

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الية
Département Automatique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et systèmes

Thème

***Étude d'un système monoconvertisseur
multimachines***

Présenté par :
Hadj kouider brahim

Laouar brahim

Soutenue publiquement le 11/06/2022

Devant le jury composé de :

Abdellah ZEAOUI	Professeur	Univ. Ghardaïa	Président
Mohammed ALLALI	M A A	Univ. Ghardaïa	Encadrant
Thameur ABDELKRIM	Directeur de Recherche	URAER Ghardaïa	Examinateur

Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Premièrement, je remercie Dieu source de toutes connaissances et espoirs.

Au terme de ce travail, j'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadreur *Allali Mohammed*, pour son soutien, modestie et ses multiples conseils.

Je ne terminerai pas sans remercier vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail.

Résumé

الملخص :

الهدف من المذكرة هو دراسة مختلف تركيبات الأنظمة أحادية المحولات المغذية لعدة محركات ومجالات استعمالها تم اختيار المحول ذو خمسة اذرع المغذي لمحركين غير تزامنيين لهذه الدراسة للتحقق من صحة الدراسة والحصول على النتائج قمنا بإجراء عدة فحوصات باستعمال برنامج ماتلاب

الكلمات المفتاحية

- آلة غير متزامنة
- محول متعدد الالية
- الآلة حثية
- أنظمة متعددة الآلات

Résumé :

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les différentes structures de systèmes mon convertisseur multi machin leurs sommaires d'utilisation.

A été choisi la présentation de l'onduleur cinq bras alimentation deux moteurs synchrones

Pour vérifier la validité de l'étude et obtenir les résultats, nous avons effectué plusieurs tests à l'aide du programme Matlab

Mots clés :

- Machine asynchrone
- Convertisseur multi-mécanisme
- Machine inductive
- Systems multi-machines

Summary :

The objective of this memory is to study the various structures of systems my converter multi machine their summaries of use.

Was chosen the presentation of the five-arm inverter power supply two synchronous motors

To check the validity of the study and obtain the results, we performed several tests using the MATLAB program

Key words :

- Asynchronous machine
- Multi-mechanism converter
- Inductive machine
- Multi-machine systems

Sommaire

Introduction générale.....01

CHAPITRE I : Modélisation de la machine asynchrone

I-1 Introduction04

I-2 Présentation de la machine04

 I-2-1 Introduction.....04

 I -2-2 Avantages du moteur asynchrone05

I-3 Description d'un moteur asynchrone05

 I-3-1 -Partie magnétique05

 I-3-2-Partie électrique.....06

 I-3-3Partie mécanique06

I -4 Principe de fonctionnement08

 I -4-1- Glissement09

 I -4-2-Schéma électrique équivalent10

I -5 Modélisation de la machine asynchrone.....11

 I-5-1 Introduction.....11

 I-5-2 Hypothèses simplificatrices.....11

 I-5-3 Équations générales de la machine asynchrone triphasée.....12

 A-Équations électriques.....12

 B-Équations magnétiques.....14

 C-Équations mécaniques.....16

I-5-4 Transformation de Park.....16

 A-Différents repères.....17

B-Modélisation de la MAS dans le plan biphasé dq.....	17
I-5-5 la machine asynchrone alimentée en tension.....	21
I-5-6 Représentation d'état du modèle de la MAS	21
I- 6 Simulation du modèle de la machine asynchrone	23
I- 6-1 Résultat de simulation de la MAS.....	23
I-6-2. Interprétation des résultats de simulation	24
Conclusion.....	25

Chapitre II : Les différentes structures des systèmes multi machines

Introduction.....	27
II.1/ Systèmes Multi Convertisseurs-Multimachines Pour	27
II.2/ Systèmes Mono convertisseur-Deux Machines Pour	28
II.2.1/ Structure à quatre bras	28
II.2.2/ Structure à six bras	29.
II-2.3 Structure à six bras	31
II.3/ Structure à quatre bras et à point milieu.....	34
II.4/ conclusion.....	34

Chapitre III : Association onduleur cinq bras à deux MAS

Introduction.....	36
III.1/ Exemples d'application de multi-moteur.....	36
III.1.1 véhicule électrique a deux roues motrices	36
III.2Convoyeurs à bande	37

III.3 Principe du tissage.....	39
III.4/ Avantages de l'utilisation d'un seul variateur de fréquence pour un contrôle multi-moteur	39
III.5 Model de l'onduleur cinq bras	40
III.6. Avantages de l'utilisation d'un seul variateur de fréquence. pour un contrôle multi-moteur.....	43
III.7 Application de la commande vectorielle sur la cascade onduleur à cinq bras – deux MAS.....	44
Conclusion.....	47
Conclusion générale.....	48
Références Bibliographies.....	49

Liste des figures :

Figure. I -1- Moteur asynchrone à cage (Leroy Somer).....	07
Figure I-2- Principe des moteurs asynchrones.....	08
Figure I-3- Schéma équivalent d'un moteur asynchrone.....	10
Figure. I -4 Représentation schématique d'une machine asynchrone.....	12
Figure. I-5- Référentiel tournant d'axes (d– q).....	18
Figure I-6- Schéma bloc de la machine asynchrone alimentée en tension.....	21
Figure I-7- Résultat de simulation de la MAS pour un fonctionnement à vide suivi par une variation de charge de couple à l'instant $t=0.6s$	24
Figure II-1: Système multi-machines SM (m, n).....	27
Figure II-2: Structure parallèle SM (3, n).....	28
Figure II-3: Structure à bras commun	29
Figure II-4: Structure mixte.....	30
Figure II-5: Structure classique.....	31
Figure II-6 : Structure à point milieu commun.....	32
Figure II-7: Structure à bras commun.....	33
Figure. III.-1: Véhicule a deux roue motrices.....	36
Figure. III.2- Conception d'un convoyeur à bande.....	37
Figure. III.3- Les différents composants du convoyeur à bande	37
Figure. III.4- (a) Conception traditionnelle (b) Tambour motorisé.....	38
Figure. III. 5- Synoptique général d'un procédé textile.....	38
Figure. III. 6- Schéma du principe du processus de tissage	39
Figure III-7: Structure d'un onduleur à cinq bras alimentant deux moteurs asynchrones.....	40
Figure. III.8- Performances de la commande indépendante des deux moteurs (MAS1 : opérationnelle, MAS2 : à l'arrêt)	44
Figure. III.9- Performances de la commande indépendante des deux moteurs (MAS1 : à l'arrêt, MAS2 : opérationnelle)	45
Figure. III.10- Performances de la commande indépendante des deux moteurs (MAS1 : opérationnelle, MAS2 : opérationnelle à vitesse fixe)	46

Liste des abréviations explicitées :

- a, b, c** : Indices correspondant aux trois phases "a", "b", "c".
- s, r** : Indices correspondant au stator et au rotor.
- d, q** : Axes correspondant au référentiel lié au champ tournant.
- S** : Variable de LAPLACE.
- L_s, L_r** : Inductance cyclique statorique et rotorique par phase.
- L_m** : Inductance mutuelle.
- R_s, R_r** : Résistance cyclique statorique et rotorique par phase.
- T_s, T_r** : Constantes de temps statorique et rotorique ($T_s = L_s/R_s$, $T_r = L_r/R_r$)
- T_n, T_i** : Constantes de temps des régulateurs PI.
- G_o(S)** : Fonction de transfert en boucle ouverte.
- G_F(S)** : Fonction de transfert en boucle fermée.
- τ** : Constantes de temps dominantes.
- σ** : Coefficient de fuite totale.
- p** : nombre de paires de pôles.
- C_r** : Couple résistant.
- θ_s, θ_r** : Angles électriques statorique et rotorique.
- θ_{sl}** : Angle électrique de glissement.
- ω_s, ω_r** : Vitesses angulaires électrique statorique et rotorique.
- ω_{sl}** : Glissement de vitesse angulaire.
- Ω_r** : Vitesse mécanique.
- φ_s, φ_r** : Flux statorique et rotorique.
- i** : Courant.
- V** : Tension

Introduction générale

Avec le développement industriel, il est devenu une nécessité d'utiliser des systèmes d'entraînement de multi-moteur, ces systèmes répondent aux demandes d'une commande dépendante ou indépendante des moteurs pour différente charge et vitesse. On trouve ce type des systèmes dans le processus de fabrication dans l'industrie de textile [18].

Afin d'améliorer les performances d'un système d'entraînement de multi-moteurs, des modifications de la structure de l'onduleur et des nouvelles stratégies de commande ont été développés. Plusieurs topologies des onduleurs sont proposées, telles que l'onduleur à cinq bras et à sept bras. Ce type des onduleurs présentent essentiellement deux avantages : il permet de réduire le nombre de composants de puissance d'une part, et d'autre part la diminution du coût global de système. Plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre pour commander les onduleurs multi- bras, la plus utilisée est la modulation de largeurs d'impulsions (MLI). Ces techniques sont des extensions des stratégies MLI appliquées aux onduleurs triphasés à deux niveaux [24], [11], [23].

Les systèmes d'entraînements sont beaucoup plus occupés par les moteurs asynchrones triphasés (MAS) qui présentent l'avantage d'être robustes, de construction simple et peu coûteuses, mais leurs commandes sont plus complexes que celle d'un moteur à courant continu. Pour le MAS, il est difficile d'obtenir le découplage effectif entre les deux grandeurs de commande qui sont le flux magnétique et le couple électromagnétique. Plusieurs méthodes pour commander un MAS, on peut citer : la commande scalaire, la commande vectorielle et la commande directe de couple ; sont les plus utilisées jusqu'aujourd'hui [25], [26].

Le développement continu dans le domaine d'électronique de puissance qui offre des composants électroniques capables de supporter de forte tension inverse et de fort courant, permet d'utiliser un bras commun entre plusieurs moteurs [27].

Le contenu de ce mémoire est structuré en trois chapitres présentés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous introduisons la modélisation et la simulation d'une machine à cage asynchrone

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté différentes configurations possibles d'un système multi-machines avec un seul interrupteur

Introduction générale

Dans le chapitre trois, nous avons présenté quatre applications des systèmes multimoteurs. Ensuite, nous avons introduit une stratégie de contrôle vectoriel - un réflecteur à cinq bras - deux MAS.

Nous terminons par une conclusion générale qui évaluera l'ensemble des résultats obtenus et nous proposons des perspectives à ce travail.

Chapitre I

La machine asynchrone

I -1Introduction

Le moteur asynchrone (également appelé moteur à induction) est le moteur électrique le plus répandu et le plus utilisé dans l'industrie. Ce moteur fiable, robuste, peu encombrant requiert peu d'entretien. Cela justifie son succès.

Comme tout moteur électrique, il transforme une énergie électrique en énergie mécanique, transformation régie par la loi de Laplace : «Un conducteur traversé par un courant et placé dans un champ magnétique subit une force

d'origine électromagnétique.»

La partie électrique de notre installation à étudier est un moteur asynchrone à rotor en court-circuit.

I -2 Présentation de la machine :

I-2-1 Introduction :

Une machine asynchrone à cage est constituée de deux parties, le stator et le rotor. Le stator, représente la partie statique de la machine. Il est constitué d'un circuit magnétique comportant de multiples encoches à l'intérieur desquelles sont bobinées trois enroulements formant les enroulements statoriques. Au centre de ce cylindre, on retrouve le rotor de la machine dont le circuit magnétique est composé de barres généralement en cuivre ou en aluminium coulé. Ces barres sont reliées entre elles à chaque extrémité par un anneau de court-circuit. Notons que les barres sont légèrement inclinées pour éviter l'effet magnétique d'encochage dû à la forte variation de reluctance qui perturbe le couple. Cette cage est traversée par l'arbre mécanique qui peut sortir ou non de chaque côté.



Moteur asynchrone

I -2-2 Avantages du moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone à cage est le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité

I -3 Description d'un moteur asynchrone :

Comme toutes les machines d'induction, le moteur asynchrone à cage triphasé comporte :

- Une partie magnétique.
- Une partie électrique.
- Une partie mécanique.

I -3 1-Partie magnétique :

Il est conçu pour créer un champ tournant radial et guider le flux dans une pièce mobile appelée rotor

- Partie fixe :

La partie fixe s'appelle le stator, le courant qui génère le champ magnétique tournant est alternatif, et le circuit magnétique doit être feuilleté. Les tôles sont en acier au silicium embouti et découpé, isolées les unes des autres par oxydation de surface ou peinture. Les encoches sont réalisées dans une découpe à la forme après empilement des encoches dans lesquelles sont logées les bobines du stator. Le circuit magnétique lui-même est fixé dans un boîtier, qui peut être en fonte, en acier moulé, en tôle soudée ou en alliages légers. [1] [2]

-Partie mobile :

La partie magnétique du rotor est conçue pour diriger le flux dans la cage qui produit le courant induit.

Le tout est porté par un arbre. En termes de masse de métal et de stator, le circuit magnétique est feuilleté et constitué de tôles identiques. Des encoches sont pratiquées dans les découpes pour recevoir

les poutres de la cage.

I -3-2-Partie électrique :

Stator :

Les bobines de stator sont généralement préfabriquées sur un montage, puis chargées dans des fentes isolantes et fermées avec des cales. Les fils utilisés sont des fils de cuivre émaillé, et les bobines sont placées de telle sorte qu'elles forment un ensemble triphasé à 2, 4, 6 ou 8 pôles, avec des compléments si nécessaire ; trois entrées et trois sorties sont reliées à des borniers. Après mise en place des profilés et isolation, les composants sont imprégnés de vernis isolant sous trempé ou sous vide puis séchés en étuve.

Rotor :

La partie électrique du rotor est une cage en cuivre ou en aluminium logé dans les encoches de la partie magnétique. Pour les moteurs de petite puissance, et pour les diamètres de rotor inférieur à « 200mm », nous moulons la cage directement sur le rotor par injections d'aluminium fondu.

Pour les moteurs plus puissants, nous plaçons des barres de cuivre dans les encoches et nous brasons des anneaux à chaque extrémité afin de régulariser le couple. Les encoches du rotor et par conséquent de la cage ont une forme

hélicoïdale dans la plupart des cas.

La simplicité du rotor du moteur à cage est un élément favorable de robustesse et de bas prix de revient.

Plaque à bornes

Les entrées et les sorties du stator sont réunies à une plaque isolante comportant 6 bornes. Cette plaque est fixée sur le côté de la carcasse ou sur partie supérieur, elle est protégée par un capot.

La disposition des bornes est normalisée et doit permettre le montage des phases en étoile ou en triangle par simple déplacement de trois barrettes conductrices. [1][2]

I -3-3-Partie mécanique

Elle sert à fixer les organes magnétiques et électriques, et assure le guidage en rotation, elle contient :

1. carcasse avec fixation ou stator
2. ventilateur

3. rotor avec l'arbre
4. capot de ventilateur
5. Tiges de montage
6. Plaque a bornes
7. Plaque à bornes
8. Roulement à billes
9. Flasques

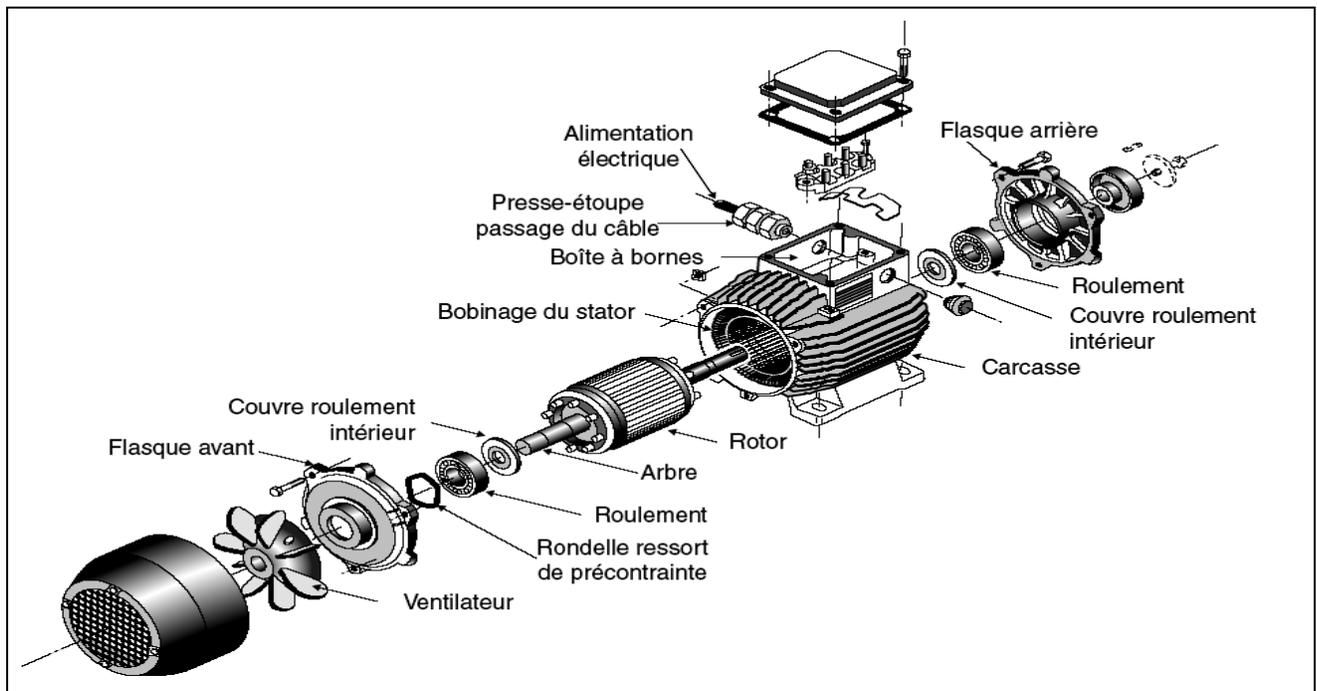


Fig. I -1-Moteur asynchrone à cage (Leroy Sommer)

I -4-Principe de fonctionnement :

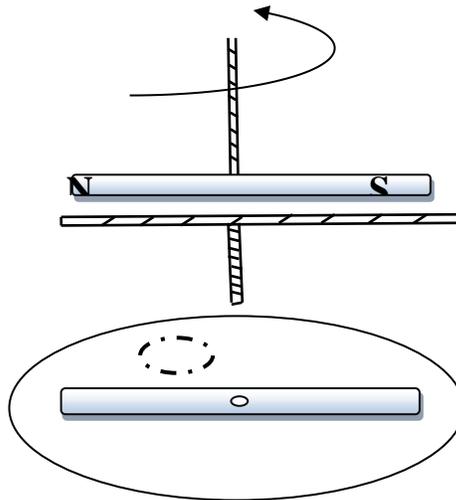


Fig. I-2- Principe des moteurs asynchrones

Considérons le dispositif représenté par la **Fig. I-2** : un aimant et un disque placés face à face, fixés sur deux axes se prolongeant l'un l'autre. On entraîne l'arbre solide de l'aimant dans un sens, tandis que l'autre sens n'est soumis à aucune contrainte mécanique.

Soit M une petite zone de la plaque. Si l'aimant et le plateau tournaient à deux vitesses différentes, M s'opposerait d'abord à un pôle puis à l'autre.

Ainsi, les blocs métalliques qui composent cette petite zone seront parcourus alternativement par des lignes de force, soumises à un écoulement variable dans le temps ; ils abriteront des courants aux mêmes propriétés que les courants de Foucault.

La loi de Laplace implique que les forces se développent ; la loi de Lenz stipule que leur effet doit faire disparaître la cause de celles-ci. Or la raison en est la présence de courants, eux-mêmes dus à la différence de vitesse.

La force électromagnétique aura tendance à entraîner le disque de sorte qu'il tourne à la même vitesse que l'aimant. Si l'aimant tourne le plus vite, le disque aura tendance à le rattraper, le mettant sous couple de freinage. A l'inverse, si le disque tourne le plus vite, l'aimant sera soumis à un couple d'accélération.

Ce transfert peut être un "transfert asynchrone" du fait des vitesses différentes des deux éléments l'un par rapport à l'autre.

Sans la différence de vitesse, aucun courant induit ne pénétrait dans la plaque. Ce mode de transmission ne présente qu'un intérêt limité : on part, en effet, d'un effort mécanique sur l'aimant, à une certaine vitesse, pour obtenir, sur le disque, un effort mécanique à une vitesse inférieure. [2]

I -4-1- Glissement

Supposons qu'un moteur à induction à P paires de pôles absorbe des courants triphasés équilibrés. Ceux-ci créent un champ tournant à la vitesse dite de synchronisme :

$$\Omega_s = \frac{\omega}{p} \text{ [rad/s]} \quad (I-1)$$

Avec : ω = pulsation des courants statoriques.

Si le rotor tourne à une vitesse égale à Ω_s , chacun de ses enroulements embrasse un flux statorique constant et n'est pas donc le siège d'aucune force électromotrice.

Si le rotor a une vitesse Ω différente de la vitesse de synchronisme, ses enroulements embrassent, alors, un flux statorique variable dont la pulsation est :

$$P \cdot (\Omega_s - \Omega)$$

La différence de vitesse ($\Omega_s - \Omega$) est appelée vitesse de glissement du rotor par rapport au stator, et sa valeur relative par rapport à Ω_s est appelée glissement :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = 1 - \frac{\Omega}{\Omega_s}. \quad (I-2)$$

De cette définition, il résulte que (g) est positif si $\Omega < \Omega_s$.

Comme les courants rotoriques sont à la pulsation de glissement et qu'ils forment un système triphasé équilibré direct, ils engendrent un champ tournant à la vitesse

$$\Omega_r = \frac{\omega_r}{P} = \frac{g \cdot \omega}{P} \tag{I-3}$$

Par rapport au rotor ; comme celui-ci tourne à la vitesse ($\Omega = (1-g) \cdot \omega/p$) Par rapport au stator, le champ tournant rotorique tourne, par rapport au stator, à la vitesse :

$$\Omega + \Omega_r = \Omega_s \tag{I-4}$$

$$\frac{(1-g)\omega}{p} + \frac{g\omega}{p} = \frac{\omega}{p} \tag{I-5}$$

C'est-à-dire qu'il est immobile par rapport au champ statorique.

I -4-2-Schéma électrique équivalent :

On peut considérer la machine asynchrone comme un transformateur à champ tournant. En résumé les grandeurs électriques relatives au primaire et au secondaire peuvent s'écrire toujours relativement à un enroulement.

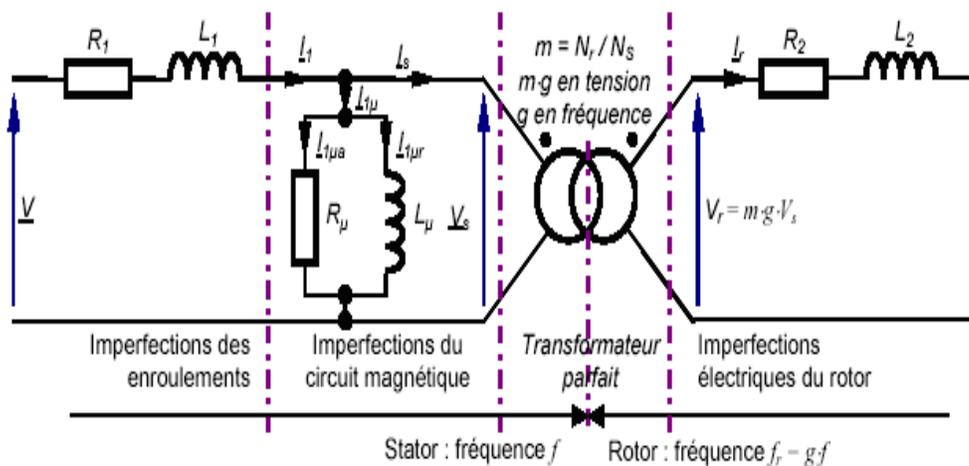


Fig. I-3 : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone

I -5 Modélisation de la machine asynchrone

I -5-1 Introduction :

La modélisation de tout système est essentielle lorsque l'on veut étudier sa commande spécifique. Un moteur à induction n'est pas un système facile à modéliser car son fonctionnement fait intervenir de nombreux phénomènes complexes comme la saturation, les courants de Foucault, l'effet de peau, etc. Cependant, nous ne considérerons pas ces phénomènes car d'une part leur formulation mathématique est difficile et d'autre part leur influence sur le comportement de la machine est considérée comme négligeable sous certaines conditions. Cela nous permet d'obtenir des équations simples qui reflètent fidèlement le fonctionnement de la machine.

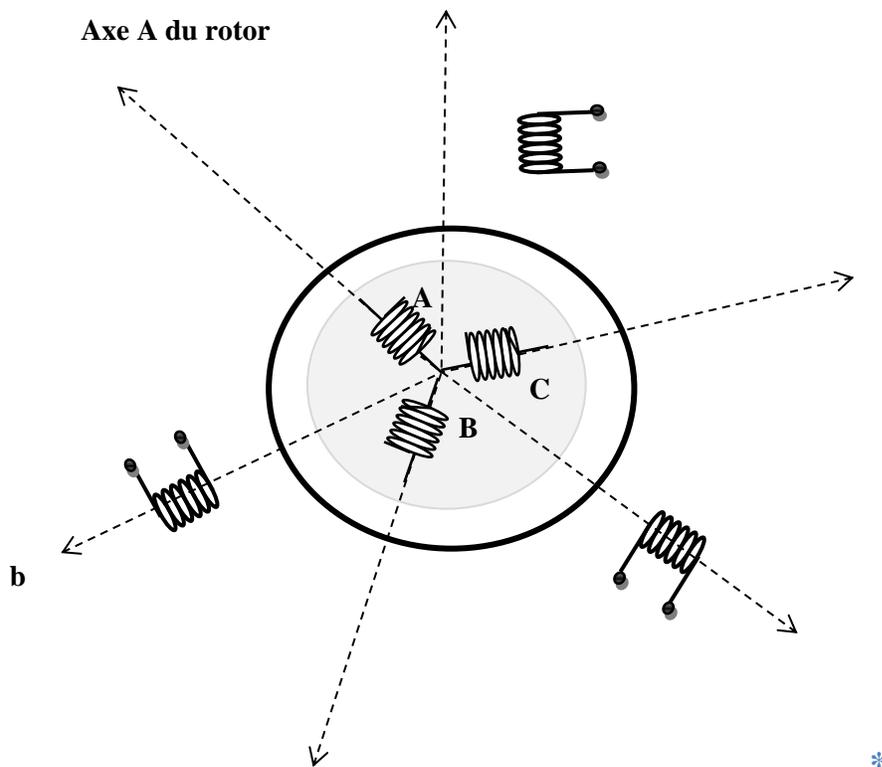
Le modèle de moteur asynchrone triphasé est un système de six équations différentielles dont les coefficients sont des fonctions périodiques du temps. La résolution d'un tel système est difficile, même avec des outils numériques.

Cette difficulté peut être contournée en utilisant la transformée dite de Parker (une variation appropriée des variables). [3][4]

I-5-2 Hypothèses simplificatrices :

Pour simplifier la formulation de la relation de base régissant le fonctionnement d'un moteur asynchrone et la stratégie de commande, les hypothèses suivantes peuvent être faites :

- la saturation est ignorée, ce qui permet de définir l'inductance,
- on ramène le rotor au stator, c'est-à-dire qu'on suppose que le rotor est triphasé comme le stator, avec le même nombre de spires dans ses bobinages,
- en supposant que les bobinages du stator et du rotor sont bipolaires et que leurs phases produisent un flux magnétique distribué sinusoïdalement,
- Ne considérez que les principes fondamentaux des quantités alternatives.



FigI.4 .Représentation schématique d'une machine asynchrone

I-5-3 Équations générales de la machine asynchrone triphasée :

Dans ces conditions, si on considère que le moteur à induction est triphasé au stator et au rotor. Les trois types d'équations traduisant le comportement du moteur sont [5]:

A-Equations électriques :

Les équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques Sont:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{sa} = R_S i_{sa} + \frac{d}{dt} \varphi_{sa} \\ V_{sb} = R_S i_{sb} + \frac{d}{dt} \varphi_{sb} \\ V_{sc} = R_S i_{sc} + \frac{d}{dt} \varphi_{sc} \end{array} \right. \quad (\text{I} - 6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{ra} = R_r i_{ra} + \frac{d}{dt} \varphi_{ra} \\ v_{rb} = R_r i_{rb} + \frac{d}{dt} \varphi_{rb} \\ v_{rc} = R_r i_{rc} + \frac{d}{dt} \varphi_{rc} \end{array} \right. \quad (\text{I} - 7)$$

En désignant par :

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : Tensions appliquées aux trois phases statoriques.

i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} : Courants qui traversent les trois phases statoriques.

$\varphi_{sa}, \varphi_{sb}, \varphi_{sc}$: Flux totaux à travers ces enroulements

V_{ra}, V_{rb}, V_{rc} : Tensions rotoriques

i_{ra}, i_{rb}, i_{rc} : Courants rotoriques

$\varphi_{ra}, \varphi_{rb}, \varphi_{rc}$: Flux rotoriques

R_s : Résistance d'une phase statorique.

R_r : Résistance d'une phase rotorique

Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 8)$$

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$[V_{S(abc)}] = [R_s][i_{S(abc)}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{S(abc)}] \quad (\text{I} - 9)$$

Pour le rotor:

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rb} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 10)$$

Ou sous la forme condensée comme suit :

$$[V_{r(abc)}] = [R_r][i_{r(abc)}] + \frac{d}{dt} [\varphi_{r(abc)}] \quad (\text{I} - 11)$$

B-Equation magnétiques :

Les hypothèses simplificatrices citées antérieurement conduisent à des relations linéaires entre les flux et les courants de la machine asynchrone ces relations s'écrivent matriciellement comme suit : [6]

Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} = [L_s] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + [M_{sr}] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 12)$$

Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} = [L_r] \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + [M_{sr}] \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 13)$$

Talque:

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T \quad (\text{I} - 14)$$

On désigne par :

$[L_s]$: Matrice des inductances statoriques.

$[L_r]$: Matrice des inductances rotoriques.

$[M_{sr}]$: Matrice des inductances mutuelles statoriques.

$[M_{rs}]$: Matrice des inductances mutuelles rotoriques.

Où :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 15)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 16)$$

Ainsi :

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = M_0 \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 17)$$

Avec :

l_s : Inductance propre d'une phase statorique.

l_r : Inductance propre d'une phase rotorique.

M_s : Inductance mutuelle entre phases statoriques.

M_r : Inductance mutuelle entre phases rotoriques.

θ : Angle électrique définit la position relative instantanée entre les axes statoriques et les axes rotoriques qui sont choisis comme axes des références.

M : Maximum de l'inductance mutuelle entre phase du stator et la phase Correspondent du rotor

C-Equations mécaniques :

L'étude des caractéristiques de la machine asynchrone fait introduire de la variation non seulement des paramètres électriques (tension, courant, flux) mais aussi des paramètres mécaniques (couple, vitesse)

$$\mathbf{C}_e = \mathbf{P} [\mathbf{i}_{S(abc)}]^T \frac{d}{dt} [\mathbf{M}_{sr}] [\mathbf{i}_{r(abc)}] \quad (\text{I} - 18)$$

Pour avoir un modèle complet de la machine il nécessite d'introduire l'équation du mouvement de la machine est exprimée comme suivant :

$$J \frac{d}{dt} \Omega_r = \mathbf{C}_e - \mathbf{C}_r - f \Omega_r \quad (\text{I} - 19)$$

Avec :

J : Moment d'inertie des masses tournantes.

\mathbf{C}_r : Couple résistant imposé à l'arbre de la machine.

r : Vitesse rotorique.

\mathbf{C}_e : Couple électromagnétique.

f : Coefficient de frottement visqueux.

Les équations (I.4) ainsi obtenus sont à coefficients variables entraînant la complexité de résolution du modèle défini par (I.3). Cela conduira à l'usage de la transformation de Park qui permettra de rendre constant ces paramètres.

I-5-4 Transformation de Park :

La transformation de Park a pour but de traiter une large gamme de machines de façon unifiée en le ramenant à un modèle unique, Cette conversion est appelée souvent transformation des axes, fait correspondant aux deux enroulements de la machine originale suivie d'une rotation, les enroulements

Équivalents du point de vue électrique et magnétique. Cette transformation ainsi, pour l'objectif de rendre les inductances mutuelles du modèle indépendantes de l'angle de rotation [7].

A. Différents repères :

L'isotropie du moteur asynchrone permet une grande souplesse dans la composition des équations de la machine selon deux axes à l'aide des composantes de Park, cela nécessite l'utilisation d'un repère qui permet de simplifier au maximum les expressions analytiques.

Il existe différentes possibilités pour le choix du repère d'axes, se ramène pratiquement à trois référentiels (systèmes biphasés) orthogonaux [2]:

- 1) Référentiel immobile par rapport au stator : $(\alpha - \beta) \rightarrow \omega_{obs} = 0$.
- 2) Référentiel immobile par rapport au rotor : $(x - y) \rightarrow \omega_{obs} = \omega_R$.
- 3) Référentiel immobile par rapport au champ tournant : $(d - q) \rightarrow \omega_{obs} = \omega_S$.

Où :

ω_{obs} : Vitesse angulaire de rotation du système d'axes biphasé par rapport a système d'axes triphasé.

B. Modélisation de la MAS dans le plan biphasé dq :

Du fait de l'existence des termes trigonométriques continus dans la matrice des inductances mutuelles [Msr], les coefficients des équations différentielles sont variables et la résolution analytique du système se heurte à des difficultés pratiquement insurmontables Pour obtenir un système d'équations à coefficients constants, on transforme les enroulements statoriques et rotoriques en deux enroulements biphasés orthogonaux dq selon la transformation de PARK. La conversion implique la transformation des enroulements équivalents du point de vue électrique et magnétique. La figure (I-3) représente la transformation des enroulements réels abc en enroulements orthogonaux d-q [5].

- ♦ Direct selon l'axe (d).
- ♦ Quadrature (transversal) selon l'axe (q).
- ♦ Homopolaire (o).

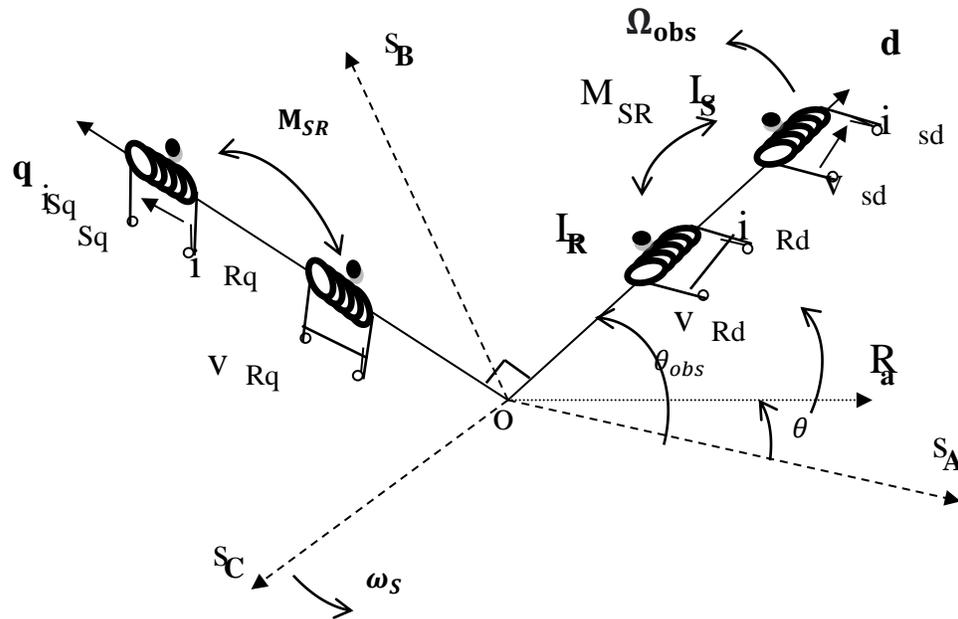


Fig. I.5 Référentiel tournant d'axes (d– q).

Où :

$\theta_{obs} = \int \omega_{obs} dt$: est une position quelconque d'observation entre les systèmes d'axes biphasé par rapport au système d'axes triphasé.

L'application de la transformation de Park à la machine asynchrone correspond à une transformation des trios bobine (statorique et rotorique) à deux bobine équivalente reprenant les mêmes considération ou aspects en terme, de flux, de couple, de courant ou du mois une image qui leur sera parfaitement proportionnelle [3].

Pour le passage du système triphasé vers le système biphasé, on a les équivalents suivants :

- L'équivalent de tension : $[V_{abc}] = [P(\theta_{obs})][V_{abc}]$
- L'équivalent de courant : $[i_{abc}] = [P(\theta_{obs})][i_{abc}]$ (I-16)
- L'équivalent de flux : $[\varphi_{abc}] = [P(\theta_{obs})][\varphi_{abc}]$

Ou :

$[P(\theta_{obs})]$: est la matrice de Park Dans le cas d'un passage inverse, on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} [V_{abc}] = [P(\theta_{obs})]^{-1}[V_{dq0}] \\ [i_{abc}] = [P(\theta_{obs})]^{-1}[i_{dq0}] \\ [\varphi_{abc}] = [P(\theta_{obs})]^{-1}[\varphi_{dq0}] \end{array} \right. \quad (\text{I} - 20)$$

La matrice de transformation de Park modifiée directe et inverse s'écrive alors :

Le facteur $(\sqrt{\frac{2}{3}})$: est là pour conserver la puissance électrique instantanée [6].

$$[P(\theta_{obs})] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{obs}) & \cos(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_{obs}) & -\sin(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 21)$$

Le facteur $(\sqrt{\frac{2}{3}})$: est là pour conserver la puissance électrique instantanée

$$[P(\theta_{obs})]^T = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{obs}) & -\sin(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_{obs} - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta_{obs} + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_{obs} + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 22)$$

Lorsque l'angle θ_{obs} est attribué à la valeur zéro, la transformation de Park est dite Transformation de Clarke et la matrice de passage s'écrit comme suit :

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 23)$$

L'application de la transformation de Park aux modèles matriciels électriques, (I-3)et (I-4), et magnétiques, (I-5), (I-6), permet d'obtenir les équations suivantes:

Equation électrique :

Equations des tensions :

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{sq} \\ \varphi_{sd} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 24)$$

$$\begin{bmatrix} V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -(\omega_s - \omega_r) \\ (\omega_s - \omega_r) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{rq} \\ \varphi_{rd} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 25)$$

Equation magnétique :

$$\begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 \\ 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 26)$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_r & 0 \\ 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sq} \\ i_{sd} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 27)$$

Avec :

$L_s = l_s - M$, $L_r = l_r - M$ Inductance cyclique propre du stator et du rotor respectivement.

$M = \frac{3}{2} M$ Inductance cyclique mutuelle stator-rotor

Equation mécanique :

Le couple électromécanique représenté dans l'équation (I-9) devient :

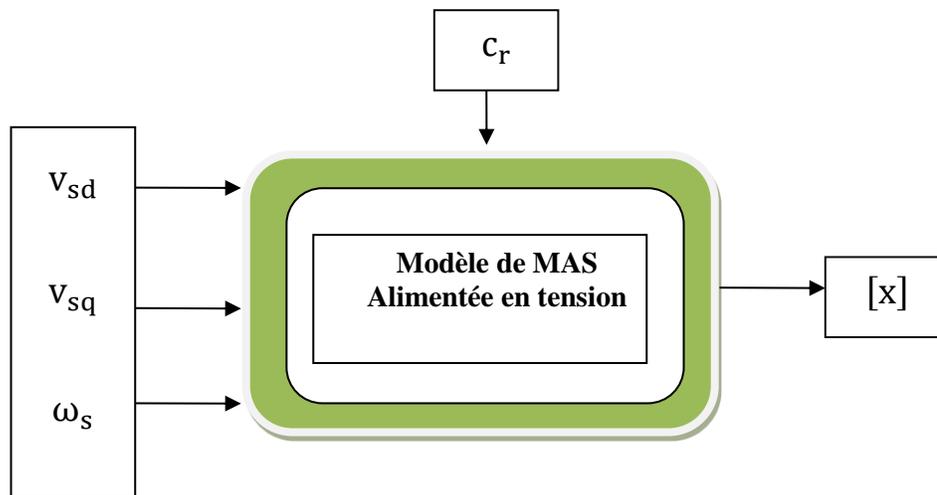
$$C_{em} = p \frac{M}{L_r} (\varphi_{rd} i_{sd} - \varphi_{rq} i_{sq}) \quad (\text{I} - 28)$$

L'équation de la vitesse mécanique est représentée par l'équation (I-10).

$$J \frac{d}{dt} \omega_r = C_{em} - C_r - f \omega_r \quad (\text{I} - 29)$$

I-5.5 la machine asynchrone alimentée en tension :

Pour une machine asynchrone alimentée en tension, si on considère le courant statoriques et le flux rotorique Φ_r comme variables d'état, et la pulsation ω_s et les tensions V_{sd} , V_{sq} , comme grandeur de commande et le couple C_r comme une perturbation, on aura le schéma bloc suivant, « Fig. I-6 ».



FigI.6 Schéma bloc de la machine asynchrone alimentée en tension.

Le vecteur de sortie $[X]$, peut avoir une des formes des différentes expressions :

$$[X] = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \text{ OU } [X] = \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} \text{ ou } [X] = \begin{bmatrix} \varphi_{sd} \\ \varphi_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \text{ ou } [X] = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 30)$$

I-5.6 Représentation d'état du modèle de la MAS :

La forme générale de l'équation d'état s'écrit de la façon suivante :

$$[\dot{X}] = [A][X] + [B][U] \quad (\text{I} - 31)$$

Avec :

$[X] = [i_{s\alpha} i_{s\beta} \varphi_{s\alpha} \varphi_{s\beta}]^T$ Vecteur d'état

$[U] = [V_{s\alpha} V_{s\beta}]$ Vecteur de commande

$[A]$: Matrice évaluation d'état du système

$[B]$: Matrice du système de commande

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}}{dt} = -\left(\frac{R_t}{L_s\sigma}\right) i_{s\alpha} + \frac{1-\sigma}{MT_s\sigma} \varphi_{r\alpha} + \frac{1-\sigma}{M\sigma} \omega \varphi_{r\beta} + \frac{1-\sigma}{l_s\sigma} v_{s\alpha} \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} = -\left(\frac{R_t}{L_s\sigma}\right) i_{s\beta} + \frac{1-\sigma}{MT_s\sigma} \varphi_{s\alpha} + \frac{1-\sigma}{M\sigma} \omega \varphi_{r\beta} + \frac{1-\sigma}{l_s\sigma} v_{s\beta} \\ \frac{d\varphi_{r\alpha}}{dt} = \frac{M}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{1}{T_r} \varphi_{r\alpha} - \omega \varphi_{r\beta} \\ \frac{d\varphi_{r\beta}}{dt} = -\frac{M}{T_r} i_{s\beta} + \omega \varphi_{r\alpha} - \frac{1}{T_r} \varphi_{r\beta} \end{array} \right. \quad (\text{I} - 32)$$

Avec :

$T_s = \frac{L_s}{R_s}$ et $T_r = \frac{L_r}{R_r}$: constante de temps statorique et rotorique

$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$: Coefficient de dispersion

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{R_t}{L_s\sigma} & 0 & \frac{1-\sigma}{MT_s\sigma} & -\frac{1-\sigma}{M\sigma} \omega \\ 0 & -\frac{R_t}{L_s\sigma} & \frac{-1+\sigma}{M\sigma} \omega & -\frac{1-\sigma}{MT_s\sigma} \\ \frac{M}{T_r} & 0 & \frac{M}{T_r} & -\frac{1}{T_r} \omega \\ 0 & 0 & \frac{M}{T_r} & \omega - \frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 33)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s\sigma} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s\sigma} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 34)$$

Pour le référentielle lié au champ tournant (d, q), la matrice [A] devient :

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{-R_t}{L_s\sigma} & \omega & \frac{1-\sigma}{MT_s\sigma} & -\frac{1-\sigma}{M\sigma}\omega \\ -\omega_s & \frac{-R_t}{L_s\sigma} & \frac{-1+\sigma}{M\sigma}\omega & -\frac{1-\sigma}{MT_s\sigma} \\ \frac{M}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r}(\omega_s - \omega) & \\ 0 & \frac{M}{T_r}(\omega_s - \omega) & -\frac{1}{T_r} & \end{bmatrix} \quad (\text{I} - 35)$$

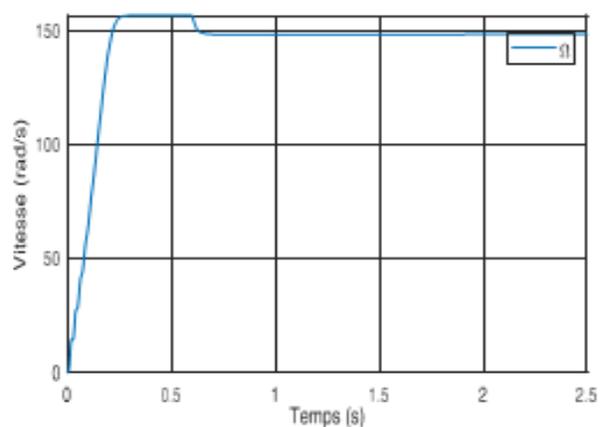
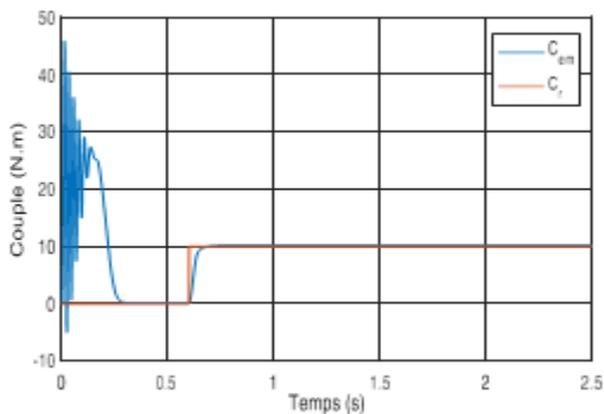
Le couple électromagnétique développé par la machine asynchrone donné par la relation suivante :

$$C_e = \frac{PM}{L_r} (\varphi_{r\alpha} i_{s\beta} - \varphi_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (\text{I} - 36)$$

I- 6 Simulation du modèle de la machine asynchrone

La simulation du modèle de la MAS est effectuée sous Matlab /Simulink. La machine asynchrone dont les paramètres sont donnés en Annexe A, est alimentée directement par le réseau triphasé.

II- 6-1 Résultat de simulation de la MAS



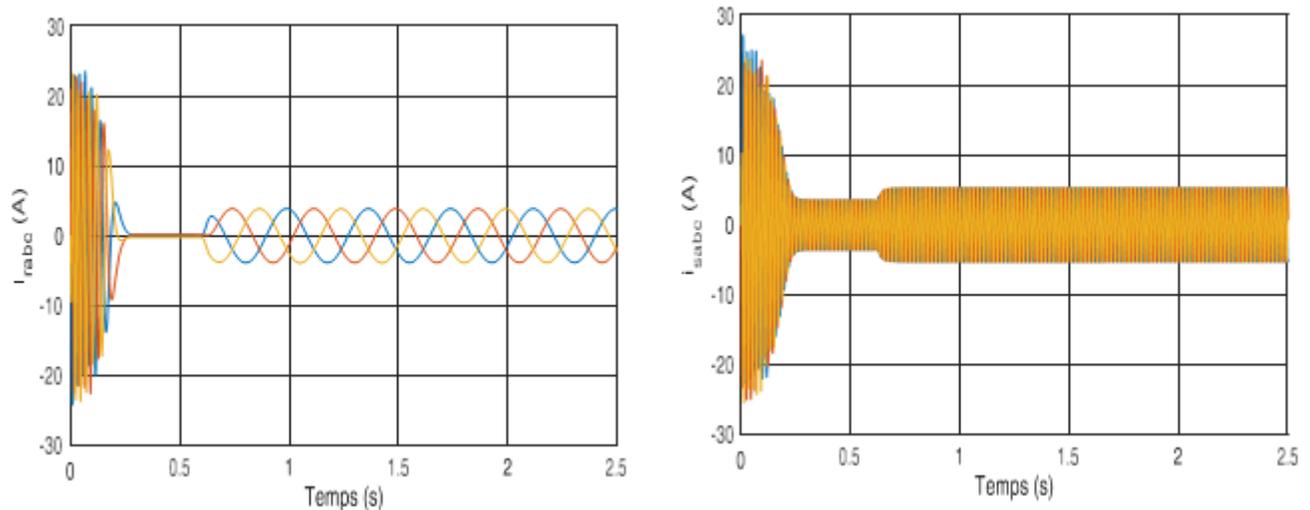


Fig-I-7 : Résultat de simulation de la MAS pour un fonctionnement à vide suivi par une variation de charge de couple à l'instant $t=0.6s$.

I-6-2. Interprétation des résultats de simulation :

On remarque qu'à l'état stationnaire, la vitesse est stable à (150 rad/s). Au démarrage à vide, le couple atteint une valeur maximale d'environ 5 fois le couple nominal, puis en régime transitoire il tend vers zéro fois le double du courant nominal. En régime établi, le courant correspondant au comportement inductif de la machine à vide. A l'instant ($t=0.6s$) le couple résistant C_r a été introduit, après quoi on constate que cette introduction a provoqué une diminution permanente de la vitesse de rotation, qui est due au fait qu'il n'y a pas de régulation, et une augmentation de le formulaire actuel I-7

Conclusion :

On a présente dans ce chapitre la modélisation et la simulation de la machine asynchrone à cage d'écureuil et son alimentation par le logiciel MATLAB/SIMULINK. Ce type de machine et malgré sa simplicité de construction, il présente une non linéaire forte et par conséquence sa modélisation devient difficile. Actuellement, la disponibilité de puissants outils informatiques de calcul permet de surmonter cette difficulté. On peut constater que la charge joue un rôle effectif dans la machine à cause de la vitesse pendant l'application de la charge pour cette raison.

Chapitre II

*Les différentes structures
des systèmes multi
machines*

Introduction

Ce chapitre présentera les types de structure mon convertisseur multi machines dans les applications industrielles électriques, tel que minière, textile, papetière, sidérurgiques et il est souvent avantageux de réduire le nombre de composants. Cependant, en utilisant un multi-système multi-convertisseur.

II -1. Différentes systèmes multi-transformateurs multi-machines

En général, les systèmes multi-machines à convertisseur unique utilisent des bras de convertisseur Pour alimenter la machine (SM(m,n)) [8], chaque bras onduleur est constitué de deux Les interrupteurs de puissance sont placés en série (**Figure II-1**).

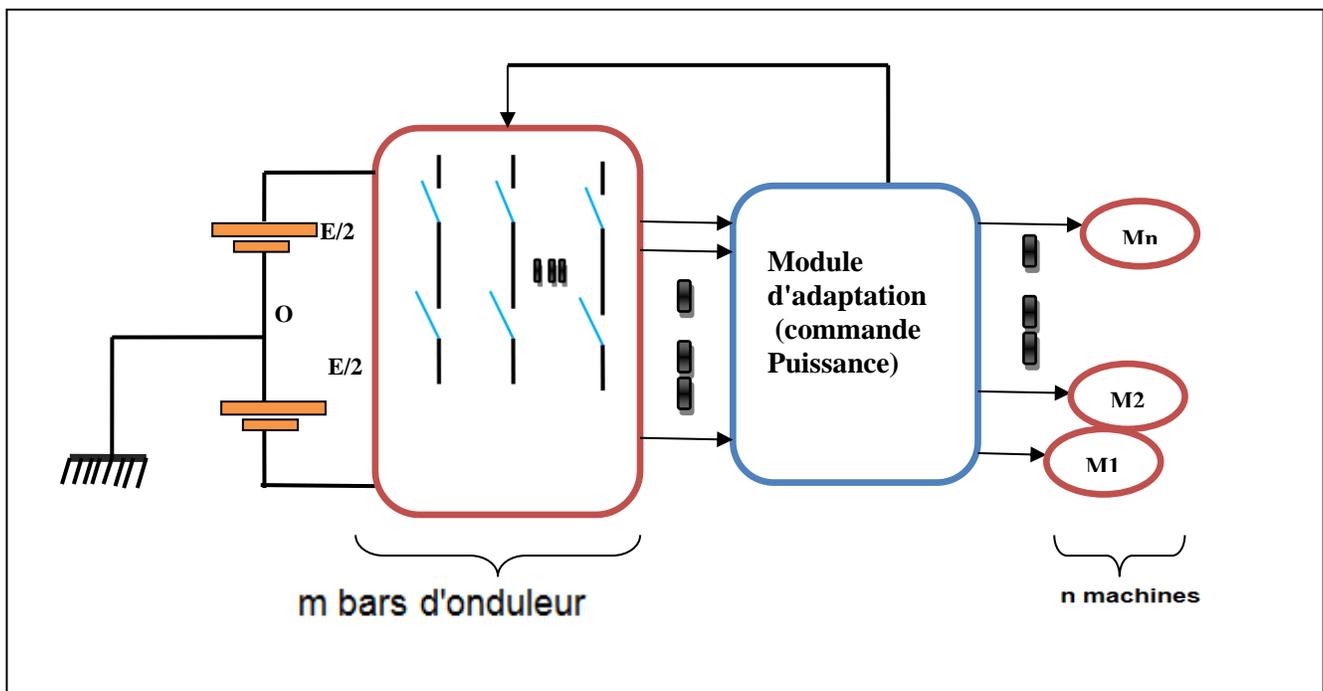
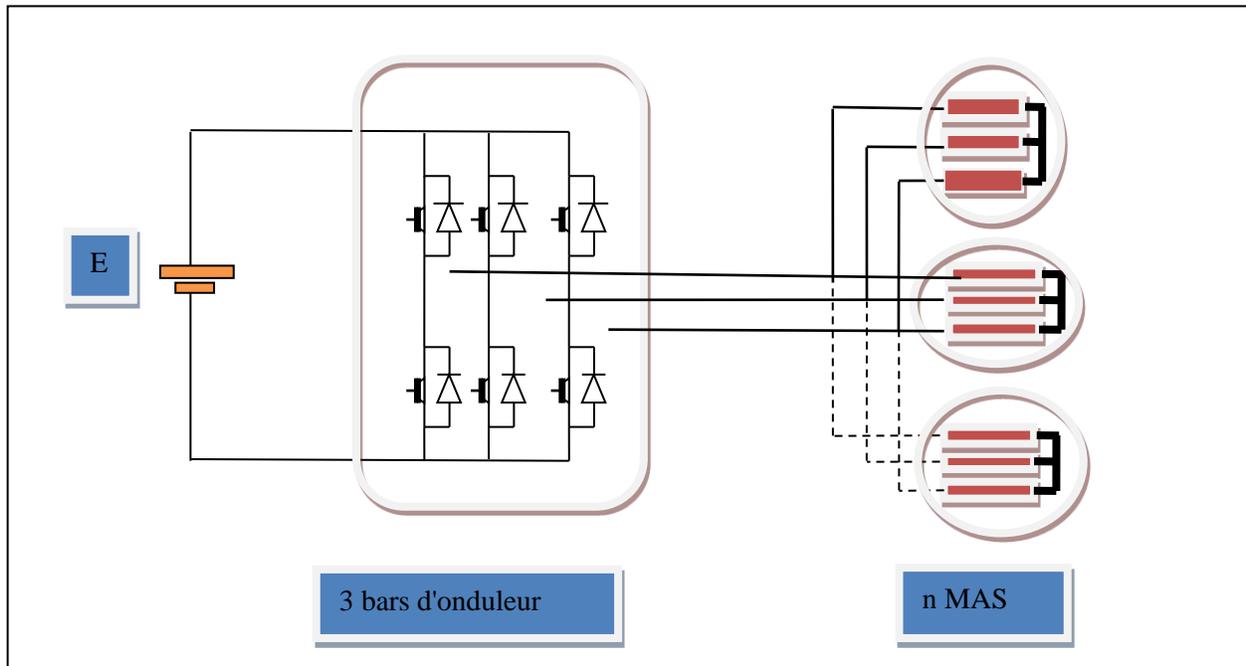


Figure (II-1) : Système multi-machines SM (m, n)

En outre, dans la structure de type pour machines, chaque bras d'onduleur est partagé entre toutes les machines

(figure II -2). Cette structure nécessite un dimensionnement conforme au nombre de machines reliées aux trois

bras. Néanmoins, le contrôle séparé des machines est irréalisable.



Figure(II-2) : Structure parallèle SM (3, n)

II-2. Systèmes Mono convertisseur-Deux Machines Pour

Dans un véhicule à deux roues motrices, l'association des convertisseurs statiques avec les moteurs électriques peut concevoir un système mono-convertisseur- multi-machines pour réduire le nombre de composants et le cout de la chaine de traction

II-2.1 Structure à quatre bras

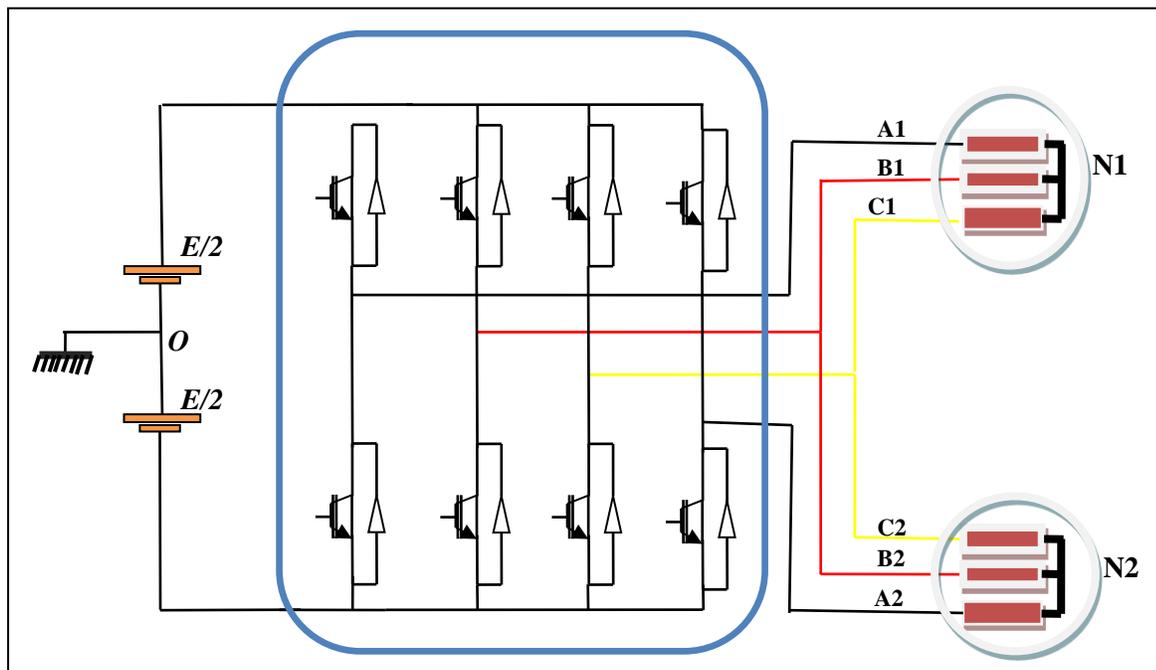
Dans cette structure, deux bras de l'onduleur sont mis en commun pour deux phases des deux moteurs.

La troisième phase de chaque machine est connectée à son propre bras. Il ya donc quatre bras pour

deux machines,

c'est une structure de type , (Figure II -3). Dans cette configuration, la commande séparée des deux moteurs

est irréalisable [9].



Figure(II-3) : Structure à bras commun

Dans cette figure, les bras d'onduleur ne sont pas tous reliés au même nombre de phases de machines ce qui nécessite le dimensionnement des composants de puissance des bras Communs.

II-2.2 Structure à bras et à neutre commun

Dans cette structure, un onduleur à trois bras est utilisé pour assurer le fonctionnement. Dans les deux machines, identique à la structure de bras commune précédente, un bras inverseur Regroupés pour une phase (C1 et C2) de chaque moteur (**Figure II -4**).

D'autre part, la deuxième phase des deux moteurs (notée A1 et A2) est connectée à ce point milieu. Les troisièmes phases (B1 et B2) sont connectées à leurs propres branches d'onduleur.

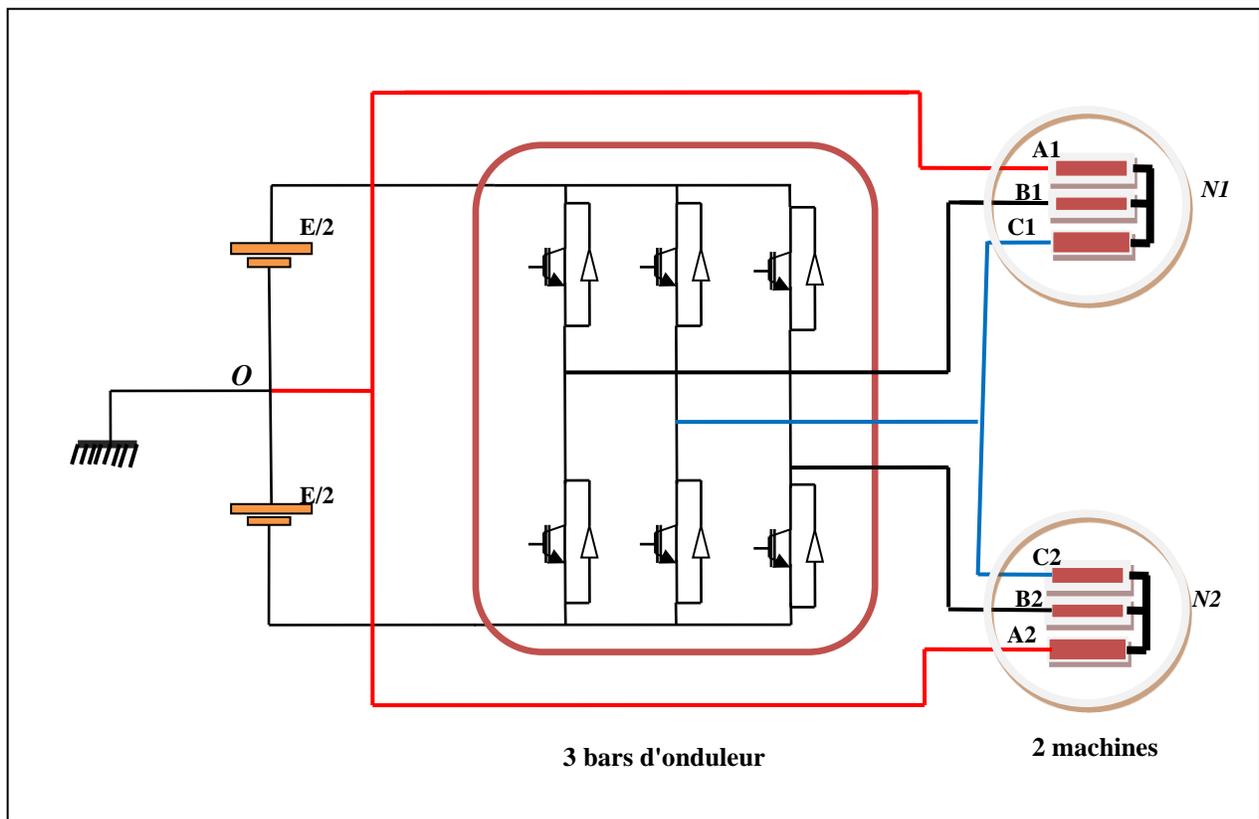
Dans cette configuration, cependant, les bras de l'onduleur ne sont pas tous connectés au même

Le nombre de phases de la machine, puis la taille des composants de puissance par

Le rapport au courant n'est pas le même.

En plus, cette configuration nécessite l'accès et le réglage du potentiel du point milieu

«O» ainsi que le surdimensionnement du bras commun, ce qui rend cette solution moins intéressante [8-9]. Dans ce cas de figure, les deux machines doivent fonctionner dans le même sens de rotation ou en sens opposés mais avec la même vitesse.



Figure(II -4) : Structure mixte

II -2.3 Structure à six bras

Dans les structures classiques à six bras, chaque phase de la machine est connectée et commandée par son propre bras d'onduleur. Deux moteurs sont commandés par six bras d'onduleur comme représenté dans la (figure I.7), où les six bras de l'onduleur sont reliés au même bus continu. Dans cette structure la commande des deux moteurs est découplée. Néanmoins, le nombre des composants d'électronique de puissance utilisés conduit à une augmentation du volume et du prix de la structure.

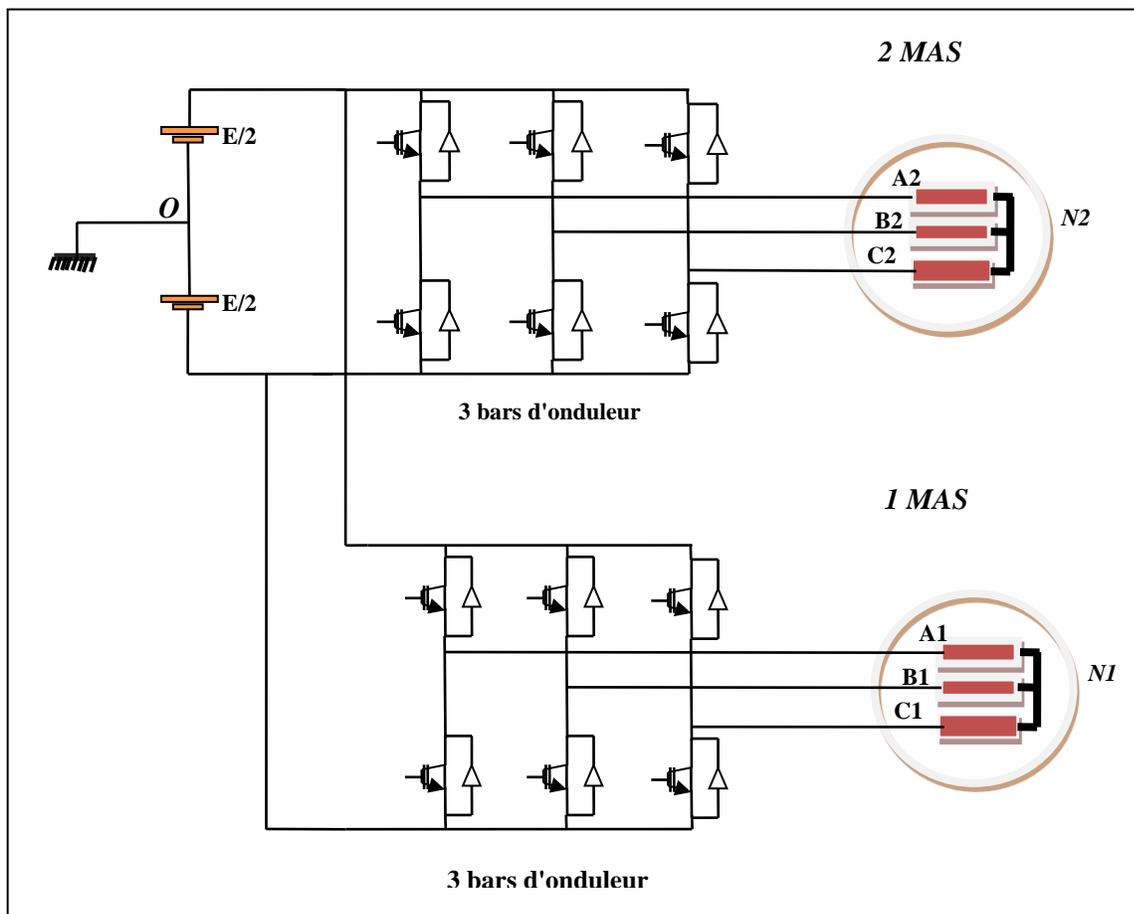


Figure (II -5) : Structure classique.

II-2.4 Structure à quatre bras et à point milieu.

Dans cette structure, deux phases du moteur sont reliées à deux bras d'onduleur et la Troisième phase est reliée au point milieu du bus continu (figure II -6). Dans ce cas, la troisième phase des deux moteurs est connectée au point milieu capacitif.

Cette structure permet de réduire le nombre de bras et donc de minimiser le coût du système.

L'inconvénient principal de cette structure est l'accès au point milieu du bus continu et le surdimensionnement des condensateurs [9].

Chacune des deux machines peut fonctionner à son propre vitesse. Dans cette configuration, la tension du point milieu n'est pas nécessairement égale à la moitié du bus continu, donc il est nécessaire de l'équilibrer.

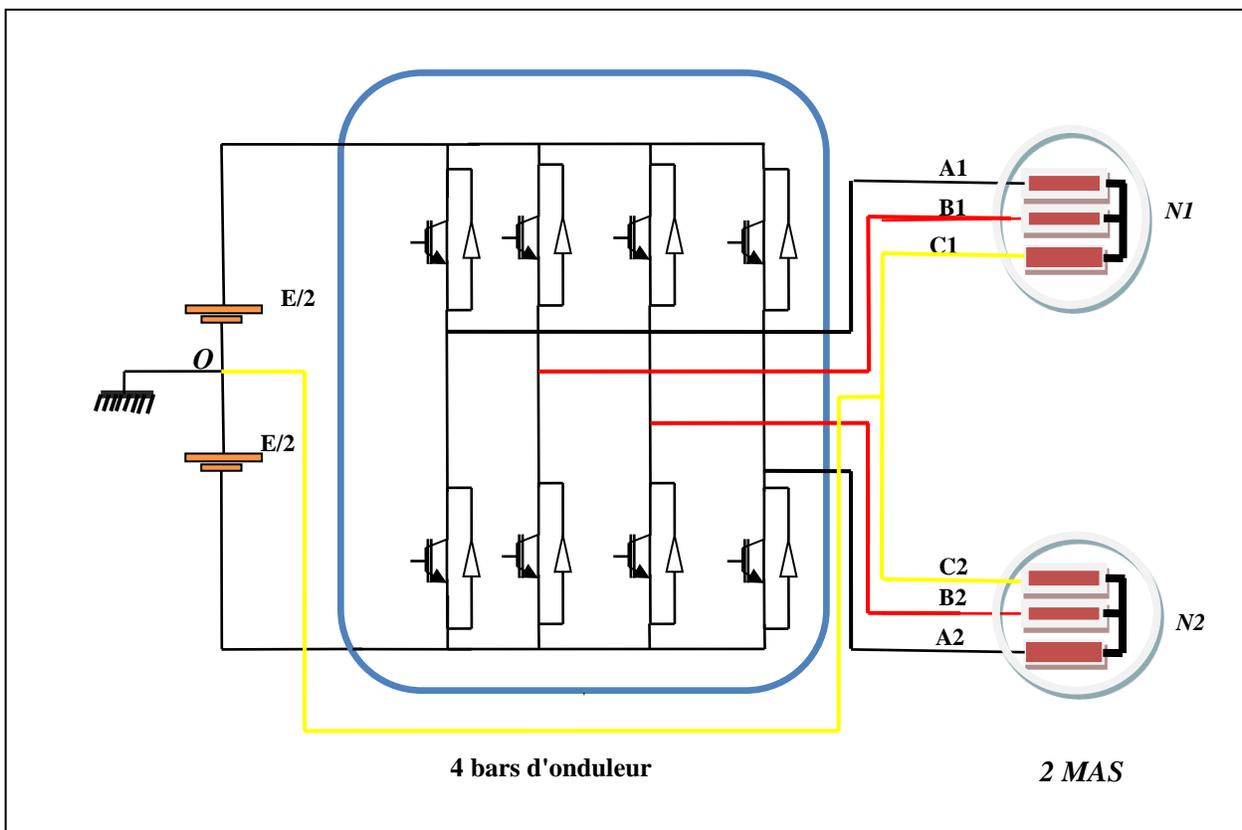


Figure (II -6) : Structure à point milieu commun

II-2.5 Structure à cinq bras

Cette structure de type $SM(2n + 1, n)$ est de la même catégorie que celle de type $SM(4n/2, n)$. Elle est constituée de $(2n + 1)$ bras pour machines, un bras étant commun à toutes les machines **Figure (II -7)**. Dans cette configuration, les machines peuvent fonctionner à des vitesses identiques ou différentes.

La Figure I.9 représente un onduleur à cinq bras alimentant deux moteurs, une seule phase est mise en commun entre les deux machines, dans ce cas les deux machines peuvent fonctionner indépendamment.

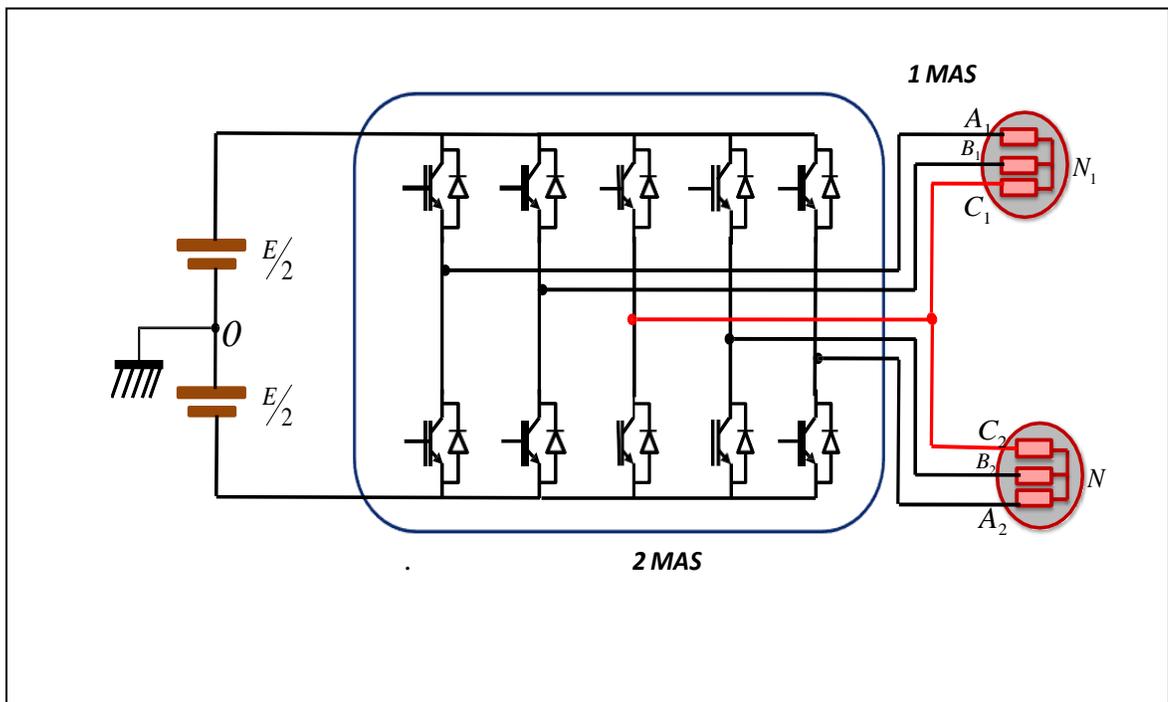


Figure (II-7) : Structure à bras commun

II-3 Comparaison des différentes structures

Dans la partie précédente, des différentes structures développées pour les SMM été présentées. Le tableau (II-.1) montre une comparaison de ces structures [10], [8-9]

Nom de la structure	Nombre de bras par deux machines	Lien entre les vitesses	Encombrement	Avantages	Inconvénients
classique	6 bras	Indépendante	Maximum	machines indépendantes	structure non mutualisée
à bras commun	4 bras	$\Omega_1 = \Omega_2$ ou $\Omega_1 = -\Omega_2$	Moyen	structure facile à mettre en œuvre	surdimensionnement du bras commun
à bras commun	5 bras	Indépendante	Moyen	Fonctionnement indépendant de la vitesse	surdimensionnement du bras commun

Tableau (II -.1) : Tableau récapitulatif des différentes structures.

II-.4 Conclusion.

Dans ce chapitre, nous avons donné les différents configurations possibles pour un système mono- convertisseur multi-machines. En vue des performances, l'accent a été mis sur l'onduleur à cinq bras alimentant deux moteurs asynchrones pour assurer un contrôle indépendant..

Chapitre III

*Association onduleur
cinq bras à deux MAS*

Introduction

Un certain nombre d'application industrielle exigent l'utilisation des systèmes d'entraînement multi-moteurs à vitesse variable. Dans la majorité des cas, chaque moteur est associé à un onduleur. On trouve ce type des systèmes dans l'industrie : minière, textile, papetière et sidérurgiques.

Avec le développement de l'électronique de puissance un nouvel axe de recherche reconnu sous le nom convertisseur multi-bras, le but de ce développement est d'optimiser la structure de convertisseur donc la minimisation du nombre de composant de puissance, par conséquence un gagne du volume et de câblage [11]¹.

Nous commençons ce chapitre par quelques applications des systèmes multi-moteurs. Ensuite, nous allons présenter les résultats de simulation de la cascade onduleur à cinq bras – deux MAS.

III.1 Exemples d'application de multimoteurs

III.1.1 véhicule électrique a deux roues motrices

1-Un véhicule électrique à deux roues motrices comporte deux roues en avant, indépendantes et rigides au pivotement. Les deux roues assurent à la fois la traction et la direction du véhicule, cette dernière s'effectue par un module électrique de différentiel de vitesses.

2-Le choix de la configuration à deux roues motrices est motivé essentiellement par le fait qu'elle utilise le minimum d'actionneurs pour la traction et la direction du véhicule. Elle présente une structure mécanique relativement simple et ne nécessitant pratiquement aucun mécanisme complexe de transmission de la puissance motrice, ni

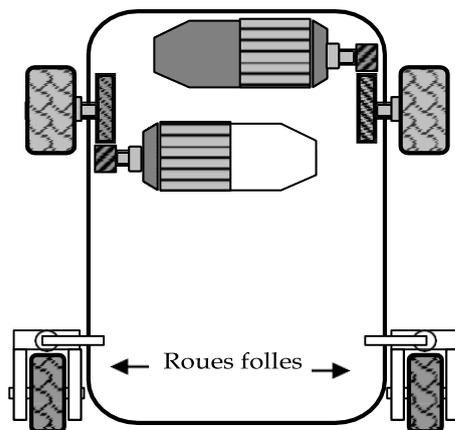


Figure III-1 : Véhicule a deux roues motrices

de système de direction spécifique. L'orientation de la direction du véhicule s'effectue alors d'une manière électrique par simples consignes de couples différentiels [12-13].

3-La figure III.1 représente la structure d'un véhicule à deux roues motrices.

III.2 Convoyeurs à bande

Les convoyeurs à bande sont des systèmes de manutention automatique le plus couramment mis en œuvre par rapport à d'autre moyen de transport. Il permet de déplacer des produits finis ou bruts

d'un poste à un autre par le mécanisme de transmission de puissance. La bande est confectionnée en textile ou en plastique et conçue par plusieurs tambours. Ces derniers sont supportés et guidés par des rouleaux horizontaux ou des rouleaux en auge ou glissant sur une sole lisse [14], [15].

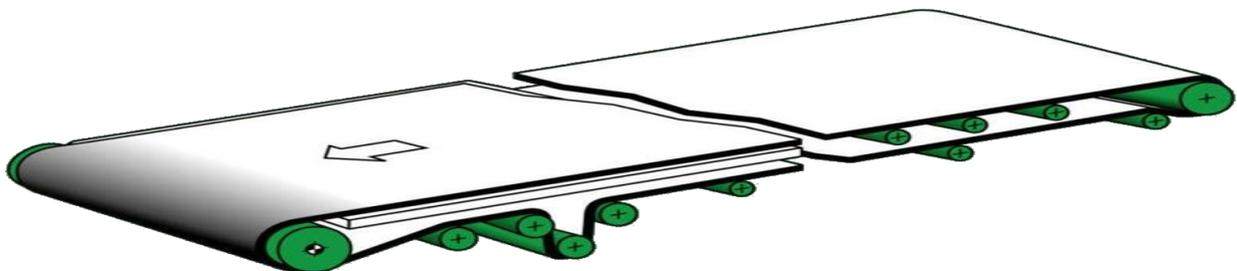


Figure. III.2- Conception d'un convoyeur à bande [16],

Le schéma ci-dessous montre les principaux composants qui constituent un convoyeur à bande :

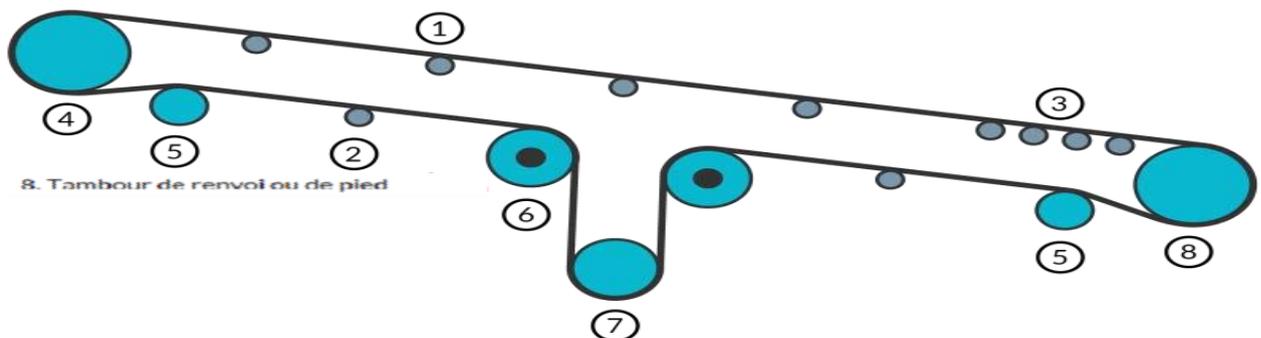


Figure. III.3- Les différents composants du convoyeur à bande [17]

Pour les tambours, on trouve : tambour de commande, de renvoi et de contrainte, chacun à sa propre rôle. Elle peut être de conception traditionnelle ou équipée d'un tambour moteur qui constitue un ensemble fermé et protégé à l'intérieur d'un carter (Moteur, boîte d'engrenages et les roulements), entraîne directement la bande [14].

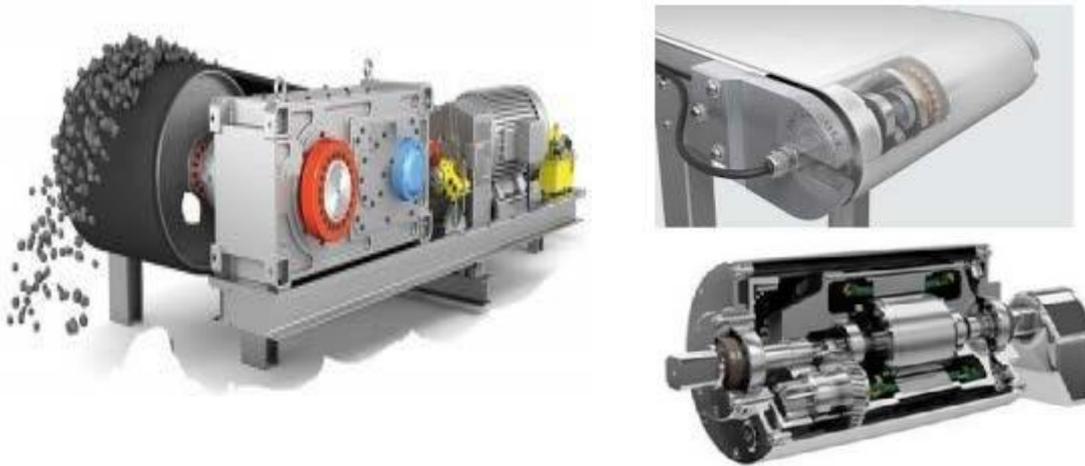


Figure. III.4- (a) Conception traditionnelle (b) Tambour motorisé III.4 Système de transport de bande textile

Dans l'industrie textile, de nombreuses phases sont nécessaires, dans la grande majorité des cas, la matière première et le produit intermédiaire avant la confection sont stockés sous forme de bobine. Le déroulement-enroulement est donc un principe de base appliqué dans l'industrie textile. Remarquons l'importance de la motorisation pour chaque organe du système textile c.à.d. du moteur M_1 au moteur M_n (**Figure. III.5**). Il convient de considérer deux grandeurs comme capitales : la vitesse de défilement et la tension exercée sur le produit tout au long de sa fabrication. Donc, prendre en compte le bon réglage de la vitesse en gardant un contrôle efficace de la tension [Charlemagne_18].

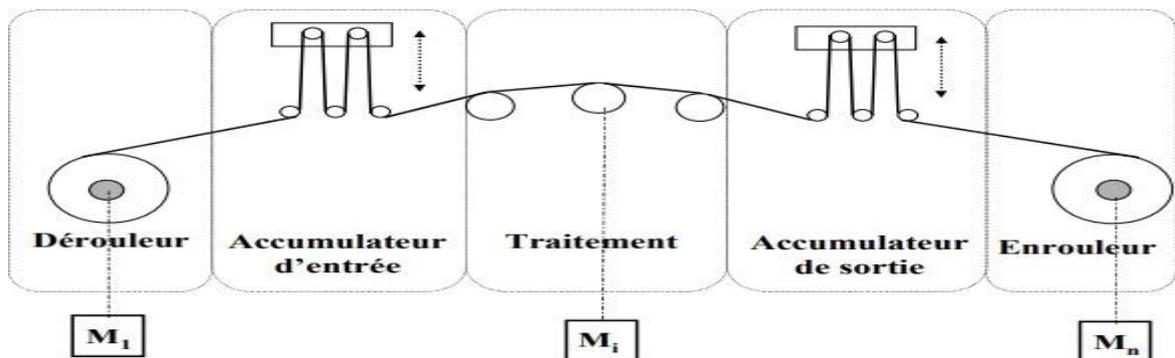


Figure. III. 5- Synoptique général d'un procédé textile

Le rôle premier du dérouleur est l'injection de la matière dans le système, au cours du cycle de travail, la quantité de la matière sur le rouleau diminue, sa masse et son rayon ne sont donc pas constants.

De la même manière, l'enrouleur récupère le produit traité. Au démarrage, le rouleau porteur est vide, il se remplit au fur et à mesure de l'avancement.

Afin de garantir un enroulement de bonne qualité, la vitesse linéaire à l'arrivée sur l'enrouleur doit être constante, l'effort de tension imposé au textile également. De même, si on veut assurer un bon traitement du produit, le dérouleur doit délivrer le produit à vitesse et tension constante. Lorsque le dérouleur est vide, la chaîne doit s'arrêter, le temps de mettre un nouveau rouleau [18].

III.3 Principe du tissage

Dans le but de fournir un tissu de qualité plusieurs traitements sont appliqués, comme Le tissage. Le tissu est une étoffe formée par l'entrecroisement de fils de chaîne et de trame, le procédé de tissage de base est illustré sur la figure. III.5. Les fils de chaîne sont disposés dans le sens

Longitudinal de la machine à partir d'une source de fils et les fils de trame dans le sens transversal. Ces tissus sont réalisés sur des machines à tisser dont la fonction principale est d'entrecroiser selon un motif donné les fils dans la direction x (chaîne) avec les fils dans la direction y (trame) [19].

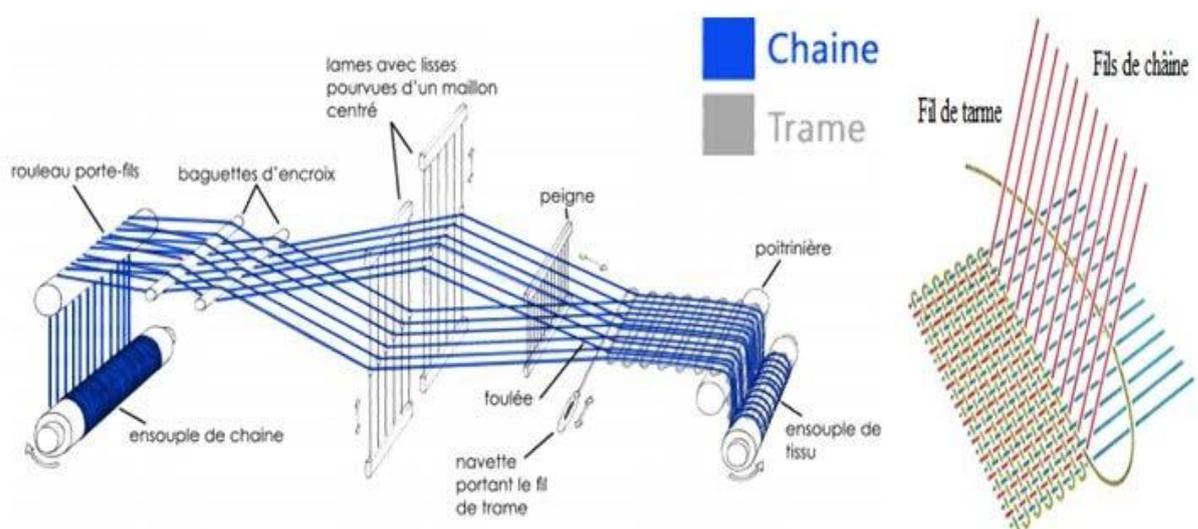


Figure. III. 6- Schéma du principe du processus de tissage [20], [21]

III.4/ Avantages de l'utilisation d'un seul variateur de fréquence pour un contrôle multi-moteur

Un variateur de fréquence est un dispositif utilisé pour contrôler la vitesse d'un moteur électrique, il est constitué par un redresseur, filtre, onduleur et circuit de commande.

Les avantages principaux de l'utilisation d'un seul variateur sont [22] :

- ✓ Armoire plus petite : un onduleur à cinq bras aura une empreinte plus petite que

deux onduleurs triphasés.

- ✓ Faible coût : des économies seront réalisées grâce à un boîtier électrique plus petit.

III.5 Model de l'onduleur cinq bras.

La figure II.7 présente la structure principale d'un onduleur à cinq bras alimentant deux moteurs asynchrones (la partie DC-AC), la modélisation de la partite (DC-AC) est illustrée en annexe (B). Cet onduleur est constitué de cinq bras, les bras A_1 et B_1 sont reliés, respectivement, aux phases a_1 et b_1 du premier moteur, les bras A_2 et B_2 sont reliés également respectivement aux phases a_2 et b_2 du deuxième moteur. Le bras C est commun pour les phases c_1 et c_2 des deux moteurs

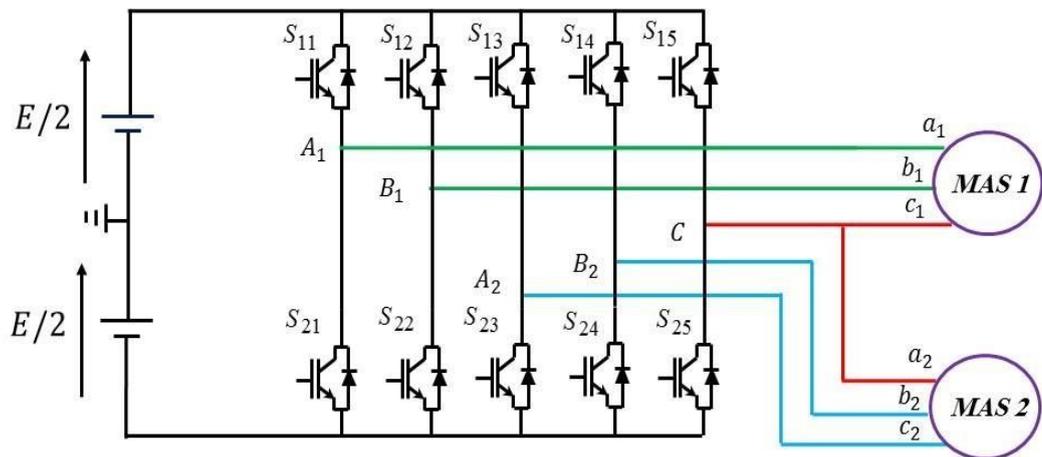


Figure II-7 : Structure d'un onduleur à cinq bras alimentant deux moteurs asynchrones.

Dans l'onduleur à cinq bras, les couples d'interrupteurs

$(S_{11} \text{ et } S_{21})$, $(S_{12} \text{ et } S_{22})$, $(S_{13} \text{ et } S_{23})$, $(S_{14} \text{ et } S_{24})$ et $(S_{15} \text{ et } S_{25})$ doivent être contrôlés

de manière complémentaire pour assurer la continuité des courants alternatifs dans la charge d'une part et d'éviter le court-circuit de la source d'autre part.

Dans cette étude on suppose que :

- La commutation des interrupteurs est instantanée ;
- La chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable ;
- La charge est équilibrée couplée en étoile ;
- Les deux neutres des charges ne sont pas reliés. On a donc la condition

suivante :

$$I_{Sij} = 0, V_{Sij} \neq 0 \quad ; \text{ Interrupteur ouvert ;}$$

$$I_{Sij} \neq 0, V_{Sij} = 0 ; \quad \text{ Interrupteur fermé.}$$

Les tensions simples $V_{A1N1}, V_{B1N1}, V_{CN1}, V_{A2N2}, V_{B2N2}, V_{CN2}$ sont obtenues à partir des relations suivantes :

$$\begin{cases} V_{A1N1} = V_{A1O} + V_{ON1} \\ V_{B1N1} = V_{B1O} + V_{ON1} \\ V_{CN1} = V_{CO} + V_{ON1} \\ V_{A2N2} = V_{A2O} + V_{ON2} \\ V_{B2N2} = V_{B2O} + V_{ON2} \\ V_{CN2} = V_{CO} + V_{ON2} \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

Avec $V_{A1O}, V_{B1O}, V_{CO}, V_{A2O}, V_{B2O}$ sont les tensions d'entrée de l'onduleur.

Elles sont référenciées par rapport au point milieu fictif (O). Comme les charges sont équilibrées, on peut écrire :

$$\begin{cases} V_{A1N1} + V_{B1N1} + V_{CN1} = 0 \\ V_{A2N2} + V_{B2N2} + V_{CN2} = 0 \end{cases} \quad (\text{II.13})$$

Par l'utilisation de (II.12) dans (II.13) on aura :

$$\begin{cases} V_{ON1} = -\frac{1}{3}(V_{A1N1} + V_{B1N1} + V_{CN1}) \\ V_{ON2} = -\frac{1}{3}(V_{A2N2} + V_{B2N2} + V_{CN2}) \end{cases} \quad (\text{II.14})$$

La substitution de (II.14) dans (II.13) donne :

$$\begin{cases} V_{A1N1} = \frac{1}{3}(2V_{A1O} - V_{B1O} - V_{CO}) \\ V_{B1N1} = \frac{1}{3}(-V_{A1O} + 2V_{B1O} - V_{CO}) \\ V_{CN1} = \frac{1}{3}(-V_{A1O} - V_{B1O} + 2V_{CO}) \\ V_{A2N2} = \frac{1}{3}(2V_{A2O} - V_{B2O} - V_{CO}) \\ V_{B2N2} = \frac{1}{3}(-V_{A2O} + 2V_{B2O} - V_{CO}) \\ V_{CN2} = \frac{1}{3}(-V_{A2O} - V_{B2O} + 2V_{CO}) \end{cases} \quad (\text{II.15})$$

Pour chaque bras il y a deux états indépendants. Ces deux états peuvent être considérés comme des grandeurs booléennes, on a :

$$S_{ij} = (1 \text{ ou } 0), \{i = 1,2,3,4,5\}, \{j = 1,2\}.$$

Donc on peut écrire :

$$\begin{cases} V_{A1O} = \frac{E}{2}(2S_{11} - 1) \\ V_{B1O} = \frac{E}{2}(2S_{12} - 1) \\ V_{A2O} = \frac{E}{2}(2S_{13} - 1) \\ V_{B2O} = \frac{E}{2}(2S_{14} - 1) \\ V_{CO} = \frac{E}{2}(2S_{15} - 1) \end{cases} \quad (\text{II.16})$$

En remplaçant (II.16) dans (II.15), on obtient :

$$\begin{bmatrix} V_{A1N1} \\ V_{B1N1} \\ V_{CN1} \\ V_{A2N2} \\ V_{B2N2} \\ V_{CN2} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \\ S_{15} \end{bmatrix} \quad (\text{II.17})$$

Donc, l'onduleur de tension peut être modélisé par une matrice de transfert [T] assurant le passage continu-alternatif. Cette matrice de passage est la suivante :

$$[T] = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

III.6. Avantages de l'utilisation d'un seul variateur de fréquence pour un contrôle multi-moteur

Un variateur de fréquence est un dispositif utilisé pour contrôler la vitesse d'un moteur électrique, il est constitué par un redresseur, filtre, onduleur et circuit de commande.

Les avantages principaux de l'utilisation d'un seul variateur sont [22] :

-Armoire plus petite : un onduleur à cinq bras aura une empreinte plus petite que deux Onduleurs triphasés.

-Faible coût : des économies seront réalisées grâce à un boîtier électrique plus petit.

III.7 Application de la commande vectorielle sur la cascade onduleur à cinq bras – deux MAS.

Le schéma de la **figure. III.8** montre les différentes boucles de régulation de la vitesse et des courants pour une commande vectorielle de deux MAS connecté avec un onduleur à cinq bras.

Afin de vérifier la validité de la commande indépendante de deux MAS, plusieurs simulations ont été effectuées. On adopte les paramètres suivants :

l'onduleur à cinq bras est commandé par la stratégie -2- décrite par [Drazen_23].

Les paramètres des deux MAS sont donnés dans la annexe (B).

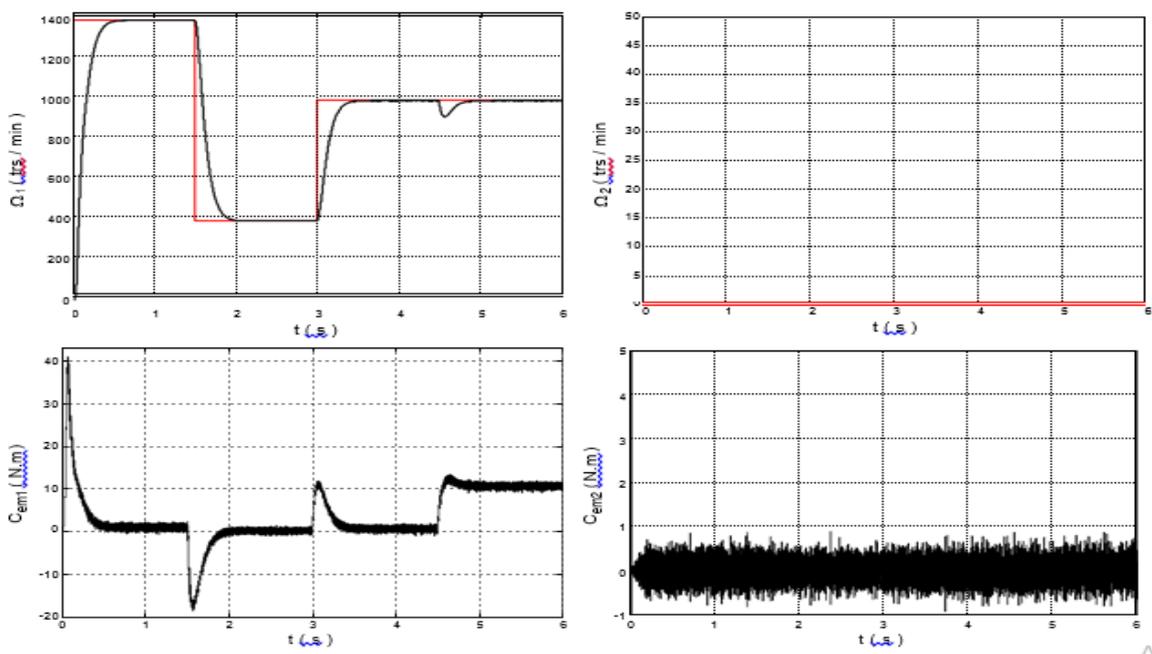


Figure. III.8- Performances de la commande indépendante des deux moteurs (MAS1 : opérationnelle, MAS2 : à l'arrêt)

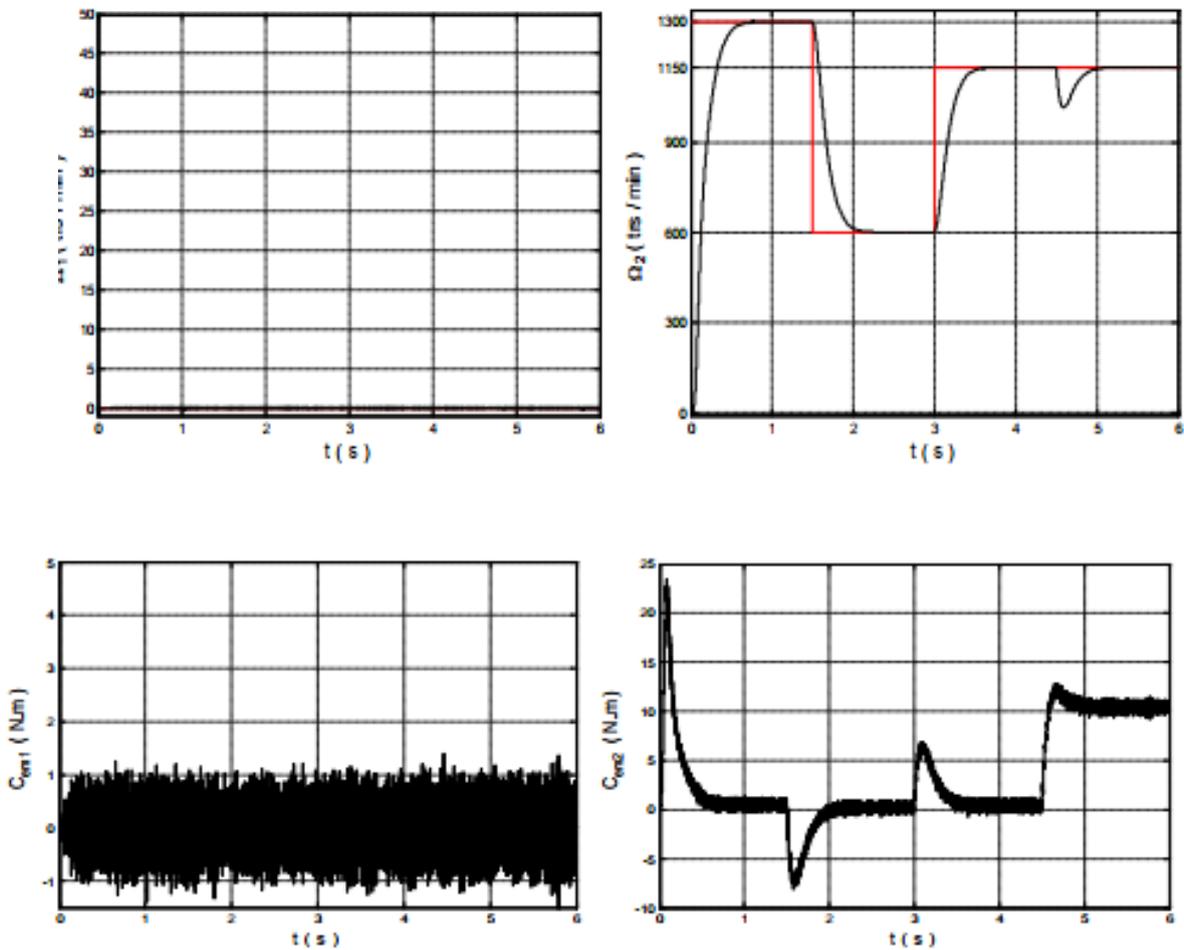
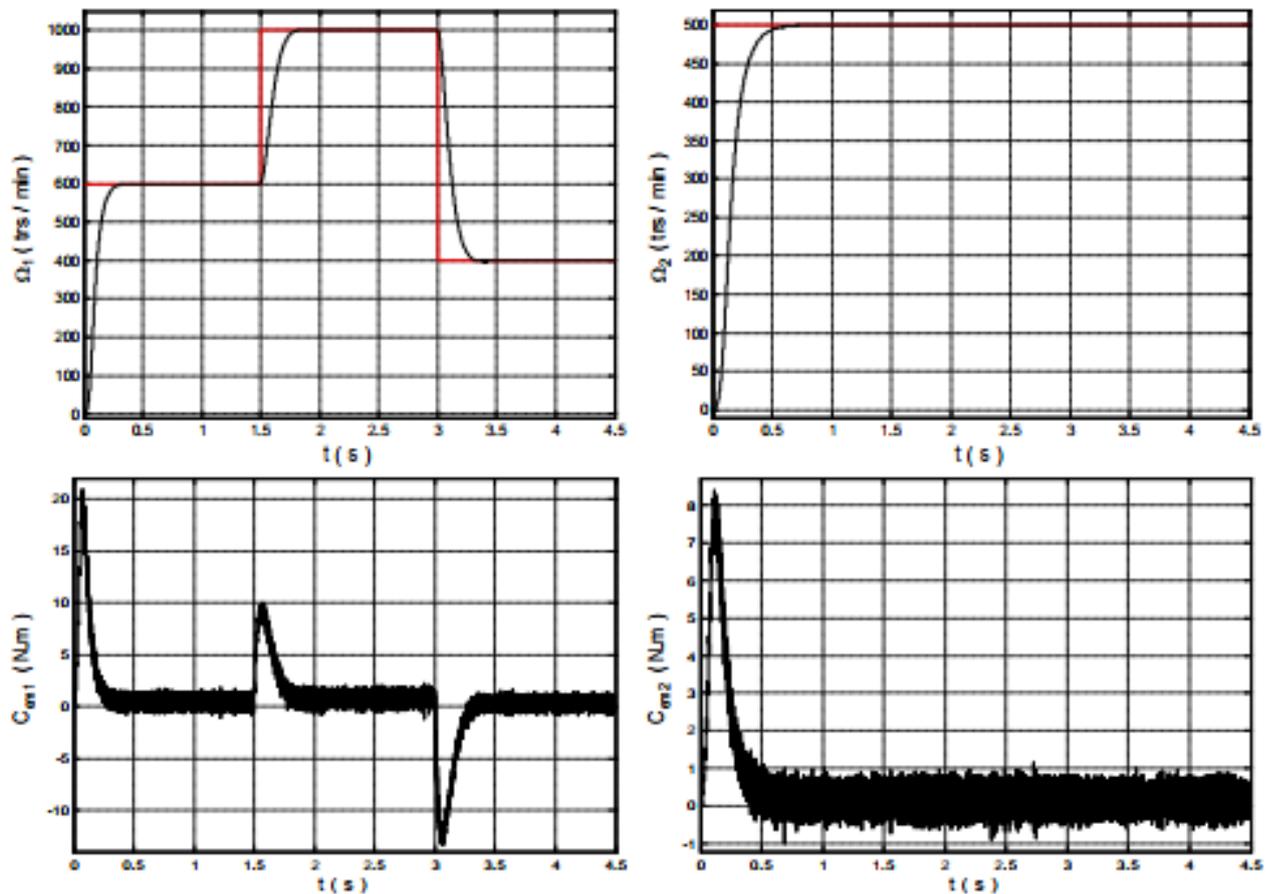


Figure. III.9- Performances de la commande indépendante des deux moteurs (MAS1 : à l'arrêt, MAS2 : opérationnelle)



**Figure. III.10- Performances de la commande indépendante des deux moteurs
(MAS1 : opérationnelle, MAS2 : opérationnelle à vitesse fixe)**

Les figure.III.8, III.9, III.10, montrent les résultats de quelque testes, ces testes c montrent l'indépendance de fonctionnement entre deux moteurs a induction alimentés par un onduleur à cinq bras.

On constate clairement, qu'aucune influence n'apparait au niveau des grandeurs mécaniques et électriques d'un MAS à autre que ce soit la phase de fonctionnement : régime transitoire (Accélération et décélération), régime permanent avec des vitesses différentes et l'application d'un couple résistant. Pour les trois testes la vitesse suite parfaitement sa référence soit par un changement de consigne

Conclusion

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté quatre applications des systèmes multi-moteurs. Ensuite, nous avons présenté stratégie de commande vectorielle - onduleur à cinq bras - deux MAS. Par la suite, nous avons montré quelques performances de la conduite de la cascade qui a donné des résultats satisfaisants.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire consiste à étudier les différentes structures multi-machines. L'objectif était de remplacer deux onduleurs triphasés à deux niveaux par un seul onduleur à cinq bras pour alimenter deux MAS.

Dans le premier chapitre, on a abordé la modélisation de MAS, où on a présenté ces équations dans le système d'axe abc. Avec l'application de la transformation de Park, on a réduit et simplifié les équations de MAS. On termine ce chapitre par des tests de simulation pour valider son fonctionnement.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présentés et étudiés les différentes structures des systèmes mon-convertisseur multi-machines. Dans cette optique, plusieurs associations convertisseur-machine ont été présentées dont l'accent a été mis sur la configuration d'un onduleur à cinq bras à structure alimentant deux moteurs asynchrones.

A travers le troisième chapitre, on a présenté quelque application des systèmes mon-convertisseurs multi machines et présenter un cas particulier qui est la cascade onduleur à cinq bras - deux MAS. Les résultats de simulation montrent bien l'indépendance de fonctionnement entre les deux moteurs.

Comme perspectives de ce travail, on propose :

- Étude détaillée de différentes techniques de commande de système de l'onduleur multi-bras ;
- Application de l'intelligence artificielle sur les boucles de régulation.

Annexe :A

Les paramètres

Puissance nominale

$$P_n = 1.5 \text{ kw}$$

Tension nominale

$$V_n = 220/380 \text{ V}$$

Courant nominal

$$I_n = 6.5 \text{ A}$$

Résistance enroulement statorique

$$R_s = 4.85 \text{ A}$$

Résistance rotorique

$$R_r = 3.805 \text{ A}$$

Inductance enroulement statorique

$$L_s = 0.2740 \text{ H}$$

Inductance rotorique

$$L_r = 0.2740 \text{ H}$$

Inductance mutuelle

$$L_m = 0.258 \text{ H}$$

Moment d'inertie

$$J = 0.031 \text{ kg.m}^2$$

Coefficient de frottement

$$K_f = 0.001 \text{ N.ms/rd}$$

Fréquence nominale

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Nombre de paires de pôles

$$P = 2$$

paramètres de la machine asynchrone triphasée (MAS)

Annex :B

<i>Paramètres</i>	<i>R_s</i>	<i>R_r</i>	<i>L_s</i>	<i>L_r</i>	<i>L_m</i>	<i>J</i>	<i>P</i>	<i>K_f</i>
<i>MAS -1-</i>	<i>4.805 Ω</i>	<i>3.805 Ω</i>	<i>0.274 H</i>	<i>0.274 H</i>	<i>0.258 H</i>	<i>0.031 Kg.m²</i>	<i>2</i>	<i>0.008 N.m.s</i>
<i>MAS -2-</i>	<i>7.670 Ω</i>	<i>4.330 Ω</i>	<i>0.410 H</i>	<i>0.410 H</i>	<i>0.385 H</i>	<i>0.025 Kg.m²</i>	<i>2</i>	<i>0.004 N.m.s</i>

BIBLIOGRAPHIE

[1] M, BELIER-A, GALICHON

« Electricité industrielle : Machines Electriques ». LIBRAIRIE DELAGRAVE, 1978.

[2] F. MILSAN.

« Machines électriques » BERTI EDITION, 1992.

[3] JEAN BONAL – GUY SEGIER

« Entraînement électrique à vitesse variable (Volume 2) : Rappels d'électronique de puissance et d'automatique. Les variateurs électroniques de vitesse ».

TECHNIQUES & DOCUMENTATION 1998

[4] ABDELKARIM ZERROUG

« Contribution à la modélisation et la commande d'un onduleur triphasé à trois niveaux à structure parallèle. Application à la conduite de la machine asynchrone triphasée ». Thèse de Magistère, FHC 2001

[5] Tchiali Fouad, Maghraoui Noura " Modélisation et Commande des Onduleurs Multi niveaux Asymétriques ", PFE. Dép. d'électrotechnique, U.S.T.H.B 2004

[6] Ben Yahia. M, "commande non linéaire et prédictive application à la machine asynchrone " thèse de magister, Université de Batna 2001.

[7] "Application de la technique de linéarisation par retour d'état à la commande d'une machine asynchrone ". PFE, Université M'sila, 2003.

[8] D. Bidart,

« Commande coopérative des systèmes Monoconvertisseur multi machines synchrones », PhD de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2011

[9] M. Tian yi Liu,

« Control stratégie for a mono-invertir multi-PMSM system Stabilité and Efficience » PhD de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2017.

[10] R. Kada,

« Etude et réalisation d'un système Monoconvertisseur multi-machines application au différentiel électrique d'un véhicule électrique » Mémoire de magistère, EMP 2013.

[11] Martin,

Martin. J, Slobodan. N V, Drazen. D, Emil. L, Wright. P, « Five-leg inverter PWM technique for reduced switch count two-motor constant power applications », Electric Power Applications, IET , 2008, Vol. 2, No. 5, pp. 275–287.

[12] Nouh Aiman,

« Contribution au développement d'un simulateur pour les véhicules électriques routiers ». Thèse doctorat 26 mars 2008.

[13] Tabbache Bekheira, « Contribution à la commande et à la réalisation d'une plateforme mobile à deux roues motrices », mémoire de Magister EMP 2007.

[14] Hamaizi,

Hamaizi. N, « Contrôle et réglage de la vitesse du convoyeur à bande pendant le régime transitoire », Mémoire de master, université Annaba, 2018.

[15] Meziane,

Meziane. R, Mouhli. T, « Etude M' mécanique et 'électrique d'un convoyeur à bande afin d'augmenter sa charge», Mémoire de master, Université de Bejaia 2013.

[16]

<http://blog.habasit.fr/2018/08/conception-dun-convoyeur-bandes-restons-simples/>

[17]

<https://www.douaisis.com/products/>

[18] Charlemagne,

Charlemagne. S, « Modélisation et commande d'un système de transport de bande textile, application des concepts multimachines », Thèse de doctorat, université d'EL-Manar à Tunis, 2003.

[19] Almohamad,

Almohamad. R, « Étude du tissage hybride multicouche : réalisation d'une machine par une approche multi axes synchronisés », Thèse de doctorat, université de haute alsace, 2014.

[20]

<https://www.sirtin.fr/2016/06/04/le-tissage-a-lorigine-de-linformatique-1/>

[21]

<https://www.432hz-couture.fr/wp-content/uploads/2018/11/guide-vid%C3%A9o-CDM-les-armures.pdf>

[22]

<https://www.kebamerica.com/>

[23] Drazen,

Drazen. D, Martin. J, Slobodan. N V, Emil. L, « A general PWM methode for a (2n+1)-leg inverter supplying n three-phase machines », Industrial Electronics, IEEE Transactions 2009.

[24] Kimura,

Kimura. Y, Hizumz. M, Matsuse. K, « Independent vector control of PM motors with five-leg inverter by expanded two arm modulation method », Power Electronics and Applications, 2005 European Conference.

[25] Bouhoune,

Bouhoune. K, « Application de nouvelles techniques de commandes aux machines asynchrones : monophasée et triphasé », Thèse de magister, université Houari Boumediene, Alger 2005.

[26] Belhadef,

Belhadef. R et Boutaya. B, « Commande vectorielle et par logique floue de la machine asynchrone sans capteur » Mémoire d'ingénieur d'état, ENP, Alger 2008.

[27] Infineon,

Infineon Technologies AG « Explanation discrete IGBTs ' datasheets », V1.0, 2015.