



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Machines électriques

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:**

**MASTER**

*Thème*

**Identification des paramètres d'un moteur asynchrone  
à cage d'écureuil**

Présenté par :  
**HAMZA ABDERRAHMANE**  
Soutenu le : 07 septembre 2015

Devant le jury compose de :

Mme:Deradji Belloum Karima  
Mr: Megherbi Ahmed.chaouki  
Mr:Dendouga Abdelhakim

MC  
MC  
MC

Président  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2014 / 2015**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electriques  
Filière : Electrotechnique  
Option : Machines électriques

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

**Identification des paramètres d'un moteur asynchrone à cage  
d'écureuil**

**Présenté par :**

*Hamza Abderrahmane*

**Avis favorable de l'encadreur :**

**Maghrebi Ahmed.chaouki**

*signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

**Deradji Belloum Karima**

*Signature*

**Cachet et signature**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electriques  
Filière : Electrotechnique  
Option : Machines électriques

## *Thème :*

### **Identification des paramètres d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil**

**Proposé par : Maghrebi Ahmed.chaouki.**

**Dirigé par : Maghrebi Ahmed.chaouki.**

### **RESUMES (Français et Arabe)**

L'objectif de notre travail est d'identifier les paramètres électriques et mécaniques d'un moteur asynchrone. A cage d'écureuil, Pour cela on utilise la méthode du schéma équivalent, La méthode utilisée permet d'utiliser les différents paramètres trouvés pour obtenir les courbes de vitesse et du courant de démarrage à partir de logiciel MATLAB .

الهدف من هذا العمل هو تحديد المعاملات الكهربائية والميكانيكية للمحرك اللاتزامني بقص سنجابي, لذلك قمنا باستعمال طريقة الرسم المكافئ (schéma équivalent), بهذه الطريقة قمنا باستخدام المعاملات الكهربائية و الميكانيكية التي حصلنا عليها في برنامج ماتلاب للاستخراج السرعة وتيار الاقلاع .

## Remerciements

---

*À l'issue de cette fin d'étude, nous adressons nos sincères remerciements tout d'abord à DIEU de nous avoir aidé à terminer ce travail et à tout puissant qui nous à donner la santé, la volonté et la patience.*

*Ensuite, nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur, **Megherbi Ahmed Chaouki**, aussi bien pour ces précieuses aides et sa disponibilité que pour ces qualités humaines. Il nous a toujours consacré le temps nécessaire pour être guidés efficacement.*

*En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel...*

## ***Dédicace***

---

*Je dédie ce modeste travail*

*A l'âme de mon Père et à ma Mère A mes Sœurs, mon Frère et mes Proches,*

*A mes très chers parents pour les sacrifices et les encouragements qu'ils n'ont cessé de me*

*Conférer. Que dieu les garder éternellement heureux.*

*- A mon frère, mes sœurs.*

*- A toute ma grande famille.*

*- A tous qui me sont chers.*

*Je dédie ce travail*

*- A tous mes amis en particulier : Adel, Khaled, Okba, Ismail, Toufik et Mostafa*

# Sommaire

Dédicace

Remerciement

Introduction générale

---

Chapitre 01 : Généralités sur les moteurs asynchrones

---

I-1-Introduction.....	01
I-2-Historique Sur Les Machines Asynchrones .....	01
I-3-Constitution des moteurs asynchrones.....	02
I-3-1 - Stator .....	02
I-3-2 -Le Rotor .....	03
I.3.2.1 Rotor bobiné.....	03
I.3.3.2 Rotor à cage .....	03
I-4- Principe de fonctionnement du moteur à induction.....	04
I-4-1 Définition du glissement.....	05
I-4-2-Bilan des puissances du moteur.....	06
I-4-3 Rendement.....	07
I-5-Caractéristique du moteur asynchrone.....	07
I-5-1-Fonctionnement à vide.....	07
I-5-2-Fonctionnement en charge.....	07
I-5-3 Caractéristique mécanique $C_u = f(n)$ .....	07
I-5-4 Point de fonctionnement du moteur en charge.....	08
I-6- Utilisation du moteur asynchrone.....	08
I-7-Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone.....	09

I -7-1 Les avantages du moteur asynchrone.....	09
I -7-2 Les inconvénients du moteur asynchrone.....	09
I -8- Conclusion.....	09

---

## Chapitre 02 : Modélisation et identification des paramètres du moteur asynchrone.

---

II.1. Introduction .....	11
II.2. Description .....	11
II.3. Hypothèses simplificatrices .....	11
II.4. Modélisation de la machine asynchrone.....	12
II.4.1. Machine triphasée .....	12
II.4.2. Mise en équation de la machine asynchrone triphasée.....	12
a. Equations électriques .....	13
b. Equations magnétiques .....	13
c. Equations mécaniques .....	13
II.4.3. Equation de la machine biphasée équivalente.....	14
II.4.3.1. Transformation de Park .....	14
II.4.3.2. Equations électriques de la machine dans le repère (d, q).....	16
a. Equations des tensions .....	16
b. Equations magnétiques .....	16
II.4.3.3. Equation mécanique dans le repère (d, q) .....	17
a. Couple électromagnétique .....	18
b. Equation mécanique.....	18
II.4.4. Choix du repère (d, q) .....	19
II.4.4.1. Repère (d, q) lié au stator.....	19
II.4.4.2. Repère (d, q) lié au rotor.....	19

II.4.4.3. Repère lié au synchronisme.....	20
II.4.4.4. Représentation d'état.....	20
II.5. Conclusion .....	21

---

## Chapitre 03 : Résultats expérimentaux et simulation avec MATLAB

---

III.1. Introduction .....	22
III-2-caractéristique de la machine.....	22
III-3-Méthode du schéma équivalent.....	23
III-3-1-mesure de la résistance statorique.....	23
III-4-Essai à rotor bloqué ( $g=1$ ).....	23
III-5-Essai à vide ( $g=0$ ).....	25
III-5-1-Détermination graphique des pertes.....	25
III.5.2. Identification des paramètres mécanique.....	26
III .5.2.1.Introduction .....	26
III 5.2.2.Essai de ralentissement .....	26
III.6.L'allure de vitesse à vide par expérience.....	26
III.7.Simulation du modèle de la machine .....	27
III.7.1.Schéma de simulation.....	27
III.7.2. Résultats de simulation.....	28
III.7.3.interprétation des résultats.....	28
III.8.Conclusion.....	28



## Liste des figures

---

Fig (I.01): Le moteur asynchrone .....	02
Fig (I.02): Stator.....	03
Fig (I.03):Rotor à cage.....	04
Fig (I.04): Rotor bobiné.....	04
Fig (I.05): Principe de base d'un moteur asynchrone.....	04
Fig (I.06): Principe de fonctionnement d'un moteur à induction.....	05
Fig (I.07): Bilan des puissances du moteur .....	06
Fig (I.08): Caractéristique mécanique du moteur asynchrone.....	07
Fig (I.09): Point de fonctionnement du moteur asynchrone.....	08
Fig (II.01): Modèle d'une machine asynchrone triphasé.....	12
Fig (II.02): Passage du système triphasé au biphasé .....	16
Fig (II.03):Schéma général du moteur asynchrone.....	22
Fig (II.04):Schéma ramené au stator de la MAS.....	22
Fig (II.05):Schéma équivalent à vide.....	23
Fig (II.06):Schéma équivalent d'essai à rotor bloqué.....	24
Fig(III.01): Banc d'essai.....	27
Fig (III.02): Schéma équivalent en essai à rotor bloqué.....	29
Fig (III.03): Schéma équivalent en essai à vide.....	31
Fig (III.04): La courbe de la séparation des pertes fer et mécanique.....	33
Fig (III.05): Essai de ralentissement.....	34
Fig(III.06): La courbe de la vitesse à vide.....	36

*Liste des figures*

---

Fig (III.07): Schéma bloc de simulation de la machine asynchrone .....	37
Fig (III.08): La simulation de la vitesse de démarrage.....	38
Fig (III.09): La simulation du courant de démarrage.....	38

## Notations.

Généralement l'indice s indique les grandeurs statorique, et r indique les grandeurs rotoriques. La machine asynchrone est notée par **MAS**.

s, r	Indices d'axes correspondants au stator et rotor.
a, b, c :	Indice correspondants aux trois phases a, b, c.
$V_{sa} V_{sb} V_{sc}$ :	Tensions d'alimentation des phases statoriques.
$V_{ra} V_{rb} V_{rc}$ :	Tensions d'alimentation des phases rotoriques.
$I_{sa} I_{sb} I_{sc}$ :	Courants statoriques.
$I_{ra} I_{rb} I_{rc}$ :	Courants rotoriques.
$\Phi_{sa} \Phi_{sb} \Phi_{sc}$ :	Flux statoriques.
$\Phi_{ra} \Phi_{rb} \Phi_{rc}$ :	Flux rotoriques.
$R_s, l_s$ :	Résistance et inductance propre d'une phase statorique.
$R_r, l_r$ :	Résistance et inductance propre d'une phase rotorique.
$M_{sr}$ :	Inductance mutuelle entre une phase de stator et une phase de rotor.
$m_s$ :	L'inductance mutuelle entre phases statoriques.
$m_r$ :	L'inductance mutuelle entre phases rotoriques.
$\sigma$ :	Coefficient de dispersion magnétique.
$\theta$ :	Angle entre un enroulement rotorique et son homologue statorique.
(x,y) :	Axes fixés au rotor.
(d,q) :	Axes fixés par rapport au champ tournant.
$\theta_s, \theta_r$ :	Déphasage du l'axe direct par rapport au stator et rotor.
$\omega_s$ :	Pulsation statorique.
$\omega_r$ :	Pulsation rotorique.
$\omega$ :	Pulsation mécanique du rotor.
p :	Nombre de paires de pôles.
$C_{em}$ :	Couple électromagnétique.
$C_r$ :	Couple résistant.
$\Omega$ :	Vitesse angulaire de rotation.
f :	Coefficient de frottement.
J :	Moment d'inertie de la partie tournante de la machine.
$P(\theta)$ :	Matrice de transformation de PARK.

## Notations.

$V_{sd}, V_{sq}$ :	Tensions statoriques dans la représentation biphasée.
$V_{rd}, V_{rq}$ :	Tensions rotoriques dans la représentation biphasée.
$I_{sd}, I_{sq}$ :	Courants statoriques dans la représentation biphasée.
$I_{rd}, I_{rq}$ :	Courants rotoriques dans la représentation biphasée.
$\Phi_{sd}, \Phi_{sq}$ :	Flux statoriques dans la représentation biphasée.
$\Phi_{rd}, \Phi_{rq}$ :	Flux rotoriques dans la représentation biphasée.
$V_s, V_r$ :	Vecteurs des tensions statoriques et rotoriques.
$\Phi_s, \Phi_r$ :	Vecteurs des flux statoriques et rotoriques.
$\tau_r$ :	Constante de temps rotorique.
$d, q$	Axes de référentiel de Park.
$\theta_s, \theta_r$ (rad)	Déphasage de l'axe direct par rapport au stator et rotor
$\omega$	Pulsation mécanique.

Les autres symboles sont définis dans le texte.

# **Introduction**

## **générale**

### **Introduction générale**

Dans tous les moteurs électriques, le moteur asynchrone est actuellement le plus répandu dans l'industrie, il n'est donc pas du tout surprenant de voir qu'il fait encore l'objet de nombreux travaux de recherche visant à améliorer sa modélisation et à optimiser sa conception [18]

Les machines à induction, comme tous les autres types des machines électriques, transforment l'énergie électrique en énergie mécanique et vice versa. Cette transformation fait intervenir des aspects électriques, électromagnétiques, thermiques, mécanique

Pour chacun de ces phénomènes physiques, il existe autant de modèles mathématiques destinés à des applications données. Ces derniers modèles se retrouvent couplés par différentes grandeurs physiques. Ainsi, le fonctionnement des machines à induction n'est décrit correctement que par l'examen simultané de tous les phénomènes cités, ce qui n'est pas un problème facile à résoudre. [18]

Le travail présenté dans ce mémoire fait l'objet de l'étude sur l'identification des paramètres du moteur asynchrone à cage d'écureuil.

Notre mémoire s'articule autour de trois chapitres:

Nous présentons dans le premier chapitre des généralités sur les moteurs asynchrones et nous décrivons sa constitution, le principe de fonctionnement ainsi que ses caractéristiques (à vide, en charge).

Dans le deuxième chapitre on introduit la modélisation et le schéma équivalent du moteur asynchrone ainsi que les essais expérimentaux en vue de l'identification des paramètres électriques et mécaniques de la MAS.

Dans le troisième chapitre on présente les essais expérimentaux réalisés au laboratoire avec l'interprétation des résultats obtenus lors de l'identification des paramètres du MAS.

A la fin de ce mémoire on donne une conclusion générale. [18]

Chapitre 01 :  
généralité sur les  
moteurs  
asynchrones

***I-1-Introduction :***

L'entraînement des machines est assuré en très grande majorité par des moteurs asynchrones, alimentés en courant alternatif triphasé et quelque fois en monophasé. Ce type de moteur s'impose en effet dans la plupart des applications par son prix de revient avantageux, ses qualités de robustesse et sa simplicité d'entretien.

Il nous paraît donc indispensable de rappeler les principes de construction et de fonctionnement de ces moteurs.

***I-2- Historique Sur Les Machines Asynchrones :***

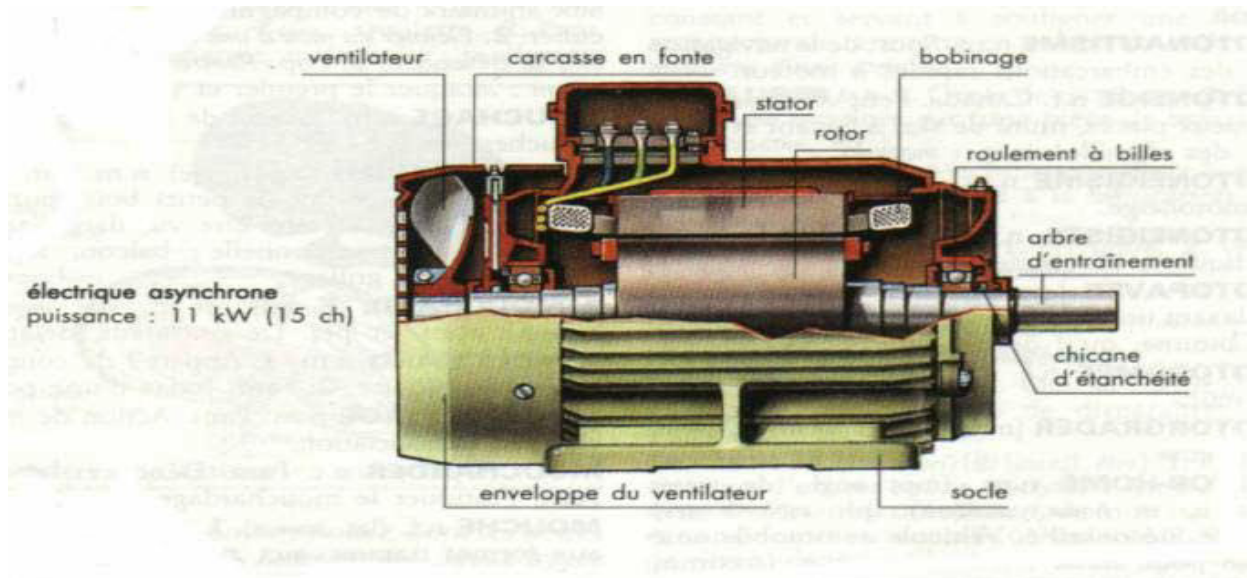
Historiquement, le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en électrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies (1820--1830) par des hommes de science parmi lesquels on peut citer, OERSTED, AMPERE, BIOT, SAVART, LAPLACE, OHM, FARADAY; Plus tard en (1873) MAXWELL formalisa les lois de l'électromagnétisme moderne dans son ouvrage fameux; "Treatise on Eelectricity and Magnétisme".

Les machines asynchrones couvrent actuellement l'essentiel de besoins de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, A titre d'exemple, elle sont utilisées pour la quasi- totalité des fonctions auxiliaires d'une centrale de production électrique ; il sont généralement de même dans les procédés industrielles. L'étude de ces machines acquit donc une grande importance, [2].

***I-3- Constitution des moteurs asynchrones:***

Les moteurs asynchrones, ou moteurs à induction, sont pratiquement tous des moteurs triphasés. Ils sont basés sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant. Les moteurs asynchrone, comportent une parties fixe constituée d'une carcasse à l'intérieur dont laquelle sont logés le circuit magnétique et le bobinage du stator d'une part et une partie mobile appelée rotor d'autre part, [2].





Fig(I.01): Le moteur asynchrone[12]

### 1-3-1- Le Stator :

Les différents types de moteurs asynchrones ne se distinguent que par le rotor ; dans tous les cas le stator reste, au moins dans son principe, le même. Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique statorique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine.

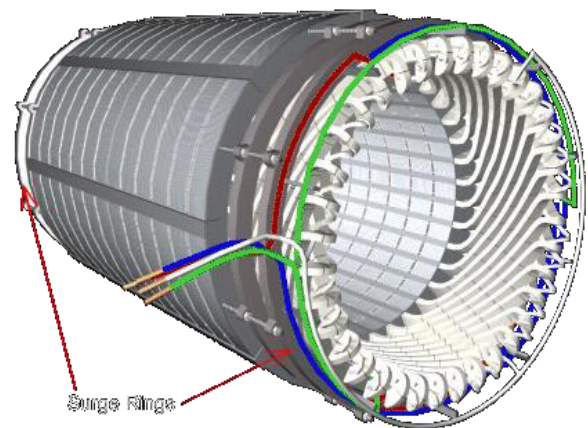


Fig (I.02): Stator[18]

### 1-3-2- Le Rotor

Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie. (ni continu, ni alternative) ce qui simplifie beaucoup sa construction on distingue deux type de rotor [ 1 ].

#### I.3.2.1 Rotor bobiné

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôle empilés sur l'arbre de la machine. Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé, et, en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile.

**+I.3.3.2 Rotor à cage**

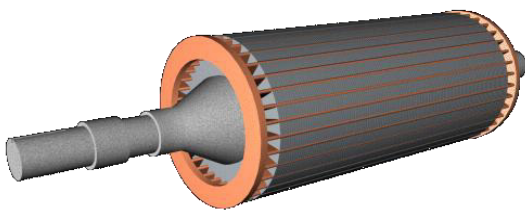
Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné. Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par

Le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension (par exemple 230/400 V), la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium. On démontre que, si le nombre de barres est suffisamment grand (soit en pratique,  $N_b \geq 8xp$ ), la cage se transforme automatiquement en un circuit polyphasé de polarité adéquate.

Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande.

Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service.

Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

**Fig (I.03): Rotor à cage[18]****Fig (I.04): Rotor bobiné[18]**

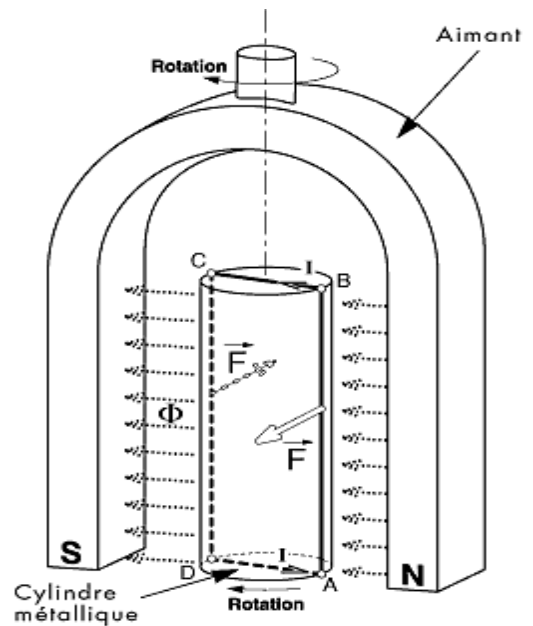
**I -4- Principe de fonctionnement du moteur à induction:**

Le principe de fonctionnement des moteurs asynchrones est basé sur la production d'un champ tournant. Telle que on considère un aimant tournant produit un champ électromagnétique qui traverse un cylindre métallique.

Les génératrices du cylindre placées dans le champ se comportent comme des brins actifs (AB et CD).

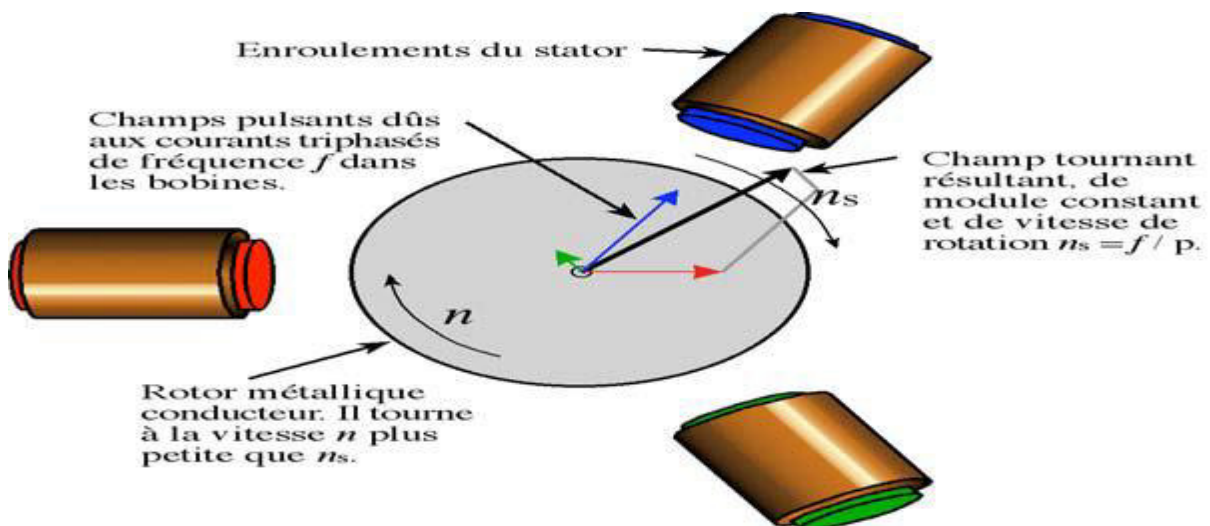
Elles sont parcourues par un courant proportionnel à  $F$  et engendrent des forces perpendiculaires qui constituent le couple. On

constate que le cylindre suit la rotation de l'aimant avec un léger décalage appelé glissement



**Fig (I.05): Principe de base d'un moteur[18]**

Sur les moteurs asynchrones triphasé .le champ tournant est produit par trois bobinages fixes géométriquement décalés de  $120^\circ$ , et parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique. Les trois champs alternatifs qu'ils produisent se composent pour former un champ tournant d'amplitude constante comme il a présenté dans cette figure. [ 7 ]



**Fig (I.06): Principe de fonctionnement d'un moteur à induction[18]**

**I -4-1 Définition du glissement:**

Par définition, le glissement est l'écart des vitesses angulaires synchrones  $\Omega_s$  et réelle  $\Omega_r$ , rapporté à la vitesse du champ tournant.

$$g = (\Omega_s - \Omega_r) / \Omega_s = (N_s - N_r) / N_s \tag{I-1}$$

$n_s$  : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant ( $\text{tr.s}^{-1}$ ).

$n_r$  : vitesse de rotation du rotor ( $\text{tr.s}^{-1}$ ).

$$\Omega_s = 2 \pi n_s \text{ (rad.s}^{-1}\text{)} \quad \Omega_r = 2 \pi n_r \text{ (rad.s}^{-1}\text{)}$$

Examinons les différents cas possibles :

- $g = 0$  pour  $n_r = n_s$  il n'y a pas de couple.
- $g < 0$  pour  $n_r > n_s$  la machine fonctionne en génératrice.
- $g > 0$  pour  $n_r < n_s$  la machine fonctionne en moteur.
- $g = 1$  pour  $n_r = 0$  la machine est à l'arrêt ou à l'instant du début du démarrage.
- $g > 1$  pour  $n_r < 0$  la vitesse de rotation est l'inverse de celle du champ tournant, le moteur fonctionne en mode de freinage,[4]

**I -4-2 Bilan des puissances du moteur:**

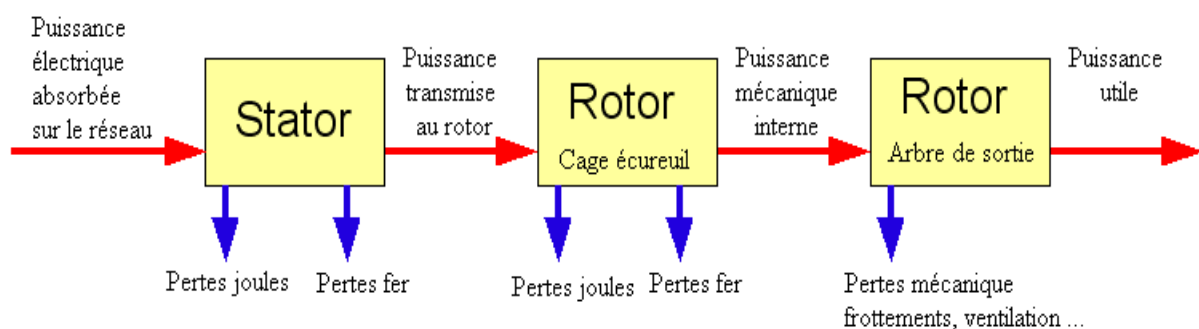


Fig (I.07): Bilan des puissances du moteur[18]

Le moteur absorbe au réseau la puissance:

$$P_a = 3V J \cos\theta = \sqrt{3}U I \cos\theta \quad (\text{I-2})$$

Une partie de cette puissance (1 à 2 %) est perdue dans le stator sous forme de pertes dans le fer ( $P_{fs}$ ) et de pertes dans le cuivre dues à l'effet joule ( $P_{js}$ ).

La puissance restante est, alors transmise au rotor par le champ tournant sous la forme de puissance électromagnétique:

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs}) \quad (\text{I-3})$$

Le rotor utilise cette puissance à deux fins:

Une partie est gaspillée par l'effet joule dans les enroulements du rotor (résistance propre rhéostat extérieur si celui-ci n'est pas en court circuit), l'autre partie se trouve en puissance mécanique  $P_m$  disponible sur l'arbre de moteur, [ 2 ].

### ***I -4-3 Rendement:***

Le rendement du moteur est le rapport entre la puissance mécanique  $P_{méc}$  fournit à la charge et la puissance électriques,  $P_{éle}$  fournit au moteur soit :

$$\eta = P_{méc} / P_{éle} = P_a - P_{js} - P_{fs} - P_{jr} - P_m / P_{éle}$$

$$P_{jr} = g \cdot P_{fr} = g (P_a - P_{js} - P_{fs}) \quad (\text{I-4})$$

### ***I -5- Caractéristique du moteur asynchrone :***

#### ***I -5-1 Fonctionnement à vide :***

À vide le moteur n'entraîne pas de charge.

**Conséquence:** le glissement est nul est le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

$$\text{A vide : } \quad g=0 \quad \text{et donc} \quad N_s=N_r$$

**Autres observations :**

- Le facteur de puissance à vide est très faible ( $<0,2$ ) et le courant absorbé reste fort ( $P$  est petit et  $Q$  est grand). On parle alors de courant réactif ou magnétisant (ils servent à créer le champ magnétique).

**I-5-2 Fonctionnement en charge:**

Le moteur fournit maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif.

**Remarque:** le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge,[5]

**I-5-3 Caractéristique mécanique  $C_u = f(n)$  :**

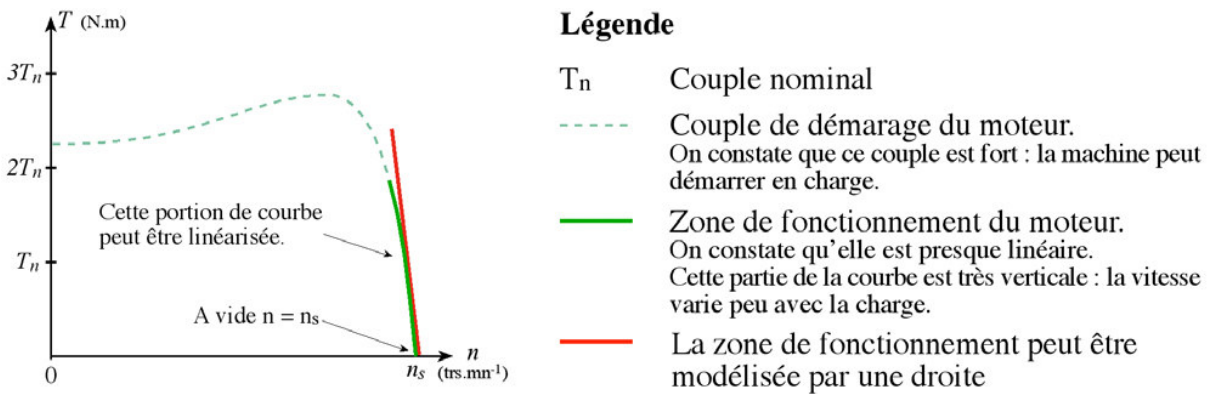


Fig (I.08): Caractéristique mécanique du moteur asynchrone[13]

**I-5-4 Point de fonctionnement du moteur en charge :**

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques.

La courbe du couple résistant dépend de la charge

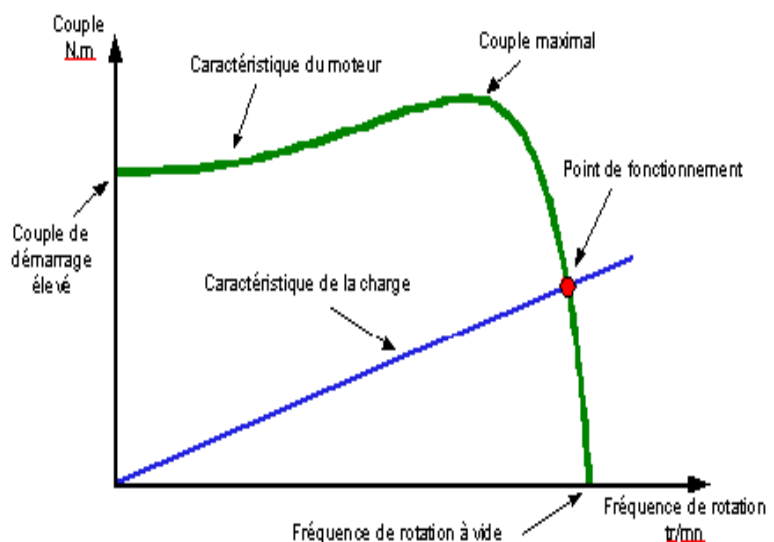


Fig (I.09): Point de fonctionnement du moteur asynchrone[18]

***I-6- Utilisation du moteur asynchrone:***

Comme on l'a expliqué, les performances d'un moteur concernent les domaines suivant : démarrage, variation de la vitesse, freinage et inversion de sens de marche. Comme la vitesse ne reste très proche de la vitesse  $N_s$  de synchronisme, pour varier la vitesse du moteur il faut en fait varier la fréquence  $f_s$  à l'aide d'un onduleur. Mais pour faire varier la vitesse sans modifier le couple utile il faut garder le rapport  $V_s / f_s$  constant ( $V_s$  est la tension d'alimentation d'un enroulement). Si on augmente la vitesse, il faut augmenter la fréquence et la tension d'alimentation dans les limites du bon fonctionnement de la machine

Le moteur asynchrone triphasé, d'une puissance de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts est le plus utilisé de tous les moteurs électriques. Son rapport coût/puissance est le plus faible. Associés à des onduleurs de tension, les moteurs asynchrones de forte puissance peuvent fonctionner à vitesse variable dans un large domaine (les derniers TGV, le Tram de Strasbourg,).

Toutefois l'emploi de ce type de moteur est évité en très forte puissance ( $P > 10$  MW) car la consommation de puissance réactive est alors un handicap,[5]

***I-7- Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone :***

Si l'on compare le moteur asynchrone au moteur shunt à courant continu, on constate que les caractéristiques dans leurs parties stable, sont identiques, ce qui conduit aux mêmes applications industrielles. En ce qui concerne le choix d'un moteur pour une application donnée, il est intéressant de signaler les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs[5].

***I-7-1 Les avantages du moteur asynchrone:***

Comparé au moteur shunt, le moteur asynchrone a l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé. Son prix d'achat est moins élevé, il est beaucoup plus robuste car il ne nécessite pratiquement pas d'entretien

Ses deux qualités fondamentales (prix et solidité) résulte du fait qu'il n'a pas de collecteur. En effet, le collecteur est un organe coûteux et fragile qui nécessite un entretien fréquent : changement des balais.

***I-7-2 Les inconvénients du moteur asynchrone:***

A l'exception du démarrage et de l'inversion du sens de marche que l'on peut résoudre de façon satisfaisante, le moteur asynchrone a des performances très médiocres par rapport à celles du moteur shunt. En effet jusqu'à ces dernières années, l'entraînement idéal était réalisé par le léonard formé un moteur shunt alimenté par un convertisseur de tension, [2].

***I-8- Conclusion:***

Dans ce chapitre on a présenté un historique sur les machines asynchrone et nous Avons exposé une étude générale sur les moteurs asynchrones triphasés (constitution, Principe de fonctionnement, caractéristique), De plus on a présenté utilisation de ce type de moteur, et ses avantages et ses inconvénients.

Dans le chapitre suivant on va présenté la modélisation et l'identification des paramètres du moteur asynchrone



Chapitre 02 :

Modélisation et  
identification des  
paramètres du  
moteur asynchrone

### ***II.1. Introduction :***

Dans ce deuxième chapitre on va introduire la modélisation de la machine asynchrone ainsi que sur l'identification des paramètres du moteur asynchrone. En suite, on présente les différents essais pour déterminer les paramètres électriques et mécaniques [5]

### ***II.2. Description :***

La machine asynchrone se compose :

D'un primaire, généralement le stator, portant un bobinage le plus souvent triphasé, logé dans les encoches et relié à la source d'alimentation.

D'un secondaire, généralement le rotor, qui peut être soit bobiné et en court-circuit soit à cage d'écureuil. [5]

### ***II.3. Hypothèses simplificatrices :***

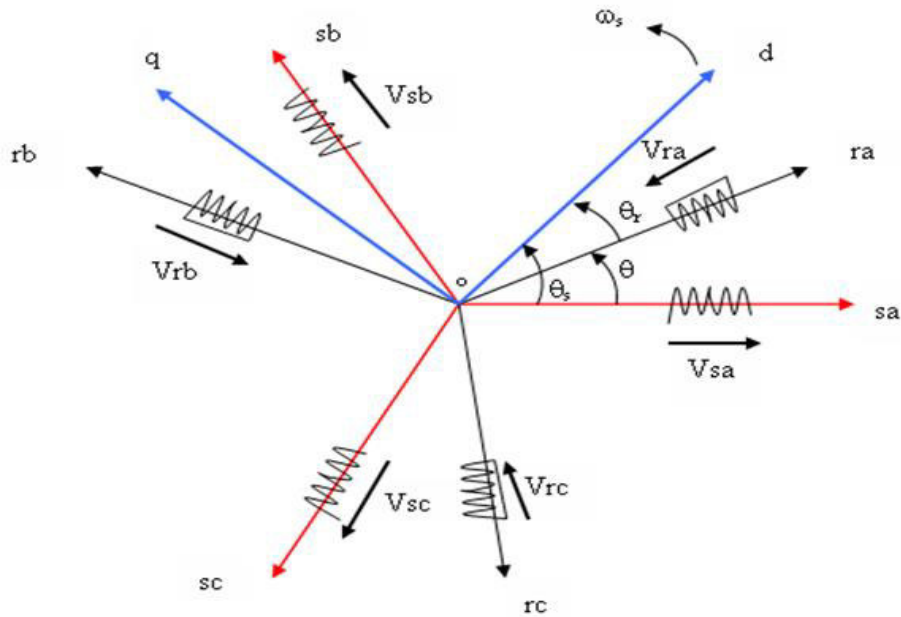
La modélisation de la machine se fait à partir d'hypothèses simplificatrices. Les plus utilisées dans le cas d'une machine asynchrone sont:

1. La saturation du circuit magnétique, l'hystérésis, les courants de Foucault ainsi que l'effet d'encochage sont négligeables.
2. Les résistances des enroulements ainsi que la perméabilité du circuit magnétique sont constantes.
3. L'effet de peau et l'échauffement ne sont pas pris en compte.
4. L'entrefer est constant (d'épaisseur uniforme).
5. La machine est alimentée par un système triphasé sinusoïdal et équilibré.
6. La force magnétomotrice, créée par les enroulements statoriques et rotoriques, est à répartition sinusoïdale le long de l'entrefer. [6][5]

### ***II.4. Modélisation de la machine asynchrone:***

#### ***II.4.1. Machine triphasée :***

La machine est supposée triphasée au rotor et stator, elle est représentée schématiquement par la figure suivante. [5]



**Fig (II.01): Modèle d'une machine asynchrone triphasé[19]**

Les trois enroulements de phase du stator " as ", " bs ", " cs " sont représentés schématiquement au droit de leurs axes magnétiques respectifs, ainsi que les trois enroulements du rotor " ar ", " br ", " cr ", nous transformons les équations par l'utilisation de deux axes perpendiculaires " od " (polaire ou longitudinal) et " oq " (inter polaire ou transversal), mais la position et le mouvement de l'axe " od " ne sont pas fixés. La vitesse angulaire "  $\omega_r$  " est obtenue par : [7]

$$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} = \frac{d\theta_s}{dt} - \frac{d\theta_{sl}}{dt} \tag{II.1}$$

**II.4.2. Mise en équation de la machine asynchrone triphasée :**

En se basant sur les hypothèses simplificatrices et leurs conséquences citées précédemment, les équations de la machine s'écrivent comme suit : [11][7]

**a. Equations électriques :**

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{as} \\ \phi_{bs} \\ \phi_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} \tag{II.2}$$

$$\begin{bmatrix} v_{ar} \\ v_{br} \\ v_{cr} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi_{ar} \\ \phi_{br} \\ \phi_{cr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.3})$$

**b. Equations magnétiques :**

Les hypothèses que nous avons présentées dans l'introduction de ce chapitre conduisent à des relations linéaires entre les flux et les courants à partir des notations suivantes : [8][6][9][11].

$L_{as}$  : Inductance propre d'une phase du stator.

$M_{as}$  : Inductance mutuelle entre deux phases du stator.

$L_{ar}$  : Inductance propre d'une phase du rotor.

$M_{sr}$  : Inductance mutuelle entre une phase du stator et une phase du rotor.

$M_{ar}$  : Inductance mutuelle entre deux phases du rotor.

$$\begin{bmatrix} \phi_{as} \\ \phi_{bs} \\ \phi_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{as} & M_{as} & M_{as} \\ M_{as} & L_{as} & M_{as} \\ M_{as} & M_{as} & L_{as} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + [M_{sr}] \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{ar} \\ \phi_{br} \\ \phi_{cr} \end{bmatrix} = [M_{rs}] \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ar} & M_{ar} & M_{ar} \\ M_{ar} & L_{ar} & M_{ar} \\ M_{ar} & M_{ar} & L_{ar} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

**c. Equations mécaniques :**

L'étude des caractéristiques dynamiques de la machine asynchrone fait introduire des variations non seulement des paramètres électriques (tension, courant, flux,  $f_{em}$ ), mais aussi des paramètres mécanique (couple, vitesse).

L'équation du mouvement de la machine s'écrit: [5][10][9]

$$C_{em} - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + fr.\Omega \quad (\text{II.7})$$

$J$ : Moment d'inertie de la machine [kg.m<sup>2</sup>].

$fr$ : Coefficient de frottement [N.m/rad.s].

$C_r$ : Couple résistant imposé à l'arbre de la machine [N.m].

$C_{em}$ : Couple électromagnétique développé par la machine donnée [N.m].

$\Omega$ : Vitesse mécanique donnée par :  $\Omega = \frac{\omega_r}{p}$

$\omega_r$ : Vitesse rotorique électrique [rad/s].

$p$ : Nombre de paires pôles

On remarque lors de l'étude du modèle précédent, que le système d'équations décrit, est non seulement d'un ordre élevé, mais aussi, que ces coefficients trigonométriques varient en fonction de l'angle  $\theta$ ; ce qui traduit sa non linéarité. Sa résolution analytique devient alors difficile, voire même impossible. [12]

Ce problème se résout par la simplification de ces équations, c'est-à-dire, transformer ce système triphasé équilibré en un système biphasé à coefficients constants (indépendants de l'angle  $\theta$ ) par l'intermédiaire de la transformation de Park. [12]

### **II.4.3. Equation de la machine biphasée équivalente**

#### **II.4.3.1. Transformation de Park :**

Pour simplifier la représentation des équations électriques, on introduit la transformation de **Park** normalisée qui est obtenue à l'aide de la matrice **P** suivante : [8]

$$P = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

Le coefficient  $\sqrt{2/3}$  a été choisi pour donner une expression invariante du couple électromagnétique à partir de la propriété  $P^{-1} = P^T$ . Le changement de variables relatif aux courants, aux tensions et aux flux est défini par la transformation : [7] [8]

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_o \end{bmatrix} = P \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}$$

x : ce sont des variables statoriques ou rotoriques tension, courant ou flux.

o : indice de l'axe homopolaire.

La matrice inverse de la transformation de **Park** normalisée a pour expression :

$$P^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (II.9)$$

La transformation de Park appelée souvent transformation des deux axes, fait correspondre aux variables réelles leurs composantes homopolaires (indice 0), d'axe direct (Indice d) et d'axe en quadrature (indice q). Cette transformation s'écrit: [7] [8]

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = P^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \\ x_o \end{bmatrix}$$

La variable x peut être une tension, un courant ou un flux.

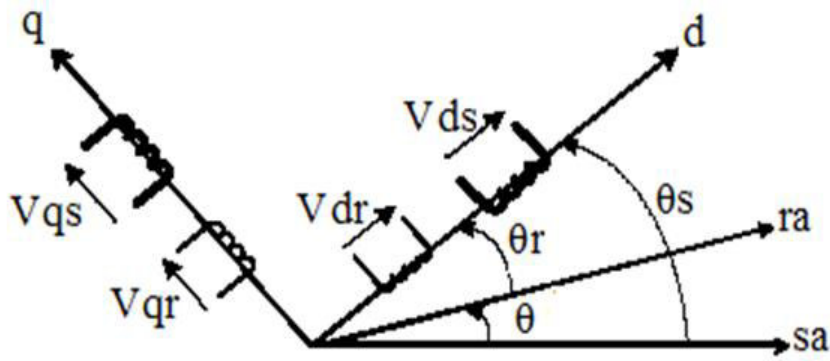


Fig (II.02): Passage du système triphasé au biphasé [6]

### II.4.3.2. Equations électriques de la machine dans le repère (d, q):

En multipliant l'équation électrique du stator et du rotor par  $P(\theta)$ , et après simplifications on aura:

#### a- Equations des tensions : [6] [12]

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \frac{d\theta_s}{dt} \cdot \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \frac{d\theta_s}{dt} \cdot \Phi_{ds} \\ V_{dr} = 0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - \frac{d\theta_r}{dt} \cdot \Phi_{qr} \\ V_{qr} = 0 = R_r \cdot i_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + \frac{d\theta_r}{dt} \cdot \Phi_{dr} \end{array} \right. \quad (II.10)$$

#### b- Equations magnétiques : [9] [7]

En multipliant l'équation (2.4) et (2.5) par  $P(\theta)$  et après simplification on obtient:

$$\text{Pour le stator : } \left\{ \begin{array}{l} \Phi_{ds} = L_s \cdot i_{ds} + M \cdot i_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s \cdot i_{qs} + M \cdot i_{qr} \end{array} \right. \quad (II.11)$$

$$\text{Pour le rotor : } \left\{ \begin{array}{l} \Phi_{dr} = L_r \cdot i_{dr} + M \cdot i_{ds} \\ \Phi_{qr} = L_r \cdot i_{qr} + M \cdot i_{qs} \end{array} \right. \quad (II.12)$$

Avec:

$L_s = l_s - M_s$  : Inductance cyclique statorique.

$L_r = l_r - M_r$  : Inductance cyclique rotorique.

$M = \frac{3}{2} M_0$  : Inductance mutuelle cyclique entre rotor et stator.

### II.4.3.3. Equation mécanique dans le repère (d, q) : [8] [7]

Dans le cas le plus fréquent, une machine asynchrone fonctionne en moteur, elle est alimentée au stator par une source triphasée, et l'enroulement du rotor est fermé en court-circuit.

Cependant, dans ce paragraphe, nous allons nous placer dans le cas général où les tensions rotoriques aussi bien que statoriques ne sont pas nulles, les relations qui vont suivre sont indépendantes du choix de l'angle  $\theta_s$  définissant les axes " d " et " q ".

Le stator étant considéré comme générateur, et le rotor comme récepteur, la puissance électrique fournie au milieu extérieur vaut :

$$P_e = v_{as} \cdot i_{as} + v_{bs} \cdot i_{bs} + v_{cs} \cdot i_{cs} - v_{ar} \cdot i_{ar} - v_{br} \cdot i_{br} - v_{cr} \cdot i_{cr} \quad (\text{II.13})$$

Qui s'écrit, en appliquant la transformation de Park normalisée :

$$P_e = v_{ds} \cdot i_{ds} + v_{qs} \cdot i_{qs} + 2 \cdot v_{os} \cdot i_{os} - v_{dr} \cdot i_{dr} - v_{qr} \cdot i_{qr} - 2 \cdot v_{or} \cdot i_{or} \quad (\text{II.14})$$

Après

$$P_e = \left[ i_{ds} \cdot \frac{d\phi_{ds}}{dt} + i_{qs} \cdot \frac{d\phi_{qs}}{dt} + 2 \cdot i_{os} \cdot \frac{d\phi_{os}}{dt} - i_{dr} \cdot \frac{d\phi_{dr}}{dt} - i_{qr} \cdot \frac{d\phi_{qr}}{dt} - 2 \cdot i_{or} \cdot \frac{d\phi_{or}}{dt} \right] \\ + \left[ (\phi_{ds} \cdot i_{qs} - \phi_{qs} \cdot i_{ds}) \cdot \frac{d\theta_s}{dt} + (\phi_{qr} \cdot i_{dr} - \phi_{dr} \cdot i_{qr}) \cdot \frac{d\theta_{sl}}{dt} \right] \\ + \left[ R_s \cdot (i_{ds}^2 + i_{qs}^2 + 2 \cdot i_{os}^2) + R_r \cdot (i_{dr}^2 + i_{qr}^2 + 2 \cdot i_{or}^2) \right] \quad (\text{II.15})$$

Le premier crochet représente la variation par unité de temps de l'énergie magnétique emmagasinée, le deuxième crochet représente la puissance mécanique transformée en puissance électrique à l'intérieur de la machine tandis que le troisième crochet représente les pertes joules. La puissance électromécanique s'écrit donc:

$$(\phi_{ds} \cdot i_{qs} - \phi_{qs} \cdot i_{ds}) \cdot \left( \frac{d\theta_s}{dt} - \frac{d\theta_{sl}}{dt} \right) = (\phi_{ds} \cdot i_{qs} - \phi_{qs} \cdot i_{ds}) \cdot \omega_r \quad (\text{II.16})$$



Nous obtenons le couple électromagnétique en divisant par  $\omega_r$

$$C_{em} = \phi_{ds} \cdot i_{qs} - \phi_{qs} \cdot i_{ds} \quad (II.17)$$

Pour une machine asynchrone multipolaire : si on considère l'angle électrique  $\theta_r$  et la vitesse électrique  $\omega_r$  ( $\omega_r = p \cdot \Omega$ , où  $\Omega$  est la vitesse mécanique), obtenue en multipliant leurs homologues géométriques et mécaniques par le nombre de paires de pôles  $p$ , les équations électriques sont inchangées, et l'équation du couple électromagnétique ainsi que l'équation du mouvement s'écrivent

$$\begin{cases} C_{em} = \phi_{ds} \cdot i_{qs} - \phi_{qs} \cdot i_{ds} = \frac{p \cdot M_{sr}}{L_r} (\phi_{dr} \cdot i_{qs} - \phi_{qr} \cdot i_{ds}) \\ \frac{J}{p} \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = C_{em} - C_r - \frac{f}{p} \cdot \omega_r \end{cases} \quad (II.18)$$

Avec:

J : Moment d'inertie du système.

$C_r$ : Couple résistant.

f : Coefficient de frottement visqueux

$C_{em}$  : Couple électromagnétique.

**a-Couple électromagnétique : [6] [7] [12]**

$$\begin{aligned} C_{em} &= P \cdot M (i_{qs} \cdot i_{dr} - i_{ds} \cdot i_{qr}) \\ C_{em} &= P (\Phi_{ds} \cdot i_{qs} - \Phi_{qs} \cdot i_{ds}) \\ C_{em} &= P \cdot \frac{M}{L_r} (\Phi_{dr} \cdot i_{qs} - \Phi_{qr} \cdot i_{ds}) \end{aligned} \quad (II.19)$$

**b- Equation mécanique: [6] [12] [5]**

Equation mécanique de la machine est donnée par:

$$J \cdot \frac{d\Omega_r}{dt} = C_{em} - f \cdot \Omega_r - C_r \quad (II.20)$$

Avec:

$C_r$  : Couple résistant de la charge.

$f$ : Coefficient des frottements visqueux.

$\Omega_r = \frac{\omega_r}{p}$  : Vitesse de rotation mécanique

#### **II.4.4. Choix du repère (d, q) : [6]**

Il est intéressant d'écrire les équations dans un référentiel lié soit à l'une des armatures, soit au champ tournant, selon les objectifs de l'application.

Dans chacun de ces référentiels, les équations de la machine sont plus simples que dans le référentiel quelconque. Il existe pratiquement trois possibilités:

##### **II.4.4.1. Repère (d, q) lié au stator: [6]**

Ce repère est fixe par rapport au stator, il est utilisé l'étude de démarrage et de freinage de la machine. Il est caractérisé par :

$\theta_s=0$ , et par conséquence  $\theta = -\theta_r$  Le système d'équations devient alors:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} \\ V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} \\ 0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega \cdot \Phi_{qr} \\ 0 = R_r \cdot i_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} - \omega \cdot \Phi_{dr} \end{array} \right. \quad (II.21)$$

##### **II.4.4.2. Repère (d, q) lié au rotor: [6]**

Ce repère est fixe par rapport au rotor, il est utilisé pour la simulation des régimes transitoires des machines. Il est caractérisé par :

$\theta_r=0$ , et par conséquence  $\theta_s = \theta$  Le système d'équations devient alors:

ou  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$  est la pulsation mécanique

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega \cdot \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega \cdot \Phi_{ds} \\ 0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} \\ 0 = R_r \cdot i_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} \end{array} \right. \quad (\text{II.22})$$

#### II.4.4.3. Repère lié au synchronisme: [6]

Ce repère est fixe par rapport au champ tournant, il est utilisé pour la commande vectorielle de la machine, il est caractérisé par:

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s, \text{ et } \frac{d\theta_r}{dt} = \omega_s - \omega$$

Le système d'équations devient alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega_s \cdot \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega_s \cdot \Phi_{ds} \\ 0 = R_r \cdot i_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega) \cdot \Phi_{qr} \\ 0 = R_r \cdot i_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega) \cdot \Phi_{dr} \end{array} \right. \quad (\text{II.23})$$

#### II.4.4.4. Représentation d'état:[9] [12] [10] [3]

Suivant le type d'alimentation de la machine et les grandeurs à réguler (flux rotoriques ou statoriques, courants rotoriques, vitesse, couple) nous avons différents modèles de la machine à induction. Considérons les flux rotoriques  $\Phi_{dr}$ ,  $\Phi_{qr}$ , les courants  $i_{ds}$ ,  $i_{qs}$  et la vitesse  $\Omega_r$  comme variables d'état, et les tensions  $V_{ds}$ ,  $V_{qs}$  comme variables de commande.

On obtient le système d'état suivant :

$$\dot{[X]} = [A][X] + [B][U]$$

[X] : Vecteur d'état, avec :

$$[X] = [i_{ds} \quad i_{qs} \quad \Phi_{dr} \quad \Phi_{qr}]^T$$

$$[U] = [V_{ds} \quad V_{qs}]^T$$

[A] : Matrices d'évolution d'état du système.

[B] : Matrice de commande.

On aura ainsi le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[ -R_{sm} i_{ds} + \omega_s \sigma L_s i_{qs} + \frac{L_m}{L_r C_r} \Phi_{dr} + \frac{L_m}{L_r} \omega \Phi_{qr} + V_{ds} \right] \\ \frac{di_{qs}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[ -\omega_s \sigma L_s i_{ds} - R_{sm} i_{qs} + \frac{L_m}{L_r} \omega \Phi_{dr} + \frac{L_m}{L_r C_r} \Phi_{qr} + V_{qs} \right] \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = \frac{L_m}{C_r} i_{ds} - \frac{1}{C_r} \Phi_{dr} + (\omega_s - \omega) \Phi_{qr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = \frac{L_m}{C_r} i_{qs} - (\omega_s - \omega) \Phi_{dr} - \frac{1}{C_r} \Phi_{qr} \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{P^2 L_m}{J L_r} (\Phi_{dr} i_{qs} - \Phi_{qr} i_{ds}) - \frac{P}{J} C_r - \frac{f}{J} \omega \end{cases} \quad (II.24)$$

$$\text{Avec : } R_{sm} = R_s + \frac{L_m^2}{L_r C_r}; \quad \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s C_r}; \quad C_r = \frac{L_r}{R_r}$$

### II.5. Schéma équivalent d'un moteur asynchrone :

Sous le vocable schéma équivalent, on désigne un circuit électrique composé de deux dipôles linéaires permettant de modéliser la machine réelle. Le schéma équivalent le plus pertinent est fonction du domaine d'utilisation et du degré de précision nécessaire. Dans le cas des moteurs asynchrones, il comprend, au minimum une association de résistances et d'inductances. [13]

**II.5.1 Schéma général:**

Les deux équations suivantes:

$$V = (R_1 + j \omega_S \mathcal{L}_1) \vec{I}_1 + j \omega_S M_{21} \vec{I}_2 \quad (\text{II-25})$$

$$V = \left(\frac{R_r}{g} + j \omega_S \mathcal{L}_1\right) \vec{I}_2 + j \omega_S M_{21} \vec{I}_1 \quad (\text{II-26})$$

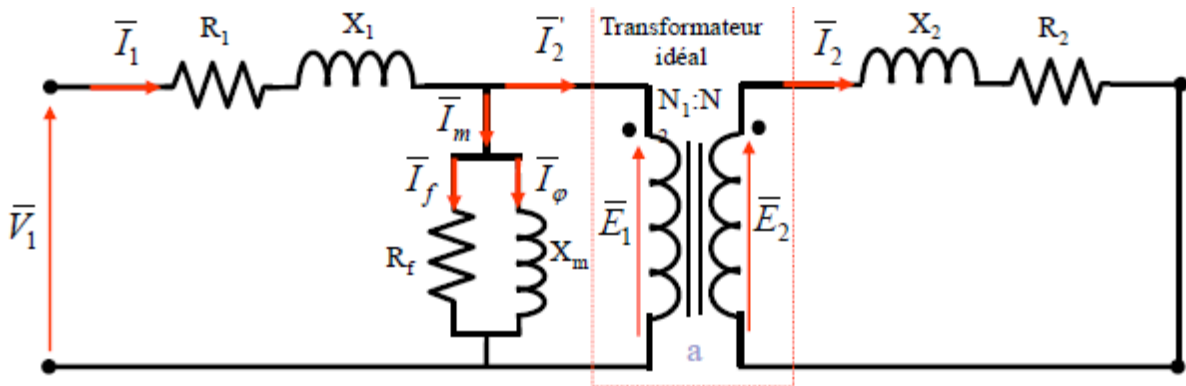


Fig (II.03):Schéma général du moteur asynchrone

**II.5.2 Schéma ramené au stator [13]**

Les circuits magnétiquement couplés peuvent être transformés en de nombreux schémas équivalents. Chacune de ces transformations conduites à un modèle possible pour décrire la machine asynchrone. Dans la pratique, seuls certains modèles sont effectivement utilisés.

Le modèle à fuites secondaire avec l'ensemble ramené au stator est le plus fréquent dans la littérature car il comporte des éléments que l'on peut identifier relativement simplement et de manière suffisamment précise et il est simple d'emploi.

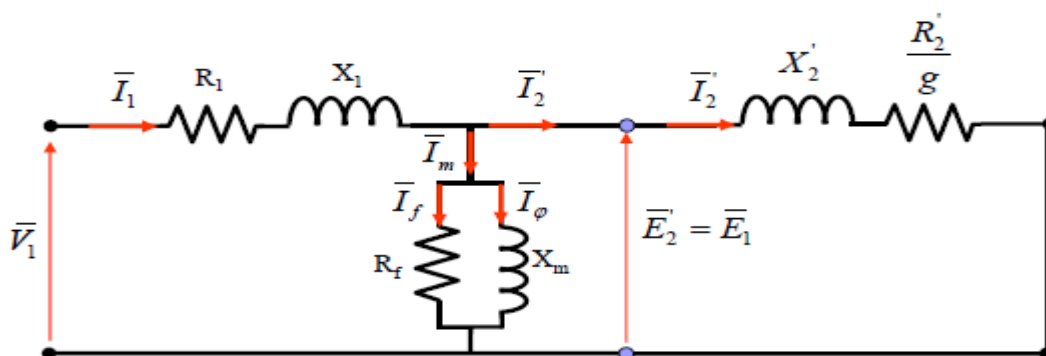


Fig (II.04):Schéma ramené au stator de la MAS

## **II.6 Identification des paramètres du schéma équivalent [13]**

Après avoir établi que le schéma précédent correspondait à une phase de la machine asynchrone, on peut identifier le modèle correspondant à une machine quelconque en réalisant les essais suivants:

### **II.6.1.Essai à vide**

Réalisé sur une phase de la machine, il permet de mesurer la résistance statorique  $R_s$

Essai au synchronisme :  $g=0$

Lors d'un essai au synchronisme, le champ tournant et le rotor tournent à la même vitesse.

Le glissement  $g$  est nul et  $1/g$  tend vers l'infini. le modèle équivalent d'une phase de la machine devient:

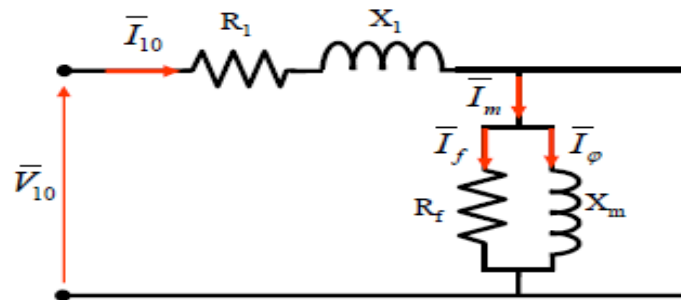


Schéma équivalent lors de l'essai à vide

Fig (II.05):Schéma équivalent à vide

A l'aide d'un wattmètre d'un ampèremètre et d'un voltmètre, on mesure la puissance active  $P_0$  la puissance réactive  $Q_0$ , le courant  $I_0$  et la tension  $U_0$ .

### **II.6.2.Essai à rotor bloqué[13]**

A vitesse nulle, le glissement  $g=1$ . Cet essai est réalisé sous tension réduite afin de limiter l'intensité du courant à une valeur acceptable. Le modèle équivalent d'une phase de la machine devient :

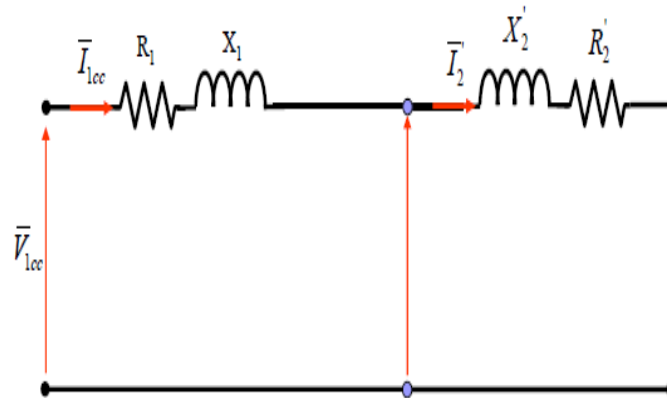


Fig (II.06):Schéma équivalent d'essai à rotor bloqué

A l'aide de deux wattmètres, d'un ampèremètre et d'un voltmètre, on mesure la puissance, le courant et la tension et on va calculer dans cet essai la résistance ramenée  $\hat{R}_2$  et l'inductance statorique et Z.

$$\hat{R}_r = (P_{CC}/3I_{CC}^2) - R_1 \quad (\text{II-27})$$

$$Z = \sqrt{(R_1 + \hat{R}_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (\text{II-28})$$

$$X_{\delta 1} = 1/2 \sqrt{Z_{CC}^2 - (R_1 + \hat{R}_2)^2} \quad (\text{II-29})$$

La tension V étant faible, les courants circulants dans  $R_f$  et  $X_m$  peuvent généralement être négligés devant I. L'équation devienne alors :

$$P_{CC} = 3R_1 I^2 + 3\hat{R}_2 I^2 \quad (\text{II-30})$$

### II.7.5. Caractéristiques mécanique[13]

Le schéma établi précédemment permet d'obtenir facilement les caractéristiques électromécaniques de la machine asynchrone.

En effet la puissance électromagnétique utile, c'est-à-dire celle transformée en énergie mécanique correspond pour chaque phase à la puissance consommée par la résistance

$$\hat{R}_r * \frac{1-g}{g}$$

La puissance mécanique totale pour les trois phases a donc pour expression :

$$P_M = T_M * \Omega_r = 3 * R_2 * \frac{1-g}{g} * I_2^2 \quad (\text{II-31})$$

### ***II.5. Conclusion :*** [5]

Dans ce chapitre nous avons décrit la modélisation de la machine asynchrone. Ce modèle a été établi dans le cadre de la théorie de Park, en passant du système réel triphasé au système biphasé équivalent. Cela a simplifié considérablement la résolution des équations de la machine asynchrone et a permis d'obtenir une matrice d'état, très simple et très souple d'utilisations, ceci en vue d'une utilisation optimale en éléments et en temps de calcul.[5]

On a présenté aussi le schéma éclectique équivalent du moteur asynchrone avec la description des essais classique pour l'identification des paramètres de ce schéma.



Chapitre 03 :  
Résultats  
expérimentale et  
simulation avec  
Matlab

**III-1-Introduction**

Dans ce chapitre nous allons exposer l'identification des paramètres du moteur asynchrone,

**III-2-caractéristique de la machine**

Le banc d'essai (fig. III.1) réalisé dans le cadre de ce mémoire est constitué de moteur asynchrone à cage ayant les caractéristiques indiquées dans (*Le tableau. III-1*) et les appareils de mesures.



**Fig (III.01):Banc d'essai**

<b><math>P</math></b> la puissance nominale	<b>1Kw</b>
<b><math>V</math></b> la tension nominale	<b>380v</b>
<b><math>I_N</math></b> le courant nominal	<b>2.5A</b>
<b><math>f_s</math></b> la fréquence d'alimentation	<b>50Hz</b>
<b><math>\cos \varphi</math></b> facteur de puissance	<b>0.83</b>
<b><math>N_N</math></b> La vitesse nominale	<b>2780tr/min</b>
Le couplage	$\Delta$

*Le tableau. III-1:Représente les caractéristiques du moteur utilisé dans l'expérience*

### **III-3-Méthode du schéma équivalent:**

#### **III-3-1-mesure de la résistance statorique:**

Pour mesurer la résistance  $R_S$  du stator, on a procédé de deux manières différentes :

- La première est de connecter un ohmmètre aux bornes d'un enroulement statorique et par suite la lecture de la valeur ainsi mesurée par l'appareil.

La valeur indiquée à la suite de la lecture est :

$$R_S = 23,9\Omega$$

- La deuxième est de réaliser un montage volt-ampérométrique aux bornes d'un enroulement statorique et d'alimenter le montage par une tension continue et faible. La lecture de ces grandeurs (intensité et tension) permet de déterminer la résistance  $R_S$ .

Les valeurs lues sont :  $V = 22 \text{ v}$                        $I_{S0} = 0.92 \text{ A}$

Donc :

$$R_S = V / I_{S0} = 22 / 0.92 = 23.9 \Omega$$

**Remarque :** les mesures sont réalisées à chaud.

### III-4-Essai à rotor bloqué ( $g=1$ )

On bloque le rotor et on alimente le moteur sous tension réduite (15% à 20%  $U_n$ ). Le moteur fonctionne donc comme un transformateur dont le secondaire est en court-circuit. Le courant magnétisant est très faible (négligeable) donc  $I_1 = I_2$

Dans cette manipulation on agit sur la tension d'alimentation et on alimente le moteur sur une tension réduite pour que le bobinage ne soit pas détruit. La valeur de la tension exprimée est  $V_{cc}=72V$ , et le courant 2.5A.

Ce qui nous permet de déterminer  $R_2'$  et  $X_2' = X_1$ .

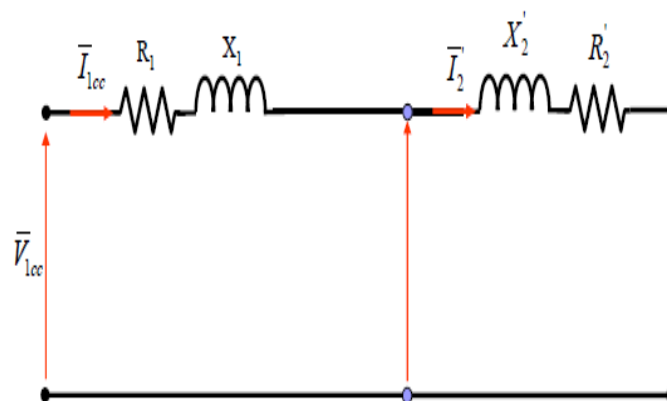


Figure III-2 : Schéma équivalent en essai à rotor bloqué

$$V_{1cc} = Z_{1cc} \cdot I_{1cc} \Rightarrow |Z_{1cc}| = V_{1cc} / I_{1cc} = (72 / 1.44) \sqrt{3} = 49.88 \Omega$$

$$P_{1cc} = 3R_1 I_{1cc}^2 + 3R_2' I_{1cc}^2$$

$$R_2' = (P_{1cc} - 3R_1 I_{1cc}^2) / 3I_{1cc}^2$$

$$R_2' = (P_{1cc} / 3I_{1cc}^2) - R_1 = (235 / 3(2.08)^2) - 23.9 = 13.76 \Omega$$

Hypothèse  $\dot{X}_2 = X_1$

$$\overline{Z_{1CC}} = (R_1 + \dot{R}_2) + j2X_1$$

$$|Z_{1CC}^2| = (R_1 + \dot{R}_2)^2 + 4X_1^2$$

$$X_1 = 1/2\sqrt{Z_{1CC}^2 - (R_1 + \dot{R}_2)^2}$$

$$X_1 = 1/2\sqrt{(49.88)^2 - (23.9 + 13.76)^2} = \mathbf{16.35 \Omega}$$

*L'inductance de fuite statorique*

$$\mathcal{L}_1 = X_1/\omega = 16.35/314 = \mathbf{0.052 H}$$

*Remarque*

Pour l'application numérique voir (Annexe tableau 3)

### **III-5-Essai à vide ( $g=0$ )**

Le bilan de puissance de l'essai à vide sous tension nominal puis à tension décroissante permet de déterminer :

- Les pertes joule à vide ( $R_s$  a été mesurée précédemment)
- Les pertes fer
- Les pertes mécaniques

On mesure  $P_{10}$  et  $V_{10}$  et d'après la figure(III – 2) on déduit la réactance de magnétisation  $X_m$  [13].

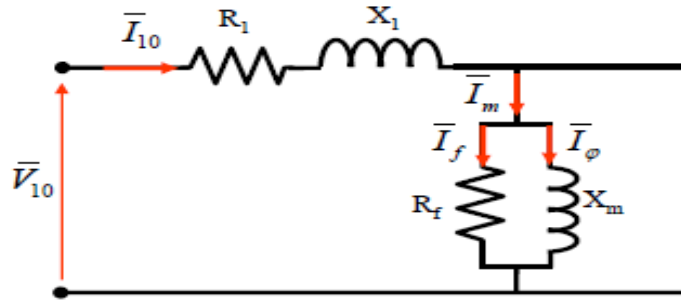


Schéma équivalent lors de l'essai à vide

Figure III-3 : Schéma équivalent en essai à vide

Détermination des paramètres  $R_f$  et  $X_m$

$$|Z_{10}| = \frac{V_{10}}{I_{10}} = \left(\frac{380}{1.35}\right)\sqrt{3} = 487.54 \Omega$$

$$Z_{10} = R_1 + R_f + j(X_m + X_1) = V_{10}/I_{10}$$

$$Z_{10}^2 = (R_1 + R_f)^2 + (X_m + X_1)^2$$

$$X_m = \sqrt{Z_{10}^2 - (R_1 + R_f)^2} - X_1$$

$$P_{10} = 3(R_1 + R_f)I_{10}^2 + P_{\text{méc}} \Rightarrow R_f = [(P_{10} - P_{\text{méc}})/3I_{10}^2] - R_1$$

$$R_f = [(100 - 30)/3(0.78)^2] - 23.9$$

$$R_f = 14.45 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{(487.54)^2 - (23.9 + 14.45)^2} - 16.35 = 469.68 \Omega$$

Pour l'application numérique voir (Annexe tableau 2)

$$X_{S1} = X_m + X_1 = 469.68 + 16.35 = 486.02 \Omega$$

L'inductance statorique :

$$L_1 = X_1/2 * \pi * 50 = 486.02/314 = 1.54 \text{H}$$

### III-5-1-Détermination graphique des pertes

La séparation des pertes fer et des pertes mécaniques est réalisée grâce à leurs propriétés respectives [8]

- Les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension.
- La vitesse à vide du moteur est constante.

On mesure donc la puissance absorbée et le courant statorique pour des tensions décroissantes à partir de la tension nominale. Retranchant les pertes joules, on obtient la somme des pertes fer et mécaniques.

$$P_{10} - 3(R_1)I_{10}^2 = P_{\text{fer}}(V_S^2) + P_{\text{méc}}$$

Dans un fonctionnement à vide, le moteur asynchrone absorbe une puissance  $P_{10}$  qui correspond à la somme des pertes mécaniques, ferromagnétiques (fer) et Joules au stator. En traçant la courbe de la puissance  $P_f + P_{\text{méc}}$  en fonction du carré de la tension d'alimentation, on obtient en principe une droite dont le prolongement jusqu'à la tension nulle donne les pertes :[13]

$$P_{\text{méc}} \approx 30 \text{ w}$$

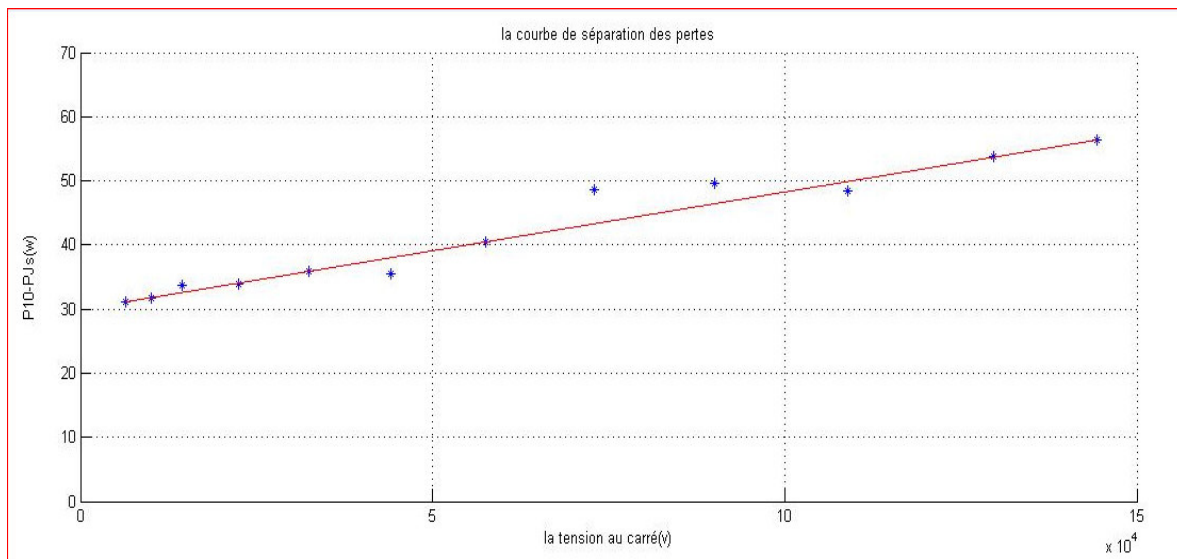


Figure III-4 : La courbe de la séparation des pertes fer et mécanique

### III.5.2. Identification des paramètres mécaniques:

#### III .5.2.1.Introduction

Les équations électriques sont liées à l'équation mécanique par la position angulaire du rotor qui intervient donc l'expression des inductances mutuelles stator-rotor.

$$J.(d\Omega/dt) = C_{mot} - C_{res}$$

Il est donc nécessaire d'identifier les paramètres suivants :

L'inertie  $J$  des masses en rotation ramenée au rotor en tenant compte des éventuels dispositifs de conversion du mouvement de rotation (réduction de vitesse).

#### Le couple résistant $C_{res}$

Le couple résistant est la somme des couples provenant :

- Des frottements au niveau des paliers (frottement visqueux ou dynamique).
- De la ventilation du moteur.



- De la charge entraînée.

En fonction de leur nature, les charges mécaniques présentes différentes allures du couple résistante en fonction de la vitesse à titre d'exemples :

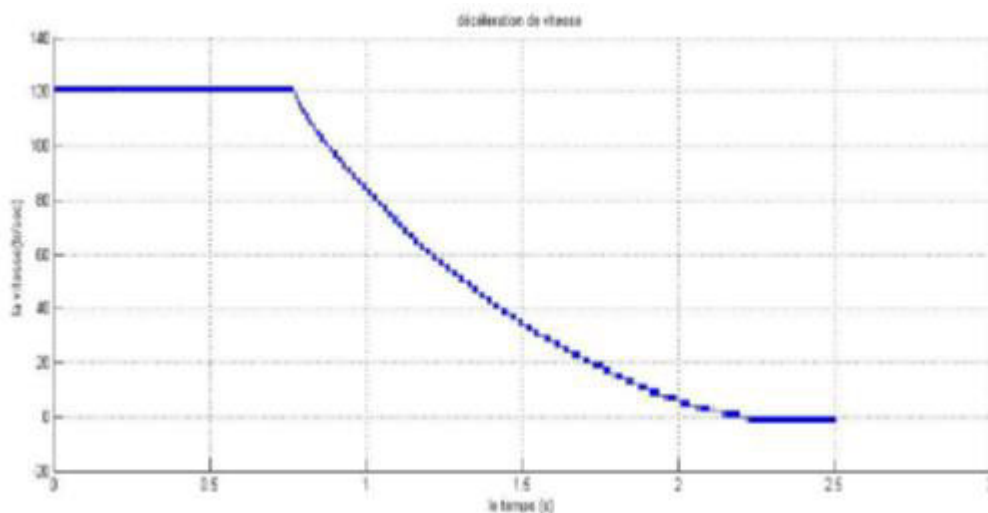
- Couple constante (engins de lavage).  $C_{res} = a$
- Couple proportionnel à la vitesse (frottement visqueux)  $C_{res} = b\Omega$
- Couple proportionnel au carrée de la vitesse (pompes, ventilateur, centrifuges)  
 $C_{res} = C\Omega^2$
- Dans notre cas l'équation générale du couple résistant est :

$$C_{res} = a + b\Omega$$

### III 5.2.2. Essai de ralentissement

La détermination du coefficient de frottement visqueux et du moment d'inertie est basée sur la mesure des pertes mécaniques lorsque la machine tourne à une vitesse donnée et sur le relevé de la courbe de ralentissement.

D'après la (*figure III-5*) le moment d'inertie  $J$  peut être calculée par :



*Figure III-5-Essai de ralentissement*

$$J = \frac{P_{\text{méc}}}{\Omega_n \left( \frac{d\Omega}{dt} \right)_{\Omega_n = \Omega}} \quad (\text{III} - 1)$$

Cette relation montre que la mesure du moment d'inertie  $J$  dépend de la précision avec laquelle la puissance mécanique est déterminée. Le relevé de la courbe de ralentissement et son approximation par une fonction analytique permet de calculer la dérivée de la vitesse.

$$\frac{d\Omega}{dt} \cong 2\pi \frac{\Delta N}{\Delta t} \frac{1}{60} \quad (\text{III} - 2)$$

$$\text{et } \Omega_n \cong 2\pi \frac{N_N}{60} \quad (\text{III} - 3)$$

Application numérique :

Avec les valeurs suivantes :

$$P_{\text{méc}} = 30 \text{ w}$$

$$\Delta N = N = 2920 \text{ tr/min} \quad \Delta t = 4.5 \text{ s}$$

On trouve :

$$J = 0.0027606 \text{ Kg.m}^2$$

Le coefficient de frottement peut être calculée par :

$$f = \frac{J}{\Delta t}$$

Application numérique :

$$f = 0.00061 \text{ Nm/s}$$

## Les paramètres du moteur obtenus

$\mathcal{L}_1$ l'inductance de fuite statorique	<b>0.052H</b>
$R_1$ Résistance d'une phase statorique	<b>23.9<math>\Omega</math></b>
$X_1$ réactance de fuite statorique	<b>16.35<math>\Omega</math></b>
$R_2$ Résistance rotorique ramené au stator.	<b>13.76<math>\Omega</math></b>
$R_f$ la résistance équivalente aux pertes fer.	<b>14.45<math>\Omega</math></b>
$L_1$ l'inductance statorique	<b>1.54H</b>
$L_2$ l'inductance rotorique	<b>1.54H</b>
$X_{s1}$ Réactance statorique	<b>486.02 <math>\Omega</math></b>
$X_m$ Réactance magnétisant	<b>469.68 <math>\Omega</math></b>
$f$ coefficient de frottement	<b><math>f = 0.00276 \text{ Nm/s}</math></b>
$J$ moment d'inertie	<b><math>J = 0.00061 \text{ Kg.m}^2</math></b>

## III.6.L'allure de vitesse à vide par expérience

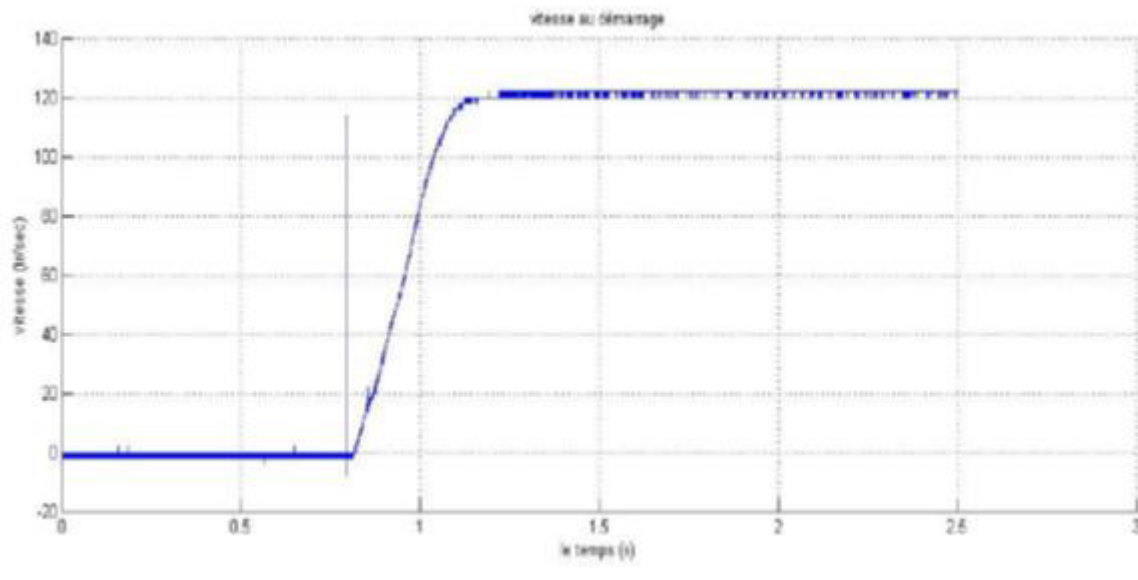


Figure III-6-La courbe de la vitesse à vide

### III.7.Simulation du modèle de la machine

Les paramètres du moteur utilisés pour la simulation sont ceux identifiés précédemment.

#### III.7.1.Schéma de simulation:

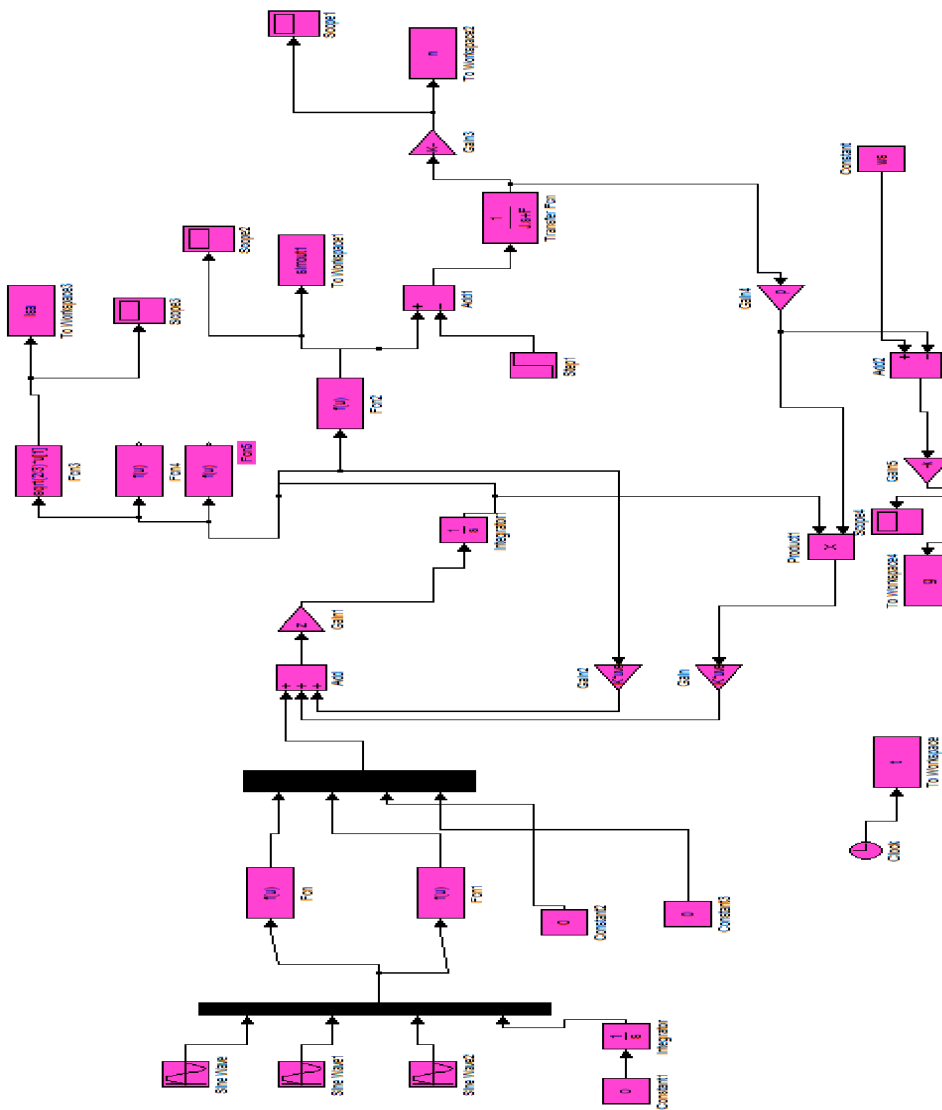
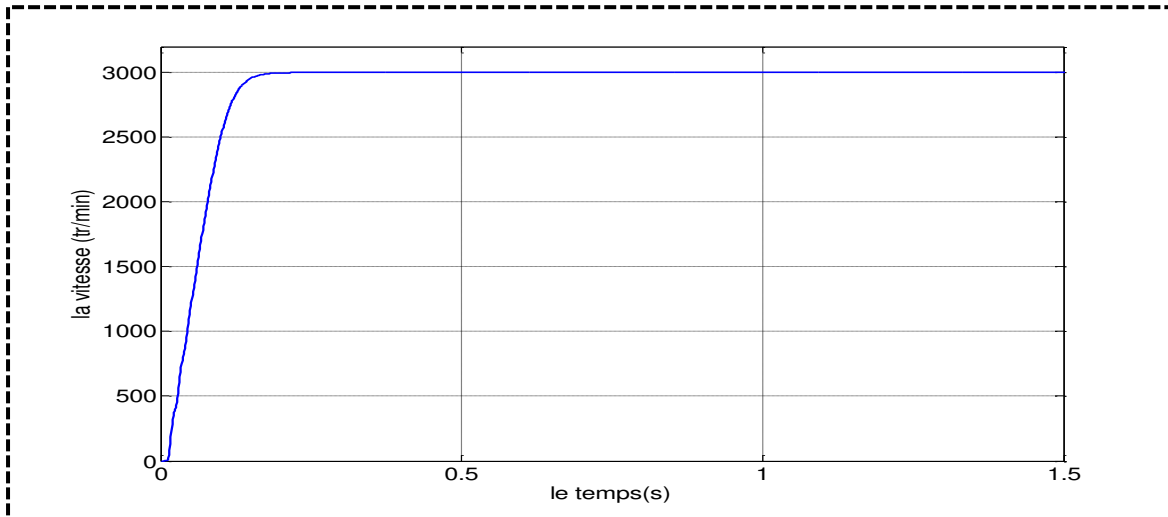


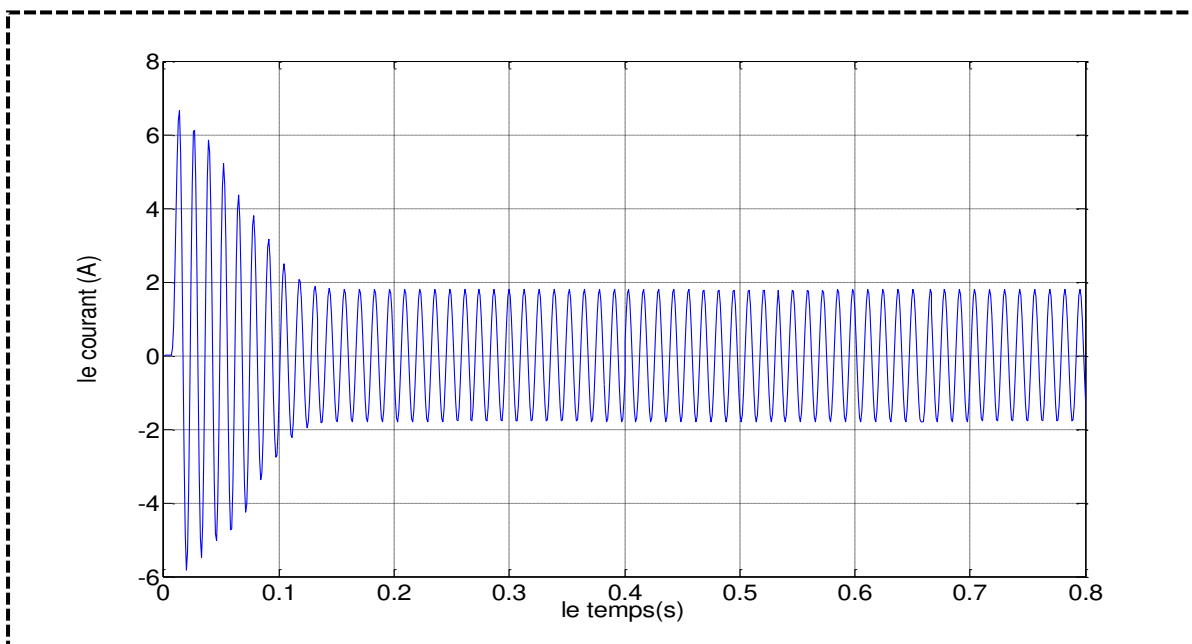
Figure III.7.Schéma bloc de simulation de la machine asynchrone

### III.7.2. Résultats de simulation [18]

Les résultats de la simulation obtenu (courant et vitesse) de la machine asynchrone en utilisant les paramètres identifier est appliqué dans le schéma bloc dans (*Figure III.7*)



*Figure III-8-La simulation de la vitesse de démarrage*



*Figure III-9-La simulation du courant de démarrage*

### III.7.3.interprétation des résultats [18]

Le démarrage sous la pleine tension à vide, permet d'avoir en établissement rapide des courant statorique et la vitesse de rotation de moteur (*Figure III-8*) (*Figure III-9*).Le temps de démarrage est de **0.15 s**.

Le régime transitoire du courant de phase a une durée équivalente au temps de démarrage avec un pic de 7(A) lors des premiers instants de la mise sous tension (*Figure III-9*).

On comparant la courbe obtenue lors de la simulation avec ceux de l'expérience :

Ils ont la même allure avec petite erreur au niveau de la courbe de vitesse ce la est due à la précision des valeurs des paramètres obtenus par les essais de la méthode classique.

### III.8.Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé de faire la manipulation du moteur asynchrone triphasé pour identifier les différents paramètres du modèle du schéma équivalent qu'il le caractérise à savoir :  $(R_s, R_r, X_m, X_s, X_r, J, f)$  en utilisant les essais suivants :

- ❖ Essai à vide
- ❖ Essai de ralentissement
- ❖ Essai à rotor bloqué
- ❖ Essai de séparation des pertes

Les résultats de simulation obtenus (courant et vitesse) de la MAS en utilisant les paramètres identifiés sont comparables avec ceux de l'expérience.

# **Conclusion**

## **générale**

### ***Conclusion générale***

L'identification, bien qu'elle apparaisse simple à faire, nécessite autant de connaissance physique sur le processus que de connaissances mathématiques pour mettre en œuvre une méthode d'identification. En effet, avant de passer à l'étape quantitative qui est la détermination des valeurs numériques des paramètres, il faut d'abord faire une modélisation.

La modélisation par schéma équivalent du moteur asynchrone qui est la modélisation la plus représentative, a permis d'élaborer un modèle plus simple à manipuler et valide pour les divers régimes de fonctionnement.

La deuxième étape de l'identification est une étape quantitative qui demande de nombreux essais sur la machine. Les essais que nous avons fait au laboratoire (essai à vide, essai à rotor bloqué, essai de ralentissement) ont permis de déterminer les paramètres du modèle du schéma équivalent du moteur.

Les résultats de simulation obtenus (la vitesse et le courant) de la machine asynchrone en utilisant les paramètres identifiés. Son comparable avec ceux de l'expérience.



## ***Bibliographie***

---

[1] : **Zaidi Saida**

Commande non linéaire du moteur à induction « université de Batna »

[2] : **Boucheritte wafa Et Souidi chafia**

Diagnostic des défauts du moteur asynchrone par les techniques de traitement de signal « université de Biskra 2007/2008 »

[3] : **Chibani Chadli Et Saci Fayçal**

Commande vectorielle de la MAS alimentée par un onduleur à MLI vectorielle « Ecole Nationale Polytechnique 2005 »

[4] : **HerracheSaid Et Khalfaoui Khaled**

Étude et analyse des procédés de démarrage des motrices asynchrones triphasées « universités de M' SILA 2005/2006 »

[5] : **Aouina Habib Et Ben Hammada Yazid**

Commande adaptative par modèle de référence d'une machine asynchrone « université de M'sila 2005/2006 »

[6] : **Zouaoui Fouzia et Saadi Aicha**

Etude et simulation du réglage de commande de vitesse d'un moteur « université de Biskra»

[7] : **Toumi Tarek Et Hamani Abd-Elhamid**

Identification du modèle d'état de la machine asynchrone par R.N.A. « université de Biskra 2006/2007»

[8]: **Charafddine**

Estimer le modèle d'état de la machine asynchrone par le filtre de Kalman standard « université de Biskra 2008 »

[9]: **MounaDebbi Et Sarah Bakhti**

Commande vectorielle d'une machine asynchrone a cage en présence des défauts rotoriques « université de M'sila 2005/2006 »

[10] : **Belkaibech Ali Et Maalmi Ali**

Commande à base d'un régulateur RST de la machine à induction « université de M'sila 2005/2006 »

## ***Bibliographie***

---

[11] : **Benferdia Youcef Et Tahari Mohame**

Commande vectorielle à base MRAS de la machine à induction

« université de M'sila 2005/2006 »

[12] : **Nadra Mahmoudi**

Optimisation par algorithmes génétiques application à la commande de la machine Asynchrone

« université de M'sila 2005/2006 »

[13] : **TINA SALAH EDINE**

Identification des paramètres d'un moteur asynchrone triphasé à cage en utilisant le schéma équivalent « université de Biskra 2013/2014 »

[14] : **F. ZIANE F. ZOUAOU**

Modélisation et identification des machines asynchrones a haut rendement par l'exploitation des algorithmes génétiques « université de M'sila 2005/2006 »

[15] : **GACEM Salah-Eddine Et GOUIZI Aissa**

Identification des systèmes non linéaires (machine asynchrone) par algorithme génétique

« université de Biskra 2005/2006 »

[16] : **MOKEDDEM Diab**

**[Thèse Présentée pour l'Obtention du Diplôme de Doctorat En Sciences en Electronique]**

Contrôle Flou des Processus Biotechnologiques à Base d'Algorithmes Génétiques

« université Férhat Abbas de Sétif en11 juillet 2010»

[17] : **M. Kamal BOUDJELABA**

**[Thèse Présentée pour l'Obtention du Diplôme de Doctorat En Sciences en Electronique]**

Contribution à la Conception des filtres Bidimensionnels les techniques de l'intelligence artificielle: Application au traitement d'images

« université Férhat Abbas de Sétif en11 juillet 2014»

[18] : **Boughazoula mohamed et charif mohamed**

Identification des paramètres d'un moteur asynchrone triphasé à cage « université de Biskra 2010/2011 »

[19] : **SAHRAOUI Dallal**

Identification paramétrique d'un pendule inversé simple par un algorithme génétique« université de Biskra 2013/2014 »

Le tableau 02 (Essai à vide)

V(v)	80	100	120	150	180	210	240
I(A)	0.32	0.33	0.34	0.39	0.45	0.52	0.60
P <sub>2</sub> (w)	+9.5	+6	+3.5	-7	-15	-30	-40
P <sub>1</sub> (w)	+24	+29	+33	+45	+55	+72	+90
P <sub>10</sub> (w)	+33.5	+35	+36.5	+38	+40	+42	+50
Q <sub>10</sub> (VAR)	25.11	39.83	51.09	90.06	121.24	176.67	225.16
P <sub>JS</sub> (w)	2.45	2.60	2.76	3.63	4.84	6.46	8.60
P <sub>10</sub> - P <sub>JS</sub> = P <sub>f</sub> + P <sub>méc</sub>	31.05	31.71	33.74	34	35.82	35.54	40.45
U <sup>2</sup> (v)*10 <sup>3</sup>	6.4	10	14.4	22.5	32.4	44.1	57.6

V(v)	270	300	330	360	380
I(A)	0.69	0.8	0.95	1.15	1.35
P <sub>2</sub> (w)	-50	-75	-100	-130	-180
P <sub>1</sub> (w)	+110	+140	+170	+215	+280
P <sub>10</sub> (w)	+60	+65	+70	+85	+100
Q <sub>10</sub> (VAR)	277.12	372.39	467.65	597.06	796.74
P <sub>JS</sub> (w)	11.38	15.29	21.57	31.60	43.55
P <sub>10</sub> - P <sub>JS</sub> = P <sub>f</sub> + P <sub>méc</sub>	48.62	49.71	48.43	53.7	56.45
U <sup>2</sup> (v)*10 <sup>3</sup>	72.9	90	108.9	129.6	144.4

Le tableau 03(Essai à rotor bloqué)

V <sub>CC</sub> (v)	72
I <sub>CC</sub> (A)	2.5
P <sub>2</sub> (w)	65
P <sub>1</sub> (w)	170
P <sub>CC</sub> (w)	+235
Q <sub>CC</sub> (VAR)	181.86

