle unique. Une entrée peut être un signal scalaire ou vectoriel. Toutes les entrées doivent être du même type de données et du même type numérique. [24]
- 7) **Bus Selector** : Sélectionnez les signaux du bus entrant
 - **Emplacement** : Signal Routing
 - **Description** : Le bloc de sélection de bus génère un sous-ensemble spécifique des éléments du bus à son entrée. Le bloc peut sortir les éléments spécifiés en tant que signaux séparés ou en tant que nouveau bus. [24]

III.2.4. :capteur de position.

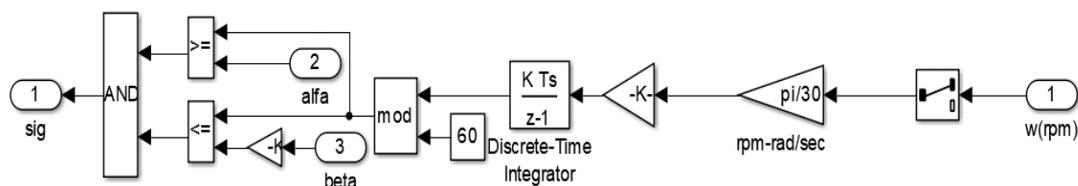
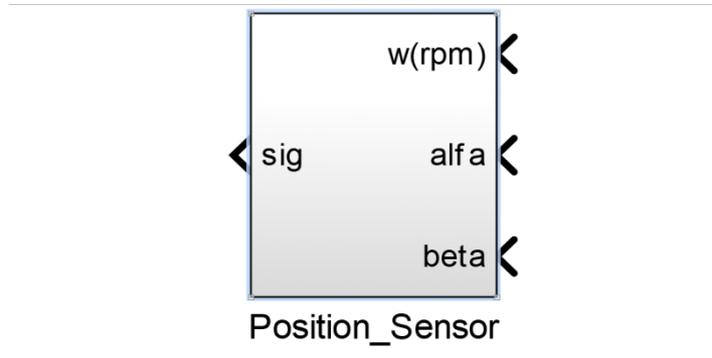


Figure III.10.captur de position.

1) **Outport** : Créer un port de sortie pour le sous-système ou la sortie externe

- **Emplacement** : Ports &Subsystems, Sinks
- **Description** : Les blocs Outport sont les liens d'un système vers une destination extérieure au système. [24]

2) Logical Operator (Opérateur logique) : Effectue l'opération logique spécifiée en entrée

- **Emplacement :** Logic and Bit Operations
- **Description :** Le bloc Opérateur logique exécute l'opération logique spécifiée sur ses entrées.

Une valeur d'entrée est TRUE (1) si elle est différente de zéro et FALSE (0) si elle est nulle.
[24]

3) Opérateur relationnel : Effectuer une opération relationnelle spécifiée sur les entrées

- **Emplacement :** Logic and Bit Operations
- **Description :** Mode deux entrées Par défaut, le bloc Opérateur relationnel compare deux entrées à l'aide du paramètre Opérateur relationnel que vous spécifiez. La première entrée correspond au port d'entrée supérieur et la deuxième entrée au port d'entrée inférieur.[24]

4) Discrete-Time Integrator (Intégrateur à temps discret) : Effectuer une intégration en temps discret ou une accumulation de signal. [24]

- **Emplacement :** Discrete
- **Description :** Capacités du bloc intégrateur temps discret Vous pouvez utiliser le bloc Intégrateur temps discret à la place du bloc Intégrateur pour créer un système purement discret

5) Selector

6) Gain

7) In port

III.2.5.Relay

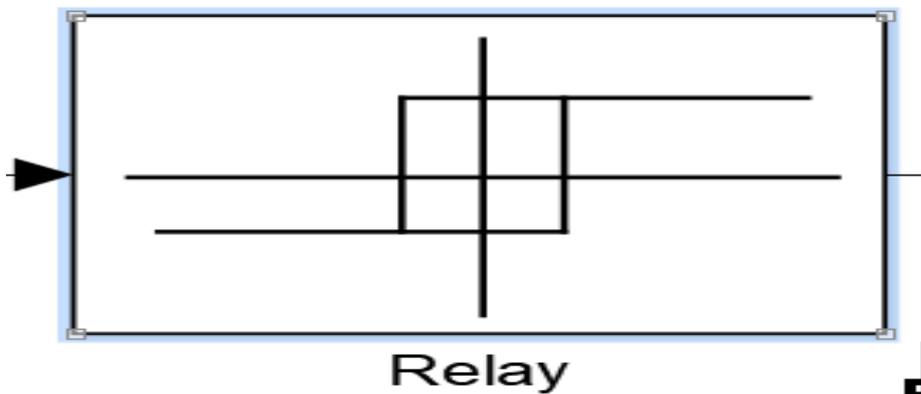


Figure III.11.relais

Relay : Commuter la sortie entre deux constantes

- **Emplacement :** On le trouve dans Library /simulink /discontinuities /relay
- **Description :** Le bloc relay permet à sa sortie de basculer entre deux valeurs lorsque la migration est en cours, elle reste active jusqu'à ce que l'entrée tombe la valeur de paramètre la plus basse arrête le point de fermeture.

Lorsque le relais est désactivé, il reste désactivé jusqu'à ce que l'entrée dépasse Valeur du paramètre Point de commutation. Le bloc accepte une entrée et génère une sortie.

La valeur du point de commutation doit être supérieure ou égale au point de désactivation.

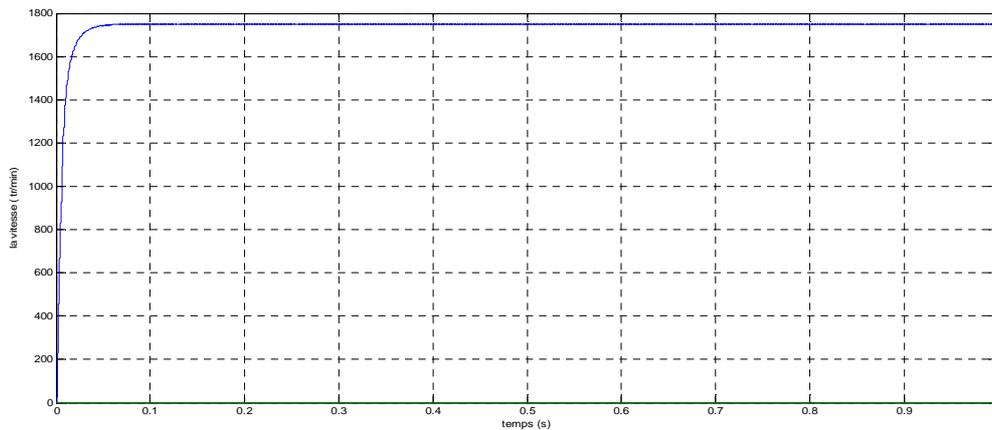
- **Remarque:** Lorsque l'entrée initiale se situe entre le point d'arrêt et les valeurs de point de commutation, la sortie initiale est la valeur lorsque le relais est désactivé.

III.3.Résultat de simulation.

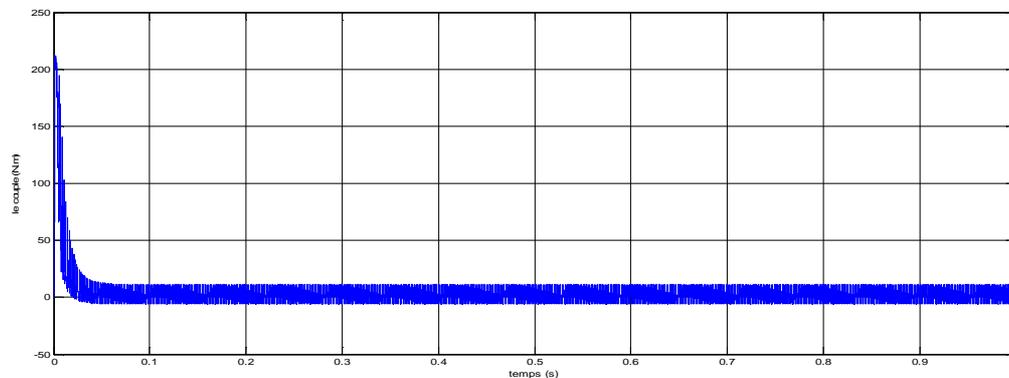
Les résultats de simulation qui suivent représentent la dynamique du MRVDS en fonctionnement normale et avec défaut d'une rupture d'une phase.

III.3.1 En fonctionnement normale.

La figure III.12 représente l'évolution des formes d'ondes de la vitesse, et de couple lors de fonctionnement normale.



La vitesse



Le couple

Figure III.12.Forme d'onde de l'évolution de vitesse et du couple lors de fonctionnement normale.

Chapitre III : Simulation Du défaut dans le Système MVR

On remarque dans les résultats de simulation dans la figure III.12 qu'il y a une nette amélioration de la forme de la vitesse et le couple.

La vitesse augmente avec la diminution du couple.

La vitesse présente des valeurs élevées au démarrage dues à la dynamique du MRV elle touche les 1750 tr min puis elle se stabilise durant tout le régime statique.

Par contre le couple se démineur jusque il s'annule.

III.3.2 Fractionnement en défaut.

Les causes de rupture d'une phase sont multiples parmi celles-ci on peut citer :

- Un des fusibles de protection contre le court-circuit tombé en panne.
- Une phase d'alimentation du moteur est en circuit ouvert (coupure d'une phase).
- Un mauvais réglage des dispositifs de protection prévus pour le moteur.
- Un contact de puissance de contacteurs est endommagé due à l'oxydation.

En vas crier un défaut avec élimination d'une phase par l'augmentation de la résistance d'IGBT de cette phase comme on a montrés dans la figure III.13.

Et en utilise la méthode internes (avec connaissance a priori) de diagnostic des défauts des moteurs comme celle qui nous expliquons dans le chapitre précédent (page39).

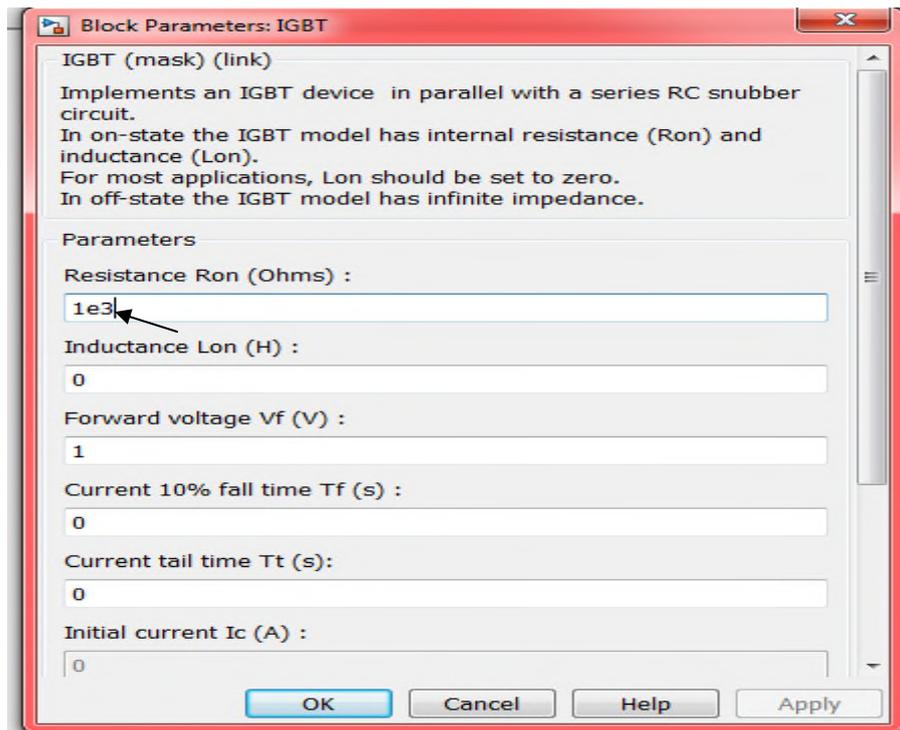
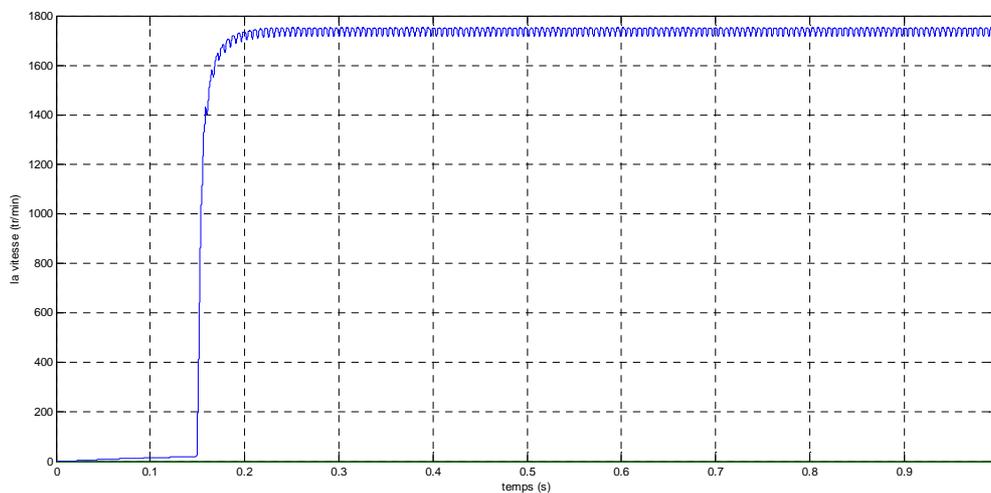


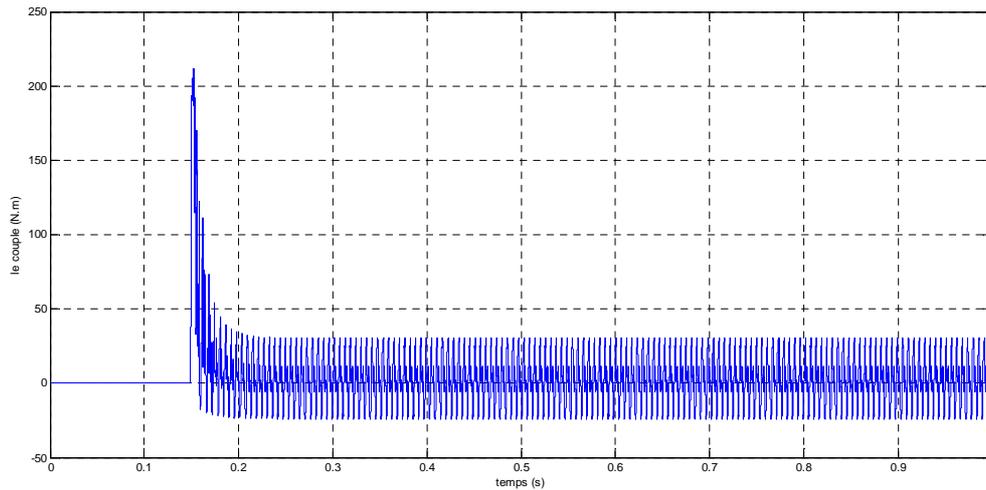
Figure III.13 paramaitre de IGBT

III.3.3.Résultat de simulation avec défaut.

L'évolution de vitesse et du couple en fonction de temps lors de fonctionnement en défaut :

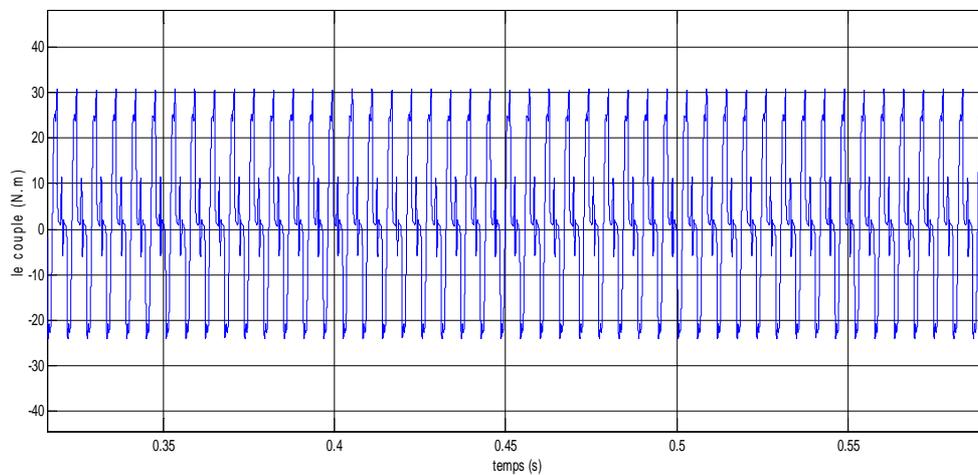


La vitesse

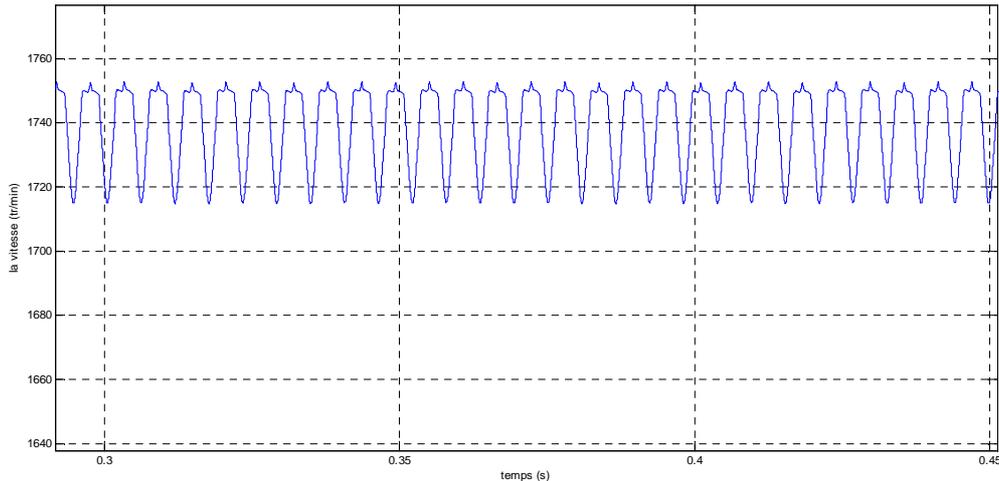


Le couple

Figure III .14. Forme d'onde de l'évolution de vitesse et du couple lors de fonctionnement en défaut.



Le couple



La vitesse

Figure III.15. une partie zoom des formes d'onde de la vitesse et le couple.

La figure III.15. montre les caractéristiques de performance au cours de l'état de défaut à pleine charge.

Une fois c'est que l'une des phases est déconnectée, le courant dans cette phase tend vers zéro qui provoquent une surcharge.

Les résultats de simulation sont montrés à la figure III.15. où on remarque que l'évolution de vitesse et de couple sont de la même manière comme le fonctionnement normale mais avec une ondulation remarquable c-t-d sont plus ondulés en comparaison avec celui développé par la machine sans défaut ce qui provoque mauvais fonctionnement.

Le défaut se représente aussi dans la durée de démarrage de moteur, le temps de repense est plus grand en défaut par rapport au fonctionnement normal.

Cette figure prise du mémoire de magister en électrotechnique représente un défaut d'un court circuit elle montre la déformation de la forme modulation de la vitesse similaire à notre travail.

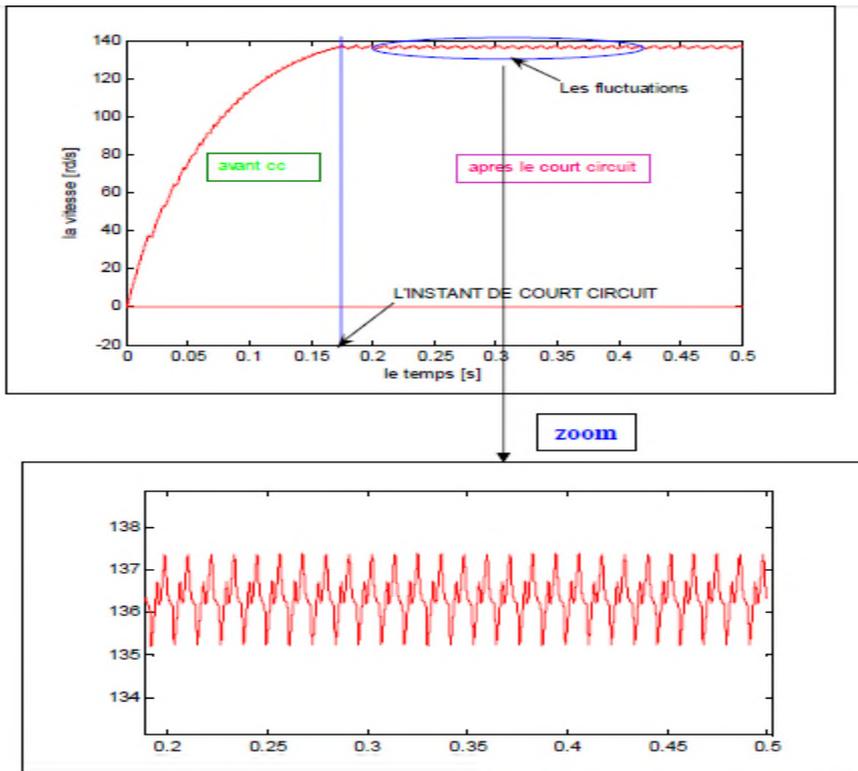


Figure III.16 prise du mémoire de magister en électrotechnique représente un défaut de déformation de la forme modulation de la vitesse.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'analyser les résultats de fonctionnement normal et lors de défaut.

Les résultats de simulation obtenus ont permis de valider l'approche scientifique. Ils mettent en évidence les bonnes performances statiques et dynamiques.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail a étudié les caractéristique fonctionnement sain du moteur à reluctance variable double saillance et en défaut , on a constaté que les machines à réluctance variable sont probablement les machines électriques les plus simples et les plus économiques à fabriquer pour des performances assez élevées, on trouve aujourd'hui de plusieurs applications dans l'industrie, nous sommes intéressésà étudier ce moteur pour savoir la majorité des comportements et l'effets des défauts sur son fonctionnement.

Notre étude inclut plusieurs directions sont comme suit :

Un premier chapitre a permis d'exposer nous avons abordé les différents types des MRV, le principe de fonctionnement et conversion d'énergie de système électromagnétique pour comprendre le mécanisme et la condition de fonctionnement de la MRVDS.

Au second chapitre, nous avons présenté les principaux défauts pouvant affecter le MVR, Par la suite les principales techniques et méthodes de diagnostic.

Dans le troisième chapitre, on a exposé les résultats relatifs au couple et au vitesse en fonctionnement sain et on défaut à partir de la simulation de la MRV par le logiciel MATLAB.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : Benhadria Mohamed Rachid, ‘‘ Alimentation d’un moteur a réluctance variable a double saillance (réalisation et commande) ‘’, mémoire de thèse de magister, faculté de génie électrique, département d’électrotechnique, université des sciences et de la technologie d’Oran 2005.
- [2]: Brivit SRM database, ‘‘Switched reluctance motors drives’’, fleath electronics ltd, Leeds, UK, 2000.
- [3] : Dadi Rachida, ‘‘ étude et simulation du modèle non linéaire d’un moteur a réluctance variable a double saillance’’, mémoire de thèse de magister, faculté de génie électrique, départem
- [4] : Han–woong Park , Sung–Jun Park , man–Hyung Lee ‘‘A Wide Speed Opération of SRM Using Low Cost Encoder’’,IndustrialEléctronics Society , 2000 iecon 2000. IECON 2000.
- [5]: Kadar Fatiha, ‘‘ Analyse des bruits et des vibrations dans le moteur a réluctance variable a double saillance’’, mémoire de thèse de magister, faculté de génie électrique, département d’électronique, université des sciences et de la technologie d’Oran 2005.
- [6] : Naveen Yadlapali ‘‘ Implementation on a novel soft-switching inverter for switched motor drives ‘‘ Thesis submitted for the degree of Master of Science, Virginia polytechnic institute and state university, July 1999.
- [7] : Pierre Mayé, ‘‘Moteurs électrique industriels’’, dunod, paris, 2005. [16]: T.J.E Milles ‘‘Electronic control of switched reluctance machines ‘’, newness power engineering series, 2001.
- [8]: T.J.E Milles ‘‘Electronic control of switched reluctance machines ‘’, newness power engineering series, 2001.
- [9] LI Guang-Jin, "Contribution à la Conception des Machines Electriques à Rotor Passif pour des Applications Critiques : Modélisations Electromagnétiques et Thermiques sur Cycle de Fonctionnement, Etude du Fonctionnement en Mode Dégradé ", Thèse de Doctorat, École normale supérieure de Cachan, CACHAN CEDEX (France), 05 Juillet 2011.
- [10] Khelefsalaheddine, hadaabdelmounim, "commande de la machine a réluctance variable" université d’el-oued master académique 2013.
- [11] S.Mouellef, ‘‘Contribution A L’étude D’une Machine A Reluctance Variable:Conception, Modélisation & Simulation D’une MRVDS 6-4’’, Mémoire de magister, Université Mentouri De Constantine, 2008.

Bibliographie

- [12] D. Ilea, "Conception optimale des moteurs à réductance variable à commutation électronique pour la traction des véhicules électriques légers", thèse de doctorat École Centrale De Lille, 2011.
- [13] C. Keyes, "Guide de référence sur l'efficacité énergétique des moteurs", CEA Technologies Inc. 2007.
- [14] GAUTHIER J., Hammouri H., Othman S., "A simple observer for non-linear systems applications to bioreactors", IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 37, no. 6, p. 875-880, 1992.
- [15] MULLER G., LANDY C., "Vibration produced in squirrel-cage induction motors having broken rotor bars and interbar currents", International Conferences on Electrical Machines, 1994.
- [16] BONNETT A.H., YUNG C., "Increased efficiency versus increased reliability", IEEE Industry Applications Magazine, p.1077-2618, January-February 2008.
- [17] THORSEN O.V., DALVA M., "Failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry", Conference Publication, IEE 1997, no. 444, Condition monitoring methods, 1-3 September 1997.
- [18] THORSEN O.V., DALVA M., "A survey of fault on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries", IEEE Industry Application Magazine, vol. 31, no. 5, September 1995.
- [19] SAHRAOUI M., GHOGGAL A., ZOUZOU S., BENBOUZID M., « Dynamic eccentricity in squirrel-cage induction motor-simulation and analytical study of its spectral signature on stator-cage induction motor-Simulation.
- [20] Electric vehicle machines and drives. DESIGN, ANALYSIS AND APPLICATION
K.T. CHAU IEE PRESS WILEY
- [21] SIHEM MOUELLEF. Contribution à l'étude d'une machine à réductance variable : conception, modélisation et simulation d'une MRVDS 6-4. Soutenu le : 03/06/ 2008.
- [22] Bernard Multon. Principe Et Eléments De Dimensionnement Des Machines A Réductance Variable A Double Saillance Autopilotées. ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN Lesir, URA CNRS D1375 61, Avenue Du Président WILSON 94235 CACHAN Cédex.
- [23] Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory, and Design. Mehrdad Ehsani, Texas A&M University. Yimin Gao, Texas A&M University. Sebastien E. Gay, Texas A&M University. Ali Emadi, Illinois Institute of Technology.

Bibliographie

[24] Xiang Dang, Xue, K.W.E.Cheng, Member, IEEE, and S.L.Ho, «Simulation of Switched Reluctance Motor Drives Using Two Dimensional BicubicSpline», IEEE Transaction Energie Conversion, VOL.17,NO.4,Decembre 2002 471.

[25] F. Soares, B. Costa, «Simulation a 6/4 of motor based on matlab/simulink environment, IEEE Trans.Aerospace and Electronic Systems,vol.37, no.3,Jul.2001, pp.989-1009.

Résumé

ملخص :

محركات النفاذية المتغيرة تستخدم بشكل متزايد في العديد من المجالات. ميزة هذه المحركات هي انها غير مكلفة وتعمل على مجال واسع جدا من عزم الدوران والسرعة، فضلا عن المتانة والكفاءة العالية .

Résumé :

Les moteurs à réluctance variable (MRV) sont de plus en plus utilisés dans plusieurs domaines. Ces moteurs peu coûteux présentent l'avantage de fonctionner sur des gammes très larges de couples et de vitesses, ainsi qu'une robustesse et un rendement élevé.

Abstract:

Switched reluctance motors (SRM) are being used in several areas. These inexpensive engines have the advantage to operate on very wide ranges of torques and speeds, and presents robustness and high performance.