



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électromécanique
Électromécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
BDIRINA ABDE SSAMAD

Le : lundi 27 juin 2022

Identification des paramètres de la machine asynchrone

Jury :

Dr	LALLA Widad	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Dr	KHLILI Fatiha	MCA	Université de Biskra	Président
Dr	TKOUTI Nacira	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021-2022



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Électromécanique

Électromécanique

Réf. :

Identification des paramètres de la machine asynchrone

Le : lundi 27 juin 2022

Présenté par :
Bdirina Abde ssamad

Avis favorable de l'encadreur :
Dr LALLA Widad

Signature Avis favorable du Président du Jury

KHLILI Fatiha

Cachet et signature

Résumé

Le moteur asynchrone est devenu le moteur électrique le plus utilisé dans tous les domaines de la conversion électromagnétique, grâce à sa puissance, sa faible maintenance et son coût modéré. Le grand développement de l'électronique de puissance et des micro-ordinateurs permet l'utilisation de moteurs asynchrones dans l'entraînement à fréquence variable.

Le but de notre travail est de déterminer les paramètres d'un moteur asynchrone de deux manières, la méthode classique et la méthode de l'algorithme génétique.

Premièrement, nous donnons des informations générales sur le moteur asynchrone triphasé.

Ensuite, nous avons expliqué la méthode classique de définition des modes du moteur électrique asynchrone et nous avons appliqué des expériences sur un moteur triphasé dans le laboratoire pédagogique de l'université pour définir les différents modes (électriques et mécaniques) du moteur.

Ensuite, nous avons utilisé l'expression du couple comme fonction de coût de l'algorithme génétique pour l'identification

ملخص

اصبح المحرك غير المتزامن هو الأكثر استخدامًا بين المحركات الكهربية في جميع مجالات التحويل الكهرومغناطيسي ، وذلك بفضل قوتها ، صيانتها منخفضة وتكلفة معتدلة. التطور الكبير في إلكترونيات تسمح الطاقة وأجهزة الكمبيوتر الصغيرة باستخدام المحركات غير المتزامنة في تدريب التردد المتغير

الهدف من عملنا هو تحديد معالم محرك غير متزامن بطريقتين طريقة الكلاسيكية وطريقة الخوارزمية الجينية

اولا قمنا باء عطاء معلومات عامة حول المحرك اللااتزامني ثلاثي الاطوار.

ثم قمنا بشرح الطريقة الكلاسيكية لتعريف وسائط المحرك الكهربائي اللااتزامني وقمنا بتطبيق تجارب على محرك ثلاثي الاطوار. في المخبر البيداغوجي للجامعة لتعريف مختلف وسائط (الكهربائية والميكانيكية) للمحرك

ثم استخدمنا التعبير عزم الدوران كدالة تكلفة للخوارزمية الجينية لتحديد الهوية

Sommaire

Introduction	1
Chapter I	3
Généralités sur les moteur asynchrones.....	3
I.1 Introduction.....	4
I.2 La constitution de la machine asynchrone	4
I.2.1 Stator	4
I.2.2 Le rotor	5
I.2.2 .1 Le rotor bobiné	5
I.2.2 .2 Rotor à cage:.....	6
I.2.2.3 Rotor à double cage	6
I.2.2.4 Rotor à encoches profondes	7
I.3 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone	7
I.4 Le glissement	8
I.5 Les différents régimes de fonctionnement de la machine asynchrone	8
I.6 Bilan de puissance	8
I.6.1 La puissance électrique absorbée	9
I.6.2 Les pertes par effet joule dans le stator	9
I.6.3 Les pertes fer au stator	9
I.6.4 Le couple électromagnétique	9
I.6.5 Puissance transmise au rotor	10
I.6.6 Pertes par effet joule dans le rotor	10
I.6.7 Les pertes fer au rotor	10
I.6.8 Puissance mécanique	10
I.6.9 Les Pertes mécaniques	11
I.6.10 puissance utile	11
I.6.11 Le couple utile C_u	11
I.7 Le rendement	11
I.8 Démarrage de la machine asynchrone	12
I.8.1 Démarrage direct	12

I.8.2 Démarrage étoile triangle	12
I.8.3 Démarrage par autotransformateur	12
I.8.4 Démarrage par résistance statorique	12
I.8.5 Démarrage par résistance rotorique	13
I.9 Freinage des moteurs asynchrones	13
I.9.1 Arrêt libre	13
I.9.2 Arrêt contrôlé	13
I.9.3 Freinage par un courant continu	13
I.9.4 Freinage hyper-synchrone	13
I.9.5 Freinage à contre-courant	13
I.10 Variation de vitesse d'un moteur asynchrone	14
I.11 Caractéristiques du moteur asynchrone	14
I.11.1 Fonctionnement à vide	14
I.11.2 Fonctionnement en charge	14
I.11.1 Caractéristique mécanique couple-vitesse	15
I.11.3 Point de fonctionnement du moteur en charge	15
I.11.4 Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges	16
I.11.5 Résumé des caractéristiques	17
I.12 Plaque de branchement du moteur	18
I.13 Couplage des enroulements d'une machine asynchrone	18
I.13 .1 Couplage en triangle des enroulements	19
I.13 .2 Couplage en étoile des enroulements	19
I.14 Plaque signalétique	19
I.15 Modélisation de la machine asynchrone triphasée	20
I.15 1 Equations électriques	21
I.15 .2 Equations magnétiques (des flux)	21
I.15 .3 Equations mécaniques (couple)	22
I.16 Avantages et inconvénients de la machine asynchrone	23
I.16.1 Avantages	23
I.16.2 Inconvénients	23
I.17 Conclusion	23
Chapter II.....	24
Identification des paramètres de la machine asynchrone	24
II.1 Introduction	25

II.2 Schéma équivalent de la machine asynchrone à cage d'écureuil	25
II.2 .1 Schéma équivalent du stator et rotor	25
II.3 Identification des paramètres du moteur asynchrone par la méthode classique	27
II.3 .1 Essai à vide	27
II.3 .2 Essai à rotor bloqué :	28
II.4 Calcul des performances à partir du schéma équivalent	30
II.5 Identification expérimentale des paramètres du MAS	32
II.5 .1 Mesure des résistances statoriques	32
II.5 .2 Essai à rotor bloqué (g=1)	32
II.5.2.1 Calcul de $R'2$	33
II.5.2.2 Calcule de $X1$ et $X'2$	34
II.5.3 Essai à vide (g=0)	35
II.5.3.1 Calcul de la réactance Xm :	37
II.6 Identification des paramètres mécaniques :	39
II.6.1 Introduction	39
II.6.2 Le couple résistant $Cres$ [18].....	39
II.6.3 Essai de ralentissement (détermination des grandeurs mécanique J et $f r$ avec	40
II.7 Conclusion	42
Chapter III Algorithme génétique	42
III.1 INTRODUCTION	43
III.2 L'algorithme génétique	43
III.3 Principes de base des AG	44
III.4 Opérateurs Génétique	45
III.4.1 Sélection	45
III.4.1.1 La sélection par classement (rang)	46
III.4.1.2 La sélection par la roulette	46
III.4.1.3 La sélection par tournoi	47
III.4.2 Croisement	47
III.4.2.1 Le croisement à un point	47
III.4.2.2 Le croisement à deux points.....	47
III.4.2.3 Le croisement uniforme	47
III.4.3 Opérateur de mutation	48
III.4.4 Le codage	48
III.4.4.1 Le codage binaire	49

III.4.4.2 Le codage réel	49
III.5 Les critères de convergence	49
III.5.1 Nombre maximal de générations.....	49
III.5.2 Critère sur l'évolution du meilleur individu.....	50
III.6 Test d'arrêt	50
III.7 Procédure d'identification des paramètres du moteur asynchrone par les algorithmes génétiques :	50
III.8 Application de l'algorithme génétique modifié pour l'identification des paramètres du moteur asynchrone	52
III.9 Conclusion	53
Conclusion.....	54
Annexes.....	57
Annexe1.....	58
Annexe2.....	59
Liste des références.....	61

Liste de figures

Chapitre I

Figure I.1 La machine asynchrone	4
Figure I.2 Stator de la machine asynchrone	5
Figure I.3 rotor bobbin	6
Figure I.4 rotor à cage d'une machine asynchrone	6
Figure I.5 schéma de fonctionnement de moteur asynchrone	8
Figure I.6 bilan de puissance d'un moteur asynchrone	9
Figure I.7 Caractéristique mécanique du moteur asynchrone	15
Figure I.8 Point de fonctionnement du moteur	16
Figure I.9 Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges	17
Figure I.10 plaque à borne	18
Figure I.11 Couplage en triangle	19
Figure I.12 Couplage en étoile	19
Figure I.13 Plaque signalétique	19
Figure I.14 Représentation schématique d'une machine asynchrone triphasée	20

Chapter II

Figure II.1 Schéma équivalent par phase d'un moteur asynchrone triphasé	25
Figure II.2 Circuit équivalent de stator.	25
Figure II.3 Circuit équivalent de rotor.	26
Figure II.4 Schéma équivalent d'une phase d'un moteur asynchrone triphasé	26
Figure II.5 Schéma équivalent d'une phase d'un moteur asynchrone triphasé sans prise en compte les pertes fer.	26
Figure II.6 Schéma équivalent lors de l'essai à vide	27
Figure II.7 caractéristique de séparation des pertes	28
Figure II.8 La résistance R_f est la seule responsable des pertes fer.	28
Figure II.9 schéma équivalent en essai à rotor bloqué ($g=1$)	29
Figure II.10 Montage expérimental	32
Figure II.11 Schéma équivalent d'un moteur asynchrone triphasé sans prise en compte les pertes fer.	32
Figure II.12 Montage électrique de l'essai à rotor bloqué	33
Figure II.13 schéma équivalent en essai à rotor bloqué ($g=1$)	33
Figure II.14 Schéma équivalent lors de l'essai à vide	35
Figure II.15 la courbe de la séparation des pertes fer et pertes mécanique du moteur	37
Figure II.16 montage de l'essai de ralentissement.	40
Figure II.17 L'allure de la phase transitoire de la vitesse avec l'oscilloscope.	41

Chapter III

Figure III.1 les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique	44
Figure III.2 Principe du fonctionnement d'un algorithme génétique	45
Figure III.3 Roulette.	46
Figure III.4 Croisement avec deux points	47
Figure III.5 Croisement Uniforme	48
Figure III.6 Opérateur de mutation d'un bit	48
Figure III.7 illustration schématique du codage des variables réelles	49
Figure III.8 Identification des paramètres par un algorithme génétique	51

Liste des tableaux

Tableau 1 Résultats de d'essai rotor bloquée	33
Tableau 2 coefficient empiriques de distribution des réactances de fuite asynchrones	34
Tableau 3 Résultats de l'essai à vide du moteur.	36
Tableau 4 Paramètre du modèle d'une phase de moteur asynchrone	52
Tableau 5 Les Caractéristiques de l'Algorithme Génétique avec codage modifié	53

Symboles et notation

N_s	La vitesse synchrone
Ω_s	La Vitesse angulaires synchrone
ω_s	Pulsation statorique
N_r	La vitesse rotorique
Ω_r	La vitesse angulaire réelle
ω_r	Pulsation rotorique
g	Le glissement
P	Le nombre de pair de pôles
$2P$	Le nombre de pôles
P_a	La puissance absorbée
P_u	La puissance util
$\cos \varphi_1$	Facteur de puissance
I_s	Le courant statorique
I_r	Le courant rotorique
P_{js}	Les pertes joule statorique
P_{fs}	Les pertes fer statorique
P_{tr}	La puissance transmise
P_e	La puissance électromagnétique
P_{fr}	Les pertes fer rotorique
P_{jr}	Les pertes joule rotorique

P_m	Les pertes mécaniques
C_{em}	Le couple électromagnétique
C_u	Le couple utile
C_r	Le couple résistant
μ	Le rendement
f	La fréquence
f_R	La fréquence rotorique
P	La puissance active
Q	La puissance réactive
$[L_s]$	Matrice d'inductances statorique
$[L_r]$	Matrice d'inductances rotorique
$[M_{sr}]$	Matrice de l'inductance mutuelle du couplage entre stator-rotor
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
m_{sr}	Maximum de l'inductance mutuelle entre phase du stator et la phase correspondante du rotor
R_1	Résistance d'une phase statorique
R'_2	Résistance rotorique ramené au stator
X_1	Réactance de fuite statorique
X'_2	Réactance rotorique de fuite ramené au stator
L_1	Inductance de fuite statorique
L'_2	Inductance rotorique de fuite ramené au stator
R_f	La résistance équivalente aux pertes fer
X_m	Réactance magnétisante
L_m	Inductance magnétisante

L_{sc}	Inductance cyclique statorique
X_{μ}	Réactance fuite magnétisante
J	Le moment d'inertie
f_r	Le coefficient de frottement
l_m	Inductance mutuelle entre le stator et le rotor
L_{μ}	Le courant magnétisant
V_s	Tension de source
m	Rapport de transformation
Z_1	Impédance d'une phase de l'enroulement statorique
Z_2	Impédance d'une phase de l'enroulement rotorique
Z_m	Impédance équivalente de la branche magnétisante
ω_{sl}	La fréquence de glissement
σ	Le coefficient de fuite total
τ_r	Temps du rotor
R_{sn}	Valeur nominale de la résistance du stator donnée par le fabricant du moteur asynchrone
R_{rn}	Valeur nominale de la résistance du rotor donnée par le fabricant du moteur asynchrone

Introduction Générale

Introduction générale

La machine asynchrone, de par sa construction, fait l'objet d'un intérêt accru dans le Domaine de l'industrie et occupe une large plage d'applications au détriment des machines Synchrones et à courant continu. Ceci est dû à sa robustesse, sa facilité d'intervenir en cas de Défaillance (maintenance), son faible coût par rapport aux autres machines en plus cette Machine possède une grande gamme de puissance.

Le présent travail traite l'identification paramétrique du moteur asynchrone triphasé à cage Par deux méthodes : la première, qui est une méthode classique, elle est basée sur les essais Expérimentaux. Tant disque, la deuxième repose sur une technique évolutionnaire.

Dans ce contexte le mémoire comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons fait un aperçue sur la machine asynchrone (MAS), tout en précisant ces différents types associés aux différentes structures du rotor.

Le deuxième chapitre a été destinée, en première partie à la description du modèle en Régime permanant de la MAS. Ensuite, comme seconde tâche, on entame à son identification Paramétrique par les essais pratiques.

Le troisième chapitre aura pour objet L'identification des paramètres du moteur Asynchrone en se basant sur les algorithmes génétiques.

Et enfin, une conclusion générale qui clôture ce travail.

Chapter I

Généralités sur les moteur asynchrones

I.1 Introduction

Le moteur asynchrone est une machine tournante appelé aussi moteur à induction, il fonctionne avec du courant alternatif. Sa particularité est de fonctionner avec un induit en court-circuit. Le mot **asynchrone** veut dire que le rotor ne tourne pas à la même vitesse que le champ statorique. Il existe deux types de moteur asynchrone :

- Moteur asynchrone monophasé.
- Moteur asynchrone triphasé.

Dans ce qui suit on s'intéresse au moteur asynchrone triphasé. [1]

I.2 La constitution de la machine asynchrone :

Les machines asynchrones triphasées peuvent se décomposer en trois parties :

- le stator, partie fixe de la machine.
- le rotor, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique.
- les éléments mécaniques, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur et la protection du moteur. [9]

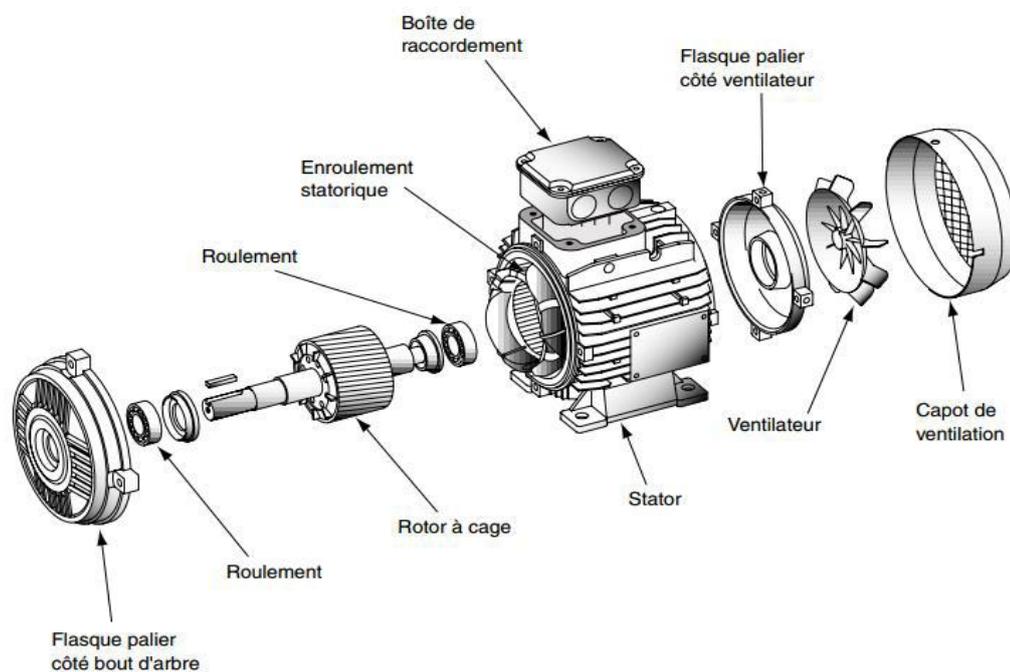


Figure I.1 La machine asynchrone [9]

I.2.1 Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans Les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est un empilement de tôles fines d'acier

découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. Les tôles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Le bobinage statorique peut être décomposé en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer un champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes des bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique. [2]

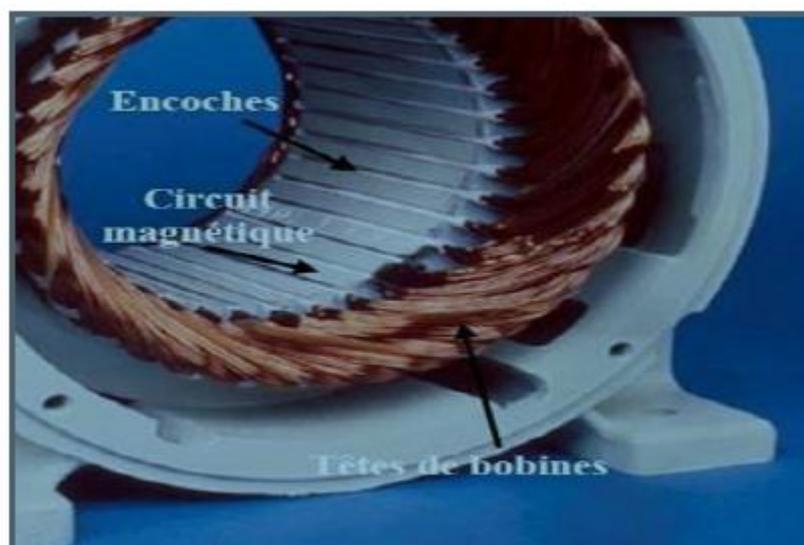


Figure I.2 Stator de la machine asynchrone [2]

I.2.2 Le rotor :

C'est la partie mobile du moteur. Il est placé à l'intérieur du stator et est constitué d'un empilage de tôles d'acier formant un cylindre claveté sur l'arbre du moteur. Parmi les types les plus utilisés on distingue. [8]

I.2.2 .1 Le rotor bobiné :

Est construit de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans leurs encoches rotoriques). Les phases rotoriques sont alors accessibles grâce à un système de bagues- balais positionné sur l'arbre de la machine. [2]

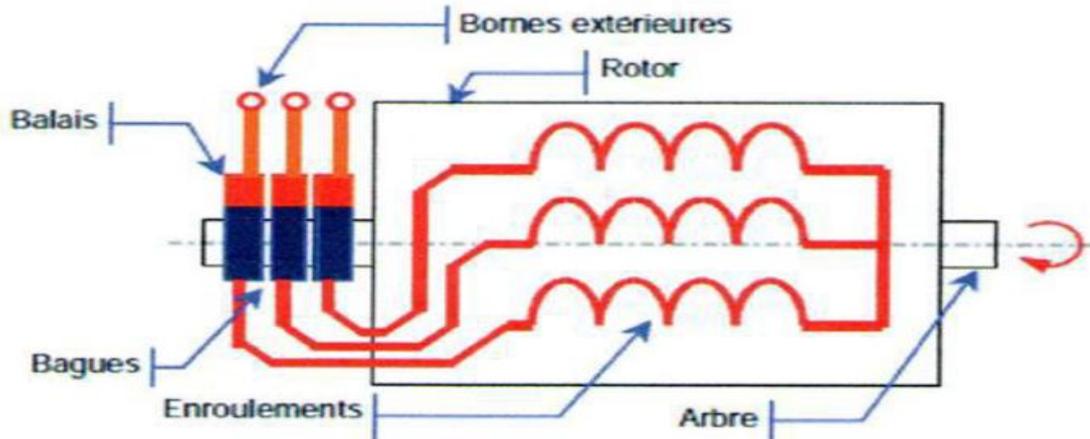


Figure I.3 rotor bobbin [2]

I.2.2.2 Rotor à cage:

Dans des encoches disposées vers l'extérieur du cylindre et parallèlement à son axe sans placer des conducteurs. A chaque extrémité, ceux-ci sont raccordés sur une couronne métallique. L'ensemble a l'aspect d'une cage d'écureuil, d'où le nom de ce type de rotor. Sur certains moteurs, la cage d'écureuil est entièrement moulée. L'aluminium injecté sous pression est fréquemment utilisé ; les ailettes de refroidissement, coulées ces moteurs ont un couple de démarrage relativement faible et l'intensité absorbée lors de la mise sous tension est très supérieur à l'intensité nominale. [8]



Figure I.4 rotor à cage d'une machine asynchrone [4]

I.2.2.3 Rotor à double cage :

Il comporte deux cages coaxiales :

- une cage externe à une résistance élevée, elle est active au démarrage pour réduire l'appel du courant et d'augmenter le couple.

- une cage interne (en cuivre) est moins résistive, elle est active en régime nominal et cela pour réduire les pertes par effet joule au rotor. [5]

I.2.2.4 Rotor à encoches profondes :

C'est un rotor à cage simple avec des barres très plates s'enfonçant dans le circuit magnétique. Au démarrage, et par effet de peau, le courant se localise dans la partie supérieure de la barre et donc la section utile réduite, la résistance augmente et le courant diminue. Mais au fonctionnement nominal, cet effet diminue avec l'augmentation de la vitesse et la diminution de la fréquence, ce qui va réduire la résistance des barres. [1]

I.3 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone :

Le principe de fonctionnement de la machine asynchrone est basé entièrement sur les lois de l'induction, la machine asynchrone est considérée comme un transformateur à champ magnétique tournant dont le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire en court-circuit.

Ce fonctionnement est reposé sur le principe de l'interaction électromagnétique du Champ tournant, créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. Lorsque le rotor tourne à une vitesse N_r différente du synchronisme, l'application de la loi de Faraday à un des roulements rotoriques montre que celui-ci devient le siège d'une force électromotrice $e = - \frac{d\phi}{dt}$ qui étant court-circuité sur les enroulements va donner naissance à un courant dont l'intensité est limitée par l'impédance de ce dernier. L'interaction entre ce courant et le champ glissant va donner naissance à des forces de Laplace ($d\vec{F} = i \cdot d\vec{L} \wedge \vec{B}$) s'exerçant sur le rotor dont le moment par rapport à l'axe de rotation constituera le couple de la machine. Lorsque le champ est sinusoïdal, sa vitesse de rotation est : [2]

$$N_s = \frac{f}{p} \text{ en } \frac{tr}{s} \quad \text{ou} \quad N_s = \frac{60f}{p} \text{ en } \frac{tr}{min} \quad (I.1)$$

f : est la fréquence d'alimentation.

p : représente le nombre de paires de pôles.

L'interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant (N_s) diffère de celle du rotor (N_r), c'est à dire lorsque $N_s \neq N_r$, car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $N_s = N_r$, le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique. [2]

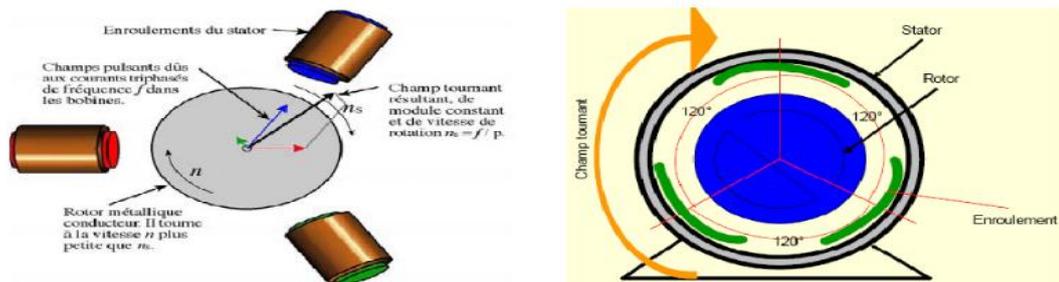


Figure I.5 schéma de fonctionnement de moteur asynchrone [4]

I.4 Le glissement :

Le glissement est l'une des grandeurs qui caractérisent le moteur asynchrone des autres moteurs, c'est l'écart entre la vitesse du champ tournant statorique et la vitesse de la rotation de la machine exprimée relativement à la vitesse synchrone, il est évalué comme suit

$$g = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (I.2)$$

Si le rotor tournait à la vitesse synchrone Ω_s , donc aussi vite que le flux tournant de stator, le flux à travers chacune des bobines rotoriques serait constant. Donc il y aurait plus de f.é.m. induite au rotor, donc plus de courant, plus de couple et plus de rotation [2]

I.5 Les différents régimes de fonctionnement de la machine asynchrone :

La machine asynchrone peut fonctionner en trois régimes à savoir la valeur de glissement :

- $0 \leq g \leq 1$: ($0 \leq N_r \leq N_s$)

La machine fonctionne en moteur.

- $-\infty < g < 0$: ($N_r > N_s$)

La machine fonctionne en génératrice.

- $g > 1$: ($N_r < 0$)

La machine fonctionne en frein. [2]

I.6 Bilan de puissance :

L'étude d'un moteur asynchrone commence par l'établissement du bilan de la puissance et des pertes dans la machine.

Lors de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, apparaît une énergie électrique électromagnétique. D'où le bilan de puissances suivant : [5]

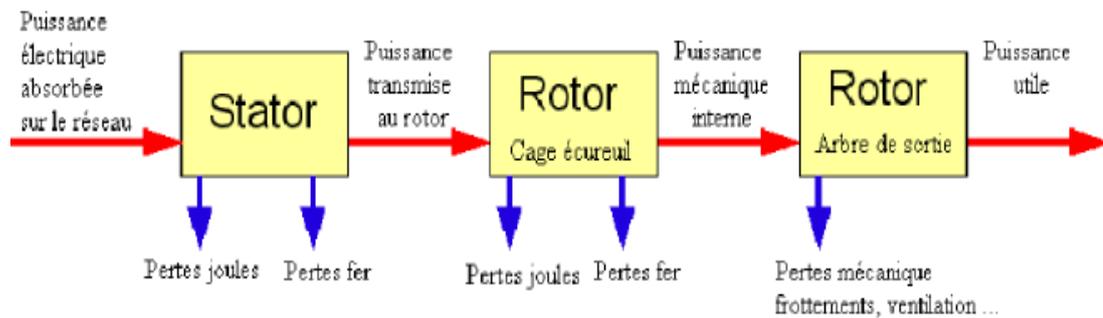


Figure I.6 bilan de puissance d'un moteur asynchrone [4]

I.6.1 La puissance électrique absorbée :

Lorsque le moteur est connecté à un réseau il absorbe une puissance active, quel que soit le couplage réalisé elle est donnée par la relation : [2]

$$P_a = \sqrt{3} U_s \cdot I_s \cos\varphi \quad (I.3)$$

Avec

P_a : la puissance électrique absorbée [W].

U_s : tension entre phases [V].

I_s : courant de ligne satoriques [A].

$\cos \varphi$: facteur de puissance.

I.6.2 Les pertes par effet joule dans le stator :

Elles dépendent de la résistance du bobinage et de l'intensité circulant dans les Conducteurs. : [2]

$$P_{js} = 3 \cdot R_s \cdot I_s^2 \quad (I.4)$$

P_{js} : pertes par effet joule dans le stator.

R_s : la résistance statorique.

I.6.3 Les pertes fer au stator :

Elles sont dues aux phénomènes d'hystérésis, aux courants de Foucault et aux fuites de Flux. Elles dépendent de la tension d'alimentation et de la fréquence de celle-ci. [2]

I.6.4 Le couple électromagnétique :

Les forces qui s'exercent sur le conducteur du rotor tournent à la vitesse Ω , elles glissent sur le rotor, qui lui fait tourner à la vitesse Ω_r on définit le couple électromagnétique.

$$C_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} = \frac{P_m}{\Omega_r} \quad (I.5)$$

I.6.5 Puissance transmise au rotor :

Elle s'appelle aussi puissance électromagnétique, c'est la puissance que reçoit le rotor grâce au champ magnétique tournant. Elle est donnée par la relation. [2]

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs}) = C_{em} \cdot \Omega_s \quad (I.6)$$

Avec :

P_{tr} : Puissance transmise au rotor [W]

P_a : la puissance électrique absorbée [W]

P_{js} : pertes par effet joule dans le stator [W]

P_{fs} : pertes fer au stator [W].

C_{em} : couple électromagnétique [N.m].

Ω_s : vitesse synchronisme [rad/s].

I.6.6 Pertes par effet joule dans le rotor :

C'est la puissance perdue par effet joule dans les conducteurs du rotor. Elle dépend de l'intensité des courants rotoriques qui résulte de la différence entre la vitesse angulaire du champ tournant et la vitesse angulaire du rotor, elles sont évaluées en utilisant le glissement par la formule suivante : [2]

$$P_{jr} = g \cdot P_{tr} \quad (I.7)$$

Avec :

P_{jr} : Pertes par effet joule dans le rotor [W].

g : glissement.

P_{tr} : Puissance transmise au rotor [W]

I.6.7 Les pertes fer au rotor :

C'est la puissance perdue dans le circuit magnétique du rotor. Ces pertes dépendent de la qualité du circuit magnétique rotorique. [2]

I.6.8 Puissance mécanique :

$$P_m = P_{tr} - (P_{jr} + P_{fr}) = P_{tr} \cdot (1 - g) \quad (I.8)$$

Avec :

P_m : Puissance mécanique [W].

P_{tr} : Puissance transmise au rotor [W].

P_{jr} : pertes par effet joule dans le rotor [W].

P_{fr} : pertes fer au rotor [W].

g : le glissement.

I.6.9 Les Pertes mécaniques :

Elles sont proportionnelles à la vitesse de rotation, regroupent les pertes par frottement et par ventilation. On peut les déterminer à l'aide d'un essai à vide. [5]

I.6.10 puissance utile :

La puissance utile est la puissance que fournit le moteur à la charge sous forme Mécanique

$$P_u = P_m - P_{mec} \quad (I.9)$$

Avec :

P_u : la puissance utile [W]

P_m : la puissance mécanique [W]

P_{mec} : pertes mécaniques [W]

I.6.11 Le couple utile C_u :

Le rotor tourne à la vitesse Ω_r et transmis à la charge une puissance utile P_u , l'action de ces force engendre le couple utile [2]

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega_r} \quad (I.10)$$

I.7 Le rendement :

Le rendement η est une grandeur qui exprime la performance d'un moteur asynchrone, elle est définie comme étant le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée [2]

$$\eta = \frac{P_a}{P_u}$$

P_a : puissance absorbée

P_u : puissance utile

Al'aide de chaine des pertes on peut ausse écrire :

$$\eta = \frac{P_{abs} - \sum p_{etes}}{P_{abs}} = \frac{P_{abs} - (P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_{mec})}{P_{abs}} \quad (I.11)$$

I.8 Démarrage de la machine asynchrone :

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant sur le réseau est très élevé, il peut être de 6 à 10 fois le courant nominal, ce qui peut perturber le réseau et aussi endommager le moteur. Pour résoudre ce problème plusieurs procédures de démarrage sont utilisées afin de limiter l'appel des courants à des valeurs tolérables [1]

I.8.1 Démarrage direct :

Ce mode de démarrage est utilisé pour les moteurs de faible puissance ($P_u < 1.5\text{KW}$). Il est le plus simple, dont lequel le stator est directement couplé sur le réseau, donc le moteur démarre sous ses caractéristiques naturelles. Il nous permet d'avoir un démarrage en moins de temps avec un couple élevé, mais l'appel de courant est très important c'est pour ça qu'il est déconseillé pour les moteurs de grande puissance. [1]

I.8.2 Démarrage étoile triangle :

Lors d'un démarrage étoile triangle, le moteur est d'abord connecté au réseau avec un Couplage étoile, et lorsque sa vitesse se stabilise on passe sur le couplage triangle. Cette procédure nous permet d'avoir un courant de démarrage trois fois plus faible que lors de démarrage direct en triangle, mais le couple de démarrage diminue également de la même quantité que le courant. Ce type de démarrage convient aux machines qui ont un faible couple résistant ou qui démarrent à vide (ventilateurs, compresseurs centrifuges, etc.). [1]

I.8.3 Démarrage par autotransformateur :

Dans ce mode de démarrage, le stator de la machine asynchrone est alimenté via un Auto transformateur qui permet d'effectuer un démarrage sous tension réduite. La tension est progressivement augmentée, ce qui nous donne la possibilité de contrôler le courant et le couple de démarrage. Ce mode de démarrage est généralement réservé à des moteurs de grande puissance ($P_u > 150\text{KW}$), car il conduit à des équipements relativement coûteux en raison du prix élevé de l'autotransformateur. [1]

I.8.4 Démarrage par résistance statorique :

Dans ce mode de démarrage on insère des résistances en série avec les enroulements statoriques ce qui a pour effet de limiter la tension à leurs bornes, et donc de limiter le courant de démarrage. Ce type de démarrage a pour conséquence la démunitions du couple de démarrage. Il ne peut être utilisé que pour les couples résistants faibles. [1]

I.8.5 Démarrage par résistance rotorique :

Ce type de démarrage ne peut être mis en œuvre qu'avec des moteurs à rotor bobiné muni de contact glissant (bagues et balais) permettant les connexions électriques des enroulements rotoriques, car on doit insérer des résistances de puissances (rhéostat de démarrage) en série avec ce dernier afin de réduire le courant de démarrage. Contrairement au courant, le couple peut atteindre sa valeur maximale vu au couplage direct. Par rapport à la cherté de cette procédure, ce couplage est réservé pour les moteurs de grande puissance. [1]

I.9 Freinage des moteurs asynchrones :

Dans un grand nombre d'applications, l'arrêt du moteur est obtenu simplement par Décélération naturelle. Le temps de décélération dépend alors uniquement de l'inertie et du couple résistant de la machine entraînée. Mais il est souvent nécessaire de freinage. [1]

I.9.1 Arrêt libre :

La mise hors tension du stator conduit à une décélération naturelle, ce qui va prendre un peu de temps pour l'arrêt complet [1]

I.9.2 Arrêt contrôlé :

On va réduire la tension statorique progressivement jusqu'à zéro, ce qui nécessite un Auto transformateur. [1]

I.9.3 Freinage par un courant continu :

Cette procédure consiste à envoyer un courant continu dans le stator préalablement Séparé du réseau. Ce courant continu crée un champ fixe dans la machine qui s'oppose au mouvement du rotor, et nous permet de contrôler le freinage par le contrôle de l'intensité du courant d'excitation. [1]

I.9.4 Freinage hyper-synchrone :

Son principe est d'imposer au moteur, via un variateur de fréquence, une fréquence Supérieur à celle du synchronisme, afin d'avoir la vitesse de rotation du rotor supérieur à celle du synchronisme. Il se comporte alors comme une génératrice asynchrone qui renvoie de l'énergie au réseau à la même fréquence, d'où la récupération de l'énergie. [1]

I.9.5 Freinage à contre-courant :

Le principe consiste, après avoir isolé le moteur du réseau, alors qu'il tourne encore, à le reconnecter sur le réseau en inversant deux phases (sens de rotation). C'est un mode de freinage très efficace avec un couple en général supérieur au couple de démarrage, et le courant appelé est

également très important (de l'ordre 10 à 12 fois le courant nominal). Les enroulements du moteur risquent un sur-échauffement : on peut prévoir des résistances supplémentaires afin de diminuer ce courant. [1]

I.10 Variation de vitesse d'un moteur asynchrone :

La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone est très proche de celle de synchronisme, elle est donnée en fonction de la fréquence, du nombre de paires de pôles et du glissement. Donc, pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone, il faut agir sur l'un de ces paramètres. [5]

I.11 Caractéristiques du moteur asynchrone :

I.11.1 Fonctionnement à vide :

Supposons qu'on ouvre les circuits secondaires ; c'est d'ailleurs possible pour certains types de moteurs, ceux à rotor bobiné. [13]

Si le primaire (stator) est relié à la source il y a des courants primaires mais il ne peut y avoir de courant secondaire donc de couple. Le moteur ne tourne pas ; il se comporte comme un transformateur à vide. [13]

Remarque :

- Le glissement à vide est nul ($g=0$).
- La facture de puissance à vide est très faible.
- Le courant débité est fort (P est petit et Q est grand). On parle alors de courant réactif ou magnétisant.

I.11.2 Fonctionnement en charge :

Quand les enroulements secondaires sont en court-circuit, les f.é.m. induit un système de courants secondaires. [13]

Au démarrage ($\Omega_r = 0$), les f.é.m. et les courants rotoriques ont la même fréquence f que les tensions et les courants primaires. Mais quand le moteur prend de la vitesse, la vitesse relative de $f.m.m$ primaire par rapport au rotor diminue ; il en est de même de la fréquence f_r de grandeurs rotoriques. [13]

Si Ω_s la vitesse synchrone, f_r la vitesse du rotor, la vitesse relative est $\Omega_s - \Omega_r$;

La pulsation de grandeurs rotorique est

$$\omega_r = \omega_s - \omega_r = \omega_s - \omega_r$$

et leur fréquence

$$Fr = (Ws - Wr) / 2\pi \quad , \quad \text{puisque } g = (Ws - Wr) / Ws \quad \text{donc} \quad (I.12)$$

$$Wr = g * Ws \quad ; \quad Fr = g * F$$

Les courants rotoriques de pulsation Wr créent un **f.m.m** dont la vitesse par rapport au rotor est $\Omega_s - \Omega_r$. Par rapport au stator, cette **f.m.m** a une vitesse

$$\Omega_r + (\Omega_s - \Omega_r)$$

Les deux **f.m.m** tournants statorique et rotorique tournent par rapport au stator à la vitesse Ω_s .

I.1.1 Caractéristique mécanique couple-vitesse :

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 figure 1.13 représente la courbe du couple résistant dépend de la charge. [11]

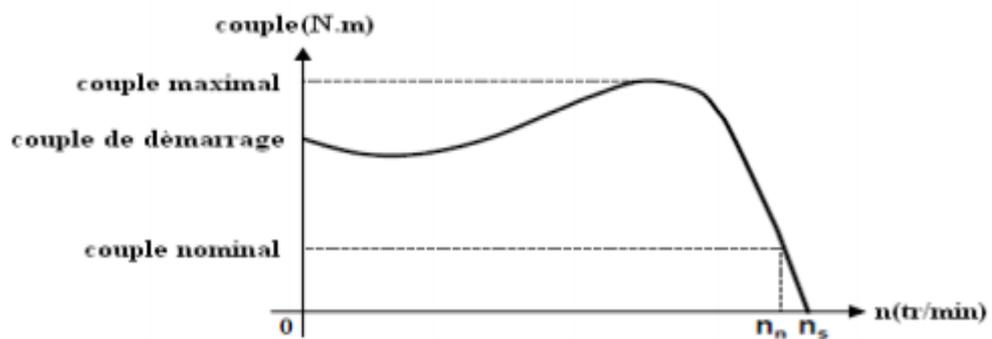


Figure I.7 Caractéristique mécanique du moteur asynchrone [11]

I.1.1.3 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, comme le présente la figure (1.12). La courbe du couple résistant dépend de la charge. [14]

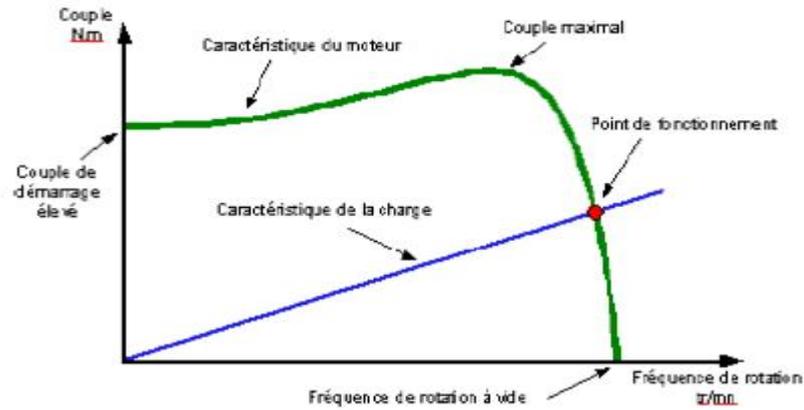


Figure I.8 Point de fonctionnement du moteur [14]

I.11.4 Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges :

Les courbes suivantes présentent la variation du couple en fonction de la vitesse de rotation de quelques charges comme la figure (1.13) est indiquée.[14]

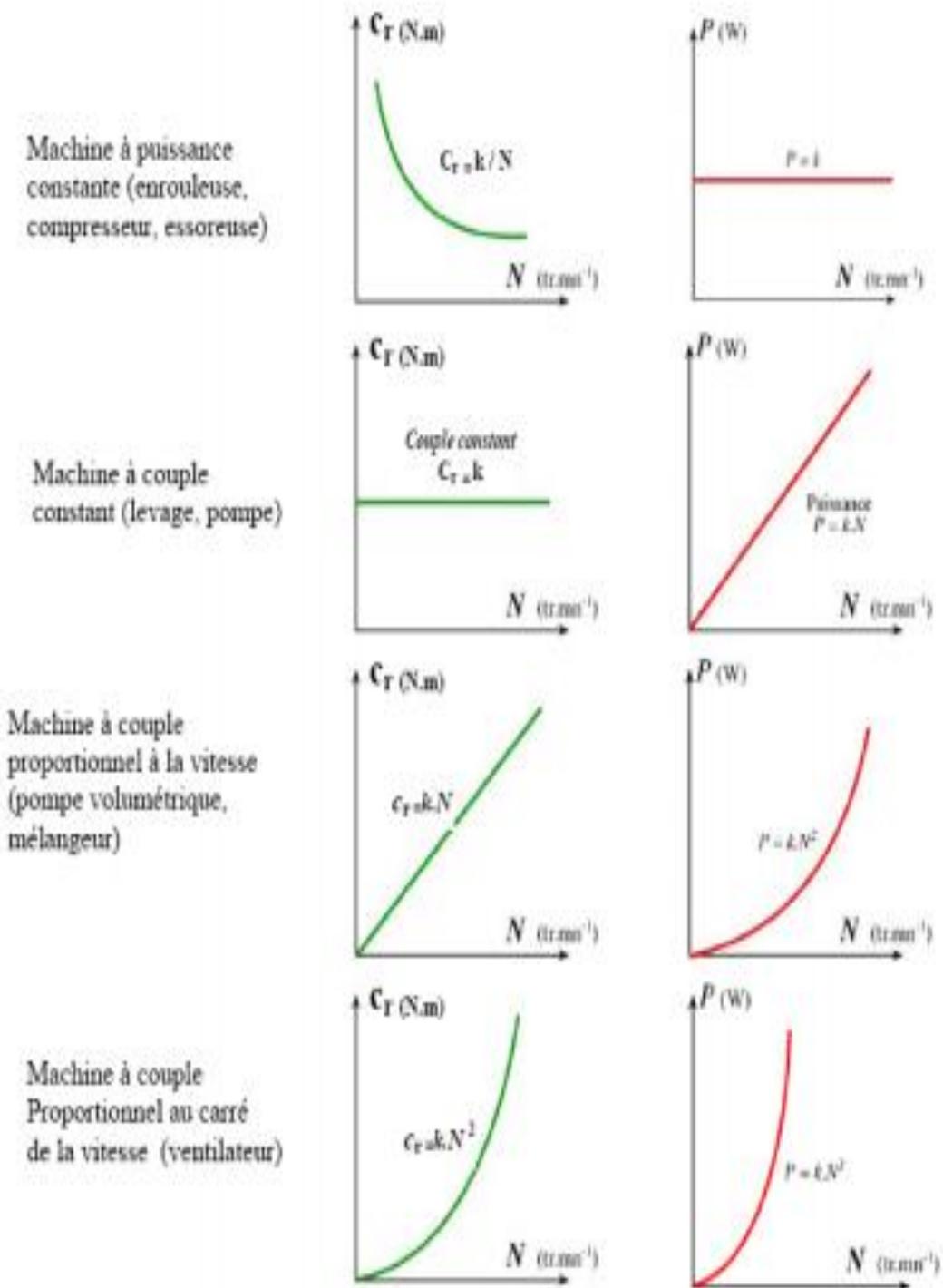


Figure I.9 Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges [14]

I.11.5 Résumé des caractéristiques :

- . A vide, le courant est non négligeable, mais la puissance absorbée est surtout réactive (Q).

- Le couple et le courant de démarrage sont importants.
- La machine asynchrone peut démarrer en charge.
- La vitesse du champ tournant est : $N_s = f / p$ (f la fréquence du courant et p le nombre de paires de pôles).
- Le glissement est le rapport entre la vitesse du champ et celle du rotor :
$$g = (N_s - N) / N$$
- À vide $g = 0$ et $N_0 = N_s$.
- Quelle que soit la charge la vitesse de rotation varie très peu ($N \approx N_s$). [14]

I.12 Plaque de branchement du moteur :

Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située sur le dessus de moteur.

On dispose ainsi de 6 connexions, un pour chacune des extrémités des trois bobines.

Les bornes sont reliées aux bobines selon la figure ci-contre. [11]

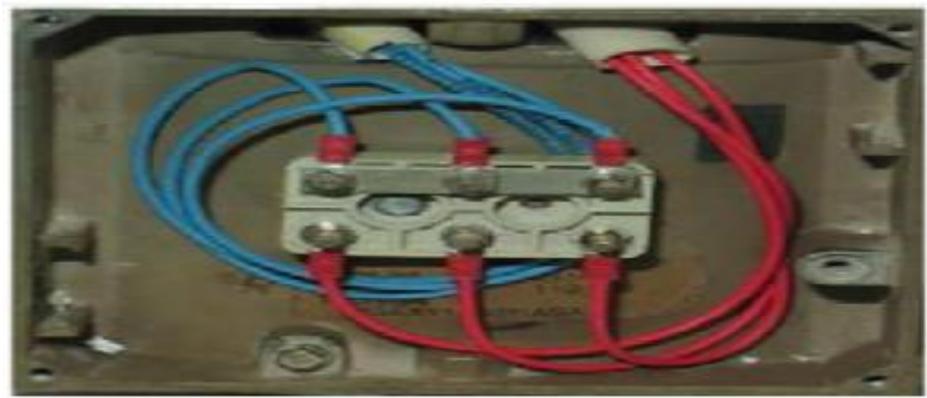


Figure I.10 plaque à borne [11]

I.13 Couplage des enroulements d'une machine asynchrone :

Les moteurs asynchrones ont la possibilité de fonctionner sous différents réseaux de tensions (132/230V ; 230/400V ; 400/690V) en utilisant un couplage étoile ou un couplage triangle.

On choisit le couplage en fonction des caractéristiques du moteur : La plaque signalétique d'un moteur asynchrone précise toujours une ou deux tensions de fonctionnement. La plus petite valeur indiquée est la tension nominale d'un enroulement du moteur.

Par conséquent on utilise l'un ou l'autre des couplages pour alimenter un enroulement soit par la tension simple soit par la tension composée. [11]

I.13.1 Couplage en triangle des enroulements :

Lorsque la tension de fonctionnement la plus basse inscrite sur la plaque signalétique est égale à la tension entre phases (tension composée) du réseau d'alimentation: On utilise le couplage triangle. [11]



Figure I.11 Couplage en triangle [11]

I.13.2 Couplage en étoile des enroulements :

Lorsque la tension de fonctionnement la plus basse inscrite sur la plaque signalétique est égale à la tension entre phase et neutre (tension simple) du réseau d'alimentation: On utilise le couplage étoile. [11]

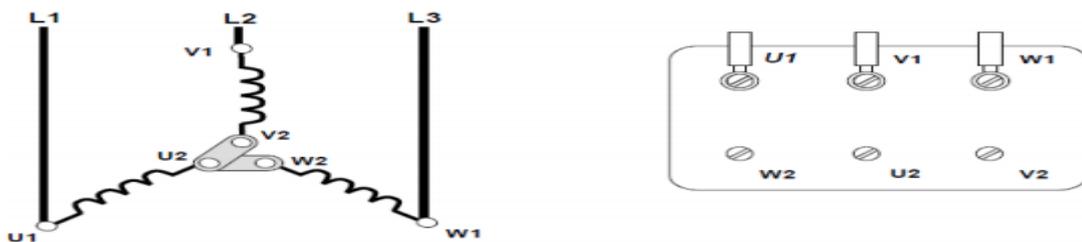


Figure I.12 Couplage en étoile [11]

I.14 Plaque signalétique :

Exemple de plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé industriel :

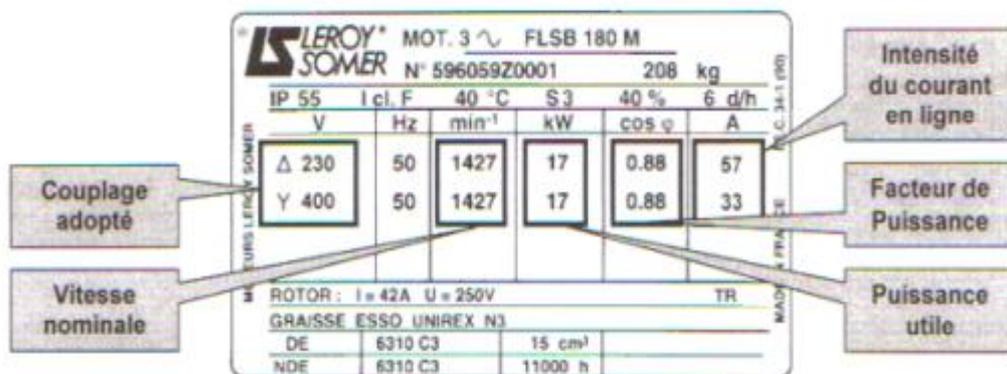


Figure I.13 Plaque signalétique [14]

I.15 Modélisation de la machine asynchrone triphasée :

Le schéma de principe de la machine asynchrone triphasée est représenté par la figure (1.17). L'angle θ repère de la phase rotorique R_α par rapport à l'axe de phase statorique de référence S_α pour établir les équations régissant le fonctionnement de la machine, les hypothèses simplificatrices suivantes sont habituellement utilisées:

- On suppose les circuits magnétiques non saturés et suffisamment feuilletés.
- On considère une densité de courant uniforme dans les sections des conducteurs élémentaires (l'effet de peau négligeable).
- on ne tient compte que du premier harmonique d'espace de la distribution de la force magnétomotrice de chaque phase du rotor et de stator.
- L'entrefer étant constant.
- Les inductances propres sont constantes.
- Parfaite symétrie.
- Assimilation de cage à un bobinage en court-circuit de même nombre de phase que le bobinage statorique.
- La loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements statorique et rotoriques en fonction de l'angle électrique. [15]

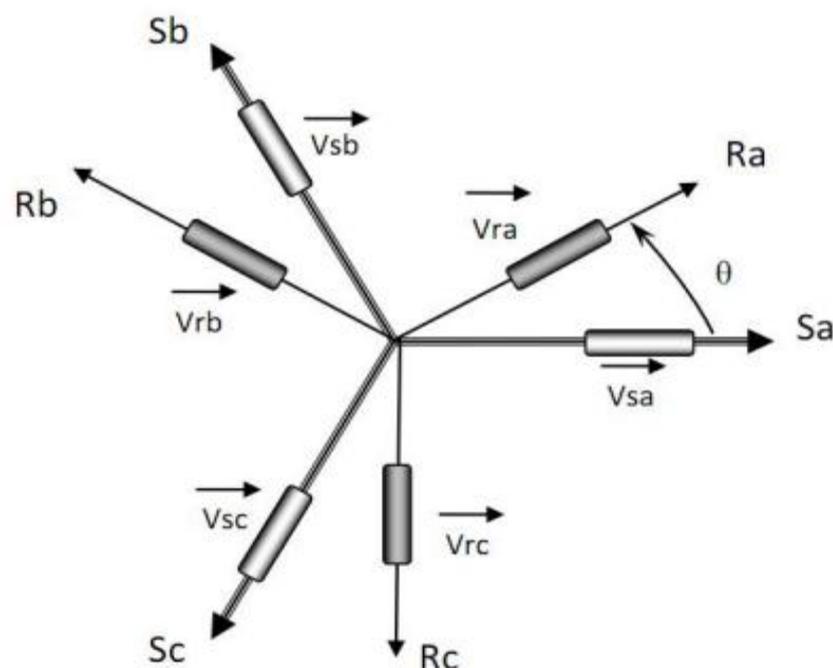


Figure I.14 Représentation schématique d'une machine asynchrone triphasée [12]

I.15 1 Equations électriques :

Les équations de tension des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques sont données par les expressions suivantes: [15]

$$\text{➤ Pour le stator } [V_S] = R_S [I_S] + \frac{d}{dt} [\phi_s] \tag{I.13}$$

$$\text{➤ Pour le rotor } [V_r] = R_r [I_r] + \frac{d}{dt} [\phi_r] \tag{I.14}$$

Avec: R_S , R_r : Les résistances par la phase respectivement du stator, et du rotor.

Et:

$$[V_S] = [V_{Sa} \ V_{Sb} \ V_{Sc}]^T \quad : \text{ Vecteur de tension statorique}$$

$$[V_r] = [V_{ra} \ V_{rb} \ V_{rc}]^T \quad : \text{ Vecteur de tension rotorique}$$

$$[I_S] = [I_{Sa} \ I_{Sb} \ I_{Sc}]^T \quad : \text{ Vecteur de courant statorique}$$

$$[I_r] = [I_{ra} \ I_{rb} \ I_{rc}]^T \quad : \text{ Vecteur de courant rotorique}$$

I.15 .2 Equations magnétiques (des flux) :

L'absence de saturation et la limitation d'espace nous permettent d'écrire les expressions des flux statorique et rotorique comme suit : [15]

$$\begin{bmatrix} [\phi_s] \\ [\phi_r] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_S] & [M_{sr}] \\ [M_{rs}] & [L_r] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [I_S] \\ [I_r] \end{bmatrix} \tag{I.15}$$

$[L_S]$:Matrice d'inductances statorique

$[L_r]$:Matrice d'inductances rotorique.

$[M_{sr}]$:Matrice de l'inductance mutuelle du couplage entre stator-rotor.

Alors:

$$[L_S] = \begin{bmatrix} l_s & m_s & m_s \\ m_s & l_s & m_s \\ m_s & m_s & l_s \end{bmatrix} , \quad [L_r] = \begin{bmatrix} l_r & m_r & m_r \\ m_r & l_r & m_r \\ m_r & m_r & l_r \end{bmatrix} \tag{I.16}$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^T = m_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (\text{I.17})$$

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.

m_{sr} : Maximum de l'inductance mutuelle entre phase du stator et la phase correspondante du rotor.

I.15.3 Equations mécaniques (couple) :

L'expression du couple électromagnétique peut être obtenue à partir de la dérivée de la Co-énergie magnétique par rapport à l'angle (θ). La machine étant à structure lise. Le couple s'écrit:

$$C_{em} = [I_s]^T \frac{\partial [M_{SR}(\theta)]}{\partial \theta} [I_r] \quad (\text{I.18})$$

I_s Et I_r désignent respectivement les courants statorique et rotoriques. [15]

I.16 Avantages et inconvénients de la machine asynchrone :

I.16.1 Avantages:

- sa robustesse mécanique.
 - son faible coût et sa très grande standardisation.
- l'absence d'entretien constant. [11]

I.16.2 Inconvénients:

L'inconvénient majeur du moteur asynchrone est relié à l'absorption du réactif qu'il faut parfois compenser, à des pertes de glissement et surtout à la nécessité de fonctionner pratiquement au voisinage de la vitesse de synchronisme.

I.17 Conclusion :

Les machines asynchrones sont les plus couramment utilisées par rapport aux autres machines, grâce à leur facilité de construction et leur faible coût de fabrication, mais dans les applications à vitesse variable, ce type de machine nécessite un dispositif de contrôle plus complexe. Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu de la configuration du moteur asynchrone à cage d'écureuil, de son principe de fonctionnement et de son bilan de puissance. [4]

Chapter II

Identification des paramètres de la machine asynchrone

II.1 Introduction :

Les données des plaques signalétiques ainsi que les données fournies par les fabricants de machines asynchrones ne suffisent pas à connaître tous les paramètres électriques et mécaniques de ces machines, c'est pourquoi des essais pratiques sont utilisés pour déterminer ces paramètres. Pour ce faire, un modèle d'une phase de la machine asynchrone est utilisé pour l'identification. des essais empiriques ont été réalisés au Laboratoire pédagogique du Département de Génie Electrique, afin de déterminer les différents paramètres de ce modèle [2].

II.2 Schéma équivalent de la machine asynchrone à cage d'écureuil :

Le circuit équivalent du moteur asynchrone ressemble beaucoup au circuit équivalent du transformateur, dont le secondaire est en court-circuit. Si le moteur est bien construit, les trois phases sont identique et donnent lieu à un circuit équilibré ; on peut alors considérer que le circuit est en étoile et ne représente qu'une seule phase figure (II.1).

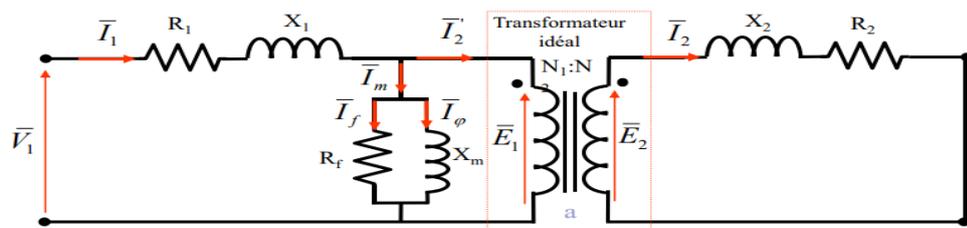


Figure II.1 Schéma équivalent par phase d'un moteur asynchrone triphasé [17]

II.2 .1 Schéma équivalent du stator et rotor

La figure (II.2) représente le schéma équivalent de stator. En fonctionnement normal, la fréquence des courants rotoriques est inférieure à celle des courants statoriques ($f_r = g f_s$) Par conséquent la tension induite au rotor est aussi égale à gE_2 et la réactance rotorique devient gX_2 , ce qui ne permet de représenter le rotor par le schéma équivalent présenté à la figure (II.3).

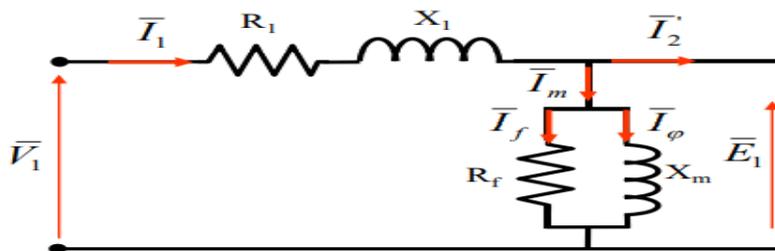


Figure II.2 Circuit équivalent de stator. [17]

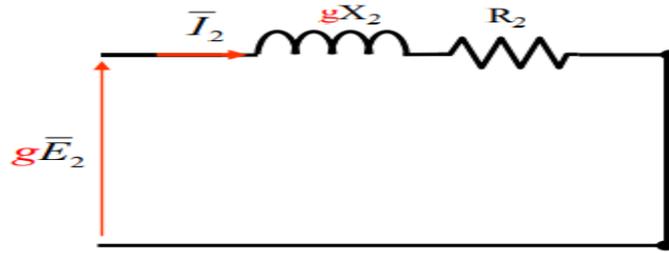


Figure II.3 Circuit équivalent de rotor. [17]

Finalement le Schéma équivalent d'un moteur asynchrone triphasé représente a la figure (II.4)

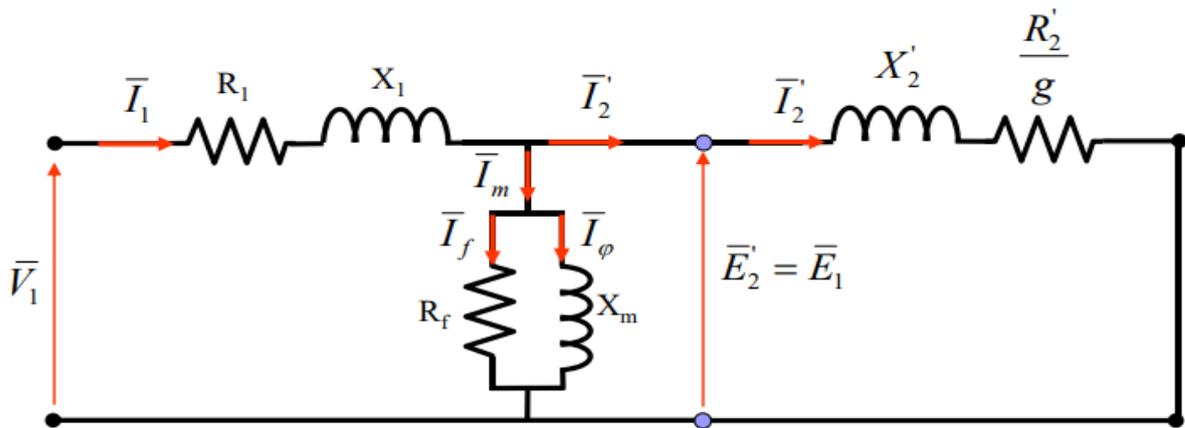


Figure II.4 Schéma équivalent d'une phase d'un moteur asynchrone triphasé [17]

Si on néglige les pertes fer, le schéma de la Figure (II.4) se réduit au schéma présenté à la figure (II.5)

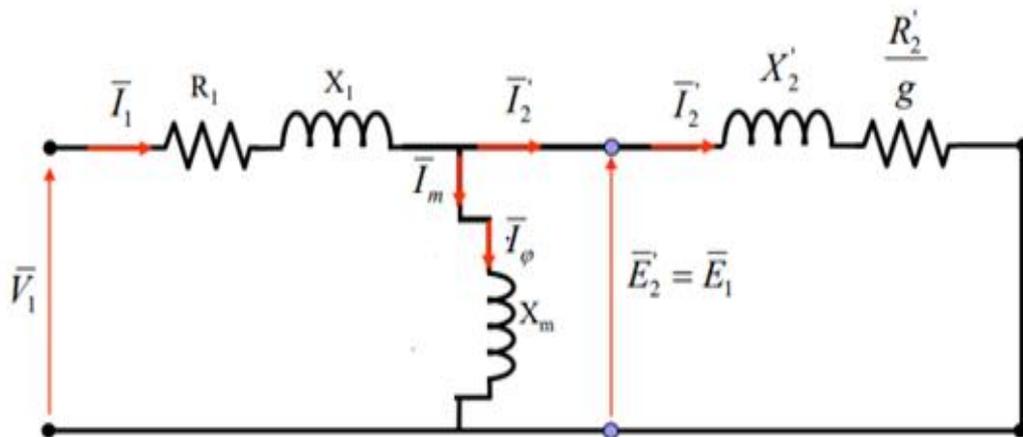


Figure II.5 Schéma équivalent d'une phase d'un moteur asynchrone triphasé sans prise en compte les pertes fer. [17]

II.3 Identification des paramètres du moteur asynchrone par la méthode classique

L'identification du modèle présente à la figure (II.4) peut être effectuée par trois essais normalisés :

- Mesure de la résistance par phase statorique.
- Essai à vide.
- Essai à rotor bloqué.

II.3 .1 Essai à vide : [17]

Cet essai est réalisé à tension variable et à fréquence d'alimentation constante. Il nous permet de relever la courbe de magnétisation et les paramètres de la branche shunt du circuit équivalent.

Pour chaque point d'opération, les mesures sont:

- Tension statorique U_{10}
- Courant statorique I_{10}
- puissance absorbée $P_{10} = P_{JS} + P_f + P_m$ (II.1)

Notons qu'à vide la vitesse de rotation du moteur est très proche de la vitesse de synchronisme, par conséquent le glissement est presque égale à zéro. Donc le courant de côté secondaire est nul. Dans ces conditions le modèle de la machine devient (figure (II.6)) :

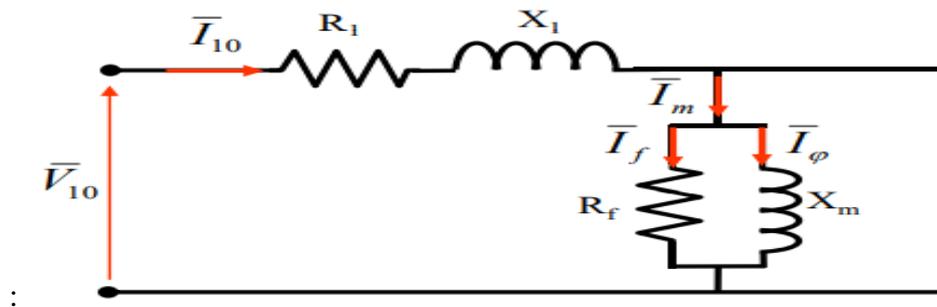


Figure II.6 Schéma équivalent lors de l'essai à vide [17]

Pour séparer les pertes (perte mécanique, perte Joule, perte fer), on utilise souvent la caractéristique $P_{10} = f(V_{10}^2)$, comme le montre la figure (II.7).

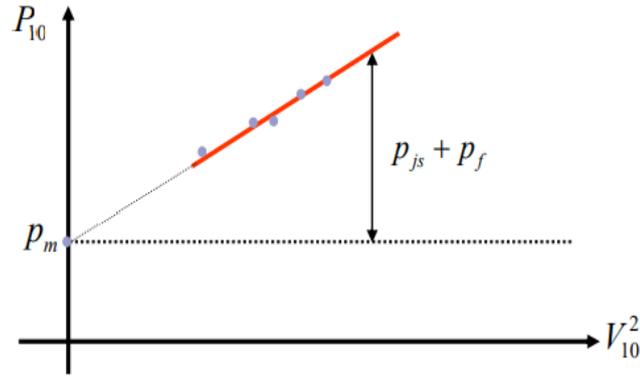


Figure II.7 caractéristique de séparation des pertes [17]

Pour ce faire, on doit tout d'abord calculer les pertes Joules statoriques qui sont données par l'équation ci-dessous :

$$P_{JS} = 3R_1 I_{10}^2 \tag{II.2}$$

Le calcul des paramètres de la branche de magnétisation se fait en utilisant les équations (II.3-II.4)

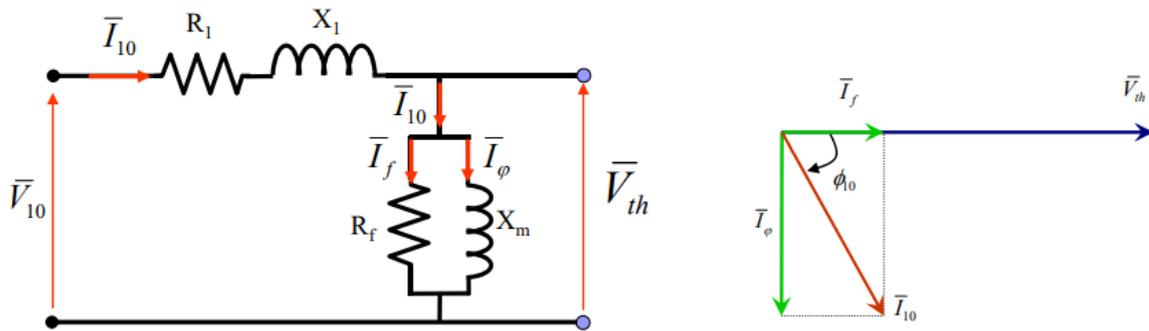


Figure II.8 La résistance R_f est la seule responsable des pertes fer. [17]

$$\begin{cases} P_f = 3R_f I_f^2 = 3 \frac{V_{th}^2}{R_f} \Rightarrow R_f = \frac{V_{th}^2}{P_f} \\ P_f = 3V_{th} I_{10} \cos(\phi) \Rightarrow \cos(\phi) = \frac{P_f}{3V_{th} I_{10}} \end{cases} \tag{II.3}$$

$$\begin{cases} X_m = \left| \frac{V_{th}}{I_\phi} \right| = \frac{V_{th}}{I_{10} \sin(\phi)} \\ V_{th} = 0.97 V_{10} \end{cases} \tag{II.4}$$

II.3 .2 Essai à rotor bloqué :

Cet essai est réalisé à tension réduite et à fréquence d'alimentation variable de préférence.

Pour chaque point, les mesures sont: [17]

- Tension statorique U_{1cc}
- Courant statorique I_{1cc}

➤ Puissance absorbée P_{1cc}

Pendant l'essai en court-circuit la vitesse de rotation est nul par conséquent le glissement égale à un:

$$N_r = 0 \Rightarrow g = 1 \Rightarrow \frac{R'_2}{g} = R'_2 \quad (\text{II.5})$$

De plus, à tension réduite, l'influence de la branche shunt est négligeable, ainsi le modelé devient (figure (II.9)):

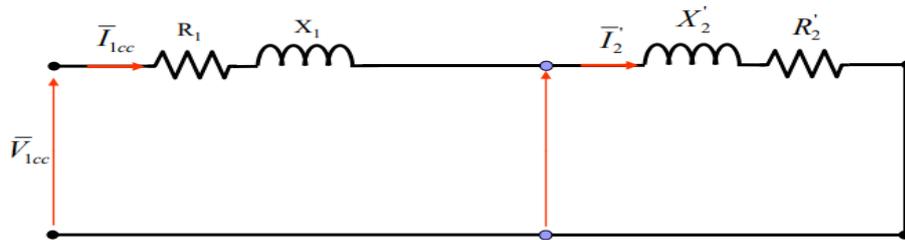


Figure II.9 schéma équivalent en essai à rotor bloqué ($g=1$) [17]

Le calcul des paramètres de la branche de magnétisation se fait en utilisant les équations (II.6-II.9)

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{Z_{eq}} = \frac{\overline{V_{1cc}}}{I_{1cc}} = R_{eq} + jX_{eq} \\ |\overline{Z_{eq}}| = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \\ \arg(\overline{Z_{eq}}) = \phi_{1cc} = \tanh^{-1}\left(\frac{X_{eq}}{R_{eq}}\right) \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_{eq} = (R_1 + R'_2) = |\overline{Z_{eq}}| \cos(\phi_{1cc}) \\ X_{eq} = (X_1 + X'_2) = |\overline{Z_{eq}}| \sin(\phi_{1cc}) \end{array} \right\} \quad (\text{II.6})$$

$$P_{1cc} = 3V_{1cc}I_{1cc} \cos(\phi_{1cc}) \Rightarrow \cos(\phi_{1cc}) = \frac{P_{1cc}}{3V_{1cc}I_{1cc}} \quad (\text{II.7})$$

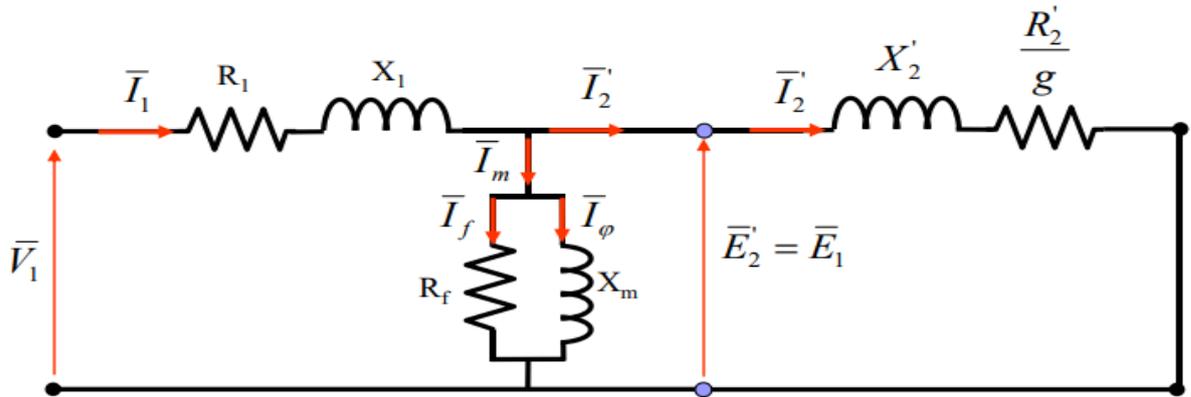
$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{eq} = \frac{V_{1cc}}{I_{1cc}} = R_{eq} + jX_{eq} \\ R_{eq} = (R_1 + R'_2) = |\overline{Z_{eq}}| \sin(\phi_{1cc}) \\ X_{eq(fessai)} = (X_1 + X'_2) = |\overline{Z_{eq}}| \cos(\phi_{1cc}) \end{array} \right. \quad (\text{II.8})$$

$$X_{eq}(60\text{HZ}) = \frac{60}{f_{essai}} X_{eq} \quad (\text{II.9})$$

La séparation de $X_1 + X'_2$ dépend du type du moteur.

$X_1 = X'_2$ Moteur type A. $1.5X_1 = X'_2$ Moteur type B

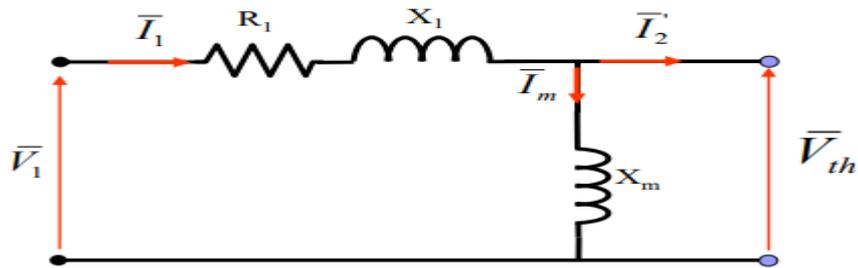
II.4 Calcul des performances à partir du schéma équivalent :



Le couple électromagnétique développé par la machine est donné par: [17]

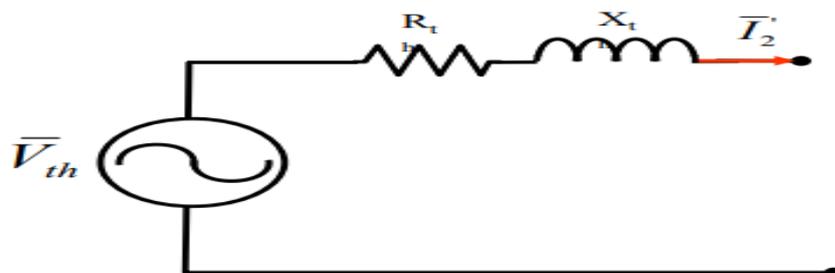
$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s} = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{P_{jr}/g}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s} \left(\frac{R_2'}{g} \right) (I_2')^2 \tag{II.10}$$

Il est donc indispensable de connaître en premier le courant rotorique. La procédure pour calculer ce courant rotorique est de remplacer d'abord le stator par son équivalent Thévenin.

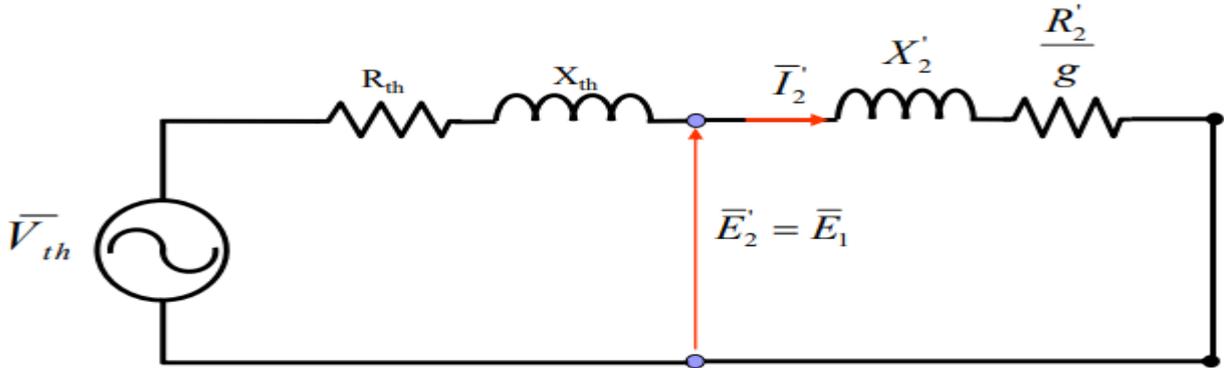


$$|\bar{V}_{th}| = |\bar{V}_1| \frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} \tag{II.11}$$

$$Z_{th} = (R_{th} + jX_{th}) = \frac{jX_m (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \tag{II.12}$$



$$\begin{cases} X_m \gg X_1 \\ (X_1 + X_m) \gg R_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |\overline{V}_{th}| = |\overline{V}_1| \frac{X_m}{(X_1 + X_m)} \\ R_{th} = R_1 \frac{X_m}{(X_1 + X_m)} \\ X_{th} = X_1 \end{cases} \quad (\text{II.13})$$



$$I_2' = V_{th} \frac{1}{\left(R_{th} + \frac{R_2'}{g}\right) + j(X_{th} + R_2')}$$

$$|I_2'| = |V_{th}| \frac{1}{\sqrt{\left(R_{th} + \frac{R_2'}{g}\right)^2 + (X_{th} + R_2')^2}} \quad (\text{II.14})$$

$$C_{em} = \frac{3}{\omega_s} \left(\frac{R_2'}{g}\right) (I_2')^2 \Rightarrow C_{em} = \frac{3}{\omega_s} \left(\frac{R_2'}{g}\right) \frac{|V_{th}|^2}{\sqrt{\left(R_{th} + \frac{R_2'}{g}\right)^2 + (X_{th} + R_2')^2}} \quad (\text{II.15})$$

Remarque :

➤ Pour des glissements faibles nous avons:

$$\begin{cases} R_{th} + \frac{R_2'}{g} \gg X_{th} + X_2' \\ \frac{R_2'}{g} \gg R_{th} \end{cases} \Rightarrow C_{em} = \frac{3}{\omega_s} \frac{|\overline{V}_{th}|^2}{R_2'} g \quad (\text{II.16})$$

➤ Pour des glissements forts nous avons:

$$\left(R_{th} + \frac{R_2'}{g}\right) \ll (X_{th} + X_2') \Rightarrow C_{em} = \frac{3}{\omega_s} \frac{|\overline{V}_{th}|^2}{(X_{th} + X_2')} \frac{R_2'}{g} \quad (\text{II.17})$$

II.5 Identification expérimentale des paramètres du MAS :

La figure (II.10) représente le montage expérimentale réalisée pour l'identification des paramètres d'un moteur de (1.1Kw) dont les caractéristique nominale sont donne en Annexe A.



Figure II.10 Montage expérimental

Le schéma adopté pour l'identification expérimentale est présente ci-dessous

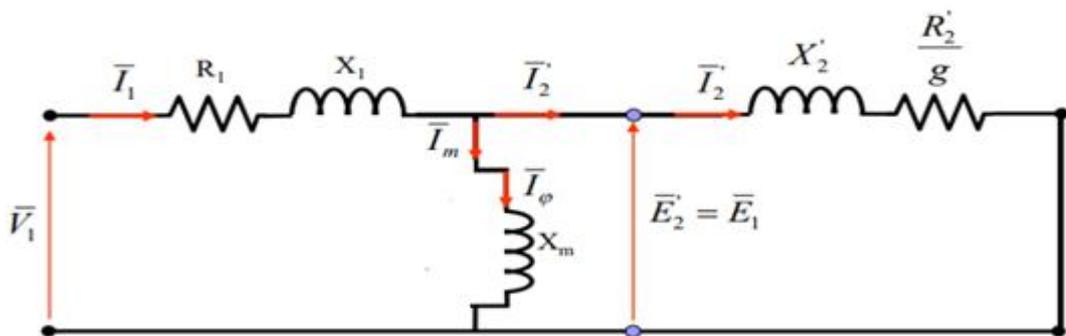


Figure II.11 Schéma équivalent d'un moteur asynchrone triphasé sans prise en compte les pertes fer.

II.5 .1 Mesure des résistances statoriques :

La mesure de la résistance statorique est effectué fun ohmmètre qui a indiqué la valeur si vaut

$$R_1 = 25.6 \Omega$$

II.5 .2 Essai à rotor bloqué (g=1) :

Dans cet essai, on bloque le rotor afin d'empêcher sa rotation ($\Omega=0, g=1$). On alimente le

Moteur sous tension réduite de façon à ne pas dépasser le courant nominal et sur mesure :

La tension nominale d'alimentation V_{cc} ;

Le courant nominal statorique I_{cc} ;

La puissance nominale distribuée P_{cc}

Etant donné que la résistance et la réactance de fuite de stator ont des valeurs faibles par rapport à l'inductance de magnétisation, on peut admettre que lors de cet essai, le courant circulant dans l'inductance magnétisante est négligeable, Dans ces conditions, la puissance consommée est dissipée dans les résistances des bobines statoriques et rotoriques. D'où le schéma équivalent en court-circuit suivant. [4]

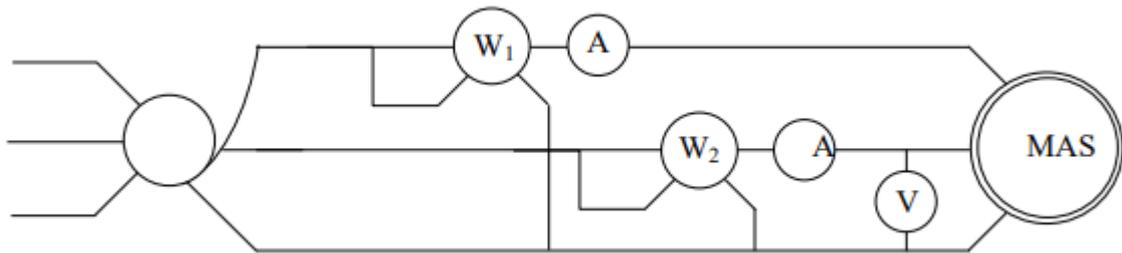


Figure II.12 Montage électrique de l'essai à rotor bloqué [16]

Ce que permet nous de déterminer R'_2 et $X_1=X'_2$

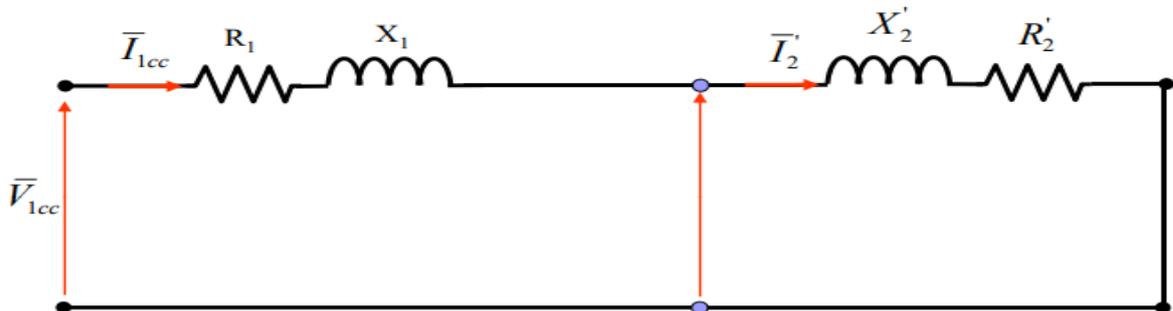


Figure II.13 schéma équivalent en essai à rotor bloqué (g=1) [17]

Résultats de d'essai rotor bloquée :

V_{cc} [v]	I_{cc} [A]	P_{cc} [w]	Q_{cc} [VAR]
74.3	2.5	243	178

Tableau 1 Résultats de d'essai rotor bloquée

II.5.2.1 Calcul de R'_2 :

Nous prenons $R_1 = 25.6 \Omega$ pour les calculs (couplage triangle).

$$V_{cc} = Z_{cc} \cdot I_{cc} \tag{II.18}$$

$$\text{Donc } |Z_{cc}| = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \Rightarrow |Z_{cc}| = \frac{U_{cc}}{I_{cc}/\sqrt{3}} = \frac{74.3}{(2.5/\sqrt{3})}$$

$$|Z_{cc}| = 51.47\Omega$$

D'autre part

$$P_{cc} = 3R_1 I_{cc}^2 + 3R'_2 I_{cc}^2 \tag{II.19}$$

$$R'_2 = (P_{cc} - 3R_1 I_{cc}^2) / 3I_{cc}^2$$

$$R'_2 = (P_{cc} / 3I_{cc}^2) - R_1$$

$$R'_2 = (243 / (3(2.5/\sqrt{3})^2)) - 25.6$$

$$R'_2 = 13.28\Omega$$

II.5.2.2 Calcule de X_1 et X'_2 :

A l'aide du tableau qui présente les coefficients empiriques de distribution des réactances de la machine asynchrone, nous déterminons les valeurs des réactances

Distribution empirique des réactances de fuite entre le stator et le rotor des machines asynchrones			
Classe	Caractéristiques	Fraction de $(X_{\sigma s} + X_{\sigma r})$	
		$X_{\sigma s}$	$X_{\sigma r}$
A	Couple de démarrage normal Courant de démarrage normal	0.5	0.5
B	Couple de démarrage normal Bas courant de démarrage	0.4	0.6
C	Couple de démarrage élevé Bas courant de démarrage	0.3	0.7
D	Couple de démarrage élevé Glissement élevé	0.5	0.5
Rotor bobiné		0.5	0.5

Tableau 2 coefficient empiriques de distribution des réactances de fuite asynchrones

(Selon AIEE test code) [16]

La machine que nous utilisons est de classe A, par conséquent, on considère comme égales, les réactances de fuites statorique et rotorique ramenée au stator, soit : $X_1 = X'_2$

$$\overline{Z_{cc}} = (R_1 + R'_2) + j2 X_1$$

$$|Z_{cc}^2| = (R_1 + R'_2)^2 + 4 X_1^2$$

$$X_1 = \frac{1}{2} \sqrt{Z_{cc}^2 - (R_1 + R'_2)^2} \tag{II.20}$$

$$X_1 = 16.86 \Omega$$

Donc on obtient :

$$X_1 = X'_2 = 16.86 \Omega$$

Ce qui permet de déterminer les inductances de fuite :

$$L_1 = L'_2 = \frac{X_1}{\omega} = \frac{16.86}{100\pi}$$

$$L_1 = L'_2 = 0.053 H$$

II.5.3 Essai à vide (g=0) :

On note que dans l'essai à vide, le glissement est très proche de zéro par la suite la résistance

$\frac{R'_2}{g} \Rightarrow \infty$, Par conséquent le courant I_2 est négligeable ce qui nous permet d'avoir le schéma ci

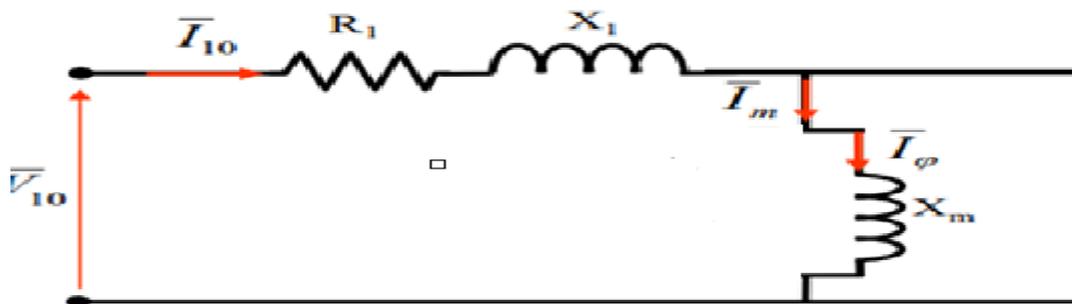


Figure II.14 Schéma équivalent lors de l'essai à vide [17]

Les valeurs des différentes grandeurs mesurées sont données au tableau (II.1)

NB	V_{10}	I_{10}	P1	P2	P10	Q1	Q2	Pj	$P_{10} - P_j$	$V^2/100$
1	30	0.47	14	7.5	21.5	1.6	11	5.66	15.84	9
2	50	0.27	14.5	8	22.5	1.5	11.5	1.87	20.63	25
3	80	0.25	19.5	5	24.5	4.5	18.5	1.6	22.9	64
4	100	0.27	24.5	1.8	26.3	10	26.5	1.87	24.43	100
5	130	0.29	33	-3	30	19	42.5	2.15	27.85	169
6	150	0.34	43	-10	33	30	52	2.96	30.04	225
7	170	0.36	48	-12	36	42	67	3.32	32.62	289
8	200	0.42	67	-25	42	62	97	4.52	37.48	400
9	230	0.49	85	-39	46	75	130	6.15	39.85	529
10	250	0.53	100	-49	51	94	155	7.19	43.81	625
11	270	0.59	116	-62	54	112	187	8.91	45.09	729
12	300	0.68	150	-86	64	145	240	11.84	52.16	900
13	320	0.77	177	-105	72	177	282	15.18	53.82	1024
_	350	0.93	235	-148	87	240	340	22.14	64.86	1225
15	380	1.18	310	-190	120	330	470	35.65	84.35	1444

Tableau 3 Résultats de l'essai à vide du moteur.

On relève P_{10} , V_{10} , et I_{10} , on procède à certains calculs qui utilisent :

P_{10} = La puissance active à vide.

$V_s = 380$ v

$$P_{js} = R_1 \cdot I_{10}^2$$

(Couplage de triangle et R_s résistance d'un enroulement statorique).

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau (II.1) Voici la courbe de la méthode de séparation des pertes (pour le calcul de : L_μ , R_F , L_{sc})

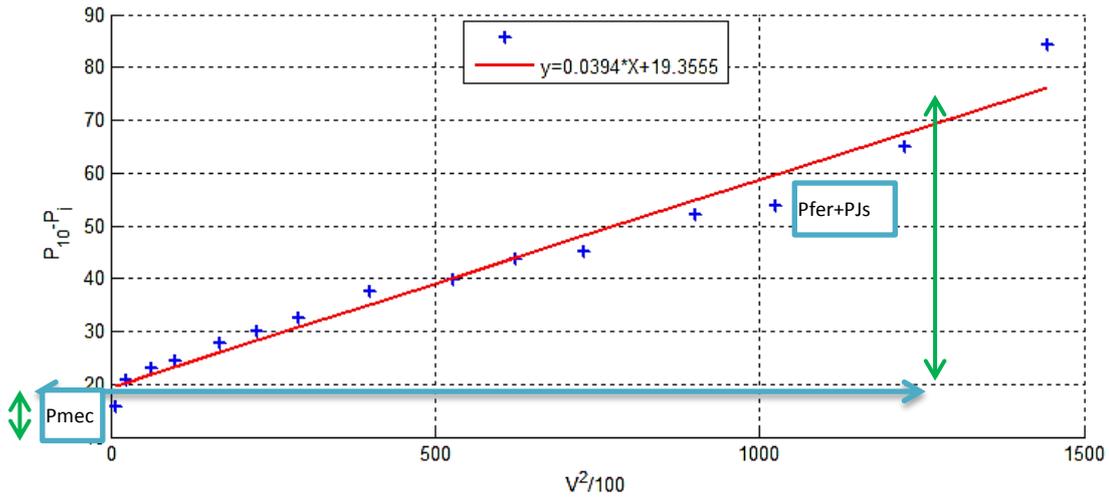


Figure II.15 la courbe de la séparation des pertes fer et pertes mécanique du moteur

II.5.3.1 Calcul de la réactance X_m :

Le schéma ci-dessous permet de calculer les différentes réactances. Ce calcul nécessite au préalable l'utilisation de la méthode de séparation des pertes. D'après la figure (II.12), on peut déduire la réactance de magnétisation X_m

On a :

$$V_{10} = Z_{10}I_{10}$$

Avec :

$$V_{10} = 380 \text{ V} ; I_{10} = 1.18 \text{ A}$$

$$|Z_{10}| = \frac{|V_{10}|}{(I_{10}/\sqrt{3})} = \frac{380}{(1.18/\sqrt{3})} \Rightarrow |Z_{10}| = 557.7 \text{ } \Omega$$

Ou

$$Z_{10} = (R_1) + j(X_m + X_1)$$

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

$$X_m = \sqrt{(Z_{10})^2 - (R_1)^2} - X_1 \tag{II.21}$$

D'après la courbe de la méthode de séparation des pertes on trouve :

$$P_{mec} = 19.35 \text{ [w]} \Rightarrow P_{fer} = 56.89 \text{ [w]} ; P_{10} = 120 \text{ [w]}$$

D'où :

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

$$\Rightarrow X_m = 539.5 \Omega$$

$$X_m = L_m \omega \Rightarrow L_m = \frac{X_m}{\omega} = \frac{X_m}{100\pi}$$

$$\Rightarrow L_m = 1.7 \text{ H}$$

Sachant que la réactance cyclique statorique X_{sc} vaut :

$$X_{sc} = X_m + X_1 \tag{II.22}$$

$$\Rightarrow X_{sc} = 552.29 \Omega$$

Et l'on peut tirer :

$$L_{sc} = \frac{X_{sc}}{\omega}$$

$$\Rightarrow L_{sc} = 1.71 \text{ H}$$

II.6 Identification des paramètres mécaniques :

II.6.1 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. [18]

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

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). [18]

II.6.2 Le couple résistant C_{res} [18]

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 présentent différentes allures du couple résistante en fonction de la vitesse à titre exemples

- Couple constante (engins de levage). $C_{res} = a$
- Couple proportionnel à la vitesse (frottement visqueux, mélangeur). $C_{res} = b\Omega$
- Couple proportionnel au carré de la vitesse (ventilateur, pompe centrifuge). $C_{res} = c\Omega^2$
- Dans notre cas l'équation générale du couple résistant est : $C_{res} = a + b\Omega$

II.6.3 Essai de ralentissement (détermination des grandeurs mécanique J et f_r avec $N_{\text{mesuré}} = 1480 \text{ tr/min}$) :

Le moment d'inertie « J » et Le coefficient de frottement « f » sont déterminés par l'essai de ralentissement.

- On lance le moteur jusqu'à la vitesse nominal puis on coupe l'alimentation et on laisse ralentir sous l'effet des frottements.
- La vitesse diminue progressivement sous l' effet des pertes mécaniques ($-f_r \Omega^2$)

$$P_{mec} = -f_r \Omega^2 = J \Omega \frac{d\Omega}{dt} \quad (\text{II.23})$$

- On relève l'allure de la phase transitoire de la vitesse figure (II. 17) obtenu à l'aide d'une génératrice tachymétrie et un oscilloscope à mémoire.

La détermination de coefficient de frottement visqueux et du moment d'inertie est basée sur la mesure des pertes mécanique lorsque la machine tourne à une vitesse donnée et sur le relevé de La courbe de ralentissement. [15]



Figure II.16 montage de l'essai de ralentissement.

Voici L'allure de la phase transitoire de la vitesse obtenu à l'aide l'oscilloscope.



Figure II.17 L'allure de la phase transitoire de la vitesse avec l'oscilloscope.

D'après la figure (II.17) le moment d'inertie **J** peut être calculée par :

$$J = \frac{P_{mec}}{\Omega_n \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)_{\Omega_n = \Omega}} \tag{II.24}$$

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.

$$\frac{d\Omega}{dt} \cong 2\pi \frac{\Delta N}{\Delta t} \frac{1}{60} \tag{II.25}$$

ET

$$\Omega_n = 2\pi \frac{N_n}{60} \tag{II.26}$$

Application numérique :

Avec les valeurs suivantes :

$$P_{mec} = 19.35 \text{ [w]}; \quad \Delta N = N = 2875 \text{ tr/min}; \quad \Delta t = 4.7 \text{ s (d'après la figure (II.17))}$$

Donc :

$$J = \frac{19.35}{2\pi \frac{2875}{60} (2\pi \frac{2875}{4.7 \cdot 60}) \Omega_n = \Omega}$$

On obtient : **J=0.001 kg.m²**

Le coefficient de frottement peut être calculée par :

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

Application numérique :

$$f_r = \frac{0.00088}{4.5} \Rightarrow f_r = 0.00021 \text{ Nm.rad}^{-1}$$

Le tableau **d'Annexe 2** résumé du résultat expérimental des paramètres électrique et mécanique identifiés du moteur

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous décrivons la méthode classique de détermination des paramètres d'un moteur asynchrone, puis nous effectuons un test expérimental sur un moteur asynchrone triphasé : test à rotor fermé, test à vide, test de séparation des pertes et test de ralenti.

Chapter III

Algorithme génétique

III.1 INTRODUCTION

Après avoir identifié expérimentalement les paramètres du modèle de la machine asynchrone.

Nous utiliserons dans ce chapitre une autre méthode d'identification, qui est une méthode révolutionnaire appelé « Algorithme Générique »

III.2 L'algorithme génétique :

L'algorithme génétique (AG) est un algorithme de recherche basé sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Il combine une stratégie de survie des plus forts avec un échange d'information aléatoire mais structuré. Pour un problème pour lequel une solution est inconnue, un ensemble de solutions possibles est créé aléatoirement. On appelle cet ensemble la population. Les caractéristiques (ou variables à déterminer) sont alors utilisées dans des séquences de gènes qui seront combinées avec d'autres gènes pour former des chromosomes et par la suite des individus. Chaque solution est associée à un individu, et cet individu est évalué et classifié selon sa ressemblance avec la meilleure, mais encore inconnue, solution au problème. Il peut être démontré qu'en utilisant un processus de sélection naturelle inspiré de Darwin, cette méthode convergera graduellement à une solution

Un algorithme génétique générique a la forme suivante : [23]

- 1) Initialiser la population initiale P.
- 2) Evaluer P.
- 3) Tant Que (Pas Convergence) faire :
 - a) $P' =$ Sélection des Parents dans P
 - b) $P' =$ Appliquer Opérateur de Croisement sur P'
 - c) $P' =$ Appliquer Opérateur de Mutation sur P'
 - d) P = Remplacer les Anciens de P par leurs Descendants de P'
 - e) Evaluer P [23]

Fin Tant Que

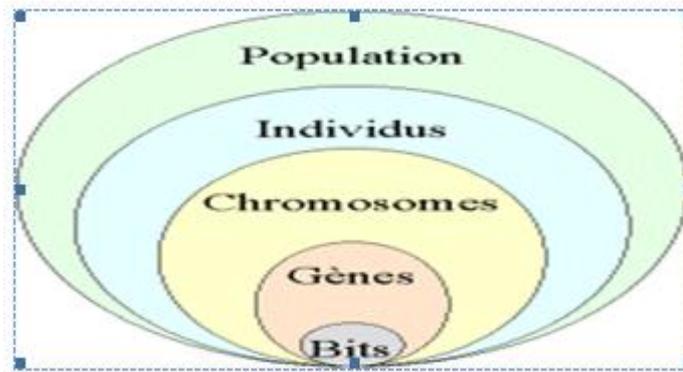


Figure III.1 les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique [23]

III.3 Principes de base des AG :

Indépendamment de problématique traitée, les algorithmes génétique sont basés sur six principes :

1. Choisir le codage des solutions.

2. Générer une population initiale de taille fixe N , formée d'un ensemble fini de solutions, dit génération initiale.

3. Définir une fonction par un mécanisme de sélection qui choisit pour un éventuel couplage. 4. Générer de nouvelles solutions à l'aide des opérateurs génétiques en utilisant :

- Opérateur de croisement : il manipule la structure des chromosomes des parents afin de produire des individus meilleurs ou différents. Cet opérateur est effectué selon une probabilité P_x . [20].

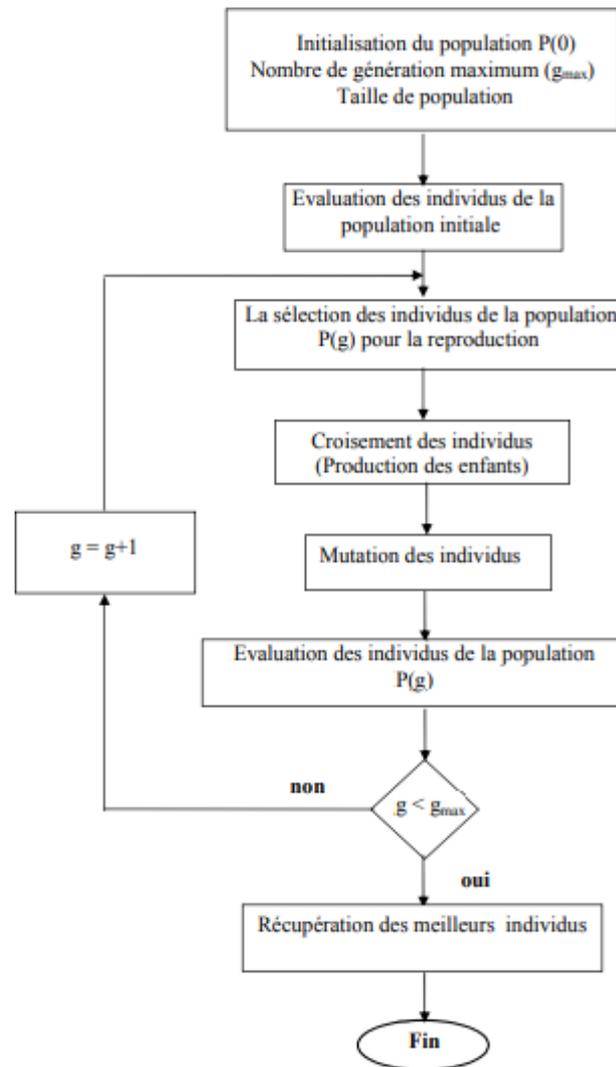


Figure III.2 Principe du fonctionnement d'un algorithme génétique [19]

III.4 Opérateurs Génétique :

Les opérateurs génétiques représentent des procédures de transformation des individus entre deux générations. Les algorithmes génétiques exploitent principalement trois opérateurs visant chacun d'eux un objectif spécifique relativement à la couverture de l'espace des solutions. Ces opérateurs sont la sélection, le croisement et la mutation. [19]

III.4.1 Sélection :

L'opérateur de sélection est chargé de "favoriser" les meilleurs individus plus formellement, l'opérateur de sélection va générer à partir de la population courante une nouvelle population par copie des individus choisis de la population courante. Il existe de nombreuses techniques de sélection [24]

III.4.1.1 La sélection par classement (rang)

Elle consiste à ranger les individus de la population dans un ordre croissant (ou décroissant selon l'objectif et à retenir un nombre fixé de génotypes. Ainsi, seuls les individus les plus forts sont conservés. [24]

III.4.1.2 La sélection par la roulette

Elle consiste à créer une roue de loterie biaisée pour laquelle chaque individu de la population occupe une section de la roue proportionnelle à sa valeur d'évaluation.

Si la population d'individus est de taille égale à N, alors la probabilité de sélection d'un individu xi notée P(xi) est égale à : [24]

$$P(x_i) = \frac{F(x_i)}{\sum_{K=1}^N F(x_i)} \tag{III.1}$$

On calcule pour chaque individu sa probabilité cumulée xi

$$q_1 = \sum_{j=1}^i (x) \tag{III.2}$$

Et on choisit aléatoirement un nombre r compris entre 0 et 1.

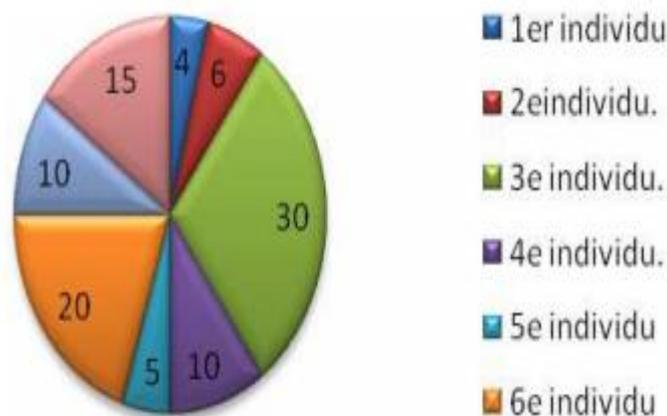


Figure III.3 Roulette. [22]

Ce processus est répété N fois. Avec une telle sélection, un individu fort peut être choisi plusieurs fois

III.4.1.3 La sélection par tournoi :

Elle consiste à choisir aléatoirement deux ou plusieurs individus et à sélectionner le plus fort. Ce processus est répété plusieurs fois jusqu'à l'obtention de N individus [24]

III.4.2 Croisement :

Le croisement permet de produire deux nouveaux individus (enfants) à partir de deux individus (parents). Par exemple, le croisement bi-points consiste à choisir aléatoirement deux points de croisement et à échanger les segments des deux parents déterminés par ces deux points. Le croisement réalise donc uniquement des recombinaisons de valeurs (gènes) existantes entre deux parents et ne permet pas d'introduire de nouvelles valeurs dans les individus enfants. Pour cela, on applique la mutation. Il existe trois types d'opérateurs de croisement : [25]

III.4.2.1 Le croisement à un point :

Consiste à choisir aléatoirement une position de coupure L qui commence de 1 jusqu'à n-1. Si les parents sont sélectionnés alors les enfants sont construites [25].

III.4.2.2 Le croisement à deux points :

Les enfants sont produits en échangeant l'information chromosomique entre les deux points de coupure. [19]

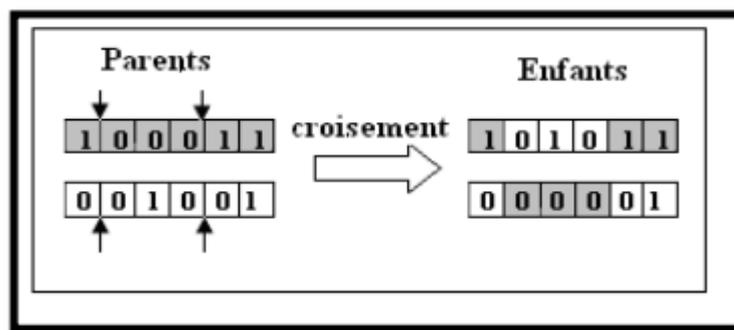


Figure III.4 Croisement avec deux points [25]

III.4.2.3 Le croisement uniforme :

Une chaîne de bits est générée aléatoirement pour engendrer les enfants. Pour chaque position, le choix aléatoire indique quel parent déterminera la valeur des enfants. [25]

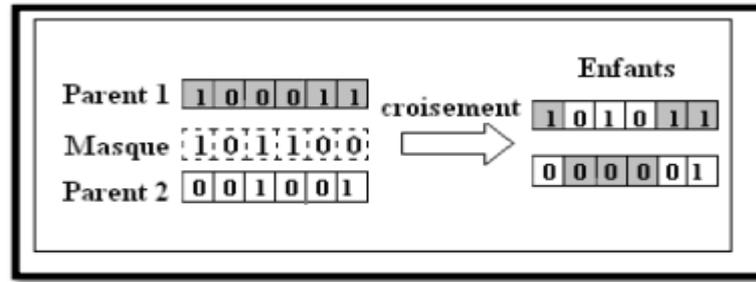


Figure III.5 Croisement Uniforme [25]

III.4.3 Opérateur de mutation

L'opérateur de mutation apporte aux algorithmes génétiques l'aléa nécessaire à une exploration efficace de l'espace. Cet opérateur nous garantit que l'algorithme génétique sera susceptible d'atteindre la plupart des points du domaine réalisable. Cerf en 1994⁴, a démontré théoriquement que l'algorithme génétique converge en probabilité en utilisant l'opérateur de mutation et sans croisement. Les propriétés de convergence des algorithmes génétiques sont donc fortement dépendantes de cet opérateur. [21]

Cet opérateur de mutation est utilisé avec une probabilité (P_m) nommée probabilité de mutation. Dans les algorithmes génétiques à codage binaire. Cette probabilité s'effectue sur les gènes en échangeant sa valeur de 0 à 1 et non sur le chromosome tout entier. [21]



Figure III.6 Opérateur de mutation d'un bit [21]

Mais avec un algorithme génétique codé autrement, on applique cette probabilité par rapport à l'individu tout entier et non sur les gènes. Si β , généré aléatoirement, appartient à $[0, P_m]$, nous appliquons l'opérateur de mutation sur cet individu [21]

III.4.4 Le codage ::

Il faut représenter les différents états possibles de la variable dont on cherche la valeur optimale sous forme utilisable pour un AG : c'est le codage. Cela permet d'établir une connexion entre la valeur de la variable et les individus de la population, de manière à imiter la transcription genotype-phenotype qui existe dans le monde vivant. Les principaux types de codage : le codage binaire, le codage réel [19]

III.4.4.1 Le codage binaire :

Il a démontré par Holland et Goldberg et permet de représenter le chromosome en une chaîne binaire. Un chromosome est un ensemble de gènes qui représenté par un tableau de gènes. Un gène est un entier long de Kbits. Un individu est représenté par un tableau de gènes et la population par un tableau d'individus. Un des avantages de ce codage est codé de manière facile toutes sortes d'objets : réels, entiers, valeurs booléennes, chaînes de caractères...etc. [25]

III.4.4.2 Le codage réel :

Pour certain problème d'optimisation, il est plus pratique d'utiliser un codage réel des chromosomes. Un gène est ainsi représenté par un nombre réel au lieu d'avoir à coder les réels en binaire puis de les décoder pour les transformer en solutions effectives. Le codage réel permet d'augmenter l'efficacité de l'algorithme génétique et d'éviter des opérations de décodage supplémentaires. En effet, un chromosome codé en réels est plus court que celui codé en binaire [4]

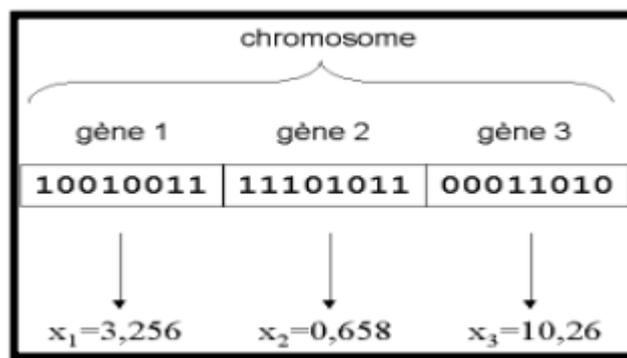


Figure III.7 illustration schématique du codage des variables réelles [25]

III.5 Les critères de convergence :

Une des principales difficultés dans l'application d'un AG est en fait de savoir comment l'arrêter. Il est bon de disposer d'un mécanisme automatique coupant la boucle itérative. Notons que la recherche directe possède le remarquable privilège de ne jamais diverger car une bonne solution découverte est en principe préservée jusqu'à la fin, on ne se préoccupe pas de dépister une évolution divergente. [19]

III.5.1 Nombre maximal de générations

Avec cette option, on fixe à l'avance un nombre de génération à atteindre. A utiliser quand des essais préalables ont déjà été effectués et que le taux de convergence est relativement stable [19]

III.5.2 Critère sur l'évolution du meilleur individu Le suivi du meilleur individu

Le suivi du meilleur individu P_i de la population et de son évolution fournit aussi un critère d'arrêt. Si, pendant n_g générations consécutives jusqu'à la génération courante g , le déplacement de P_i dans l'espace R^b où la variation de $f(P_i)$ ne dépasse pas un certain seuil donné, alors l'algorithme doit se terminer :

$$\text{Si } \|P_i^K - P_i^{K-1}\| \leq \varepsilon_b \text{ ou } |f(P_i^K) - f(P_i^{K-1})| \leq \varepsilon_f, K = (g - n_g + 1) \text{ Alors fin} \tag{III.3}$$

En particulier, si $\varepsilon_f = 0$ on décide de s'arrêter si aucune amélioration sur la meilleure solution trouvée n'est constatée pendant n_g générations, quel que soit sa localisation dans \mathfrak{R}^b [19].

III.6 Test d'arrêt :

Le test d'arrêt joue un rôle primordial dans le jugement de la qualité des individus son but est de nous assurer l'optimalité, de la solution finale obtenue par l'algorithme génétique.

Les citées d'arrêts sont de deux natures :

1. Arrêt après un nombre fixé a priori de générations. C'est la solution retenue lors qu'une durée maximale de temps de calcul est imposée.
2. Arrêt lorsque la population cesse d'évoluer ou n'évolue plus suffisamment. Nous sommes alors en présence d'une population homogène dont on peut penser qu'elle se situe à la proximité de l'optimum. Ce test d'arrêt reste le plus objectif et le plus utilisé.

Il est à notre qu'aucune certitude concernant la bonne convergence de l'algorithme n'est assurée. Comme dans toute procédure d'optimisation l'arrêt est arbitraire, et la solution « en temps fini » ne constitue qu'une approximation de l'optimum. [20]

III.7 Procédure d'identification des paramètres du moteur asynchrone par les algorithmes génétiques :

L'algorithme génétique peut être utilisé pour calculer les paramètres de circuit équivalents d'une machine à induction illustré à la figure 2.3. L'objectif du problème d'optimisation peut être formulé en fonction du couple à pleine charge comme suit [R. Nolan] :

$$F(R_1, R_2, X_1, X_2) = C_{th} - C_r = \frac{v^2 \frac{R_2}{g}}{w_s \left[\left(R_1 + \frac{R_2}{g} \right)^2 + X_1^2 \right]} - C_r \tag{III.4}$$

Où F est l'erreur du couple à pleine charge, R_2 est les résistances statorique, R_1 est les résistances rotorique, X_2 est la réactance rotorique X_1 est la réactance statorique, and X_m est la réactance de magnétisation.

La procédure d'identification des paramètres du système non linéaire à savoir le moteur asynchrone est illustré dans la figure III.8

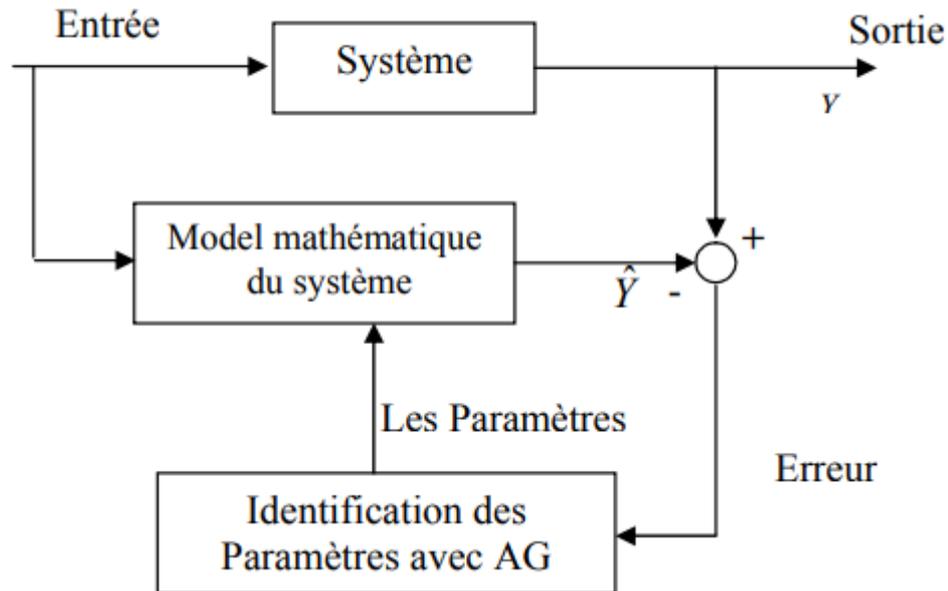


Figure III.8 Identification des paramètres par un algorithme génétique [19].

On considérant que g est le nombre de génération, les principaux étapes de l'identification de paramètre d'un système non linéaire en utilisant les AG peut être décrite comme suit [M] :

1er étape : Génération aléatoire de la population initiale des paramètres

La population initiale est générée aléatoirement de taille N individu : [19]

$$P_i^0 = \{P_i^0 \mid i = 1, 2, \dots, N\}$$

Chaque individu P_i^g de la population est une solution possible au problème, les paramètres de l'individu du vecteur P sont contraints par les conditions suivantes :

$P_{\min,j} \leq P_i^g \leq P_{\max,j} \quad j = 1, 2, \dots, m$ sont les limites "espace de recherche" donné par une connaissance à priori du système.

Les limites initiales doivent être assez étendues pour contenir l'optimum global. Cependant si rendu trop grand, l'AG ne pourrait pas pouvoir trouver l'optimum global, la convergence sera donc lente et moins d'efficacité. Ainsi, tous les paramètres de valeurs imprécis peuvent affecter le modèle

de machine aux résultats ridicules ou produire erreurs d'exécution, d'où ces limites doivent être bien choisit afin de réduire le temps de convergence tout en évitant d'éliminer des solutions bénéfiques.

2ème étape

Chacun individu P_i^s est employé pour calculer la fonction cout. Le problème d'optimisation de paramètres peut être énoncé comme suit : Déterminer les valeurs de l'ensemble de l paramètres qui réduisent au minimum la fonction de coût du procédé de l'AG. [19]

3ème étape :

Une nouvelle génération P^{s+1} avec le même nombre d'individu que P^s est formé au moyen des opérateurs génétiques reproduction, croisement et mutation appliqués à la précédente population. [19].

4ème étape

Le processus s'arrêtera si $g = (\max g)$ où $(\max g)$ est un grand nombre entier représentant le nombre maximum de génération. [19]

III.8 Application de l'algorithme génétique modifié pour l'identification des paramètres du moteur asynchrone :

La procédure d'identification basée sur l'AG décrite dans le paragraphe précédent va être utilisée pour identifier les paramètres du modèle d'une phase du moteur à induction.

Dans le tableau III.1 on a les paramètres du modèle qui ont été identifiés par les méthodes classiques, qui vont être utilisé pour la génération de données :

Paramètres	R_1	R_2	X_1	X_2
Valeurs	25.6	13.28	16.642	16.642

Tableau 4 Paramètre du modèle d'une phase de moteur asynchrone

L'identification des paramètres est basée sur l'AG modifié qui choisit, à chaque génération, un ensemble de valeurs de paramètre. La fonction objective à optimiser est celle décrite par l'équation III.2 Cette fonction dépend des quatre paramètres qui seront par la suite identifiés.

Les caractéristiques de l'AG avec codage modifié employées pour identifier le vecteur de paramètre utilisé dans ce travail sont indiquées dans le Tableau suivant :

Paramètres	VALEUR	Description
Popsiz	50	Taille de la population
Maxgen	400	génération maximum
Pc	0.8	Taux de croisement
Pm	0.3	Taux de mutation

Tableau 5 Les Caractéristiques de l'Algorithme Génétique avec codage modifié

L'algorithme génétique proposé fonctionne avec la population initiale aléatoire. Les résultats d'identification des paramètres obtenus sont les suivants :

Paramètres	R_1	R_2	X_1	X_2
Valeurs	22.6002	13.4589	16.8501	8.7372

III.9 Conclusion :

Au début de ce chapitre, nous avons présenté un bref aperçu sur l'algorithme génétique. Puis nous avons utilisé une version modifiée pour l'identifier des paramètres du moteur asynchrone. L'AG proposé possède une convergence globale acceptable.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Aujourd'hui le moteur asynchrone est devenu le plus utilisable parmi les moteurs Électriques dans tous les domaines de conversion électromagnétiques, grâce à sa robustesse, Sa faible maintenance et son coût modéré. L'évolution considérable de l'électronique de Puissance et de la micro- informatique, permettent l'utilisation des moteurs asynchrones dans Les entraînements à fréquence variable.

Des nombreuses recherches attribuées à ce genre des moteurs, étudians leurs modélisations et Leurs commandes ainsi l'identification de leurs paramètres, afin d'arriver à des meilleures Approches possibles de la machine.

L'objectif de ce mémoire se divise en deux tâches :

- L'identification expérimentale des paramètres du moteur par l'utilisation des Méthodes classiques.
- L'identification des paramètres du moteur asynchrone en se basant sur les Algorithmes génétiques.

Pour aboutir à ce but, nous avons présenté le MAS par son schéma équivalent ramené au stator et nous avons identifié ses paramètres par les essais pratiques.

Comme les algorithmes évolutionnaires sont des algorithmes d'optimisations, et qui Nécessitent une fonction objective à optimiser. Dans ce travail nous avons utilisé l'expression Du couple comme fonction cout pour l'algorithme génétique. Les résultats d'identifications Obtenus par l'utilisation de cet algorithme sont acceptables.

Comme perspective, on propose :

- L'identification des paramètres en temps réel (on-line) qui permet : de donner

Instantanément les paramètres de la machine en temps réel. Cela pourrait être très

Favorable pour les contrôles vectoriels et adaptatifs, dont la sensibilité des paramètres

En influe fortement.

- de suivre l'évolution des paramètres du système, pour s'assurer de leurs variations

(Diagnostic en temps réel).

Annexes

Annexe1

Caractéristique nominale de moteur :

Puissance nominale P=1 [KW]
Facteur de puissance $\cos \varphi = 0.83$
Fréquenc F=50 [Hz]
Vitesse de rotation N=2780 [tr/min]
Tension V=380 [V]
Courant nominal I=2.5 [A]
Le couplage triangle

Les résultats de l'essai en charge du moteur :

c_r [N.m]	0	0.5	1	1.5	1.8	2.2
V_s [v]	380	380	380	380	30	380
I_s [A]	1.51	1.63	1.81	2.03	2.2	2.48
$\cos \varphi$	0.9	0.90	0.83	0.76	0.7	0.65
N_r []	2998	2994	2993	2888	2887	2885
P_1 [W]	-120	+20	+120	+240	+320	+410
Q_1 [VAR]	+580	+620	+670	+710	+750	+810
P_2 [W]	+400	+500	+600	+700	+680	+890
Q_2 [VAR]	+340	+260	+200	+130	+80	+30
g	0.000666	0.002	0.00233	0.0373	0.0376	0.0383
P_a [W]	973.973	965.549	998.782	1015.439	1013.596	1060.985

Annexe2

Les résultats expérimentaux des paramètres électrique et mécanique identifiés du moteur :

R_1 : Résistance d'une phase statorique	$R_1 = 25.6 \Omega$
R'_2 : Résistance rotorique ramené	$R'_2 = 13.28 \Omega$
X_1 : réactance de fuite statorique	$X_1 = 16.86$
X_2 : réactance rotorique de fuite ramené au stator	$X_2 = 16.86$
L'_1 : Inductance de fuite statorique	$L'_1 = 0.053 H$
L'_2 : Inductance rotorique de fuite ramené au stator	$L'_2 = 0.053 H$
X_m : réactance magnétisante	$X_m = 539.5 \Omega$
L_m : Inductance magnétisante	$L_m = 1.7 H$
X_{sc} : réactance cyclique statorique	$X_{sc} = 552.29 \Omega$
L_{sc} : Inductance cyclique statorique	$L_{sc} = 1.71 H$
J : le moment d'inertie	$J = 0.001 \text{ kg.m}^2$
f_r : le coefficient de frottement	$f_r = 0.00021 \text{ Nm.rad}^{-1}$

Références Bibliographiques

Liste des références

- 1 : BENAMROUCHE NACEREDDINE** «Identification des paramètres de la machine asynchrone à cage d'écureuil» Mémoire de fin d'étude-master université mouloud Mammeri-TIZI-OUZOU-2011/2012
- 2 : METROUH MOHMED ET MOUSSI RAFIK** «Identification d'une machine asynchrone à cage» Mémoire de Fin d'Etudes-de MASTER-ACADIMIQUE université mouloud Mammeri-TIZI-OUZOU- 2017
- 3 : CHERIF AISSA ET BOUZIANE AHMED** «étude simulation des (api) en vue de leurs applications dans le domaine de démarrage des moteurs asynchrone triphasés» Mémoire de Fin d'Etudes-de MASTER- UNIVERSITE DE -M'SILA-2006/2007
- 4 M'BOUHRAOUA MOSTAPHA** : «Identification des paramètres d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil étude comparative» Mémoire de fin d'étude-master université mouloud Mammeri-TIZI-OUZOU-2012-2013
- 5 : OULD AMROUCHE Arezki et BOUALAM Mohamed** « Identification des paramètres d'un moteur asynchrone : Application au moteur du laboratoire » Mémoire de Fin d'Etudes-de MASTERACADIMIQUE- université mouloud Mammeri-TIZI-OUZOU- 2017
- 6 : BESTANI MAHIEDDINE ET DERMOUCHE SAID** «Identification des paramètres d'une machine asynchrone à double alimentation» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER- université mouloud Mammeri-TIZI-OUZOU- t 2016
- 7 : BOUDJTAT WALID ET HIMOURA ABEDELKADER** «etude et simulation d'un machine asynchrone alimente par un onduleur de tension a commande MLI » Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER- université badji mokhtar –ANNABA-2017
- 8 : BELARABI HADJER ET OTMANE AMEL** «Identification des paramètres d'une machine asynchrone par méthode PSO (particle swarm optimization)» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM-2020/2021
- 9 :MEFLAH ABDE RRAHMANE MOHAMED REDA ET BOUSSAADA HATEM** «Réalisation d'une carte d'acquisition pour le diagnostic des défauts dans la machine asynchrone»)» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM-2017 / 2018

- 10 : GEATAN DIDIER** «modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillance» thèse de-DOCTORA-université Henri Poincaré Nancy-I 2004
- 11 : KHALOUA HOCINE** «Identification des paramètres de la machine asynchrone à partir des caractéristiques électromécaniques et fréquentielles» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF-UFAS (ALGERIE)
- 12 : BENGUESMIA TOUFIK ET GUERAR KHALILE** «implémentation de la commande scolaire pour une machine asynchrone triphasé» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Mohamed Boudiaf-M'SILA- 2017 /2018
- 13 :: GUY SEQUIER** « électrotechnique industrielle » > édition 1982 en France.
- 14 : NASRI FARID ET AYCHE MOHAMED** «ETUDE DES PROCEDES DES FREINAGES DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES PAR LES AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (A.P.I.)» » Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER- Université Mohamed Boudiaf-M'SILA-2006 / 2007
- 15 : BOUGHAZOULA MOHAMED SAYEH et CHARIF MOHAMED** « Identification des paramètres du moteur asynchrone » Mémoire de fin d'étude-master -université Mohamed Khider BISKRA - 2011.
- 16 : BERREHAIL Belkacem** «Identification des paramètres du moteur asynchrone à cage» Mémoire de Fin d'Etudes-master-Université Mohamed Khider-Biskra-2012 / 2013
- 17 : «Document Internet»
- 18 : TINA SALAH EDDINE** « Identification des paramètres d'un moteur asynchrone triphasé à cage en utilisant le schéma équivalent » Mémoire de fin d'étude-master-université Mohamed Khider-BISKRA-2014.
- 19 : MEGHERBI AHMED CHAOUKI** «Identification des paramètres des systèmes non linéaires basée sur les techniques Soft Computing» thèse de-DOCTORA- Université Mohamed Khider-Biskra-2012
- 20 : BELHIA SLIMANE ET BETTAHER MOHAMMED** «Applications des algorithmes génétiques» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM- 2018/2019
- 21 : DJILALI BEIDA MAAMAR** «APPLICATION DE L'ALGORITHME GENETIQUE ET LES ELEMENTS FINIS A L'ETUDE DU COMPORTEMENT A L'ENDOMMAGEMENT DES COMPOSITES SOUMIS A L'IMPACT» thèse de-DOCTORA- Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM-2017
- 22 : MEHIDID FADILA** «Algorithme Génétique» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM- 19/06/2013.

23 : MOUMEN SABEUR ET MELLAHI KAMEL «Comparaison de deux algorithmes d'optimisation» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM-2014/2015

24 : ADAOUI CHERIFA ET BAHRI IMANE «Vérification des signatures manuscrites par le modèle neuro-génétique» Mémoire de Fin d'Etudes-de-MASTER-Université Abdelhamid Ibn Badis-MOSTAGANEM-2015-2016