

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد دحلب البلدية 1
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الآلية والإلكتروني
Département d'automatique & Electrotechnique



Mémoire de Master

Filière Électrotechnique
Spécialité Machines électriques

Présenté par

TSIACHACHTS MAYSA

Identification des paramètres de la machine asynchrone par l'algorithme ABC

Proposé par : Mme KHEMICI Latifa - Mme BRAHIMI Nouzha

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu, le tout puissant d'avoir donné la patience et la force nécessaire pour mener à terme de ce travail.

*Ensuite, je voudrai exprimer ma profonde gratitude et reconnaissance envers ma promotrice **Mme. KHEMICI**, enseignante à la faculté de Technologie de l'université de Blida 1, pour la confiance qu'il a témoignée tout au long de ce travail, sa disponibilité, ses conseils judicieux et ses suggestions, qui nous ont beaucoup inspirés, Qu'il trouve ici nos sincères remerciements.*

*Je voudrai également exprimer nos remerciements à **Dr. Messaoud BELAZZOUG**, Chef d'option machines électriques-GE, Maitre de conférences A à l'université de Blida 1, pour sa disponibilité, ses orientations ponctuelles, et son engagement à l'égard de notre étude scientifique. Il nous a enseigné avec efficacité, clairvoyance et beaucoup de patience en Licence et en Master. Qu'il trouve ici notre profonde gratitude.*

*Sans oublier à exprimer nos sincères remerciements à **Dr. Kherfane Naas**, pour sa motivation depuis le cycle licence, étant notre encadreur du projet de fin de cycle licence et qu'il ne cesse de nous inspirer par ses orientations et conseils afin d'aboutir à un travail réalisable.*

J'exprimer ici nos meilleures salutations, aux membres de Jury, qui nous feront le plaisir et l'honneur, d'avoir accepté d'évaluer mon travail. Je l'ai remercié d'avance pour leurs remarques et suggestions.

Je remercie très chaleureusement les enseignants de la faculté de Technologie, particulièrement nos enseignants de département d'électronique, automatique & électrotechnique. Pour la pédagogie que nous avons reçue.

Je tiens à remercier vivement les membres de notre famille qui nous ont toujours encouragés et plus particulièrement, nos parents pour leurs dévouements et leurs soutiens inconditionnels tout au long de ces longues années d'étude.

*Enfin, il serait particulièrement ingrat de ne pas remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, et précisément à notre cher **Sebaa Sid Ahmed**, l'expression de notre profonde gratitude.*

Dédicace

A celle pour qui mon cœur, depuis ma naissance, n'a pu éprouver qu'amour et reconnaissance, à celle qui a donné un sens à mon existence en m'offrant une éducation digne de confiance, A ma très chère mère.

A mon cher père, pour son amour et son affection et pour bien plus que je ne saurai dire, Merci beaucoup père.

Que Dieu vous protège.

A ceux qui n'ont jamais cessé de me soutenir et m'encourager. A ceux qui leur amour m'a donné la volonté d'aller toujours de l'avant.

A ma grand-mère.

A mes très chers frères, à mes très chères sœurs.

A tous mes chers oncles, à toutes mes chères tantes.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

A tous mes enseignants.

Et à toute ma promotion d'étude 2021/2022

Je dédie ce travail

ملخص: تقدم هذه الأطروحة طريقة تحديد لتقدير المعلمات الكهربائية والميكانيكية لآلة المحرك اللا متزامن في وقت واحد باستخدام التيار المقاس وفولطية الطور المقابلة فقط.

تعتمد طريقة التحديد هذه على خطأ الإخراج وتستخدم طريقة تحسين مستعمرة النحل كخوارزمية للتقليل الفني.

لتحسين أداء طريقة مستعمرة النحل ومقارنتها بطريقة اللوحة الإشهارية وطريقة التجارب التقليدية.

أولاً، يتم التحقق من طريقة تحديد الهوية باستخدام بيانات المحاكاة.

في الخطوة الثانية، يتم تأكيد التحقق من خلال قياسات معينة لجهاز واحد.

تتفق المعلمات المحسوبة جيداً مع البيانات المقاسة.

أظهرت النتائج تفوق وكفاءة طريقة مستعمرة النحل المقترحة من حيث التصغير.

كلمات المفاتيح: المحرك اللا متزامن؛ خوارزمية مستعمرة النحل؛ اللوحة الإشهارية؛ التجارب التقليدية.

Résumé : Ce mémoire présente une méthode d'identification pour estimer simultanément les paramètres électriques et mécaniques de la machine à induction (MAS) en utilisant uniquement le courant de démarrage et la tension de phase correspondante.

Cette méthode d'identification est basée sur l'erreur de sortie et utilise la méthode d'optimisation de colonies d'abeilles comme technique de minimisation.

Pour évaluer les performances de la méthode ABC, cette dernière est comparée avec la méthode de la plaque signalétique et par la méthode des essais classiques.

Dans un premier temps, la méthode d'identification est vérifiée à l'aide des données simulées.

Dans un deuxième temps, la validation est ensuite confirmée par des données expérimentales d'une seule machine. Les paramètres calculés concordent bien avec les données mesurées.

Les résultats obtenus montrent la supériorité et l'efficacité de la méthode ABC en termes de minimisation.

Mots clés : machine à induction (MAS); Algorithme de colonie d'abeille (ABC); plaque signalétique; essais classiques.

Abstract: This thesis presents an identification method to simultaneously estimate the electrical and mechanical parameters of the induction machine (IM) using only the measured current and the corresponding phase voltage.

This identification method is based on the output error and uses the bee colony optimization method as the minimization technique.

To assess the performance of the ABC method, it is compared with the nameplate method and the conventional test method.

First, the identification method is verified using simulated data.

Secondly, the validation is then confirmed by experimental data from a single machine. The calculated parameters agree well with the measured data. The results obtained show the superiority and efficiency of the ABC method in terms of minimization.

Keywords: Induction machine (IM) ; Artificial bee colony (ABC); nameplate; conventional test.

Liste des acronymes et abréviations

Liste des acronymes et abréviations

N_s	:	Vitesse de rotation.
p	:	Nombre de pair de pole
f	:	fréquence
ω_s	:	Pulsation
Ω	:	la vitesse angulaire
ω_r	:	la pulsation rotorique
g	:	le glissement
θ_s	:	Angle entre l'axe de phase a du stator et l'axe d.
θ_r	:	Angle entre l'axe de phase a du rotor et l'axe d.
θ	:	Angle électrique entre la phase statorique et la phase rotorique.
V_s, I_s	:	Tension et courant statorique.
V_r, I_r	:	Tension et Courant rotoriques.
s, r	:	Indices d'axes correspondants au stator et rotor.
a, b, c	:	Indice correspondants aux trois phases a, b, c.
R_s, L_s	:	Résistance et inductance propre d'une phase statorique.
R_r, L_r	:	Résistance et inductance propre d'une phase rotorique.
Φ_s	:	Flux statorique.
Φ_r	:	Flux rotorique
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_0	:	Mutuelle inductance maximale entre une phase statorique et une phase rotorique
$[M_{sr}]$	:	La matrice des inductances mutuelles entre les phases du stator et du rotor

Liste des acronymes et abréviations

$[L_{sr}]$	:	la matrice des inductances mutuelles.
$P[\theta_s]$	:	Matrice de transformation de PARK.
$[P(\theta_s)]^{-1}$	:	Matrice de transformation inverse de PARK.
d, q	:	Indice de l'axe direct et Indice de l'axe en quadrature.
J	:	Inertie de toutes les masses tournantes ramenées à l'arbre de la machine.
C_r	:	Couple de charge.
f_v	:	Coefficient du frottement visqueux.
$[X]$	:	Vecteur d'état
$[U]$	:	Vecteur de commande
$[A]$	:	Matrice fondamentale qui caractérise le système.
$[B]$	:	Matrice d'application de la commande.
V_{s0}	:	la tension à vide
I_{s0}	:	le courant à vide
σ	:	Coefficient de dispersion total.
T_s, T_r	:	Constante de temps statorique et Constante de temps rotorique.
R_f	:	résistance de fer
P	:	Puissance active
Q	:	puissance réactive
$P_{méc}$	:	Puissance mécanique
P_{fer}	:	Perte fer
P_{js}	:	Perte joule statorique
P_{s0}	:	Puissance active à vide
Q_{s0}	:	puissance réactive à vide
P_{cc}	:	Puissance active de court-circuit

Liste des acronymes et abréviations

Q_{cc} : Puissance réactive de court-circuit

V_{cc} : Tension de court-circuit

I_{cc} : Courant de court-circuit

Sommaire

Tables des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale_____ **1**

Chapitre 01 : Généralité et modélisation de la machine asynchrone triphasé

Introduction_____ **2**

Historique_____ **2**

Description générale_____ **3**

Description des différentes éléments_____ **4**

La carcasse_____ **4**

Le stator_____ **4**

Le rotor_____ **5**

 Le rotor à cage_____ **6**

 Le rotor bobiné_____ **6**

L'arbre_____ **7**

Les ventilateurs_____ **7**

Le circuit magnétique_____ **7**

Les enroulements_____ **8**

Tables des matières

Principe de fonctionnement	8
Avantage et inconvénients	9
Modélisation de la machine asynchrone	10
Les hypothèses simplificatrices	10
Modèle triphasé de la machine asynchrone	11
Equations électriques	11
Equations magnétiques	12
Equations mécaniques	13
TRANSFORMATION DE PARK	14
Choix de repère d-q	14
Le modèle mathématique de la machine	15
Conclusion	16

Chapitre 02 : Identification paramétrique classique de la machine

Introduction	18
Détermination des paramètres par la méthode de la plaque signalétique	18
Détermination des paramètres par les essais classiques	20
Essai en courant continu : détermination R_s	20
Essai à vide : détermination de L_s	21
Essai à rotor bloqué (court-circuit) (synchronisme) : détermination M_{sr}	25
Détermination des paramètres mécaniques	27
Essai de ralentissement : détermination J	27
Essai de ralentissement : détermination f_v	28

Tables des matières

Résultats des paramètres à identifier	29
Discussion	29
Conclusion	30

Chapitre 03 : Méthode stochastique et résultat

Introduction	31
Méthode méta heuristique	31
Définition des méthodes méta heuristique	31
Recuit simulé	32
Recherche taboue	32
Algorithme génétique	32
Optimisation par colonie d'abeille	33
Les abeilles en nature	33
La reine	33
Le male (faux-bourdon)	33
Ouvrières	33
Couvées	34
Recherche de nourriture chez les abeilles	34
Méthode de communication chez les abeilles	34
Optimisation naturelle : les directions fournies par les abeilles	36
Algorithme d'optimisation de colonie d'abeille artificielle(ABC)	37
Les paramètres de l'algorithme	38
Le processus de l'algorithme	38
Organigramme de l'algorithme ABC	41

Tables des matières

Identification paramétrique du MAS par la technique ABC	42
Résultat de simulation	42
Interprétation des résultats	44
Conclusion	45
Conclusion générale	46
Annexe	
Bibliographie	

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1 : Vue d'une machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil.

Figure 1.2 : Stator d'une machine asynchrone.

Figure 1.3: Stator d'une machine asynchrone.

Figure 1.4: Rotor de la machine asynchrone.

Figure 1.5: Rotor à cage.

Figure 1. 6: Constitution du rotor bobiné.

Figure 1.7 : Repérage angulaire des systèmes d'axes.

Figure 2.1 : Schéma équivalent de la machine asynchrone en régime permanent.

Figure 2.2 : La plaque signalétique du moteur.

Figure 2.3 : Montage d'essai en courant continu.

Figure 2.4 : Modèle de la machine asynchrone à vide.

Figure 2.5 : Montage de l'essai à vide.

Figure 2.6 : : Graphe des puissances.

Figure 2.7 : Le montage de mesure.

Figure 2.8 : L'essai avec rotor bloqué.

Figure 2.9 : L'essai de ralentissement.

Figure 2.10 : Comparaison entre courants de phase simulé et mesuré.

Figure 3.1 : La danse des abeilles.

Figure 3.2 : L'indice de la direction.

Figure 3.3 : Organigramme du modèle de base de l'algorithme ABC.

Figure 3.4 : Le courant statorique mesuré.

Figure 3.5 : La superposition entre le courant mesuré et le courant calculé.

Figure 3.6 : Zoom de la superposition entre le courant mesuré et le courant calculé.

Figure 3.7 : la superposition entre le courant mesuré et le courant calculé(bobine)

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Essai à vide sous tension variable.

Tableau 2.2 : Essai à rotor bloqué

Tableau 2.3 : Les paramètres mécaniques.

Tableau 2.4 : Les paramètres électriques identifiées.

Introduction

générale

Introduction générale

Les machines électriques jouent un rôle fondamental dans plusieurs branches de l'industrie, précisément pour des applications à vitesse variable, la croissance de ce type de machine électrique, essentiellement due à sa qualité, à la simplicité de construction, son coût, sa robustesse mécanique ou encore sa quasi-absence d'entretien.

Elle est soumise à différents types de contraintes (chaleur, humidité, efforts mécaniques, variations brusques de charge, vieillissement...) qui vont au cours du temps altérer ses qualités et détériorer ses performances. Par conséquent, si la commande du moteur est conçue avec des valeurs de paramètre erronées, le comportement du système ne répondra plus au cahier des charges initial et ne fonctionnera pas efficacement. C'est pour cette raison, la phase d'identification de ses paramètres à un impact non négligeable sur la précision des résultats obtenus avant la conception d'une commande.

Dans les installations de grandes puissances où les essais directs sont coûteux et parfois difficiles à réaliser, la simulation s'impose comme une bonne alternance pour la prédiction des caractéristiques de la machine. Ces caractéristiques peuvent servir à un dimensionnement judicieux des différents éléments constituant le système global ou à la mise en œuvre d'un système de diagnostic et de surveillance.

La structure générale de notre mémoire est divisée en trois chapitres :

Le premier chapitre présente une vue générale sur la machine asynchrone tel que leur architecture, et leur avantage et inconvénient, ainsi que ça modélisation.

Dans le deuxième chapitre, on a procédé à une étude détaillée sur l'identification de la machine asynchrone et ces essais, telles que l'essai à courant continu et l'essai à vide, ainsi que l'essai en court-circuit et l'essai de ralentissement, aussi nous avons introduit dans un logiciel de simulation (MATLAB) les résultats obtenus à partir des essais afin de systématiser la lecture des caractéristiques du moteur selon les conditions d'utilisation.

Le dernier chapitre, consacré à des méthodes métaheuristiques à savoir : Le recuit simulé, La recherche taboue, L'algorithme génétique, et en détail comme proposition l'algorithme d'intelligence artificielle de colonie d'abeille (ABC) pour vérifier la corrélation entre les paramètres mesurées et ceux calculées sur le banc d'essai.

Généralités et modélisation de la machine asynchrone triphasé

1.1. INTRODUCTION

La machine asynchrone, en particulier à cage d'écureuil, présente des avantages certains liés à sa conception simple, sa fabrication peu coûteuse, sa robustesse, son poids et son inertie faibles et le peu d'entretien qu'elle requiert. Aussi, est-elle largement utilisée dans de nombreux domaines et dans une multitude d'applications industrielles [1] (machines-outils, machineries d'entraînement, systèmes de pompage, de ventilation et de levage, ...). Cependant, elle est soumise à différents types de contraintes (chaleur, humidité, efforts mécaniques, vieillissement, ...) qui vont altérer ses qualités et détériorer ses performances. Par conséquent, si la commande du moteur est conçue avec des valeurs de paramètre erronées, le comportement du système ne répondra plus au cahier des charges initial et ne fonctionnera pas efficacement. C'est pourquoi, l'identification de ses paramètres joue un rôle central en vue de sa commande.

Le problème de la modélisation mathématique de la machine asynchrone est complexe, en effet les phénomènes mis en jeu sont de natures électriques, magnétiques et mécaniques, avec une structure multivariable et fortement non-linéaire. Le modèle du moteur asynchrone, dans le repère triphasé lié au stator, présente l'inconvénient d'être complexe car il aboutit à des équations différentielles à coefficients variables fonction de la position du rotor et donc du temps [2]. Aussi, l'approche actuelle pour la modélisation du moteur asynchrone est basée sur la théorie des deux axes de R.H. Park [3] qui transforme un système triphasé en un système biphasé.

La dépendance avec la position du rotor est éliminée et l'ordre du système est réduit, cela permet d'obtenir des modèles dynamiques caractérisés par des systèmes d'équations à coefficients constants, mais le système reste non-linéaire. L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu général sur la machine asynchrone et leurs modélisations sous forme d'équations d'état en vue de son identification paramétrique.

1.2. HISTORIQUE

La paternité de la machine asynchrone est controversée. Elle pourrait être attribuée à trois inventeurs :

- En 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets ;

- pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur la machine asynchrone en avril 1888 ;
- en 1889, Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, invente la première machine asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construite industriellement à partir de 1891.

1.3. DESCRIPTION GENERALE

La machine asynchrone triphasée à cage comporte deux parties distinctes et coaxiales, séparées par un entrefer de faible épaisseur et respectivement appelées stator et rotor, la première étant fixe et le second mobile. [4]

Le stator de la machine asynchrone (Figure 1.2) est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placées les bobinages statoriques. Ces tôles sont, pour les petites machines, découpées en une seule pièce, alors qu'elles sont pour les machines de puissances plus importantes, découpées par sections. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault [5]

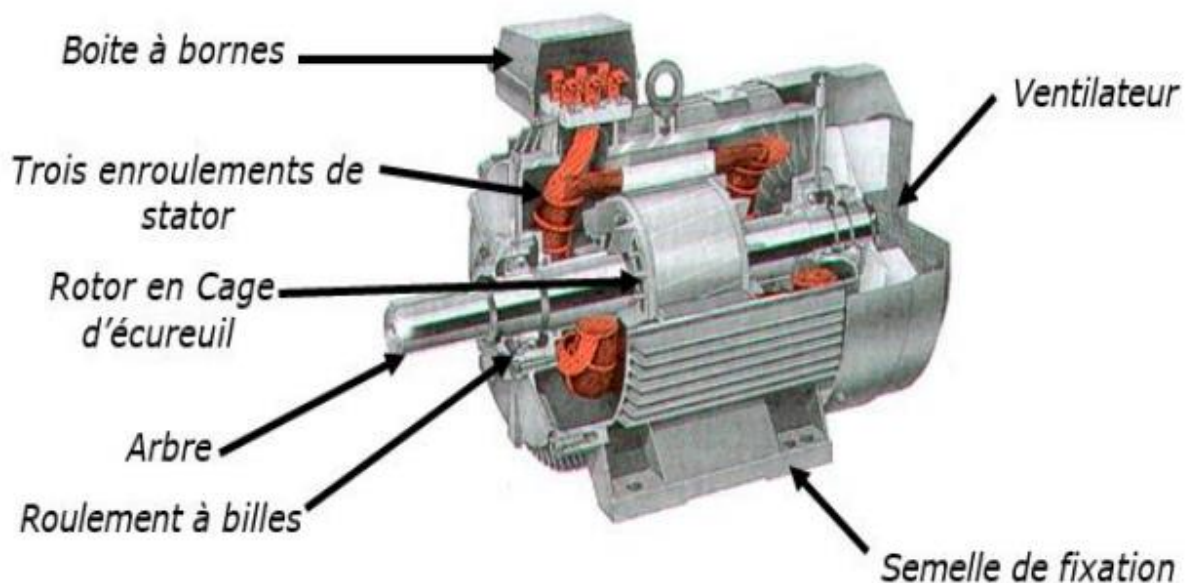


Figure 1.1 : Vue d'une machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil.

Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique. Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévus à cet effet. Ces enroulements

peuvent être insérés de manière imbriquées, ondulés ou encore concentriques. L'enroulement triphasé possède alors p paire de pôles magnétique par phase.

Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone [6].

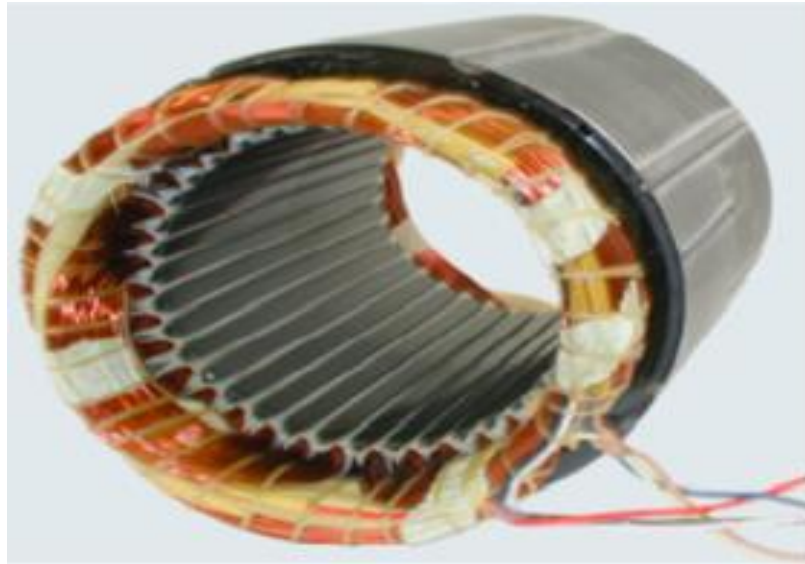


Figure 1.2 - stator d'une machine asynchrone

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont de même origine que celles utilisées pour la construction du stator.

Les rotors des machines asynchrones peuvent être de deux types : bobinés (aussi appelés à bagues) ou à cage d'écureuil. [6] [7]

1.3.1 DESCRIPTION DES DIFFERENTES ELEMENTS

a) La carcasse

Qui sert de support, elle joue le rôle d'une enveloppe, elle assure la protection contre les agents extérieurs et guide l'aire de ventilation

b) Le stator

Le circuit magnétique est un empilement de tôles fines d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. On utilise des tôles minces dont l'épaisseur varie entre (0.35 et 0.5) mm pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique.

De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les tôles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le bobinage statorique est constitué de deux parties figure (1.3) : les conducteurs d'encoche et les têtes de bobines.

Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique.

Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdal possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique. Physiquement, on peut effectuer les bobinages statoriques de plusieurs façons, mais on utilise habituellement trois types d'enroulement : l'enroulement imbriqué, l'enroulement concentrique et l'enroulement ondulé. Chaque type présente des avantages dans certaines applications.

Pour les petits moteurs, et particulièrement lorsque la réalisation du bobinage est mécanisée, on utilise généralement l'enroulement concentrique [8]

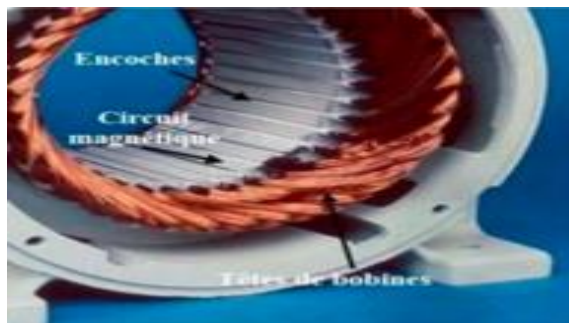


Figure 1.3: stator d'une machine asynchrone

c) le rotor (induit)

Le rotor est constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau. Dans les petits moteurs, les tôles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans de plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un moyeu.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par couplage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton préformées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre.



Figure 1.4: rotor de la machine asynchrone

✓ Le rotor à cage

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barres rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor Figure (1.5), Cette cage est insérée à l'intérieur de circuit magnétique.

Dans le cas de rotor à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées dans les tôles du rotor.

Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre.

Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus simple à construire que le moteur à rotor bobiné et, de ce fait, son prix de revient est inférieur. De plus, il dispose d'une plus grande robustesse. (figure 1.5)



Figure 1.5: Rotor à cage (tôles magnétiques, conductrices d'encoches (barres) et anneaux (bagues) de court-circuit)

✓ Le rotor bobiné

Le rotor d'une machine bobiné est constitué de trois bobines (on parle aussi de rotor à bague). Chaque bobine est reliée à une bague. Les bagues permettent d'avoir une liaison électrique avec les bobines du rotor. Le rotor est mis en court-circuit par l'extérieur au travers de trois bornes liées électriquement par des contacts glissants appelés bagues réalisées en laiton sur lesquelles s'appliquent des balais de graphite Figure (1.6). Les trois enroulements rotoriques sont couplés en étoile à l'intérieur de la machine. [3]

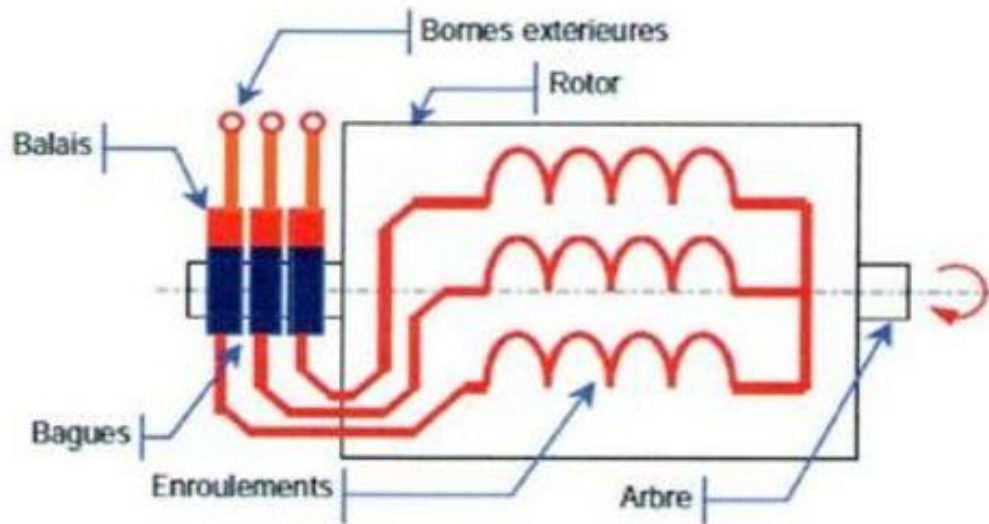


Figure 1. 6 : Constitution du rotor bobiné.

d) L'arbre

L'arbre de la machine électrique est un organe de transmission du mouvement de rotation. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor, au circuit magnétique et aux enroulements tournants. L'arbre est lui-même supporté par un ou plusieurs paliers suivant la configuration de l'ensemble de la ligne d'arbre. [9]

e) Les ventilateurs

La transformation de l'énergie électrique, ou inversement, ne peut s'effectuer sans pertes, l'énergie ainsi perdue étant transformée en chaleur. La ventilation a pour but d'extraire les pertes internes de leurs différentes sources et d'assurer un refroidissement aussi homogène que possible des bobinages.

f) Le circuit magnétique

Il a pour fonction la canalisation des lignes d'induction magnétique, le maintien des conducteurs, la conduction thermique des conducteurs vers les zones de refroidissement (Canaux de ventilation, entrefer). Donc il doit présenter à la fois des propriétés magnétiques,

des caractéristiques mécaniques déterminées et une bonne conductivité thermique.

En régime établi, l'induction en chaque point du circuit est variable. L'origine de cette variation est électrique (ondes magnétiques créées par un circuit électrique pour un stator ou un rotor).

Les pertes fer, hystérésis et par courants de Foucault sont relativement importantes. Dans ce type de circuit on utilise des tôles de faible épaisseur, à grande perméabilité et à pertes magnétiques réduites. [10]

g) Les enroulements

Les enroulements servent à véhiculer les courants électriques à l'intérieur de la machine. On distingue principalement les enroulements statoriques et rotoriques. Ces enroulements sont, dans le cas général du type polyphasé, chaque encoche contient un certain nombre de conducteurs

1.4. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant, créé par les courants triphasés fournis aux enroulements statoriques par le réseau et des courants induits dans les conducteurs rotoriques, lorsque ces conducteurs sont balayés par le champ tournant.

De cette façon, le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur tournant, le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire.

Lorsque le stator est alimenté par un système triphasé de tension de fréquence f , le champ tournant produit est sinusoïdal et sa vitesse de rotation est en tr/mn :

$$N_s = \frac{f}{p} \cdot 60$$

L'interaction des deux parties de la machine asynchrone n'est possible que lorsque la vitesse de champ tournant diffère de celle du rotor, c'est à-dire lorsque le champ est immobile par rapport au rotor, ainsi aucun courant n'est induit dans l'enroulement rotorique.

Le champ tournant statorique induit alors dans les phases de l'enroulement rotorique des forces électromotrices, ce qui a pour conséquence la naissance de courants dans les conducteurs du rotor de pulsation ω_s égale à celle du réseau. Ces courants tendent à s'opposer aux variations de flux dans les spires du rotor, provoquant ainsi la création d'un couple électromagnétique.

Sous l'action de ce couple, la partie tournante, entre en rotation et subit une accélération qui ne pourrait s'annuler qu'avec l'équilibre des couples moteur et résistant, ce qui n'arrive pas compte tenu de l'effet diverses résistances s'opposant à la rotation, telle que les frottements, les ventilations...

Lorsque le rotor tourne à la vitesse Ω , la pulsation des courants rotoriques est :

$$\omega_r = \omega_s - p.\Omega$$

Celle-ci diminuant avec la croissance de la vitesse, les forces électromotrices, les courants induits et donc le couple électromagnétique s'annulent pour l'égalité :

$$\omega_s = p.\Omega$$

Par conséquent, la génération de couple est obligatoirement accompagnée d'un écart entre la vitesse du champ tournant produit par le stator et la vitesse de rotation du rotor, celle-ci se stabilisant à une valeur Ω proche de la vitesse synchrone ω_s .

Il est d'usage de caractériser l'écart $\Omega_s - \Omega$ par une grandeur un rapport sans dimension sans dimension appelée glissement :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \frac{N_s - N}{N_s}$$

Le glissement est souvent exprimé en %, sa valeur croît avec la charge, d'autre part l'écart de vitesse étant faible en régime nominal, les valeurs varient pour ce régime de 2 à 5% environ selon la puissance du moteur considéré.

On remarquera qu'au démarrage (moteur à l'arrêt $N = 0$ et par conséquent $g = 1$. A vide, la différence de vitesse étant infime, on considère habituellement que $g \approx 0$.

1.5. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Le moteur asynchrone est le moteur électrique le plus utilisé dans l'industrie ; il est peu coûteux, on le fabrique en grande série, il est robuste, fiable et économique. Il fonctionne directement sur le secteur alternatif, sans transformations préalables de l'énergie électrique qui l'alimente, c'est le moteur industriel par excellence qui ne possède pas d'organes délicats comme le collecteur du moteur à courant continu et qui n'utilise pas de contacts glissants comme le moteur synchrone (pour l'excitation du rotor). [11] Les courants qui circulent dans le stator, constituent l'unique source externe du champ magnétique. Sa vitesse varie un peu quand on le charge, on dit qu'il glisse, mais ce glissement est en générale ne dépasse pas quelques centièmes de la vitesse à vide, il est négligeable le plus souvent. Le démarrage des moteurs asynchrones ne pose pas de problèmes pour les unités de petite puissance. Par contre, pour les moteurs de forte puissance, il faut démarrer sous-tension réduite pour éviter un appel

de courant trop élevé. Par contre dans le moteur asynchrone les courants statoriques sont à la fois à générer le flux et le couple. Le découplage naturel de la machine à courant continu n'existe pas. D'autre part on ne peut connaître les variables internes du rotor à cage qu'à travers le stator.[12] L'inaccessibilité du rotor nous amènera à modifier l'équation vectorielle rotorique pour exprimer les grandeurs rotoriques à travers leurs actions sur le stator.

La simplicité structurelle cache donc une grande complexité fonctionnelle due aux caractéristiques qui viennent d'être évoquées mais également aux non linéarités, à la difficulté d'identification et aux variations des paramètres (R_r en particulier).

1.6. MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

La machine asynchrone n'est pas un système simple, car de nombreux phénomènes physiques interviennent dans son fonctionnement, comme la saturation, l'effet de peau...etc.

Cependant, nous n'allons pas tenir compte de ces phénomènes, car d'une part, leur formulation mathématique est difficile, d'autre part, leur incidence sur le comportement de la machine est considérée comme négligeable. Ceci nous permet d'obtenir des équations simples, qui traduisent fidèlement le fonctionnement de la machine.

La machine asynchrone est modélisée par un système de six équations différentielles dont les coefficients sont des fonctions périodiques du temps. La résolution d'un tel système est difficilement avec l'utilisation de l'outil informatique.

Le modèle de Park permet d'apporter certaines simplifications. Un choix judicieux du repère de Park permet d'obtenir un modèle de la machine asynchrone.

1.7. LES HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES [13]

- On suppose les circuits magnétiques non saturés et suffisamment feuilletés pour que les pertes fer soient négligeables. Les relations entre les flux et les courants sont donc linéaires.
- On considère une densité de courant uniforme dans les sections des conducteurs élémentaires. L'effet de peau est négligé.
- On ne tient compte que du premier harmonique d'espace de la distribution de la force magnétomotrice de chaque phase du rotor et du stator. L'entrefer étant constant, les inductances

propres sont constantes. Les inductances mutuelles sont des fonctions sinusoïdales de l'angle entre les axes des enroulements rotoriques et statoriques.

- On suppose que la machine est symétrique

1.8. Modèle triphasé de la machine asynchrone

1.8.1. Equations électriques

Le stator est constitué de trois enroulements répartis dans l'espace, et séparés d'un angle électrique de 120° , les mêmes propos s'appliquent au rotor qu'il soit à cage d'écureuil ou formé de trois bobines. On les représente comme indiqué sur la figure ci-dessous :

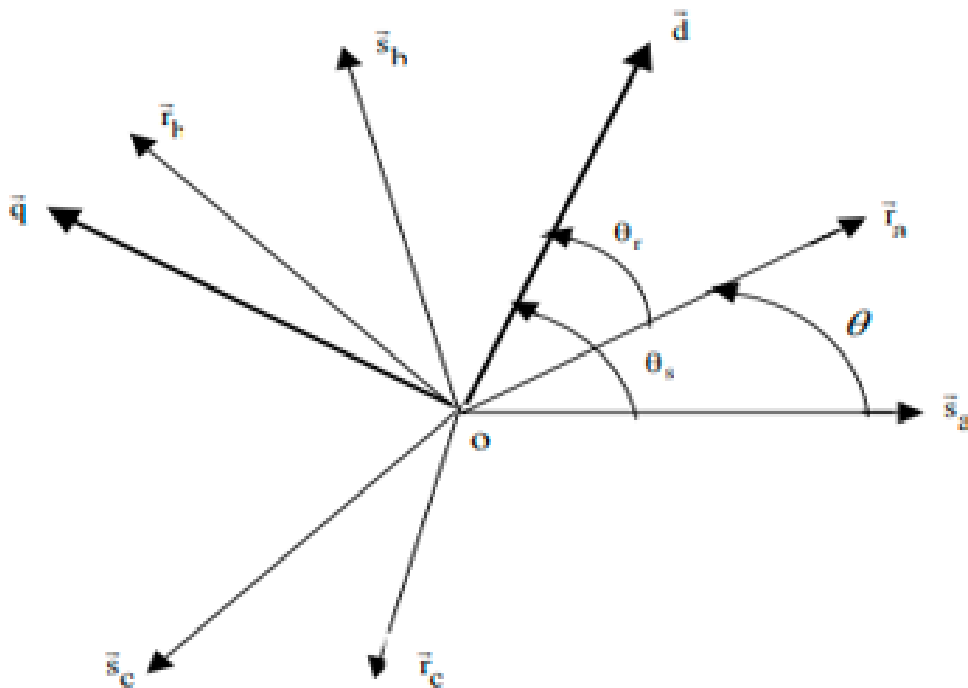


Figure 1.7 : Repérage angulaire des systèmes d'axes

θ_s : Angle entre l'axe de phase a du stator et l'axe d.

θ_r : Angle entre l'axe de phase a du rotor et l'axe d.

θ : Angle entre l'axe du stator et du rotor.

L'axe s_a est souvent considéré comme axe de référence, et l'angle θ définit la position du rotor par rapport au stator.

En tenant compte des hypothèses mentionnées précédemment les équations électriques des tensions statoriques et rotoriques peuvent s'écrire sous forme matricielle en appliquant la loi d'Ohm comme suit :

■ Au stator :

$$[V_{abcs}] = [R_s] \cdot [I_{abcs}] + \frac{d[\Phi_{abcs}]}{dt}$$

■ Au rotor :

$$[V_{abcr}] = [R_r] \cdot [I_{abcr}] + \frac{d[\Phi_{abcr}]}{dt}$$

On note que :

$$[V_{abcs}] = [V_{as} \ V_{bs} \ V_{cs}]^T$$

$$[V_{abcr}] = [V_{ar} \ V_{br} \ V_{cr}]^T$$

$$[I_{abcs}] = [I_{as} \ I_{bs} \ I_{cs}]^T$$

$$[I_{abcr}] = [I_{ar} \ I_{br} \ I_{cr}]^T$$

$$[\Phi_{abcs}] = [\Phi_{as} \ \Phi_{bs} \ \Phi_{cs}]^T$$

$$[\Phi_{abcr}] = [\Phi_{ar} \ \Phi_{br} \ \Phi_{cr}]^T$$

Les matrices des résistances sont définies comme suit :

Statorique :

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix},$$

Rotorique :

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$$

1.8.2. Equations magnétiques :

Les hypothèses que nous avons présentées conduisent à des relations linéaires entre le flux et les courants. Elles sont exprimées sous forme matricielle comme suit :

$$[\Phi_s] = [L_{ss}] \cdot [I_s] + [M_{sr}] \cdot [I_r]$$

$$[\Phi_r] = [M_{rs}] \cdot [I_s] + [L_{rr}] \cdot [I_r]$$

Les deux matrices d'inductances s'écrivent alors :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix} \quad ; \quad [L_{rr}] = \begin{bmatrix} l_r & M_r & M_r \\ M_r & l_r & M_r \\ M_r & M_r & l_r \end{bmatrix}$$

l_s : Inductance propre d'une phase statorique.

l_r : Inductance propre d'une phase rotorique.

M_s : inductance mutuelle entre phases statoriques.

M_r : inductance mutuelle entre phases rotoriques.

θ : Angle électrique entre la phase statorique et la phase rotorique.

La matrice des inductances mutuelles entre les phases du stator et du rotor dépend de la position angulaire θ entre l'axe du stator et celui du rotor, elle s'écrit :

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

M_0 : Mutuelle inductance maximale entre une phase statorique et une phase rotorique.

Nous obtenons le système d'équation électrique nécessaire à l'étude du fonctionnement de la machine dans tous les régimes.

$$[V_{abcs}] = [R_s] \cdot [I_{abcs}] + \frac{d}{dt} \{ [L_{ss}] [I_{abcs}] \} + \frac{d}{dt} \{ [M_{sr}] [I_{abcr}] \}$$

$$[V_{abcr}] = [R_r] \cdot [I_{abcr}] + \frac{d}{dt} \{ [L_{rr}] [I_{abcr}] \} + \frac{d}{dt} \{ [M_{rs}] [I_{abcs}] \}$$

Les équations différentielles de la machine asynchrone triphasée sont à coefficients variables. La résolution numérique de ces équations est relativement complexe. On utilise alors des transformations mathématiques qui permettent de décrire le comportement de la machine à l'aide d'équations différentielles à coefficients constants.

La transformation utilisée est la transformation de **Park** doivent concerner la puissance instantanée et la réciprocité des inductances mutuelles.

1.8.3 Equation mécaniques :

La vitesse de rotation mécanique se déduit de la loi fondamentale de la mécanique générale (la somme des couples à l'arbre est équivalente au couple inertiel), elle s'écrit donc :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_e - C_r - f_v \Omega$$

J : Inertie de toutes les masses tournantes ramenées à l'arbre de la machine.

C_r : Couple de charge.

f_v : Coefficient du frottement visqueux.

1.9 TRANSFORMATION DE PARK

Du fait des termes trigonométriques contenus dans la matrice des inductances mutuelles $[L_{sr}]$, les coefficients des équations différentielles sont variables et la résolution analytique est très délicate. Le modèle de Park s'obtient par une transformation du repère triphasé en un repère biphasé, qui n'est en fait qu'un changement de base sur les grandeurs physiques (tensions, flux, et courants), il conduit à des relations indépendantes du temps et à la réduction d'ordre des équations de la machine.

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

Le coefficient $2/3$ permet de conserver les amplitudes des tensions, courants, et flux.

θ_s : Est l'angle entre l'axe d et l'axe de référence dans le système triphasé.

La transformée de Park inverse est nécessaire afin de revenir aux grandeurs triphasées, elle est définie par :

$$[P(\theta_s)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & -\sin(\theta_s) & 1 \\ \cos(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix}$$

1.10 Choix de repère d-q

Il existe trois choix importants, le repère d-q peut être fixé au stator, au rotor ou au champ tournant, Selon l'objectif de l'application :

* Repère d'axes d-q fixe lié au stator ou **repère stationnaire** ($\theta_s = 0$). Les grandeurs électriques évoluent en régime permanent électrique à la pulsation statorique ω_s .

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

On obtient :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} \end{cases} \quad \begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} + \omega_r \phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} - \omega_r \phi_{dr} \end{cases}$$

* Repère d'axes d-q lié au **rotor** ($\theta_s = \theta$). les grandeurs évoluent en régime permanent électrique à la pulsation des courants rotoriques ω_s .

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_s \phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega_s \phi_{ds} \end{cases} \quad \begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} \end{cases}$$

* Repère d'axes d-q lié au **champ tournant** ($\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s$) Le modèle est simplifié par l'utilisation d'équation plus simples. En régime permanent électrique les grandeurs du modèle sont continuées. Cette méthode est souvent utilisée dans l'étude de la commande.

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega_s \phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega_s \phi_{ds} \end{cases} \quad \begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega) \phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\phi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega) \phi_{dr} \end{cases}$$

1.11 Le modèle mathématique de la machine

La représentation d'état est un outil utile à la description des systèmes, à leur analyse et à la synthèse des lois de commande.

Les équations du système décrit aux paragraphes précédents, peuvent alors être mises sous la forme :

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

Avec :

$[X]$: Vecteur d'état

$[U]$: Vecteur de commande

$[A]$: Matrice fondamentale qui caractérise le système.

$[B]$: Matrice d'application de la commande.

Plusieurs façons sont possibles pour le choix du vecteur d'état. Dans notre cas, les variables d'état sont : les courants (I_{ds} , I_{qs}), les flux (Φ_{dr} , Φ_{qr}), et la vitesse (Ω).

Le système deviendra :

$$X = \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \phi_{dr} \\ \phi_{qr} \\ \Omega \end{bmatrix}$$

Finalement, le modèle d'état représentatif de la MAS triphasée est le suivant :

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) \phi_{dr} + \frac{1}{\sigma L_s} \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \omega \phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{qs} - \omega_s i_{ds} + \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) \phi_{qr} - \frac{1}{\sigma L_s} \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \omega \phi_{dr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} \\ \frac{d\phi_{dr}}{dt} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds} - \frac{R_r}{L_r} \phi_{dr} + \omega_r \phi_{qr} \\ \frac{d\phi_{qr}}{dt} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs} - \frac{R_r}{L_r} \phi_{qr} - \omega_r \phi_{dr} \\ \frac{1}{P} J \frac{d\omega}{dt} = C_e - C_r - f_v \cdot \frac{\omega}{P} \end{cases}$$

1.12 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à une description générale de la machine asynchrone à cage d'écureuil ainsi sa constitution, et son principe de fonctionnement.

Ensuite on a abordé la modélisation de cette machine en s'appuyant sur une série d'hypothèses simplificatrices qui permettent de simplifier le modèle de la machine et qui reposent sur la constance de certains paramètres de la machine, grâce à l'application de la transformation de Park qui bascule la machine triphasée en une machine biphasé équivalente.

L'insuffisance des données fournies par le constructeur pour déterminer des paramètres de la machine et la difficulté de leur mesure directe, motive le travail d'identification qui peut être effectué par différentes méthodes.

Dans le chapitre suivant, je focalise sur les approches d'identification paramétriques conventionnelles basées sur les essais classiques (à vide, à rotor bloqué, en courant continu) du moteur asynchrone triphasé.

Identification paramétrique classique de la machine asynchrone

2.1 Introduction

Dans le premier chapitre, j'ai étudié la représentation mathématique de la machine asynchrone à cage d'écuréuil. Dans ce qui suit, on propose une méthodologie à suivre pour identifier les paramètres de cette machine. L'identification de ces paramètres électriques et mécaniques constitue donc une étape essentielle pour les travaux à venir.

Pour cela nous avons utilisé des tests classiques (à vide, à rotor bloqué...).

Les résultats obtenus sont injectés dans le programme de simulation de la machine.

La comparaison entre les signaux simulés et ceux mesurés permet de valider notre identification.

2.2 Détermination des paramètres par la méthode de la plaque signalétique

Cette méthode permet une estimation grossière et rapide des paramètres électriques de la MAS tout en employant les indications nominales de la plaque signalétique, telles que V_s , I_s , F_s , $\cos \theta_s$ et g

En supposant que $L_s = L_r$ (**F. Alger**) et que la machine est sans pertes.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{1 - \cos \phi}{1 + \cos \phi} \\ T_r = \frac{1}{\omega_r} \sqrt{\frac{1}{\sigma}} \\ l_s = \frac{V_s \sqrt{\sigma}}{I_s \omega_s} \\ M = l_s \frac{1 - \sigma}{\sigma} \\ L_s = M + l_s \\ R_r = \frac{L_r}{T_r} \end{array} \right.$$

Les valeurs nominales indiquées sur la plaque signalétique de la machine asynchrone triphasée, utilisée au cours de ce travail sont les suivantes :

Couplage	:	Etoile
Puissance utile nominale	:	3 kW
Fréquence nominale	:	50 Hz

Tension stator nominale : 220/380V
Courant stator nominale : 6.6 A
Vitesse nominale : 1420tr/min
Facteur de puissance nominale : 0.79

La plaque signalétique de la machine asynchrone qu'est-on a travaillé sur lui est représenté dans figure suivante :

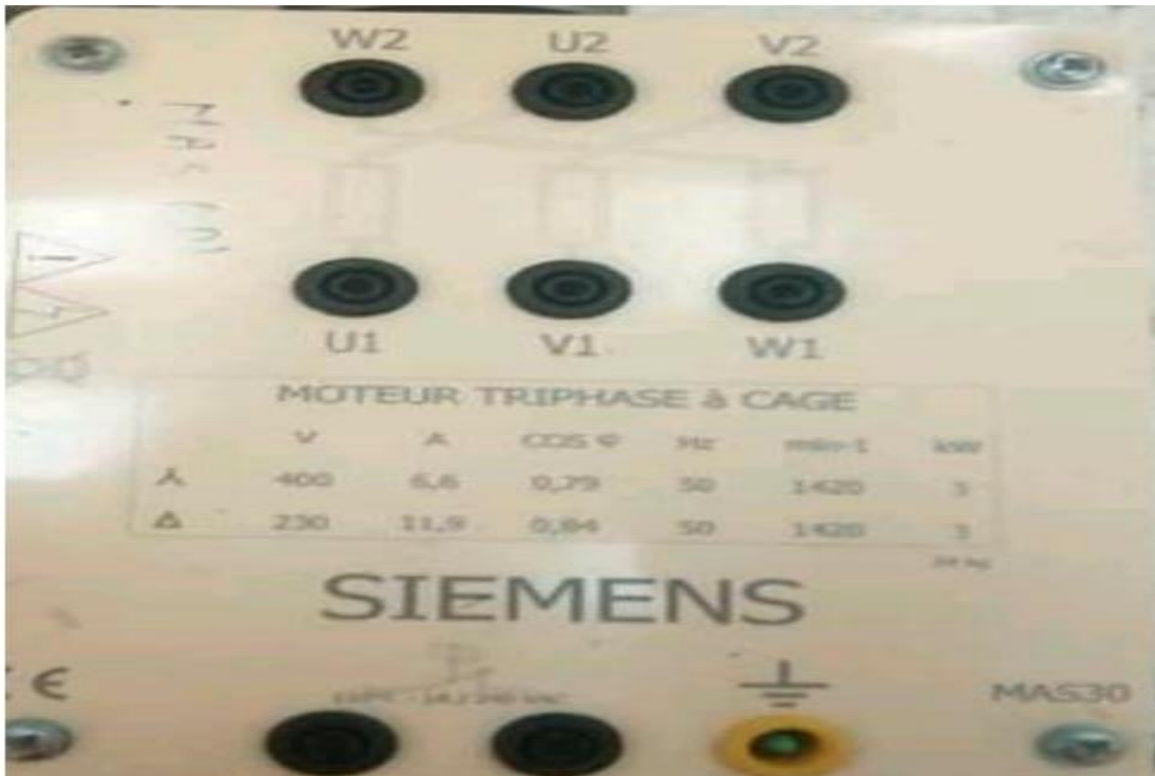


Figure 2.2 : la plaque signalétique du moteur

Matériel utilisé :

Les essais de cette méthode nécessitent un matériel spécifique avec des compétences pratiques considérables pour obtenir des résultats morbidité et aussi pour ne portent pas des risques au gens et au matériel.

Voici le matériel :

- ❖ Fils de raccordement.
- ❖ Bloc d'alimentation.
- ❖ Autotransformateur.
- ❖ Moteur asynchrone à cage d'écureuil.
- ❖ Appareils de mesures (Ampèremètre, Wattmètre, Voltmètre, Tachymètre, Ohmmètre, Codeur)
- ❖ Logiciel Matlab.

Le schéma équivalent de la machine asynchrone en régime permanent est donc le suivant :

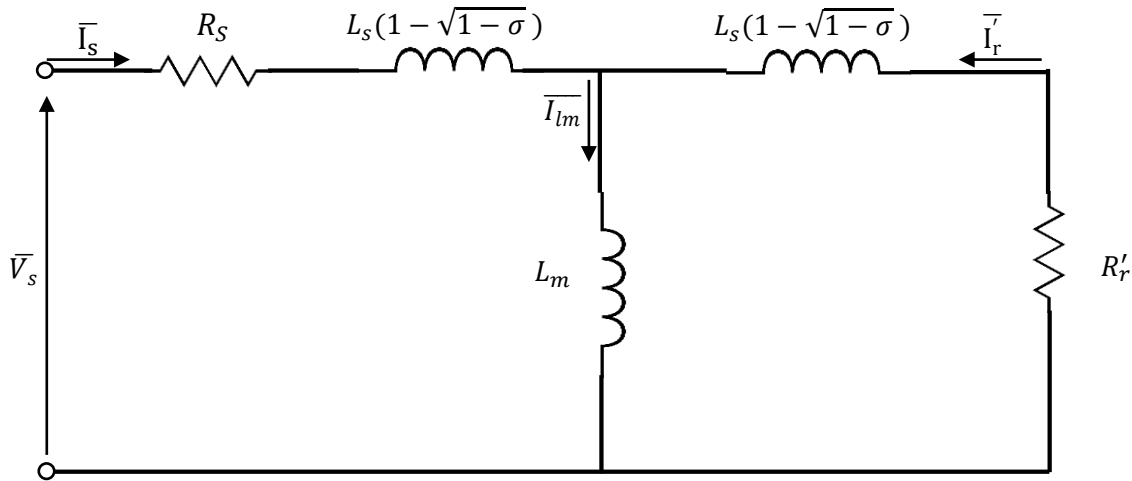


Figure 2.1 : Schéma équivalent de la machine asynchrone en régime permanent.

Application numérique :

$$\sigma = \frac{1 - \cos \phi}{1 + \cos \phi} = \frac{1 - 0.79}{1 + 0.79} = 0.1173$$

$$T_r = \frac{1}{\omega_r} \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\sigma}}} = \frac{1}{16.7466} \sqrt{\frac{1}{\sqrt{0.1173}}} = 0.1020 \text{ s}$$

$$l_s = \frac{V_s \sqrt{\sigma}}{I_s \omega_s} = \frac{400 \sqrt{0.1173}}{6.6 \cdot 314} = 0.0661 \text{ H}$$

$$M = l_s \frac{1 - \sigma}{\sigma} = 0.0661 \left(\frac{1 - 0.1173}{0.1173} \right) = 0.4974 \text{ H}$$

$$R_r = \frac{L_r}{T_r} = \frac{0.4974}{0.1020} = 4.8764$$

$$R_s = 2.64 \Omega$$

2.3 Détermination des paramètres par les essais classiques

2.3.1 Essai en courant continu : détermination R_s

Il y a deux méthodes pour le calcul des résistances soit sans alimentation c'est-à-dire on mesure par l'ohmmètre directement sur les phases statoriques plusieurs fois et on prend la valeur moyenne.

Soit avec alimentation : cette méthode consiste à alimenter une phase du stator par une source de tension continue et de mesurer le courant qui la traverse et la tension entre ses bornes.

Le montage aval est plus approprié et le courant injecté ne doit pas dépasser 10% du courant nominal. La mesure est effectuée à chaud, lorsque le moteur atteint son équilibre thermique.

Remarque : Par souci de sécurité, il faut s'assurer lors de l'essai à ne pas dépasser l'intensité maximale par phase.

La résistance étant mesurée à température ambiante (25°C), il est nécessaire de majorer sa valeur d'un facteur 1,15 pour obtenir sa valeur à chaud (80°C) [14].

Voilà la figure ci-dessous qui montre le montage

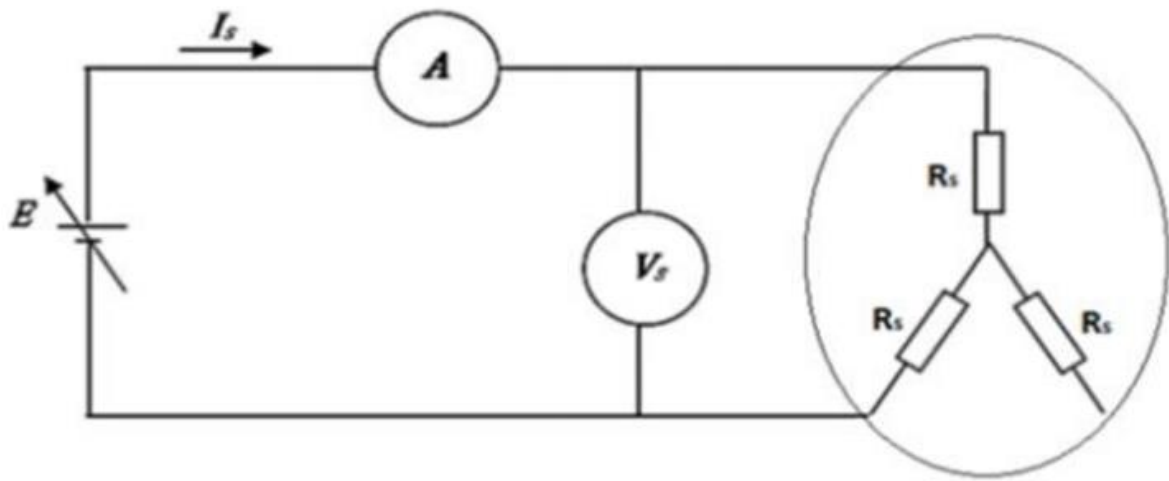


Figure 2.3 : Montage d'essai en courant continu.

$$R_s = \frac{V_s}{2I_s} = 2.64 \, \Omega$$

2.3.2 Essai à vide : Détermination de L_s

Dans ce cas, la machine est alimentée à sa tension et à sa fréquence nominale, et tourne à vide, le rotor est en court-circuit dans les machines à bagues. Il existe cependant un couple résistant de très faible valeur équivalent aux pertes mécaniques dues aux frottements et à la ventilation. De ce fait le glissement n'est pas tout à fait nul, les courants rotoriques sont négligeables et le flux dans l'entrefer est créé par le stator seul. On peut écrire alors que le glissement est nul ($g = 0$)

Alors le modèle se réduit aux deux éléments R_s, L_s .

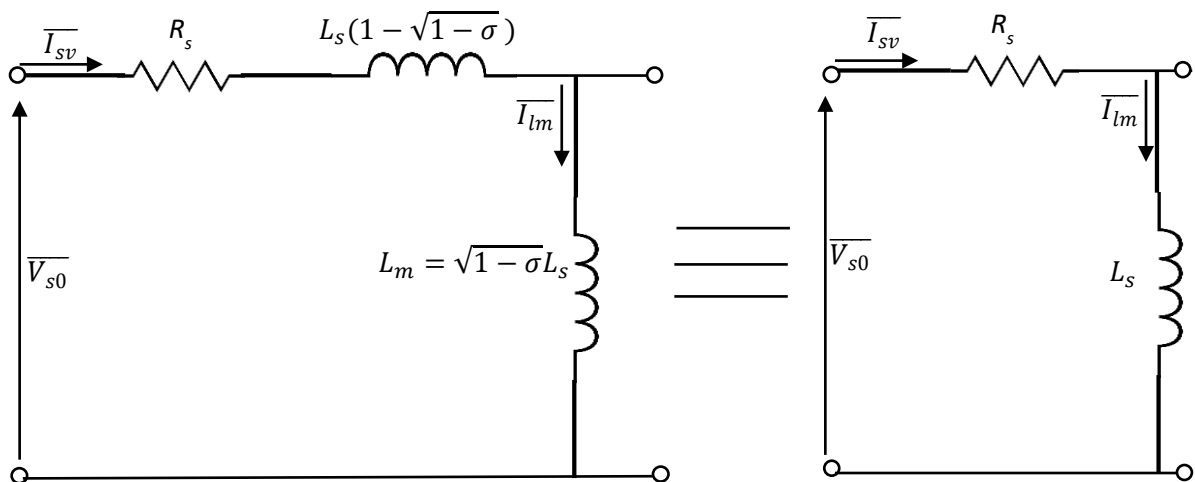


Figure 2.4 le modèle de la machine asynchrone à vide.

On réalise le montage de la figure 2.4, La machine est alimentée à la tension nominale, et tourne à vide, le rotor est en court-circuit, on relève donc P_{s0} , I_{s0} et V_{s0} .

On mesure la puissance absorbée par la méthode des 2 wattmètres.

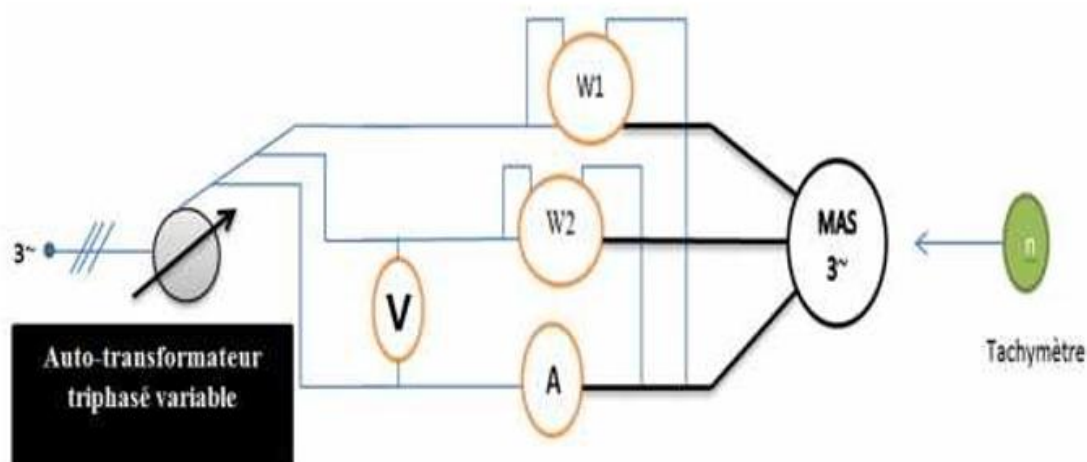


Figure 2.5 : Montage de l'essai à vide

Pour cette mesure le fil de neutre n'est jamais utilisé.

- Le premier wattmètre W_1 indique une grandeur P_1
- Le second wattmètre W_2 indique une grandeur P_2

La puissance active :

La puissance active P absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des deux wattmètres, en utilisant la relation suivante : $P_{s0} = P_1 + P_2$

P_1 et P_2 sont les lectures des deux wattmètres, elles sont soit positives soit négatives, sachant que la puissance absorbée P est une puissance active, elle est nécessairement positive.

Il est donc indispensable de donner à P_1 la valeur positive correspondant à la plus grande des deux indications en valeurs absolues, la valeur prise par P_2 serait l'indication de l'autre wattmètre, du signe « plus » si les deux grandeurs étaient de même signe et de signe « moins » dans le cas contraire.

La puissance réactive

La puissance réactive Q absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des deux wattmètres, en utilisant la relation suivante : $Q_{s0} = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$

Q : La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]

P_1 : La lecture du premier wattmètre [sans unités]

P_2 : La lecture du deuxième wattmètre [sans unités]

Dans un fonctionnement à vide, le moteur asynchrone absorbe une puissance P_{s0} qui correspond à la somme des pertes mécaniques, ferromagnétiques (fer) et Joules au stator.

$$P_{s0} = P_{js} + P_f + P_{mec}$$

On peut déterminer la somme des pertes fer et les pertes de frottement :

$$P_f + P_{mec} = P_{s0} - P_{js}$$

TABEAU DES MESURES :

D'après le montage 2.5 on a mesuré le courant I_{s0} et nous avons calculé les puissances actives P_{s0} et réactives Q_{s0} à partir de formules suivantes :

$$P_{s0} = P_1 + P_2$$

$$P_{s0} = 750 - 470 = 280 \text{ W}$$

$$Q_{s0} = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$$

$$Q_{s0} = \sqrt{3}(750 + 470) = 2113 \text{ VAR}$$

Les pertes Joules statoriques s'expriment par la relation :

$$P_{js} = 3 * R_s * I_s^2$$

$$P_{js} = 3 * 2.64 * 3.4^2 = 91.2084 \text{ W}$$

Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

$V_{s0}(\text{volt})$	$I_{s0}(\text{Ampère})$	$P_1(\text{watt})$	$P_2(\text{watt})$	$P_{s0}(\text{watt})$	$Q_{s0}(\text{var})$
380	3.4	750	-470	280	2113
275	3	640	-390	250	1784
370	2.8	580	-350	230	1610.8
365	2.6	520	-310	210	1437.6
360	2.4	460	-270	190	1264.4
265	1.6	240	-120	120	623.5

Tableau 2.1 : Essai à vide sous tension variable.

Pour différencier ces 2 pertes et déterminer les pertes mécaniques on utilise la technique de séparation des pertes.

Il faut effectuer la mesure pour différentes tensions, Les pertes mécaniques sont approximativement constantes.

Les pertes fer varient pratiquement avec le carré de la tension appliquée aux borne

En traçant la courbe de la puissance $P_f + P_{méca}$ en fonction du carré de la tension d'alimentation, on obtient une courbe qui est pratiquement une droite qu'on extrapole jusqu'à $U = 0$.

L'ordonnée correspondante est égale aux pertes par frottement. En effet, à tension nulle, les pertes fer sont nulles.

En négligeant la chute de tension aux bornes de R_s , les pertes fer peuvent s'exprimer sous forme :

$$P_f = \frac{3}{R_f} * V_{s0}^2$$

Cet essai permet de déterminer l'inductance cyclique L_s

Tel que :

$$L_s = 3 * \frac{V_{s0}^2}{Q_{s0} * \omega_s}$$

Application numérique :

$$\omega_s = 2\pi f = 314$$

$$\text{Pour } V_{s0} = 230 \text{ V, } I_{s0} = 3.4 \text{ A}$$

$$L_s = 3 * \frac{230^2}{2113 * 314} = 0.2391 \text{ H}$$

$$\text{On aura : } L_s = L_r = 0.2391 \text{ H}$$

2.3.3 Essai à rotor bloqué (court-circuit) (synchronisme) : Détermination M_{sr} et R_r

Le rotor de la machine asynchrone est bloqué. La vitesse de rotation étant nulle,

La valeur du glissement est ($g=1$).

Le bobinage rotorique est court-circuité.

La puissance utile est nulle et les pertes par frottement et ventilation sont nulles :

$$P_{méca}=0$$

On réalise le même montage que l'essai à vide et on bloque le rotor, montage Figure 2.7, l'essai est effectué à tension réduite (pour ne pas endommager le moteur) permettant d'avoir le courant nominal de la machine.

On réalise le montage suivant :

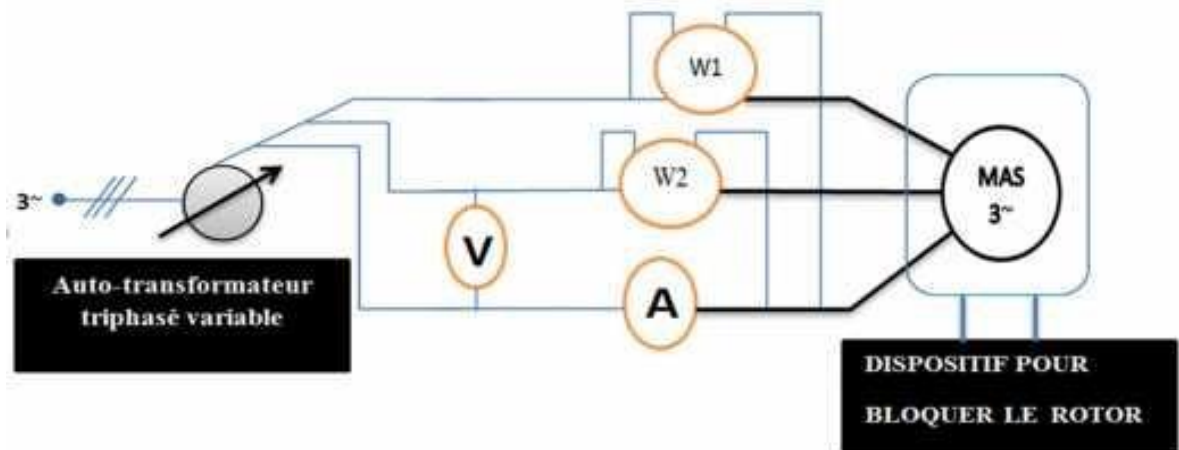


Figure 2.7 : Le montage de mesure.

Dans cet essai on utilise la même méthode (*la méthode des 2 wattmètres*) à la vitesse de synchronisme et on relève les puissances P_1 et P_2 .

La puissance active et réactive sont donnée par :

$$P_{cc} = P_1 + P_2 \quad \text{et} \quad Q_{cc} = |\sqrt{3}(P_1 - P_2)|$$

Tableau des mesures :

$V_{cc}(v)$	$I_{cc}(A)$	$P_{1cc}(W)$	$P_{2cc}(W)$	$P_{cc}(W)$	$Q_{cc}(Var)$
92	6.6	550	-25	525	995.9

Tableau 2.2 : Essai à rotor bloqué.

Dans ces conditions, la tension appliquée devient nettement faible devant la tension nominale, ce qui permet de négliger le courant I_{s0}

Le schéma deviendra alors comme suit :

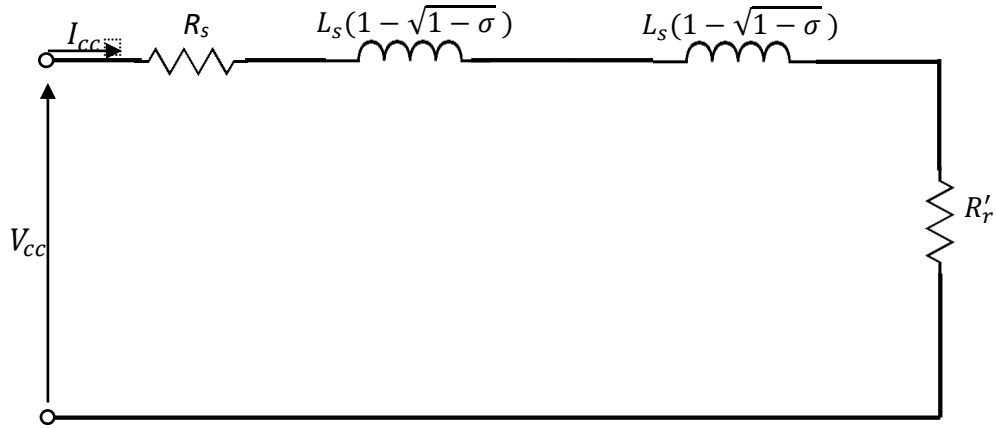


Figure 2.8 : Essai avec rotor bloqué

La figure 2.8 : permet d'écrire :

$$P_{cc} = 3 * (R_s + R_r) * I_{cc}^2$$

$$Q_{cc} = 3 * N_r * \omega_s * I_{cc}^2$$

On en déduit :

$$R_r = (P_{cc}/3I_{cc}^2) - R_s$$

$$N_r = Q_{cc}/3\omega_s I_{cc}^2$$

Le calcul de l'inductance mutuelle M_{sr} par la relation suivante :

$$M_{sr} = \frac{-N_r + \sqrt{N_r^2 + 4L_s^2}}{2}$$

Application numérique : Avec les valeurs suivantes :

$$P_{cc} = 525 \text{ W.} \quad I_{cc} = 6.6 \text{ A.}$$

$$Q_{cc} = 995.9 \text{ VAR.}$$

$$R_r = \frac{P_{cc}}{3I_{cc}^2} - R_s = \frac{525}{3(6.6)^2} - 2.64 = 1.0331 \, \Omega$$

$$N_r = \frac{Q_{cc}}{3W_s I_{cc}^2} = \frac{995.9}{3 \cdot 314 \cdot (6.6)^2} = 0.02427 \text{ H}$$

$$M_{sr} = \frac{-N_r + \sqrt{N_r^2 + 4L_s^2}}{2} = \frac{-0.0242 + \sqrt{0.0242^2 + 4 \cdot 0.2391^2}}{2} = 0.2281 \text{ H}$$

2.4 Détermination des paramètres mécaniques

2.4.1 Essai de ralentissement : Détermination J

Cet essai permet de déterminer le moment d'inertie J , pour ce là on alimente la machine asynchrone sous sa tension nominale puis on coupe l'alimentation et on enregistre le décroissement de la vitesse sur un PC via un tachymètre ou d'un codeur.

Le résultat sur le graphe suivant :

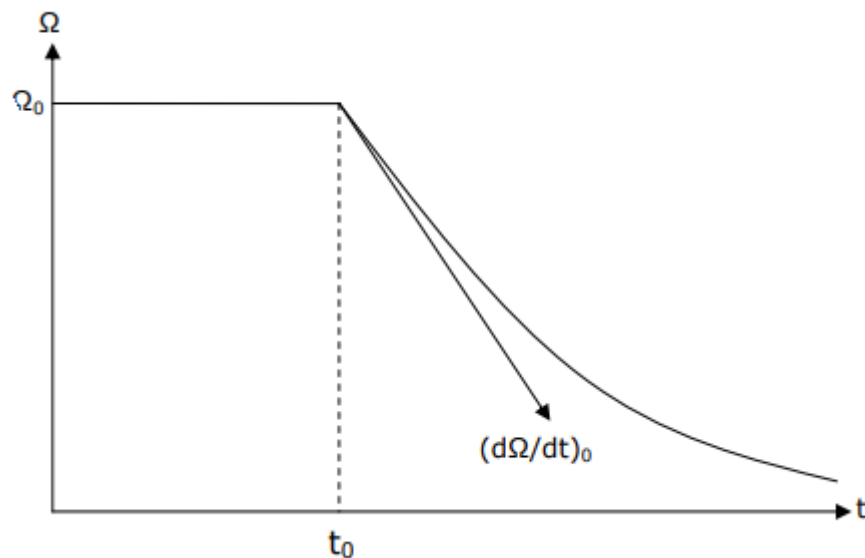


Figure 2.9 : l'essai de ralentissement

En régime permanent à vide, il est légitime de considérer que le couple résistant n'est dû qu'aux frottements visqueux.

Pour calculer le moment d'inertie on utilise la relation suivante :

$$J = \frac{P_{mec}}{\Omega n \left(\frac{d\Omega}{dt} \right) \Omega = \Omega n}$$

Tout d'abord on a les pertes mécaniques qu'on a déterminées précédemment :

Puis on déduit les constants Δt et ΔN

$$\frac{d\Omega}{dt} = 2\pi \frac{\Delta N}{\Delta t} \frac{1}{60}, \quad \Omega n = 2\pi \frac{Nn}{60}$$

Après l'application numérique on trouve

$$J = 0.0184 \text{ Kg m}^2$$

2.4.2 Essai de ralentissement : Détermination f_v

Pour calculer le coefficient de frottement on a :

$$J = 0.0184 \text{ Kg.m}^2$$

On commence par l'équation mécanique de la vitesse :

$j * \frac{d\Omega}{dt} + F_v * \Omega = 0$, est une équation différentielle de 1^{er} ordre. Sa solution générale a la forme suivante :

$$\text{À } t = 0, \Omega(0) = \Omega_0$$

$$\Omega = \Omega_0 e^{-t/T_m} \quad \text{Avec : } T_m = \frac{J}{K_f}$$

Ce qui permet de déduire le coefficient de frottement visqueux F_v .

L'équation de la droite (AB) est donnée par :

$$\Omega(t) = \Omega_0 - (\Omega_B - \Omega_0) t / t_B$$

$$\text{A l'instant } t = T_m; \quad \Omega(t) = 0$$

Donc

$$T_m = \frac{\Omega_0 t_B}{(-\Omega_B + \Omega_0)} \quad tq: \Omega_B = \frac{\Omega_0}{\Omega}$$

On trouve après l'application numérique

$$f_v = 0.00049 \text{ m}^2/\text{s}$$

$J(\text{Kg m}^2)$	$f_v (\text{m}^2/\text{s})$
0.0184	0.00049

2.5 Résultats des paramètres à identifiées

Les paramètres identifiés par la méthode de la plaque signalétique et par les essais classiques (essai en courant continu-essai à vide-essai de synchronisme) dans le tableau suivant :

Les paramètres électriques et mécanique	La plaque signalétique	Essais classiques
R_s	/	2.64
R_r	4.8764	1.0331
L_s	0.0661	0.2391
L_r	0.4974	0.2391
M_{sr}	0.4974	0.2281
J	/	0.0184
f_v	/	0.00049

Tableau 2.3 : les paramètres électriques et mécaniques identifiés

2.6 Discussion

- ✓ Les trois méthodes d'identification présentent l'inconvénient de ne pas assurer l'estimation des paramètres mécaniques de la machine.
- ✓ L'obtention des paramètres mécaniques nécessite un essai de ralentissement de vitesse de la machine
- ✓ La mesure de l'essai de ralentissement est effectuée à l'aide d'une génératrice tachymétrique ou d'un codeur
- ✓ L'accouplement de codeur-tachymètre à la machine n'est pas toujours aisé
- ✓ La méthode de la plaque signalétique donne un résultat un peu précis
- ✓ Les essais classiques ne sont pas précisés au point d'avoir la même valeur d'un paramètre à différents essais, mais elles sont très utiles dans le cas où le cahier de charge de la machine n'est pas disponible.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai déterminé les paramètres électriques et mécaniques de la machine asynchrone à cage d'écureuil à partir des essais classiques et essai de ralentissement et par la méthode de la plaque signalétique.

Les essais classiques utilisés pour l'identification ne sont pas très performants.

On va essayer d'améliorer ces paramètres par optimisation et minimisation de l'erreur par un algorithme d'optimisation c'est << l'algorithme de colonie d'abeilles >>.

Méthode stochastique et résultat

3.1 Introduction

La nouvelle classe des méthodes d'optimisation nommées méta heuristiques, celles-ci marquent une grande révolution dans le domaine d'optimisation. En effet, elles s'appliquent à toutes sortes de problèmes combinatoires, et elles peuvent également s'adapter aux problèmes continus.

Les méthodes méta heuristiques apparues à partir des années 1980 [16], permettent de trouver une solution de bonne qualité en un temps de calcul en général raisonnable, sans garantir l'optimalité de la solution obtenue.

Elles sont inspirées de l'analogie avec des domaines aussi variés que la physique, la génétique ou encore l'éthologie. Ces méthodes ont rencontré un très grand succès dans leurs domaines d'application comme la production industrielle, l'économie ou le transport en prouvant leurs capacités à traiter les problèmes les plus difficiles en variables continues et discrètes.

La simplicité d'implémentation des méthodes métaheuristiques a encouragé les chercheurs pour une variété de domaines à hybrider ces méthodes entre elles, en vue d'obtenir de meilleures performances possibles.

3.2 Méthodes Méta heuristiques

3.2.1 Définition des méthodes méta heuristiques

Les métaheuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes Génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particuliers).

Ces techniques métaheuristiques peuvent être classés en deux groupes : les méthodes à population de solutions connues sous le nom d'algorithmes évolutionnaires comme les algorithmes génétiques...etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme le recuit simulé.

Les méthodes métaheuristiques ont prouvé leurs efficacités dans le domaine de l'optimisation mono-objectif. Actuellement les recherches qui utilisent ces algorithmes sont développées pour la résolution des problèmes d'optimisation multi objectif, en tenant compte de plusieurs contraintes.

3.2.2 Recuit simulé

Le recuit simulé est une méthode empirique inspirée d'un processus utilisé en métallurgie (appelé le recuit) où, pour atteindre les états de basse énergie d'un solide, on chauffe celui-ci jusqu'à des températures élevées, avant de le laisser refroidir lentement. L'algorithme du recuit simulé a été proposé par Kirkpatrick. [17] (Indépendamment, Cerny [18]).

La description classique du recuit simulé le présente comme un algorithme probabiliste, où un point évolue dans l'espace de recherche. Les inconvénients du recuit simulé résident dans :

- a- Les « réglages », car l'algorithme dispose d'un nombre élevé de paramètres (température initiale, règle de décroissance de la température, durées des paliers de température, etc.) qui rendent les réglages de l'algorithme assez empiriques ;
- b- Les « temps de calcul », qui peuvent devenir très importants. Cependant, il existe des études qui s'attachent à régler de manière optimal les paramètres de l'algorithme. [19]

Par ailleurs, pour surmonter le problème de temps de calcul, plusieurs méthodes de parallélisation des calculs ont été introduites. [20]

3.2.3 Recherche taboue

La méthode taboue qui fait partie des méthodes de voisinage, a été proposée par Fred Glover en 1986. [21] Elle utilise la notion de mémoire pour éviter un optimum local. Le principe de la recherche tabou repose sur une méthode de déplacement sur l'espace des solutions, tout en cherchant constamment à améliorer la meilleure solution courante et en conservant en mémoire la liste des précédents déplacements et ainsi guider la recherche en dehors de zones précédemment parcourues. En général on ne va pas garder tous les déplacements (trop onéreux en mémoire), mais on va seulement empêcher l'accès à certaines solutions pendant un certain nombre d'itération.

3.2.4 Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation. [22]

La solution optimale est cherchée à partir d'une population de solutions en utilisant des processus aléatoires. La recherche de la meilleure solution est effectuée en créant une nouvelle génération de solutions par application successive, à la population courante, de trois opérateurs : la sélection, le croisement, et la mutation. Ces opérations sont répétées jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint

3.3 Optimisation par Colonie d'abeilles

L'optimisation par colonie d'abeilles est une famille très récente des métaheuristiques. Son principe est basé sur le comportement des abeilles réelle dans la vie. Cette approche de résolution fait l'objet de notre étude. Dans ce contexte, nous allons donner la structure d'une colonie d'abeille, puis une description du comportement des abeilles lors de la recherche de nourriture, enfin nous allons présenter quelques algorithmes inspirés du ce comportement.

3.3.1 Les abeilles en nature

Les abeilles possèdent des propriétés assez différentes de celles des autres espèces d'insectes. Elles vivent en colonies, en construisant leurs nids dans des troncs d'arbres ou d'autres espaces clos similaires. [23]

Généralement, une colonie d'abeilles contient une femelle reproductrice appelée reine, quelques centaines de mâles connus sous le nom de faux-bourdon, et de 10.000 à 80.000 femelles stériles qui s'appellent les ouvrières. Après accouplement avec plusieurs faux-bourdons, la reine reproduit beaucoup de jeunes abeilles appelées les couvées.

a. La Reine

Dans une colonie d'abeilles, il y a une seule reine qui est la femelle reproductrice avec l'espérance de vie entre 3 et 5 ans. Son rôle principal est la reproduction, elle s'accouple avec (7-20) faux-bourdon dans une opération de reproduction appelée le vol nuptial (mating flight).

Elle conserve les spermés dans sa spermathèque et puis pond jusqu'à 2000 œufs par jour. Les œufs fertilisés vont bien devenir femelles (ouvrières) et les œufs non-fertilisés deviennent mâles (bourdons).

b. Le male (faux-bourdon)

Au sein de la famille des Apidés, se trouvent plusieurs genres, et notamment les bourdons, qu'il ne faut pas confondre avec les faux-bourdons, les mâles de l'abeille domestique. Les faux-bourdons représentent les mâles, variant entre 300 et 3000 dans une ruche. Selon la taille de l'alvéole, dans une grande cellule hexagonale, la reine dépose un œuf sans que son réceptacle séminal laisse sortir de spermatozoïde. L'œuf non fécondé donnera ainsi naissance à un faux-bourdon. Ce dernier a une espérance de vie de 90 jours. Après l'accouplement, qui a lieu en vol, le male meurt rapidement. [24]

c. Ouvrières

Les ouvrières sont les abeilles femelles mais elles ne sont pas reproductrices, elles vivent de 4 à 9 mois dans une saison froide et leur nombre arrive jusqu'à 30.000 dans une colonie (ruche). Cependant, en été, leur durée de vie est de 6 semaines et leur nombre atteint jusqu'à

80.000. L'ouvrière est responsable de la défense de la ruche utilisant sa piqûre barbelée. En conséquence, elle meurt après avoir piquée. On peut énumérer les activités des ouvrières par le critère des jours de sa vie comme suit : nettoyage de cellules (jour 1-2), soigner les abeilles (jour 3- 11), production du cire (jour 12-17), surveiller les autres abeilles (jour 18-21), et recherche de nourriture (jour 22-42). L'ouvrière assure les activités habituelles de la colonie d'abeilles telles que l'emballage de pollen, éventer les abeilles, porter l'eau, déplacement des œufs, s'occuper de la reine, nourrir les bourdons, et construction du nid d'abeilles. [25]

d. Couvées

Les jeunes abeilles sont nommées les couvées. Elles sont nées après que la reine pond un œuf fécondé par un spermatozoïde libéré par la spermathèque dans des cellules spéciales du nid d'abeilles appelées trames de couvée (brood frames). L'œuf fécondé donne naissance à une abeille ou à une reine en fonction des soins et de la nourriture apportés aux larves. Peu de larves femelles sont choisies pour être des futures reines.

Les œufs non fertilisés donnent naissance aux couvées. Les jeunes larves tournent par le cocon, couvrant la cellule par les ouvrières les plus âgées. C'est l'étape de chrysalides. Puis, elles atteignent l'étape de développement dans laquelle elles reçoivent le nectar et le pollen des abeilles chercheurs jusqu'à ce qu'elles quittent la ruche et passent leurs vies comme chercheurs de nourriture. [25]

3.3.2 Recherche de nourriture chez les abeilles

Les scientifiques ont effectué beaucoup de recherches pour déterminer comment l'ordre est maintenu dans la ruche où vivent des dizaines de milliers d'abeilles. Un grand nombre d'études académiques ont été aussi effectuées à cette fin.

Un éminent expert et professeur à l'Université de Munich, le zoologiste autrichien Karl Von Frisch, a consacré un livre de 350 pages à la communication des abeilles, "The dance language and orientation of bees" (Le langage de la danse et l'orientation des abeilles).

3.3.3 Méthode de communication chez les abeilles

Karl Von Frisch a construit une ruche avec une paroi en verre par laquelle il pouvait observer le comportement des abeilles à l'intérieur. Il remarqua que dans le retour des abeilles employeuse à la ruche, elles exécutent la danse. Si une seule abeille l'exécute, ce n'est pas toute la ruche qui passe à l'action. Premièrement, un groupe d'éclaireuses quitte la ruche. Si, à son retour, ce groupe exécute aussi la danse, alors un groupe plus important d'abeilles se dirigera vers l'objectif. Meilleure est la source de nourriture qu'elles trouvent, plus longtemps dure la

danse et plus grand sera le nombre d'abeilles qui les suivent. De cette façon, l'attention des butineuses est toujours fixée sur la source la plus productive.



Figure 3.1 : La danse des abeilles

Si la source de nourriture qu'elles trouvent est très riche, la danse que les abeilles exécutent est très enthousiaste. Si la source est à proximité, elles décrivent son emplacement en exécutant la "danse en rond" illustrée à droite. Pour les sources de nourriture plus éloignées, elles exécutent la danse en huit illustrée à gauche, avec des mouvements frétillements. [26] Dans la danse frétilleuse, l'abeille tourne alternativement d'un côté et de l'autre effectuant un demi-tour circulaire qui la ramène au point de départ.

Les ouvrières suivent la danseuse au cours de ses déplacements, et la touchent des antennes. Cette danse est très riche en information, en particulier, elle donne aux abeilles observatrices deux indications essentielles : la quantité de nourriture, la distance à parcourir et la direction à suivre. [25] Concernant la distance, plusieurs paramètres sont utilisés simultanément, le plus important est le tempo de la danse, c'est-à-dire le nombre de tours complets effectués par la danseuse par unité de temps. Les mouvements de l'abeille sont d'autant plus durables que la source est riche (quantité de nourriture).

En ce qui concerne la direction, elle est donnée par rapport à l'azimut solaire (en plan horizontal), la position angulaire de la source est indiquée par l'angle que fait la partie frétilleuse avec la verticale du rayon comme l'indique la figure (3.1) [23]. Dans le cas où la source de nourriture trouvée serait improductive, les abeilles dansent tout de même, mais elles le font à contrecœur et pendant une plus brève durée. Cela se reflète aussi sur les autres abeilles dans la ruche, les abeilles qui se rassemblent autour de la danseuse se dispersent rapidement et une nouvelle équipe quitte la ruche à la recherche de nourriture. [23]

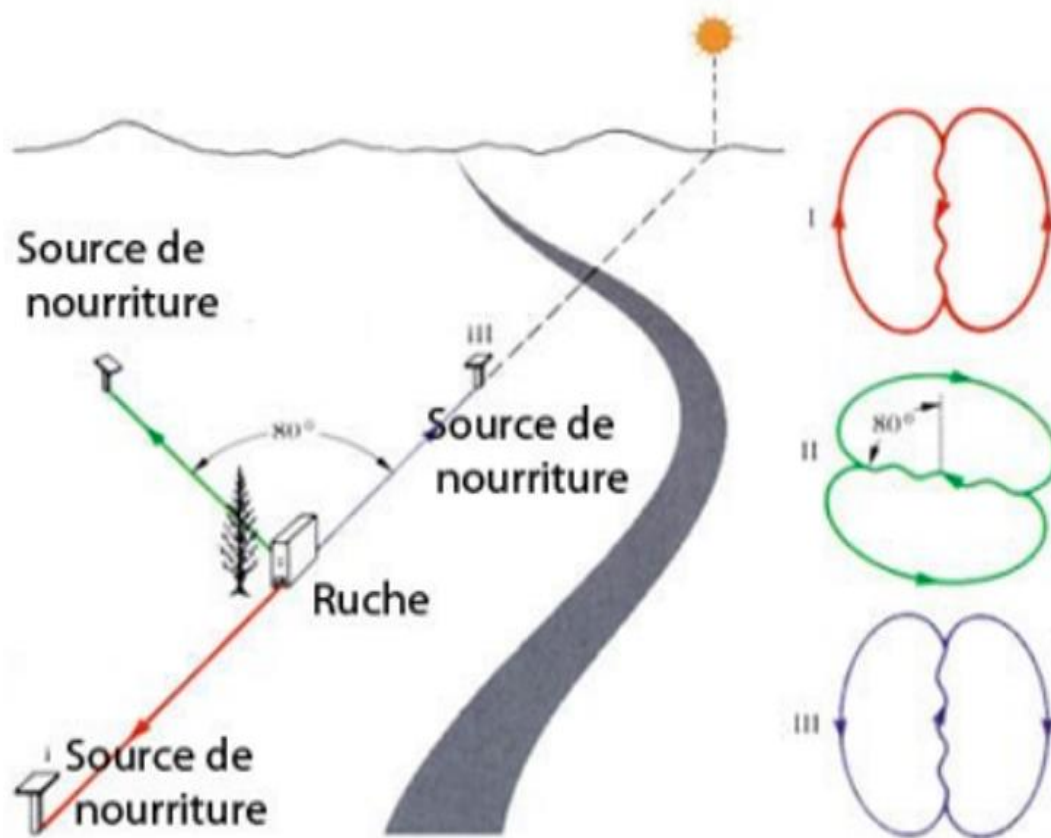


Figure 3.2 : L'indice de la direction

- 1- Si la source de nourriture se trouve exactement dans la direction du soleil, ou dans la direction opposée, les frétilllements dans la danse seront verticaux sur le rayon.
- 2- Si la source de nourriture est 80 degrés à gauche du soleil, cela est indiqué en faisant la trajectoire du frétilllement de la danse à un angle correspondant de 80 degrés à gauche de la verticale.
- 3- Si l'abeille suit une direction vers le haut durant son frétilllement, elle signale que la source de nourriture se trouve dans la direction vers le soleil. Et si elle se dirige droit en bas, cela signifie que la source se trouve dans la direction exactement opposée de celle du soleil.

3.3.4 Optimisation naturelle : Les directions fournies par les abeilles

Comme il a été déjà mentionné, peu après avoir regardé l'abeille danseuse, les autres ouvrières quittent la ruche et se dirigent vers l'objectif. Cependant, les abeilles sont confrontées à un problème important : l'angle que la danseuse a fourni à ses sœurs est basé sur le soleil. Cependant, le soleil n'est pas fixe dans le ciel, mais il change de position de 1 degré à toutes les 4 minutes. Si une abeille suivait la ligne d'origine, elle ne serait jamais capable de localiser

son objectif à cause du changement de position du soleil. Chaque fois que 4 minutes s'écoulent, cela correspond à une marge d'erreur de 1 degré, laquelle atteindra des dimensions impossibles à corriger au cours d'un long voyage. En réalité, cela ne se produit jamais.

Depuis maintenant des millions d'années, les abeilles ont compris les directions qui leur sont fournies par leurs sœurs, malgré le mouvement du soleil et le changement des angles. Les abeilles n'éprouvent aucune difficulté à trouver des sources de nourriture, ce qui indique qu'elles ne font aucune erreur en calculant l'angle par rapport au soleil.

Pour exprimer cela en termes mathématiques, les abeilles calculent que le soleil se déplace de 1 degré à chaque 4 minutes. En conséquence, elles sont capables de se rappeler de l'emplacement exact de la source de nourriture et de le "décrire" aux autres abeilles. Les autres abeilles calculent l'angle suivant la position modifiée du soleil, comprennent les directions données et localisent la source de nourriture en question.

3.4 Algorithme d'optimisation de colonie d'abeilles artificielle (ABC)

L'algorithme ABC (Artificiel Bee Colony) est développé par Karaboga et Basturk en 2005, en inspectant les comportements des abeilles réelles pour trouver la source de nourriture, qui s'appelle le nectar, et partager l'information des sources de nourriture aux autres abeilles dans le nid. Dans cet algorithme, les abeilles artificielles sont définies et classifiées en trois groupes : abeilles employeuses (abeilles qui recherche la nourriture), spectatrices (abeilles d'observation) et scouts (éclaireuses) sont chargées de trouver de nouvelles nourritures, (le nectar de nouvelles source). [26] Pour chaque source de nourriture, il y a seulement une abeille employeuse. C'est-à-dire, le nombre d'abeilles employeuses est égal au nombre de sources de nourriture. [27] Si l'abeille employeuse d'un site ne réussit pas de trouver la source de nourriture, elle doit être forcément devenir un scout pour rechercher aléatoirement de nouvelles sources de nourriture.

Les abeilles employeuses partagent l'information avec les abeilles spectatrices dans une ruche de sorte que les abeilles spectatrices puissent choisir une source de nourriture pour l'explorer.

3.5 Les paramètres de l'algorithme

$fs = 50$	fréquence
$ws = 2 \cdot \pi \cdot fs$	pulsation
$v = 220$	tension
$fv = 0$	Coefficient de frottement visqueux
$pn = 3000$	puissance nominale
$vn = 1415$	la vitesse
$wn = 2 \cdot \pi \cdot vn / 60$	pulsation
$Rs = 1.84$	résistance statorique
$Fsn = 0.98$	facteur de puissances
$Rr = 1.84$	résistance rotorique
$Ls = 0.17$	inductance statorique
$Lr = 0.17$	inductance rotorique
$Lm = 0.16$	inductance mutuelle
$P = 2$	nombre paire de pole
$J = 0.0154$	moment d'inertie des masse tournantes
$fp = 0.89$	facteur de puissance
$sgm = 1 - ((Lm^2) / (Ls \cdot Lr))$	Coefficient de dispersion de blondel
$Foodsource = 20; 10000;$	nombre des abeilles
$D = 5;$	nombre de variables
$lb = [0.01 \ 0.01 \ 0.01]$	les bornes inferieures
$ub = [5 \ 5 \ 5];$	les bornes superieures
$max_iter = 50; 3000$	nombre max d'itérations
$N = Foodsource / 5$	population
$fx = (model(pos, Im, t))$	Fonction objective à minimiser

3.6 Le processus de l'algorithme

Etape 1- Initialisation : On commence par sélectionner F_e pourcentage de population de façon aléatoire dans l'espace de recherche en utilisant l'équation suivante :

$$x_{ij} = x_j^{min} + n_j * (x_j^{max} - x_j^{min}) \quad n_j \in [0,1]$$

$x_j^{max} - x_j^{min}$: les limites inférieurs et supérieurs du $j^{ème}$ paramètres de la solution i

Puis, on les évalue dans la fonction objective, ensuite on calcule leurs valeurs Fitness, appelées la quantité de nectar par l'équation suivante :

$$fitness_i = \frac{1}{1+f_i}$$

Avec : f_i est la valeur de la fonction objective de la solution i .

F_e : Représente le rapport des abeilles dans la population totale. Une fois que ces populations sont placées dans l'espace de recherche, elles prennent le nom : les abeilles employeuses.

Etape 2- Déplacement des abeilles employeuses : Calculer la probabilité de choisir une source de nourriture par l'équation suivant :

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{m=1}^{S_N} fitness_m}$$

Puis sélectionner une source de nourriture et ensuite déterminer ses quantités de nectar. L'équation de mouvement des abeilles observatrices est donnée ci-dessous :

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad \phi \in [0,1]$$

Tel que m_{ij} est la $i^{ème}$ position de l'abeille spectatrice.

v_{ij} : Nouvelle position d'une source de nourriture

x_{ij} : La position de la source de nourriture actuel.

‘j’ représente la dimension du vecteur de solution qui produit une série de variables aléatoires dans la gamme [-1,1].

Où:

$k \in 1,2,3 \dots\dots$

‘K’ est aussi choisi aléatoirement mais doit être différent de l’indice ‘i’.

Etape 3-Déplacer les scouts : Si les valeurs de Fitness des abeilles employeuses ne sont pas améliorées par un nombre d'itérations prédéterminé, appelé "max-cycle", ces sources de nourriture sont abandonnées, et l'abeille trouvée dans cet emplacement passera aléatoirement pour explorer d'autres nouveaux emplacements. (Abeilles employeuses deviennent des Scouts). Cette explication est traduite mathématiquement par l'équation suivante :

$$V_{ij} = V_{ij}^{min} + \varphi_{ij} * (V_{ij}^{max} - V_{ij}^{min}) \quad \varphi_{ij} \in [0,1]$$

Etape 4-Mettre à jour la meilleure source de nourriture trouvée jusqu'ici : Apprendre la meilleure valeur de Fitness et la position, qui sont trouvées par les abeilles, et les mémoriser.

Etape 5-Critère d'arrêt : Vérifier le processus de calcul jusqu'à ce que le nombre d'itérations atteigne la valeur maximale prédéfinie ou qu'une solution de la fonction objective acceptable soit trouvée.

3.7 Organigramme de l'algorithme ABC

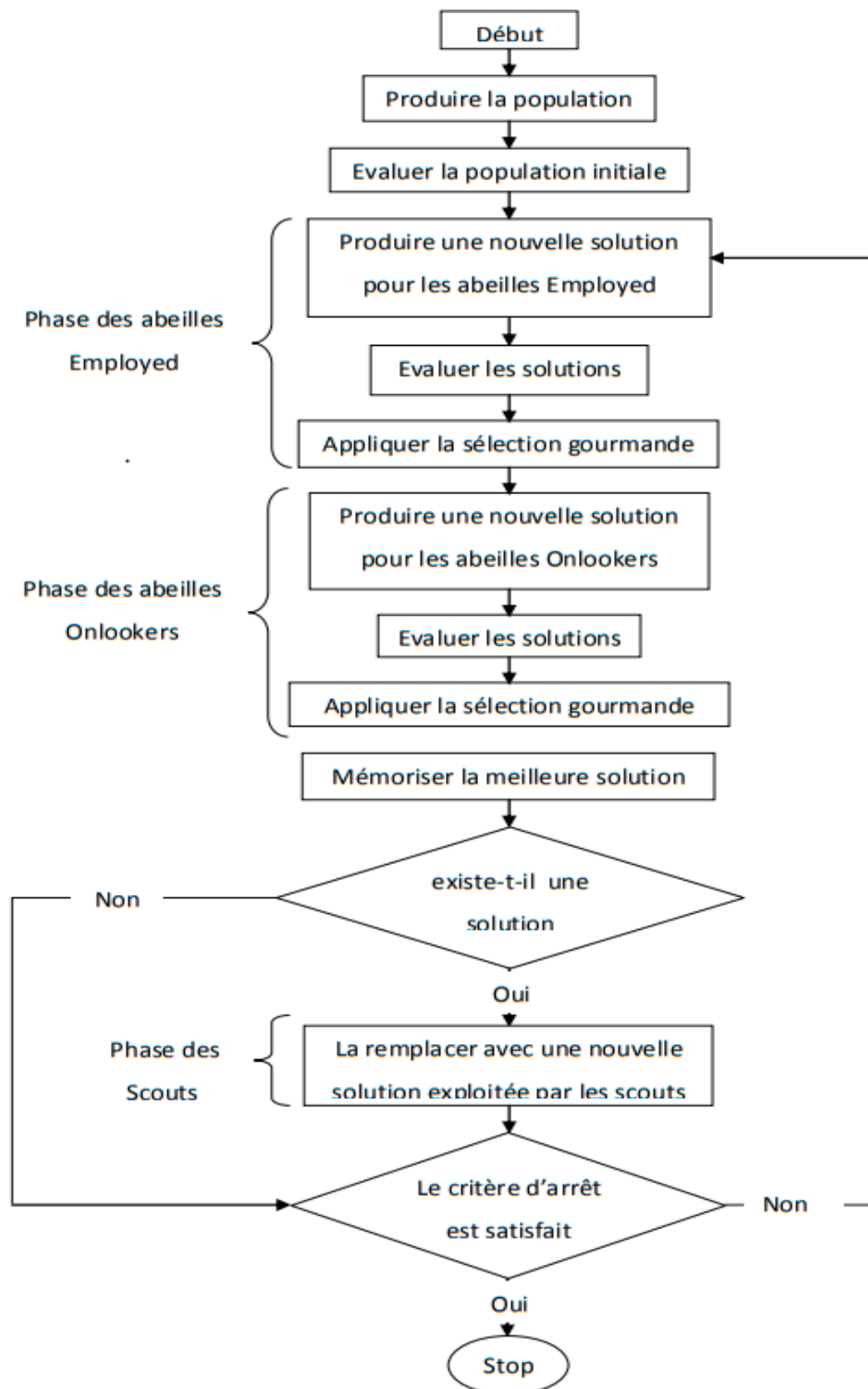


Figure 3.3 : Organigramme du modèle de base de l'algorithme ABC

3.8 Identification paramétrique du MAS par la technique ABC

Contrairement à la modélisation mathématique, l'identification est une approche expérimentale, lors laquelle un modèle issu de connaissances a priori est optimisé à partir des données mesurées afin d'approcher le plus fidèlement possible le comportement du système réel.

La méthode d'identification repose sur la comparaison entre les sorties de modèle représentant le moteur asynchrone et celles mesurées sur le moteur réel. Cette partie est consacrée à l'identification et l'optimisation par la technique ABC des paramètres électriques de moteur asynchrone.

Le problème de l'identification de la MAS est formulé sur la base d'une comparaison entre les sorties de son modèle et celles mesurées sur la machine réelle. Les paramètres du modèle sont ajustés à l'aide d'un algorithme ABC pour à minimiser l'erreur quadratique de sortie. La machine réelle et son modèle sont excités par les mêmes entrées, les sorties réelles et estimées qui sont comparées pour créer le vecteur d'erreur. Ensuite, l'algorithme ajuste les paramètres du vecteur des paramètres afin de minimiser une fonction objectif liée à l'erreur.

Pour chacune des répétitions du processus d'identification, l'algorithme ABC effectue N itérations et détermine les composantes du vecteur des paramètres, soit : $[R_s, L_s, J, L_r, R_r, M, f_v]$. Le nombre de répétition du processus choisit au départ et sera considéré comme le critère d'arrêt de l'identification. Une fois cette fonction objective minimisée, le vecteur des paramètres estimés est le meilleur au sens du critère choisi pour l'identification.

3.9 Résultats de simulation

Le but de cette dernière partie est d'effectuer des simulations, afin de vérifier les paramètres du moteur asynchrone obtenus dans le chapitre précédent.

Pour simuler, nous avons eu recours au logiciel MATLAB qui est un système interactif et convivial de calcul numérique et de visualisation graphique, destiné aux ingénieurs et scientifiques. Il permet d'exprimer les problèmes et les solutions d'une façon aisée.

Pour notre travail, la structure du diagramme est basée sur le modèle mathématique de la machine.

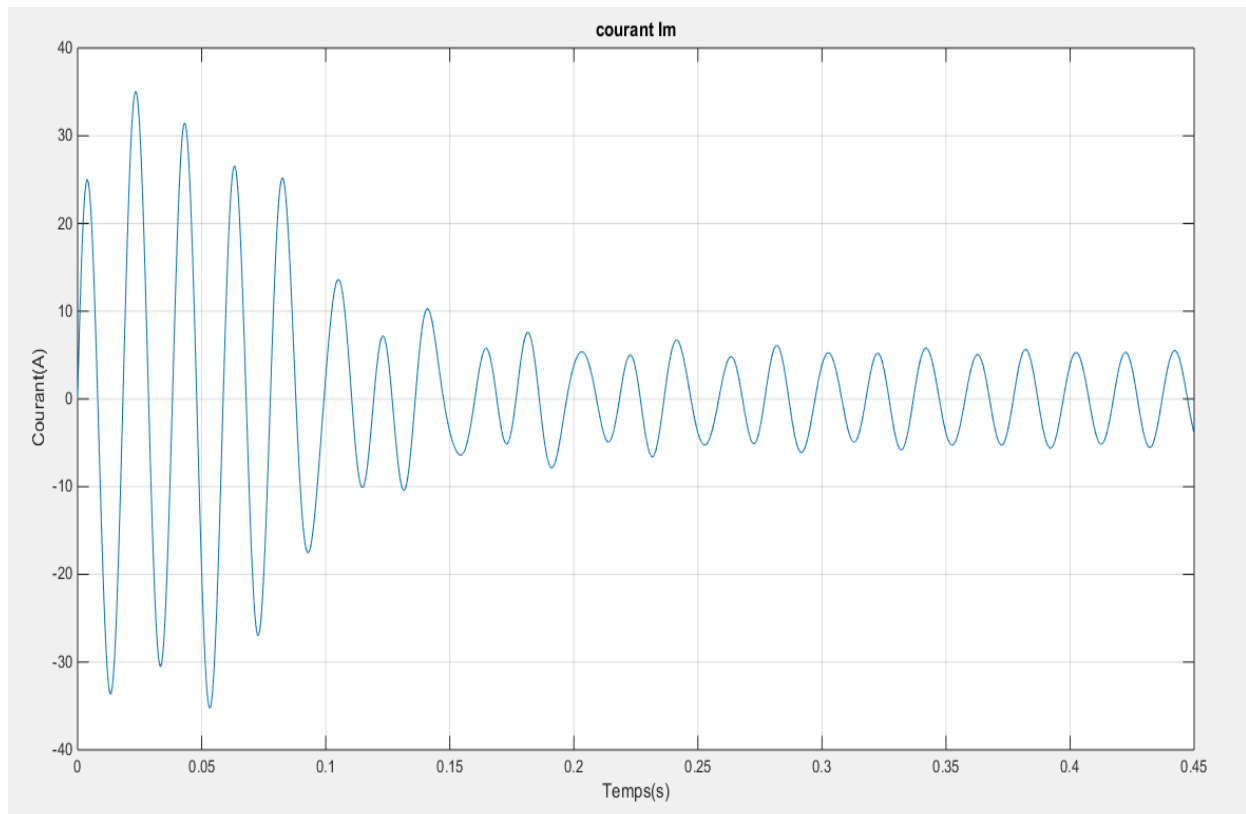


Figure 3.4 : Le courant statorique mesuré

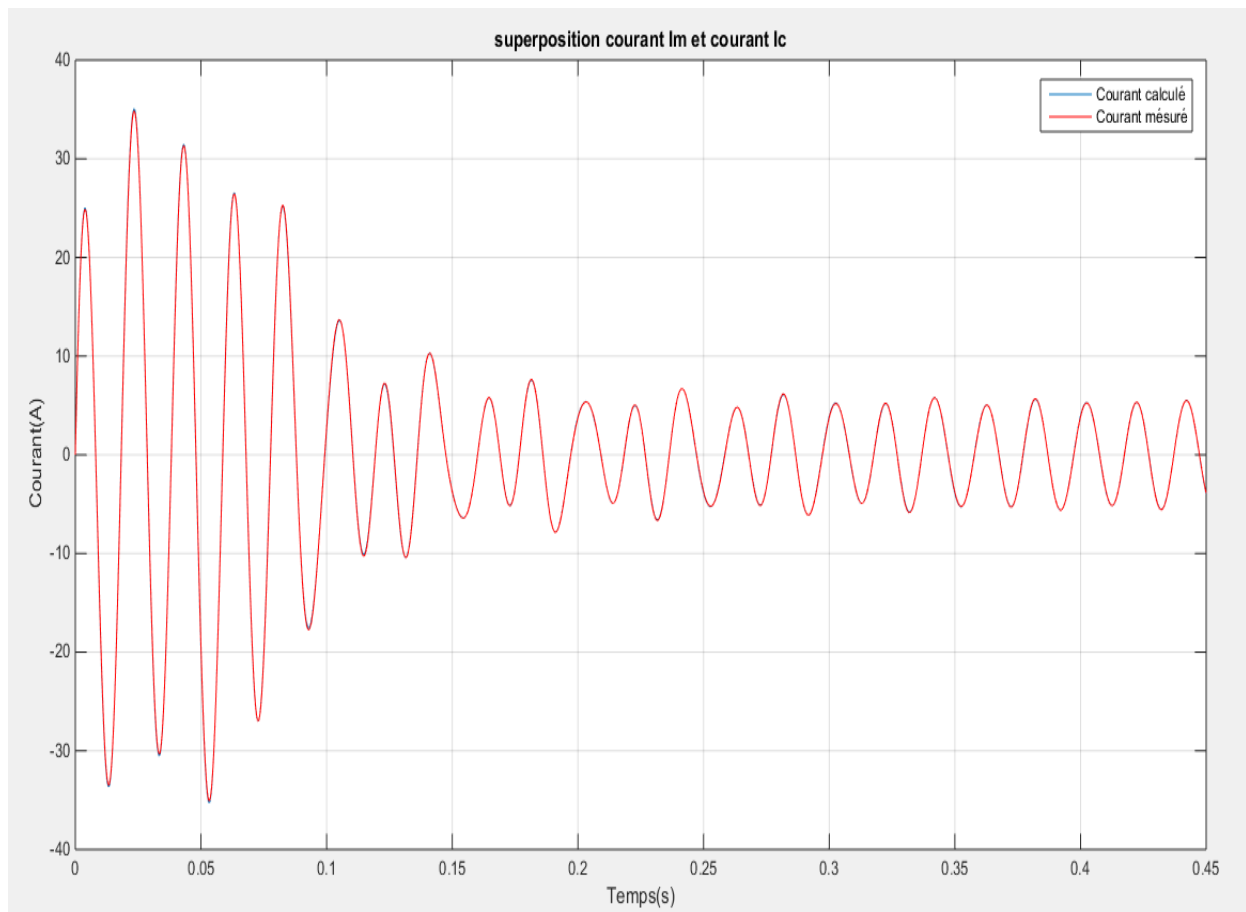


Figure 3.5 : la superposition entre le courant mesuré et le courant calculé

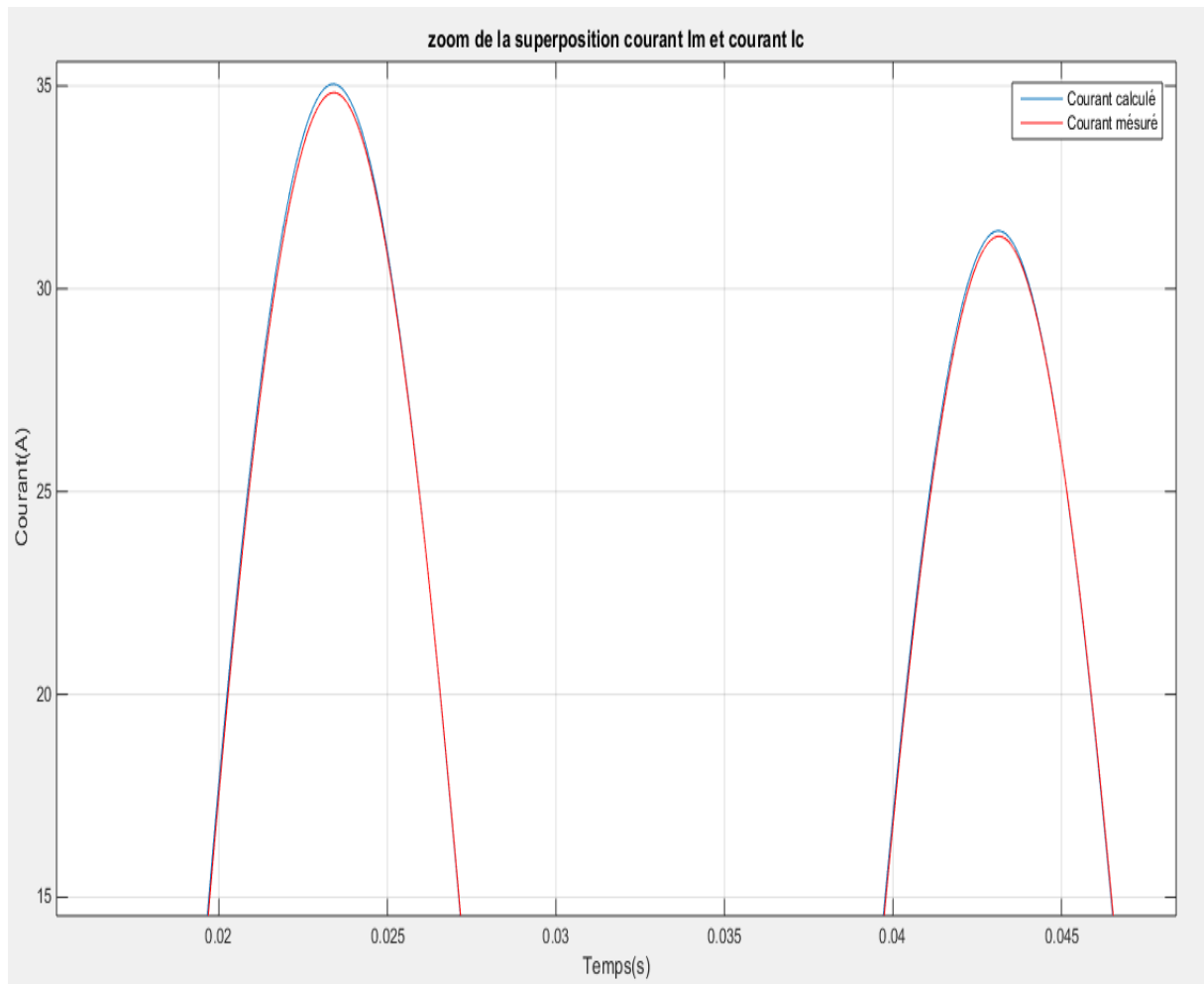


Figure 3.6 : zoom de la superposition entre le courant mesuré et le courant calculé

3.10 Interprétation des résultats

- ✓ On aboutit à des résultats très proche des mesures réelles.
- ✓ La petite différence revient aux erreurs de lecture, précisions des appareils, vieillissement des moteurs asynchrones et aussi la sensibilité des rapports entre les valeurs des inductances rotoriques et statoriques.
- ✓ On remarque qu'il y a une concordance entre le courant simulé et le courant mesuré.
- ✓ Les résultats obtenus sont satisfaisants, comme le montrent les figures donnant l'erreur absolue entre les courants mesurés et calculés.

Remarque :

Pour valider notre choix de l'algorithme, J'ai testé aussi avec l'algorithme de colonies d'abeilles le programme de la bobine qui calcule l'erreur quadratique entre le courant mesuré et ceux calculé.

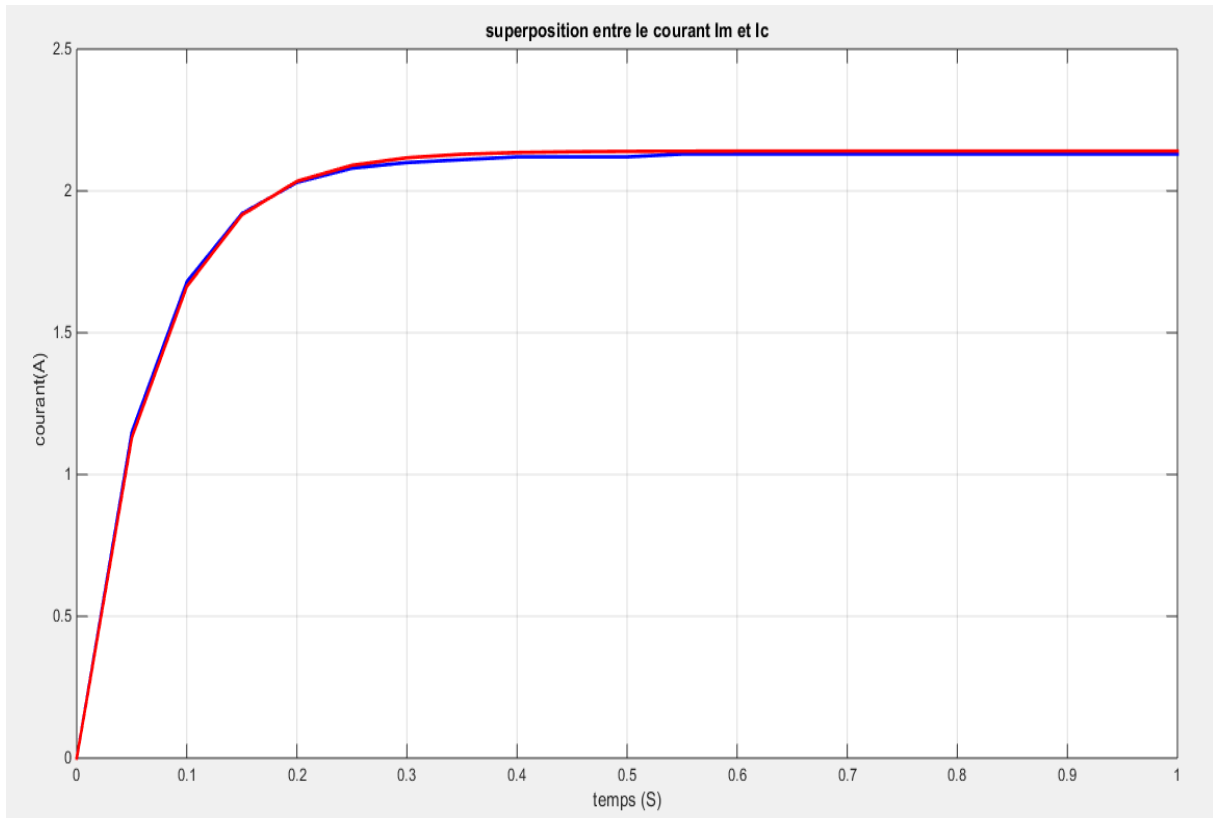


Figure 3.7 : la superposition entre le courant mesuré et le courant calculé(bobine)

3.11 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation des méthodes méta-heuristiques à savoir le recuit simulé, la recherche taboue, et l'algorithme génétique.

Nous avons discuté en détail, la méthode de colonie d'abeille à cause de son large usage dans plusieurs domaines et en vue de l'appliquer dans le domaine d'identification des paramètres de la machine asynchrone.

Toujours dans le cadre de l'amélioration de cet algorithme, plusieurs variantes ont été exposées dans ce chapitre pour remédier au problème de la convergence prématurée.

CONCLUSION

GENERALE

Les méthodes d'identifications sont basées sur trois essais à savoir, l'essai à vide, l'essai à rotor bloqué et l'essai en charge. Ces méthodes ne décrivent pas d'une manière satisfaisante le comportement réel de la machine et elles s'avèrent imprécise, ce qui fait que les résultats de la simulation et de l'expérimentation diffèrent sensiblement.

L'accessibilité et la facilité des mesures nécessaires à notre approche nous encouragent d'envisager son application pour le diagnostic préventif afin apprécier l'état de santé de la machine. Je propose comme perspective de suivre l'évolution des paramètres de modèles dédiés à la détection de défaillances précises liées aux machines électriques, en vue de détecter et de localiser un éventuel défaut.

En perspective on prévoit d'appliquer cette variante nommée ABC pour résoudre le problème d'optimisation d'identification multi-objective, aussi on souhaite d'hybrider avec notre algorithme un autre algorithme comme l'algorithme génétique.

Vitesse de synchronisme : $N_s = \frac{f}{p} \cdot 60 \quad tr/min$

Glissement : $g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \frac{N_s - N}{N_s}$

Tension statorique : $[V_{abcs}] = [R_s] \cdot [I_{abcs}] + \frac{d[\Phi_{abcs}]}{dt}$

Tension rotorique : $[V_{abc r}] = [R_r] \cdot [I_{abc r}] + \frac{d[\Phi_{abc r}]}{dt}$

Matrice des résistances statorique : $[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}$

Matrice des résistances rotorique : $[R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}$

Flux statorique : $[\Phi_s] = [L_{ss}] \cdot [I_s] + [M_{sr}] \cdot [I_r]$

Flux rotorique : $[\Phi_r] = [M_{rs}] \cdot [I_s] + [L_{rr}] \cdot [I_r]$

Transformation de Park : $P[\theta_s] = \left(\frac{2}{3}\right) \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & \cos(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta_s) & -\sin(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$

Transformation de Park inverse : $[P(\theta_s)]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & -\sin(\theta_s) & 1 \\ \cos(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix}$

Transformation de Park lié au stator : $[P(\theta_s)] = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$

Modèle d'état :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{ds}}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_r \frac{L_m}{L_r^2} \right) \phi_{dr} + \frac{1}{\sigma L_s} \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \omega \phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{qs} - \omega_s i_{ds} + \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_r \frac{L_m}{L_r^2} \right) \phi_{qr} - \frac{1}{\sigma L_s} \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \omega \phi_{dr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} \\ \frac{d\phi_{dr}}{dt} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds} - \frac{R_r}{L_r} \phi_{dr} + \omega_r \phi_{qr} \\ \frac{d\phi_{qr}}{dt} = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs} - \frac{R_r}{L_r} \phi_{qr} - \omega_r \phi_{dr} \\ \frac{1}{P} J \frac{d\omega}{dt} = C_e - C_r - f_v \cdot \frac{\omega}{P} \end{array} \right.$$

$$x_{ij} = x_j^{min} + n_j * (x_j^{max} - x_j^{min}) \quad n_j \in [0,1]$$

$$fitness_i = \frac{1}{1 + f_i}$$

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{m=1}^{S_N} fitness_m}$$

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij} (x_{ij} - x_{kj}) \quad \phi \in [0,1]$$

$$V_{ij} = V_{ij}^{min} + \varphi_{ij} * (V_{ij}^{max} - V_{ij}^{min}) \quad \varphi_{ij} \in [0,1]$$

Essai à vide

$V_{s0}(\text{volt})$	$I_{s0}(\text{Ampère})$	$P_1(\text{watt})$	$P_2(\text{watt})$	$P_{s0}(\text{watt})$	$Q_{s0}(\text{var})$
380	3.4	750	-470	280	2113
275	3	640	-390	250	1784
370	2.8	580	-350	230	1610.8
365	2.6	520	-310	210	1437.6
360	2.4	460	-270	190	1264.4
265	1.6	240	-120	120	623.5

Essai à rotor bloqué

$V_{cc}(\text{v})$	$I_{cc}(\text{A})$	$P_{1cc}(\text{W})$	$P_{2cc}(\text{W})$	$P_{cc}(\text{W})$	$Q_{cc}(\text{Var})$
92	6.6	550	-25	525	995.9

Essai de ralentissement

$J(\text{Kg m}^2)$	$f_v (\text{m}^2/\text{s})$
0.0184	0.00049

Tableau récapitulatif

Les paramètres électriques et mécanique	La plaque signalétique	Essais classiques
R_s	/	2.64
R_r	4.8764	1.0331
L_s	0.0661	0.2391
L_r	0.4974	0.2391
M_{sr}	0.4974	0.2281
J	/	0.0184
f_v	/	0.00049

Références bibliographie

- [1] : **G. Séguier et F. Notelet** : Electrotechnique industrielle. Numéro 2eme édition. Tech et Doc, 2006.
- [2] : **J-P. Caron et J-P. Hautier** : Modélisation et commande de la machine asynchrone. Numéro ISBN 9782710806837. Electrotechnique, Lille, 1995.
- [3] : **R-H. Park** : Two-reaction theory of synchronous machines-generalized method of analysis. AIEE Transactions, Vol.48, 1929.
- [4] : **A. Mechernene** : Notes de cours : Machines électriques approfondies, Master M1-ELT-CE, Semestre S1 - EC721, 2019.
- [5] **A. Hughes** : Electric Motors and Drives Fundamentals, Types and Applications. Newnes, 2005.
- [6] **G. Didier** : Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat de l'Université Nancy-I, 2004.
- [7] **A. Fouillé** : Electrotechnique à l'usage des ingénieurs : Machines électriques, Tome II. 1969.
- [8] **BERREHAIL Belkacem**, 'identification des paramètres d'un moteur asynchrone a cage' mémoire de magistère, université de Batna, 2013
- [9] **Smail BACHIR** : 'Contribution au diagnostic de la machine asynchrone par estimation paramétrique' ; Thèse préparée au sein de laboratoire d'automatique et d'informatique industrielle de poitiers ; présentée et soutenue le 17 décembre 2002
- [10] Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option réseau électrique, thème ;<Surveillance et diagnostic des défauts dans la machine asynchrone>, dirigé par **Dr. Medoued Ammar** , présenter par : **SAAD Aissous Souad ; BOUDOUKHANA Chahrazed**
- [11] **R.Mérat, R.Moreau, L.Allay, J.P.Dubois, J.LAFARGUE, R.Le golf**. 2004.Génie Electrotechnique Nathan, Paris : SEJER EDITION, 2004.
- [12] Formation totale MANUEL DE FORMATION Cours **EXP-MN-SE140**

Références bibliographie

- [13] **M'Hamed Bounekhla** : "Contribution à l'identification paramétrique de la machine asynchrone" ; thèse de doctorat d'état ès-science, mai 2004, laboratoire de recherche en électrotechnique, école nationale polytechnique d'Alger.
- [14] **A. Mechernene** : Apport des techniques de l'intelligence artificielle à la commande sans capteur de vitesse d'une machine asynchrone. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat de l'Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, 2014.
- [15] **S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi**. "Optimization by Simulated Annealing". Science, Vol. 220, 4598, pp. 671–680, 1983.
- [16] **M. Sasson**, "Non linear Programming Solutions for load flow, minimum loss, and economic dispatching problems," IEEE trans., Vol. Pas-88, N.4, April 1969.
- [17] **S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi**. "Optimization by Simulated Annealing". Science, Vol. 220, 4598, pp. 671–680, 1983.
- [18] **V. Cerny**. "Thermodynamical Approach to the Travelling Salesman Problem : An Efficient Simulation Algorithm". Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 45, pp. 41–51, 1985..
- [19] **J. P. Courat, G. Raynaud, I. Mrad, and P. Siarry**. "Electronic component model minimization based on Log Simulated Annealing". pp. 790–795, 1994..
- [20] **R. Azencott**. Simulated Annealing: Parallelization Techniques. WileyInterscience, 1992.
- [21] **F. Glover**. "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence". Computers and Operations Research, Vol. 13, pp. 533–549, 1986.
- [22] **Harbadji.w**, "optimisation de l'écoulement de puissance environnemental par la méthode de l'algorithme Génétique," Université de Sétif Mémoires d'ingénierie, 2010.
- [23] **H. YAHYA**, Book "The Miracle of the honeybee", G. M. D. Cd., Ed. Okmeydani-Istanbul-Turkey, March 2007.
- [24] **harunyahya**. <http://jlpetitlaurent.free.fr/abeille/http://lerucherdulac.free.fr>.
- [25] **Mezhoudi Houcem Edinne**, "Résolution du problème d'affectation de fréquence dynamique en utilisant un algorithme basé sur le comportement des abeilles," 2010.

Références bibliographie

[26] Efrén Mezura-Montes, Mauricio Damián-Araoz, and Omar Cetina-Domínguez, "Smart Flight and Dynamic Tolerances in the Artificial Bee Colony for Constrained Optimization," Sep. 2010.