

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

Laadjali Mohamed

pour l'obtention du Diplôme Master en Electrotechnique

Option : MACHINES ELECTRIQUES

Thème

Identification des paramètres de la machine asynchrone triphasée.

Proposé par Dr : Ferdjouni Abd Alazize

Année Universitaire 2011-2012

Remerciements

Avant tout :

Nous remercions notre Dieu tout puissant qui, sans lui, rien ne peut être fait.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur :

***Mr. A. FERDJOUNI** pour tous ses précieux conseils qui ont été utiles durant mon étude.*

*Je remercie également **Mme. Elmerraoui. K**, pour ses conseils et ses encouragements dans toute la durée de mon projet.*

*Et sans oublier tout particulièrement à remercier **Mr. A. TAIB**, pour toute ses orientations et son suivi avec attention et patience.*

Je remercie mon famille respective pour leur encouragement et leur soutien tout au long de mon cursus d'étude.

Je remercie vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils j'ai fait en acceptant d'être rapporteurs de mon mémoire

Je remerciement à tous mon enseignants qui ont contribué à mon formation, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

*Je remerciement à tous mes amis de la promotion **2012**, et à toute personnes qui j'ai aidé dans notre cursus.*

الخوارزميات الجينية من الطرق التي تستخدم بشكل متزايد من أجل حل بعض مشاكل التحسين . هذا العمل المنجز جزء منه لتنفيذ A.G على المحرك اللامتزامن من أجل تحديد تعاريفها ، وثانياً، لمقارنة أداء A.G مع الطريقة التقليدية التي تعتمد على الاختبارات التجريبية.

يتم تطبيق هذه الأساليب على محرك لا متزامن استطاعته : (1.5 كيلوواط).
يتم تحسين النتائج التي تم الحصول عليها من الطريقة التقليدية من خلال الخوارزمية الجينية، مع اعتبار تيار الاقلاع والجهد المقابل له كإشارات الإدخال والإخراج ، في حين أن الخطأ التريبيعي بين التيار المقاس تجريبياً و التيار المأخوذ حسابياً كمعيار للتوقف ، و استعملنا هاتين الطريقتين للتأكد من صحة تعاريف المحرك وجودة أداء كل طريقة منهما.

الكلمات المفتاحية: المحركات اللامتزامنة، الخوارزمية الوراثية، التعريف

Résumé :

Les algorithmes génétiques sont de plus en plus utilisée pour la résolution de certains problèmes d'optimisation. Le présent travail consiste d'une part, à mettre en œuvre un A.G sur le problème d'identification de machine asynchrone triphasée, et d'autre part à comparer ses performances avec la méthode électrotechnique classique basée sur des essais à vides et en court-circuit. Ces méthodes sont appliquées sur une machine asynchrone de puissance (1.5 KW).

Les résultats obtenus à partir de la méthode classique sont améliorés à travers un algorithme génétique mais on prend en considération le courant de démarrage et la tension simple correspondante comme des signaux d'entrée sortie, tandis que l'erreur quadratique entre le courant mesuré et le courant calculé a été choisie comme critère d'arrêt, ces deux méthodes permettant de conclure la validité des paramètres et la performance de chaque méthode.

Mots clés : moteurs asynchrones; Algorithme génétique ; Identification.

Abstract :

Genetic algorithms are methods increasingly used for solving some optimization problems. This work is a part, to implement a GA on the problem of identification asynchronous machine, and secondly, to compare its performance with the conventional method based on electrical testing and short-empty circuit. These methods are applied on an asynchronous machine power (1.5 kW).

The results obtained from the conventional method are improved through a genetic algorithm, but we consider the starting current and the voltage corresponding simple input signals as output, while the squared error between the measured current and current was chosen as stopping criterion, these two methods to conclude the validity of the parameters and the performance of each method.

Keywords: Induction Motor, Genetic Algorithm, Identification.

Listes des acronymes et abréviations

d	: Indice de l'axe direct.
q	: Indice de l'axe en quadrature.
MAS	: Machine Asynchrone.
s, r	: Indices d'axes correspondants au stator et rotor.
a, b, c	: Indice correspondants aux trois phases a, b, c.
V_{as}, V_{bs}, V_{cs}	: Tensions d'alimentation des phases statoriques.
V_{ar}, V_{br}, V_{cr}	: Tensions d'alimentation des phases rotoriques.
i_{as}, i_{bs}, i_{cs}	: Courants statoriques.
i_{ar}, i_{br}, i_{cr}	: Courants rotoriques.
$\Phi_{as}, \Phi_{bs}, \Phi_{cs}$: Flux statoriques.
$\Phi_{ar}, \Phi_{br}, \Phi_{cr}$: Flux rotoriques.
L_{ss}	: La matrice des inductances statoriques.
L_{rr}	: La matrice des inductances rotoriques.
R_s, L_s	: Résistance et inductance propre d'une phase statorique.
R_r, L_r	: Résistance et inductance propre d'une phase rotorique.
$M_{sr} = M_{rs} = M$: Inductance mutuelle cyclique entre rotor et stator.
M_s	: L'inductance mutuelle entre phases statoriques.
M_r	: L'inductance mutuelle entre phases rotoriques.
θ_p	: Angle électrique stator/référentiel.
θ_s, θ_r	: Déphasage de l'axe direct par rapport au stator et rotor.
$[P(\theta)]$: Matrice de transformation de PARK.
$[P(\theta)]^{-1}$: Matrice de transformation inverse de PARK.
W_s	: Pulsation statorique.

W_r	: Pulsation rotorique.
W	: Pulsation mécanique du rotor.
P	: Nombre de paires de pôles.
C_{em}	: Couple électromagnétique.
C_r	: Couple résistant.
Ω	: Vitesse angulaire de rotation.
K_f	: Coefficient de frottement.
J	: Moment d'inertie de la partie tournante de la machine.
N_r	: Les fuites magnétiques.
g	: glissement.
$A.G$: l'algorithme génétique.

Table des matières

REMERCIEMENTS	
RESUME	
LISTES DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
Introduction générale.....	1
Chapitre 1	
<i>Modélisation de machine asynchrone a cage d'écureuil triphasée</i>	
1.1 Généralités sur les machines asynchrones triphasées	5
1.1.1 Présentation de la machine.....	5
a. Principe du moteur asynchrone.....	5
b. Constitution générale	6
c. Description des différents éléments.....	6
1.2 Modélisation de la machine asynchrone	10
1.2.1 Modèle généralisé de la MAS.....	10
1.2.2 Hypothèses simplificatrices.....	11
a. conventions.....	11
b. Equations électriques et magnétique de la machine asynchrone	12
c. Equation mécanique.....	14
1.2.4 Transformation de PARK.....	15
1.2.5 Modélisation de la machine asynchrone dans le repère de PARK.....	17
a. Equations des tensions	17
b. Equations des flux	17
1.2.6 Choix du référentiel.....	18
a. Référentiel lié au rotor.....	18
b. Référentiel lié au champ tournant.....	18
c. Référentiel lié au stator	19
1.2.7 Mise en équation d'état	19
a. Equations électriques.....	20

b. Equations mécaniques.....	20
1.3 Conclusion.....	21

Chapitre 2

Identification classique de la machine asynchrone

2.1 Introduction	23
2.2 Détermination expérimentale des paramètres de la machine par les essais classiques	24
2.2.1 Détermination des paramètres électriques	25
a. Mesure des résistances statoriques R_s	25
➤ Mesure statique sans alimentation des résistances par phase	25
➤ Mesure statique avec alimentation des résistances par phase	26
b. Essai à vide : Détermination de L_s et R_f	27
c. Essai à rotor bloqué : Détermination de M_{sr} et R_r	31
2.3.2 Détermination des paramètres mécaniques	34
a. Détermination du moment d'inertie	34
b. Détermination du coefficient de frottement K_f	35
2.4 Résultats des paramètres identifiés	36
2.5 La comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux.....	37
2.6 Conclusion.....	38

Chapitre 3

L'algorithme génétique.

3.1 Introduction	40
3.2 Définition	41
3.3 Les origines.....	41

3.4	Présentation.....	42
3.4.1	Analogie avec la biologie.....	42
	a. Terminologie commune aux deux disciplines.....	42
	b. Schéma récapitulatif	44
	c. Les outils issus de la biologie.....	45
3.4.2	Principe	46
3.5	Les opérateurs génétiques	47
3.5.1	La sélection	47
	a. La roulette	47
	b. La sélection par rang	48
	c. La sélection par tournoi.....	48
	d. L'élitisme.....	48
3.5 .2	le croisement	49
	a. croisement en un point	49
	b. croisement en deux points	49
3.5 .3	la mutation	50
3.6	CONCLUSION.....	51

Chapitre 4

Application de l'algorithme génétique l'identification paramétrique d'un moteur asynchrone.

Introduction	53
4.1 Identification des paramètres	53
4.2 Le codage des chromosomes	54
4.3 La génération de la première population	54

4.4 Evaluation de la population.....	54
4.5 La sélection	55
4.6 Le croisement	56
4.7 La mutation	56
4.8 Conclusion.....	56
Conclusion générale	58

Liste des figures

Figure 1.1 : principe du moteur asynchrone.

Figure. 1.2 : vue externe d'une machine asynchrone.

Figure 1.3 : coupe de la machine asynchrone.

Figure 1.4 : la cage d'écureuil.

Figure 1.5 : Vue interne de la machine asynchrone.

Figure 1.6 : structure d'un moteur asynchrone triphasé (Leroy-Somer).

Figure 1.7: Modélisation de la machine asynchrone.

Figure 1.8 : repérage angulaire des systèmes d'axes dans l'espace électrique.

Figure. 1.9 : schéma électrique de la MAS.

Figure 1.10 : Systèmes d'axes diphasés (d, q).

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

Figure 2.2 : la plaque signalétique du moteur.

Figure 2.3 : Montage étoile neutre non accessible.

Figure 2.4 : le modèle de la machine asynchrone à vide.

Figure 2.5 : Montage de l'essai à vide.

Figure 2.6 : graphe des puissances.

Figure 2.8 : Le montage de mesure.

Figure 2.7 : Essai avec rotor bloqué.

Figure 2.8 : l'essai de ralentissement.

Figure 2.9 : comparaison entre courants de phase simulé et mesuré.

Figure 3.1 : les algorithmes d'optimisation.

Figure 3.2 : le vocabulaire des algorithmes génétiques.

Figure 3.3 : organigramme d'un AG standard.

Figure 3.4 : Schéma d'une roulette.

Figure 3.5 : croisement en 1 point.

Figure 3.6 : représentation schématique du croisement en 2 points.

Figure 3.7 : mutation de gène 1 en 0.

Figure 4.1 : principe d'identification par modèle de référence.

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Mesure statique R_s sans alimentation.

Tableau 2.2 : Mesure statique R_s avec alimentation.

Tableau 2.3 : Essai à vide sous tension variable.

Tableau 2.4 : Essai à rotor bloqué.

Tableau 2.4 : Les paramètres identifiés.

Tableau 3.1 : Les termes de base de l'algorithme génétique.

Annexe A

Le modèle mathématique de la machine asynchrone utilisé est dans la référence liée au stator:

$$\frac{d\theta_p}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta_r}{dt} = -\frac{d\theta}{dt} = -\omega \quad (\text{A.1})$$

Le modèle mathématique de la machine asynchrone en fonction des variables d'état est donné par le système suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{ds}}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{M_{sr}^2}{L_r^2} \right) i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{M_{sr} R_r}{\sigma L_s L_r^2} \Phi_{dr} + \frac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r} \Phi_{qr} \omega + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\omega_s i_{ds} - \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{M_{sr}^2}{L_r^2} \right) i_{qs} - \frac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r} \Phi_{dr} \omega + \frac{M_{sr} R_r}{\sigma L_s L_r^2} \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = \frac{M_{sr} R_r}{L_r} i_{ds} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr} - \omega \Phi_{qr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = \frac{M_{sr} R_r}{L_r} i_{qs} + \omega \Phi_{dr} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{qr} \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{p^2 M_{sr}}{j L_r} \Phi_{dr} i_{qs} - \frac{p^2 M_{sr}}{j L_r} \Phi_{qr} i_{ds} - \frac{f}{j} \omega - \frac{p}{j} C_r \end{array} \right. \quad (\text{A.2})$$

Où σ est le coefficient de dispersion donné par : $\sigma = 1 - \frac{M_{sr}^2}{L_s L_r}$ (A.3)

Annexe B

La matrice de transformation de Park

$$[P(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{B.1})$$

La matrice de *PARK* écrite sous cette forme, ce qui conduit à l'égalité des valeurs efficaces des grandeurs physiques dans les deux repères. De ce fait, la conservation de la puissance pour ce changement de repère est vérifiée.

L'orthogonalité nous permet d'écrire la matrice inverse de *PARK* :

$$[P(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (\text{B.2})$$

Annexe C

Les paramètres identifiés par la méthode classique :

Les paramètres identifiés	La valeur
R_s	5.72 Ω
R_r	3.88 Ω
L_r	0.52 H
L_s	0.52 H
M_{sr}	0.5 H
J	0.00571 Kg m'
K_f	$6.48 \cdot 10^{-4}$ m ² /s

Bibliographie

- [1] 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.
- [2] L. Baghli : ''Modélisation et commande de la machine asynchrone'', Cours présenté à IUFM de laboratoire-Université Henri Poincaré, France, 2005.
- [3] f. arfaouya : '' identification de la machine asynchrone à l'aide de la méthode du modèle de référence'', thèse ingénieur d'état en électrotechnique, Blida, 2010.
- [4] ZOUINA, *FATIMA* : '' Identification de la Machine Asynchrone triphasée a cage '' thèse ingénieur d'état en électrotechnique, USTHB, 2010.
- [5] J. châtelain : '' machine électrique '' vol. 2 Edition Dunod .1983.
- [6] N. Bougouffa : '' Comportement dynamique de la machine asynchrone '' , thèse en électrotechnique, USTHB, 2009.
- [7] L. DRDI : ''les algorithmes génétiques '' thèse de doctorat, INRS-ETE, 2005.
- [8] A. khiat, B. sefiane : ''algorithmes génétiques'', USTHB.
- [9] B. Sid : 'optimisation topologique de structures par algorithmes génétiques ', thèse doctorat, UT de Belfort-Montbéliard. 2006.
- [10] E. Bajrektarevic: '' Parameter Identification of Induction Motor Using a Genetic Algorithm'', these de Master, Morgantown, West Virginia University, 2002.
- [11] A. galizra, M. khoudja : '' Identification paramétrique d'un moteur asynchrone triphasé par l'algorithme de colonie de fourmis (CIAC)'' thèse d'ingénieur d'état en communication, Blida, 2007.

[12] A. kifouche : “ estimation conjointe des variables et des paramètres d’un moteur asynchrone ”, mémoire de magister en électronique, Blida juin 2011.

[13] R.beauvillan, J. Laty: “mesures électriques et électroniques ”, hachette technique, 1979

[14] Jacques dos Ghali, Jean-Pierre Ray : “ Quelques éléments pratiques de base sur les essais des machines électriques ”, Laboratoire d’électromécanique et de machines électriques (LEME), Lausanne, octobre 1990.

[15] A. Hadj Abdelkader : “ Identification des systèmes linéaires ”, Document de cours ‘ Contrôle des Processus ‘ Université ABOU BEKR BELKAÏD – Tlemcen Faculté de Technologie, Octobre2007.

[16] F.MEHAZZEM : “ Contribution à la Commande d’un Moteur Asynchrone destiné à la Traction électrique “ thèse de doctorat. Université de Mantouri Constantine 2010.

Les sites électroniques :

<http://www.genetic-programming.com>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/algorithmes génétiques](http://fr.wikipedia.org/wiki/algorithmes_génétiques)

<http://www.alliot.fr/fgenetic.html>

<http://magnin.plil.net/spip.php?rubrique8>

INTRODUCTION :

Le moteur asynchrone est caractérisé par sa robustesse et sa simplicité de construction (car il ne possède pas de collecteur), et le plus répandu pour obtenir de la puissance mécanique à partir d'un réseau alternatif. C'est le moins onéreux dans le prix de revient et le plus fiable pour une puissance donnée surtout si le rotor est à cage d'écureuil comme c'est le cas pour ce travail.

Dans un premier temps, nous proposons une modélisation classique de la machine asynchrone dans un repère triphasé, ensuite nous expliciterons, via la transformée de Park, les équations d'état dans un repère biphasé lié au stator (repère dq).

1.1 Généralités sur les machines asynchrones triphasées :

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant ne sont pas égales. Le rotor est toujours en retard par rapport à la vitesse du champ statorique.

La machine asynchrone est dite machine à induction car l'énergie transférée du stator au rotor, ou inversement se fait par induction électromagnétique.

1.1.1 Présentation de la machine :

a. Principe du moteur asynchrone

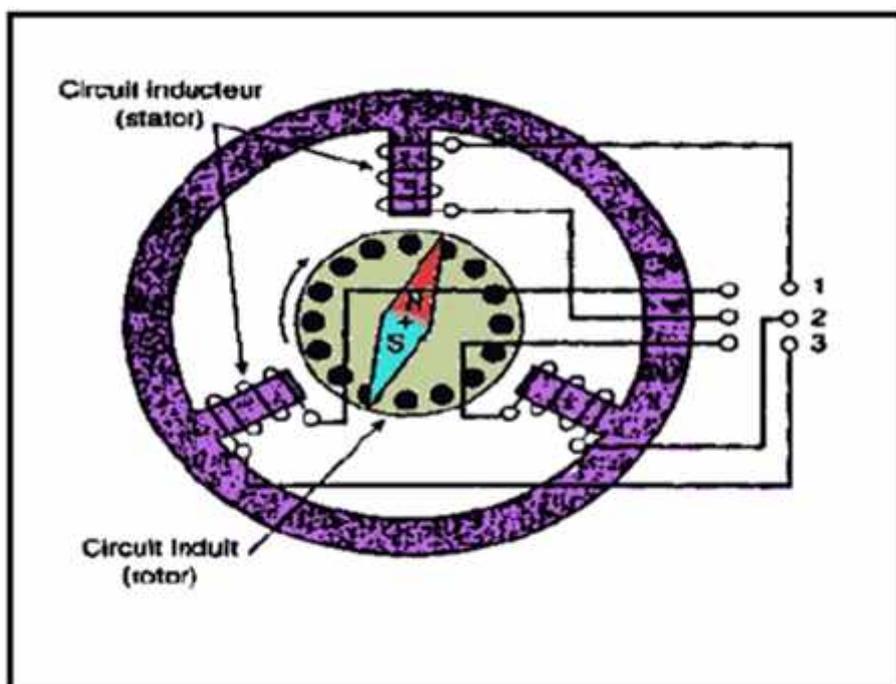


Figure 1.1 : principe du moteur asynchrone.

Le fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé repose sur la création d'un champ tournant.

Si on alimente trois bobines identiques placées à 120° par une tension alternative triphasée :

- Une aiguille aimantée, placée au centre, est entraînée en rotation, il y a bien création d'un champ tournant.
- Un disque métallique en aluminium ou en cuivre est entraîné dans le même sens que l'aiguille aimantée.
- Si l'on inverse deux des trois fils de l'alimentation triphasée, l'aiguille, ou le disque tourne en sens inverse.

Les trois champs alternatifs produits par les bobines alimentées en courant triphasé se composent pour former le champ tournant. Le champ magnétique tournant crée dans le circuit du rotor des courants induits, ceux-ci, d'après la loi de LENZ s'opposent à la cause qui leur a donné naissance et provoquent une force magnétomotrice qui entraîne le rotor en rotation.

b. Constitution générale :

Quels que soient les constructeurs de machines tournantes, nous constatons une très grande stabilité des techniques de constructions :

- Enroulements statoriques.
- Rotor.
- Ventilateur .
- Boîte à bornes.



Figure. 1.2 : vue externe d'une machine asynchrone.

C. Description des différents éléments :

Le moteur asynchrone comprend deux parties principales :

- Le stator (partie fixe).
- Le rotor (partie mobile).

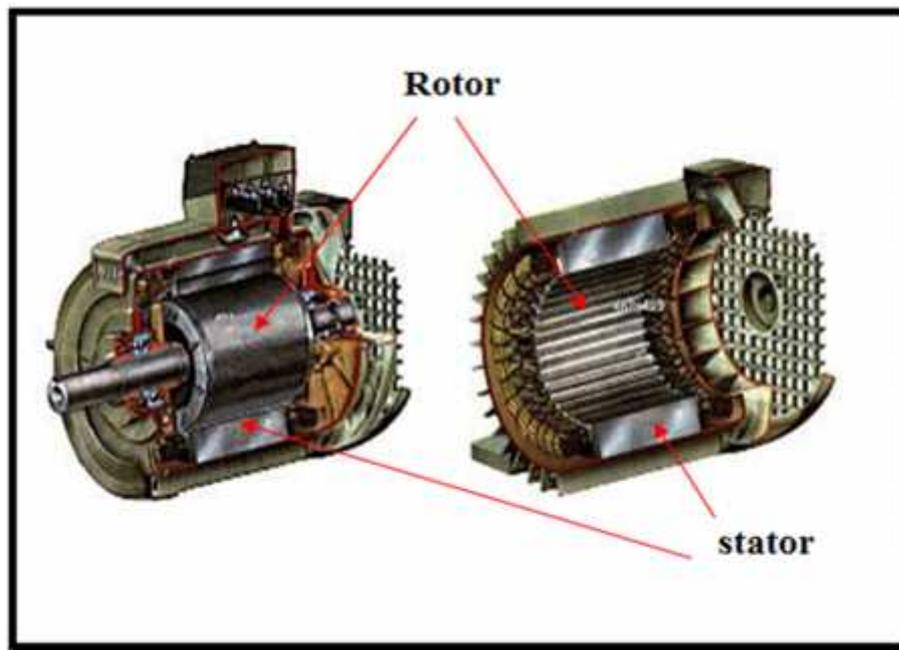


Figure 1.3 : coupe de la machine asynchrone.

C.1 Le stator

Fonction : Le rôle du stator est de créer le champ tournant et de canaliser le flux magnétique.

Constitution : Il est constitué d'une carcasse comprenant les trois enroulements identiques répartis sur un circuit magnétique feuilleté ; ces enroulements sont constitués de conducteurs logés dans les encoches du circuit magnétiques. Ils sont alimentés par le réseau via la plaque à bornes.

C.2 Le rotor

Fonction : Le rôle du rotor est de canaliser le flux venant du stator et de créer le champ tournant rotorique.

Constitution : Le rotor possède comme pour le stator un ensemble de tôles ferromagnétiques isolées entre elles pour former le circuit magnétique, Le feuilletage par tôles Fe +Si permet de diminuer les pertes par courant de Foucault et les pertes par hystérésis.

Pour la partie électrique on rencontre deux types de rotor :

➤ **Rotor en court-circuit ou à cage d'écureuil**

Dans les encoches disposées vers l'extérieur du cylindre et sensiblement parallèles à son axe sont placés des barres conductrices (en aluminium pour le poids et sa résistance).

A chaque extrémité, ceux-ci sont raccordés sur une couronne (ou anneaux).

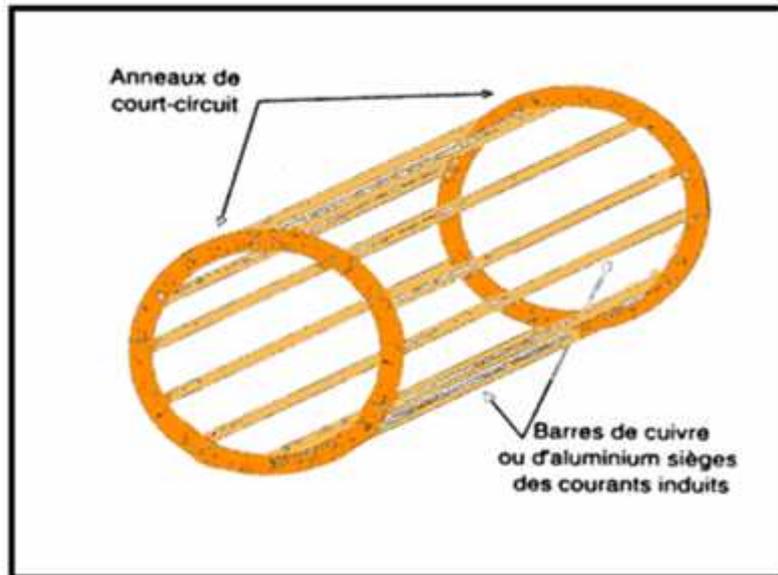


Figure 1.4 : la cage d'écureuil

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 moulée par injection d'aluminium sous pression.

Ces moteurs ont un couple de démarrage relativement faible et le courant absorbé lors de la mise sous tension est très supérieur au courant nominal.

➤ **Rotor bobiné ou à bagues**

Le bobinage est formé de trois enroulements couplés en étoile et relié à la plaque à bornes (du stator) par une liaison électrique bagues + balais. Le point commun du couplage n'est pas accessible. Ce dispositif permet de modifier les propriétés électromagnétiques du moteur. Ce type de rotor nécessite un équipement de démarrage particulier qui permet d'obtenir un couple de démarrage progressif.

Ces deux parties (stator - rotor) sont séparées par un vide très réduit appelé entrefer qui est de l'ordre de (0.2 à 3 mm environ suivant la puissance de la machine).

L'arbre de la machine ;

- Le système bagues-balais qui permet l'alimentation ou la collecte de la tension du rotor.
- Le ventilateur pour refroidir la machine.

La constitution interne de la machine asynchrone est :

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Arbre. | Palier. |
| Circuit magnétique rotorique. | Flasque. |
| Enroulement rotorique. | Ventilateur. |
| Entrefer | Enroulement statorique. |
| Circuit magnétique statorique. | |

La figure suivante précise son emplacement:

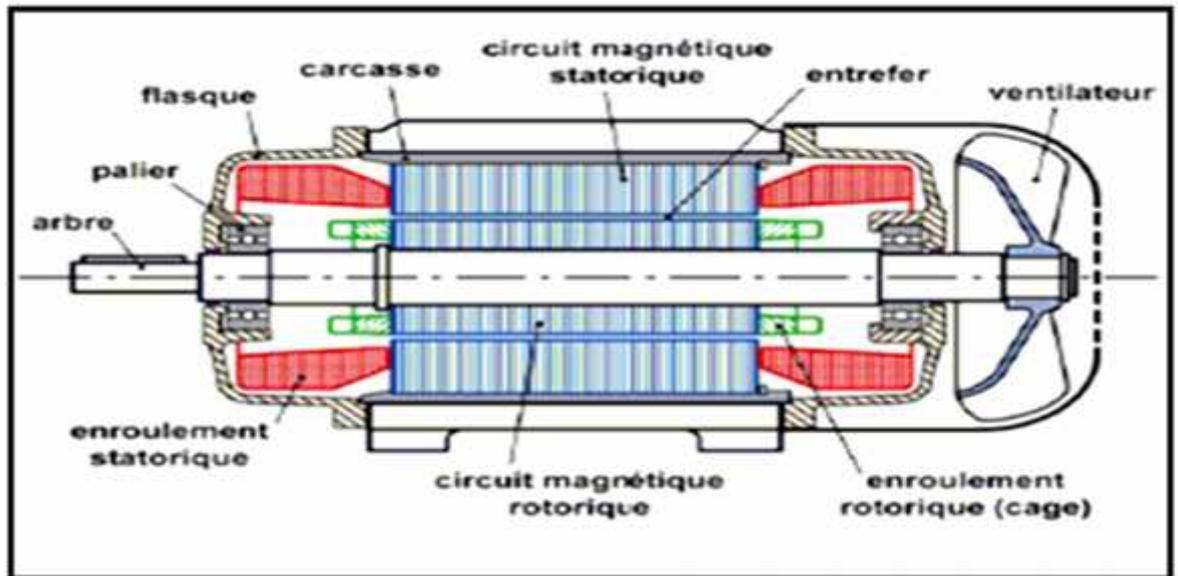


Figure 1.5 : Vue interne de la machine asynchrone

Ces différents éléments placés dans une carcasse, les deux côtés de l'arbre sont bien serrés par les enroulements et les flasques, aussi la ventilation est protégée par un capot, comme on voit dans la Figure 1.6 :

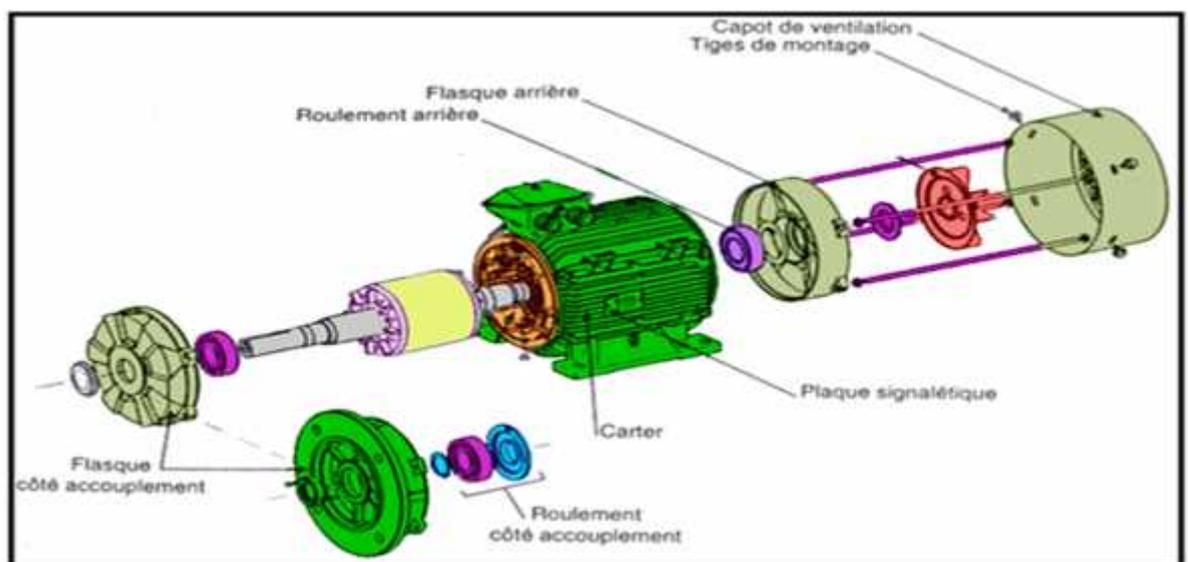


Figure 1.6 : structure d'un moteur asynchrone triphasé (Leroy-Somer).

1.2 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 difficile même 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.

1.2.1- Modèle généralisé triphasé de la MAS :

Le modèle de la machine asynchrone triphasé est illustré par le schéma de la (Figure 1.7) avec les armatures statoriques et rotoriques sont munies chacune d'un enroulement triphasé, sont trois enroulements du stator : A_s , B_s et C_s , et pour les trois enroulements rotoriques : A_r , B_r et C_r .

Et θ : Angle entre l'axe de la phase statorique (A_s) et la phase rotorique (A_r).

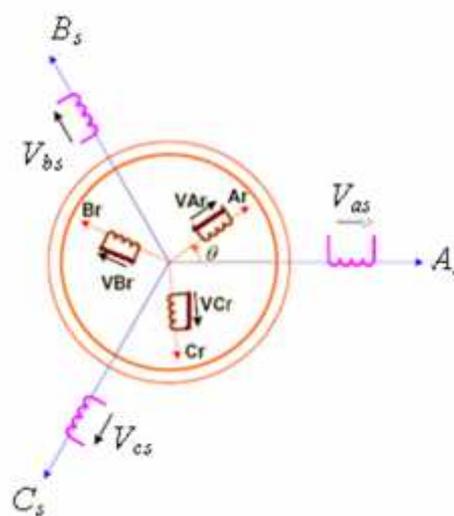


Figure 1.7: Modélisation de la machine asynchrone.

Au niveau de la méthode de modélisation mathématique, notre machine est à une paire de pôles, le passage à plusieurs paires de pôles s'effectuant de manière simple en divisant alors les angles par ce nombre de paires de pôles, on parle alors d'angle électrique.

Le stator sera composé de 3 bobines identiques (A_s , B_s et C_s) régulièrement déphasées de $2\pi/3$ radians électriques. Le rotor sera considéré comme équivalent à 3 bobines identiques (a_r , b_r et c_r) court-circuitées sur elles-mêmes également régulièrement déphasées de $2\pi/3$ radians électriques.

1.2.2 Hypothèses simplificatrices

La machine asynchrone, avec la répartition de ses enroulements et sa géométrie propre est très complexe pour se prêter à une analyse tenant compte de sa configuration exacte, et comme nous l'avons déjà soulevé, il est alors nécessaire d'adopter certaines hypothèses simplificatrices :

- La machine est de constitution symétrique.
- La saturation du circuit magnétique, l'hystérésis et les courants de Foucault sont tous négligés.
- Les résistances des enroulements ne varient pas avec la température.
- L'influence de l'effet de peau n'est pas prise en compte.
- On admet de plus que la force magnétomotrice créée par chacune des phases des deux armatures est à répartition sinusoïdale.
- L'entrefer est d'épaisseur uniforme et l'effet d'encoche est négligé, les inductances propres sont constantes et les inductances mutuelles sont des fonctions sinusoïdales de l'angle entre les axes rotoriques et statoriques [5].

1.2.3 Modèle triphasé de la machine

a. convention

Les trois phases statoriques A_s , B_s , C_s et rotoriques a_r , b_r , c_r sont représentées dans la figure précédente (I.7).

Avec:
$$\omega = p\Omega = \frac{d\theta}{dt}; \quad \theta_r = \theta_p - \theta$$

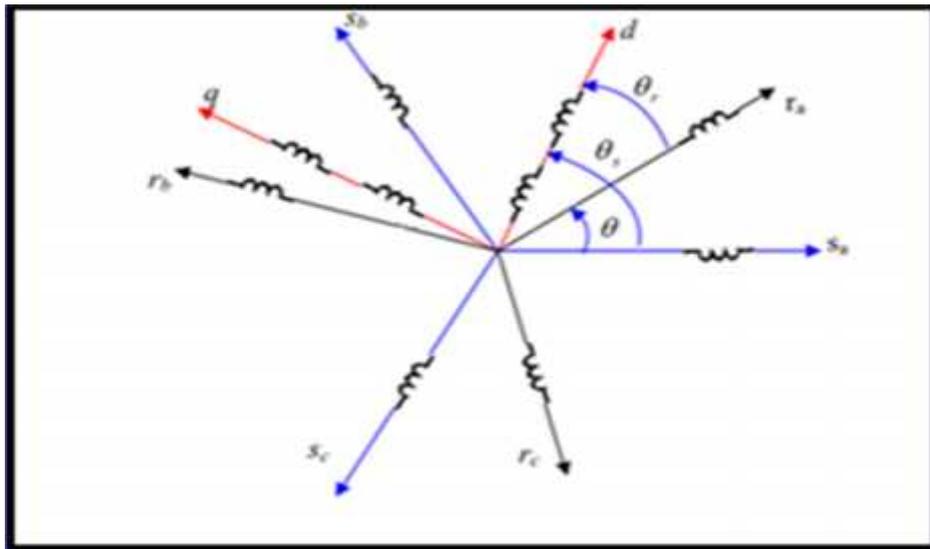


Figure 1.8 : repérage angulaire des systèmes d'axes dans l'espace électrique.

θ_p : Angle électrique stator/référentiel (d, q).

$\omega_p = \frac{d\theta_p}{dt}$: Vitesse angulaire des axes (d, q) par rapport au stator.

$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}$: Vitesse angulaire des axes (d, q) par rapport au rotor.

b. Equations électriques et magnétique de la machine asynchrone

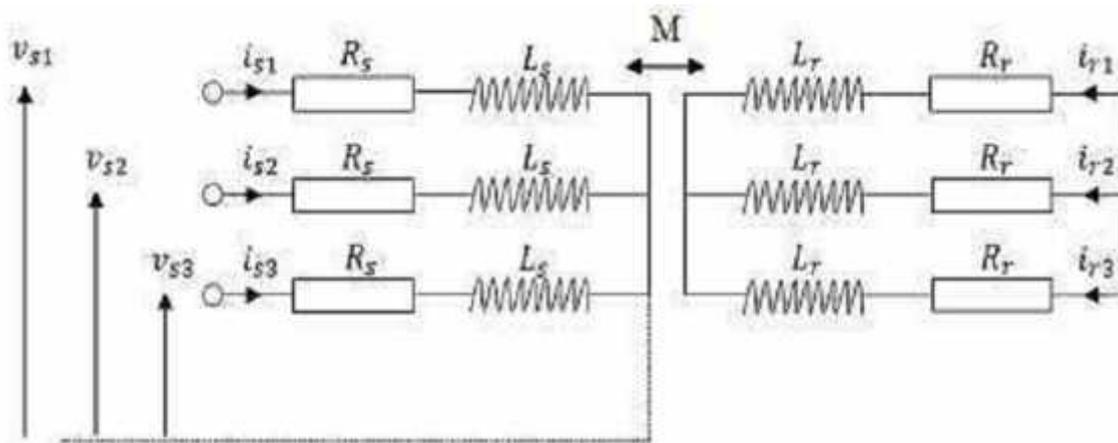


Figure. 1.9 : schéma électrique de la MAS.

L'application de la loi d'Ohm-Faraday à cette maille permet d'écrire les tensions statoriques et rotoriques de la machine asynchrone sont données par :

$$\text{➤ Au stator : } [V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\Phi_s] \quad (1.1)$$

$$\text{➤ Au rotor : } [V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\Phi_r] \quad (1.2)$$

Les flux sont donnés par :

$$\text{➤ Au stator : } [\Phi_s] = [L_{ss}][I_s] + [M_{sr}][I_r] \quad (1.3)$$

$$\text{➤ Au rotor : } [\Phi_r] = [L_{rr}][I_r] + [M_{rs}][I_s] \quad (1.4)$$

Avec :

$$[V_s] = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} ; [V_r] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} ; [I_s] = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} ; [I_r] = \begin{bmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{bmatrix}$$

$$[\Phi_r] = \begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix} ; [\Phi_s] = \begin{bmatrix} \Phi_A \\ \Phi_B \\ \Phi_C \end{bmatrix}$$

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

La matrice des inductances mutuelles (matrice de couplage rotor-stator) est donnée par:

$$[M_{sr}] = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

$$[M_{rs}] = [M_{sr}]^t$$

Tel que : L_{ss} : inductance propre des phases statoriques.

L_{rr} : inductance propre des phases rotoriques.

M_{sr} : inductance mutuelle entre les deux phases (stator / rotor).

En remplaçant le système d'équation (I.2) dans (I.1), on obtient le système suivant :

$$\begin{aligned} [V_s] &= [R_s][I_s] + \frac{d}{dt} \{ [L_{ss}][I_s] \} + \frac{d}{dt} \{ [M_{sr}][I_r] \} \\ [V_r] &= [R_r][I_r] + \frac{d}{dt} \{ [L_{rr}][I_r] \} + \frac{d}{dt} \{ [M_{rs}][I_s] \} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Ce sont les équations de fonctionnement de la machine asynchrone.

c. Equation mécanique

Le couple électromagnétique est donné par l'expression générale suivante :

$$C_{em} = p [I_s]^t \frac{d}{d\theta} [M_{sr}][I_r] \quad (1.7)$$

L'équation mécanique de la machine s'écrit :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r - K_f \Omega \quad (1.8)$$

Tel que :

J : moment d'inertie du moteur asynchrone.

K_f : coefficient de frottement visqueux.

C_r : couple résistant.

La résolution analytique dans ce repère est très difficile car le système d'équations est à coefficients variables en fonction de θ (angle de rotation électrique de la machine).

L'application de la transformation de PARK permet la réduction d'un tel système.

1.2.4- Transformation de PARK

Afin d'aboutir à un modèle mathématique plus simple que le modèle réel du système, nous utiliserons des transformations orthogonales. Nous obtenons donc, des équations plus simples par des changements de variables appropriés. Parmi ces transformations, nous utiliserons celle de PARK [5]. La figure (Figure : 1.10) représente clairement cette transformation des axes réels « A, B, C » aux axes « d et q ».

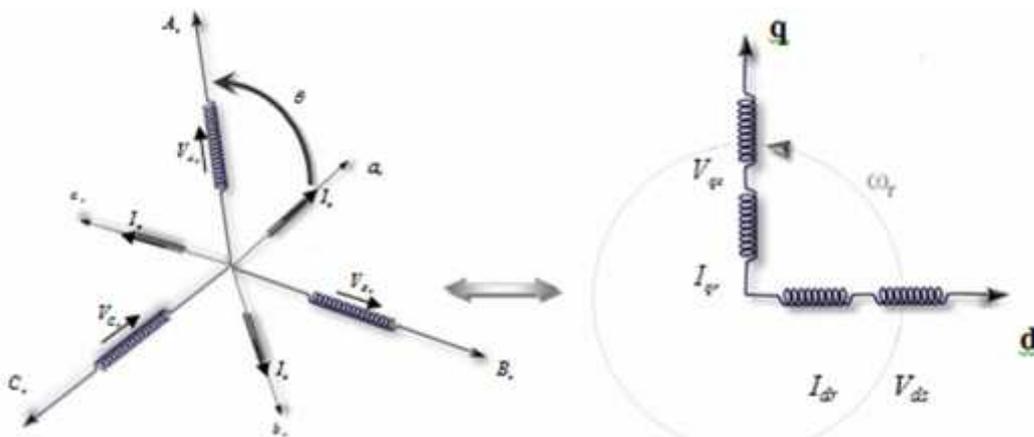


Figure 1.10 : Systèmes d'axes diphasés (d, q)

Cette transformation est définie par sa matrice $[P(\theta)]$ telle que :

$$[P(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

La matrice de *PARK* écrite sous cette forme est orthogonale, ce qui conduit à l'égalité des valeurs efficaces des grandeurs physiques dans les deux repères. De ce fait, la conservation de la puissance pour ce changement de repère est vérifiée.

L'orthogonalité nous permet d'écrire :

$$[P(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Remarque :

Tout au long de cette modélisation, cette transformation sera utilisée afin de conserver l'équivalence énergétique.

$$[X_d, X_q, X_o]^t = [P(\theta)][X_A, X_B, X_C]^t$$

X : Tension, courant ou flux.

1.2.5 Modélisation de la machine asynchrone dans le repère de PARK

a. Equations des tensions

En appliquant la transformation de *PARK* aux équations (1.1) à (1.10), nous obtenons le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega_p \Phi_{qs} \\ v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega_p \Phi_{ds} \end{cases} \quad (1.11)$$

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - (\omega_p - \omega)\Phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + (\omega_p - \omega)\Phi_{dr} \end{cases} \quad (1.12)$$

Avec : $\omega_p = \frac{d\theta_p}{dt}$; $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

b. Equations des flux

Les relations entre les flux et les courants sont données par :

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s i_{ds} + M i_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s i_{qs} + M i_{qr} \\ \Phi_{dr} = L_r i_{dr} + M i_{ds} \\ \Phi_{qr} = L_r i_{qr} + M i_{qs} \end{cases} \quad (1.13)$$

Et :

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

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

$M_{sr} = M_{rs} = M$: Inductance mutuelle cyclique entre rotor et stator

1.2.6 Choix du référentiel

Trois types de référentiels peuvent être envisagés à savoir :

- Référentiel lié au stator.
- Référentiel lié au rotor.
- Référentiel lié au champ tournant.

a. Référentiel lié au rotor

Ce système est utilisé pour étudier les processus transitoires dans les machines synchrones et asynchrones. Le référentiel est caractérisé par :

$$\frac{d\theta_r}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta_p}{dt} = \omega$$

b. Référentiel lié au champ tournant

La vitesse est égale à ω_s (ω_s : vitesse de synchronisme) : $\omega_p = \omega_s$

$$\frac{d\theta_p}{dt} = \frac{d\theta_s}{dt} \Rightarrow \omega_p = \omega_s$$

Dans ce cas, les grandeurs statiques sont continuées en régime permanent. Il est préférable d'utiliser ce repère lors d'une étude de la commande de la machine asynchrone.

Les équations de la machine dans ce repère s'écrivent de la manière suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega_s \Phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega_s \Phi_{ds} \\ 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega) \Phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega) \Phi_{dr} \end{array} \right. \quad (1.14)$$

Avec : $\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt}$

C. Référentiel lié au stator

Ce référentiel est choisi en vue d'étudier les variations importantes de la vitesse de rotation, associé ou non aux variations de la fréquence d'alimentation, le mieux adapté pour travailler avec les grandeurs instantanées.

Il se traduit par la condition :
$$\frac{d\theta_p}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta_r}{dt} = -\frac{d\theta}{dt} = -\omega$$

Le modèle mathématique de la machine asynchrone avec une alimentation en tension, en fonction des variables d'état est donné par le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = -\frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{M_{sr}^2}{L_r^2} \right) i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{M_{sr} R_r}{\sigma L_s L_r^2} \Phi_{dr} + \frac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r} \Phi_{qr} \omega + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\omega_s i_{ds} - \frac{1}{\sigma L_s} \left(R_s + R_r \frac{M_{sr}^2}{L_r^2} \right) i_{qs} - \frac{M_{sr}}{\sigma L_s L_r} \Phi_{dr} \omega + \frac{M_{sr} R_r}{\sigma L_s L_r^2} \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} = \frac{M_{sr} R_r}{L_r} i_{ds} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr} - \omega \Phi_{qr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} = \frac{M_{sr} R_r}{L_r} i_{qs} + \omega \Phi_{dr} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{qr} \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{p^2 M_{sr}}{j L_r} \Phi_{dr} i_{qs} - \frac{p^2 M_{sr}}{j L_r} \Phi_{qr} i_{ds} - \frac{f}{j} \omega - \frac{p}{j} C_r \end{cases} \quad (1.15)$$

Où σ est le coefficient de dispersion donné par :
$$\sigma = 1 - \frac{M_{sr}^2}{L_s L_r}$$

1.2.7 mise en équation d'état

Une machine asynchrone alimentée en tension, a comme variables de commande, les tensions statoriques V_{sd} et V_{sq} et comme perturbation le couple résistant C_r . Elle peut être décrite par plusieurs variables d'état. Notre étude sera limitée à un seul cas représenté par les courants statoriques et les flux rotoriques (i_{ds} , i_{qs} , ϕ_{dr} , ϕ_{qr}).

On a

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + L_s \cdot \frac{di_{ds}}{dt} + M_{sr} \cdot \frac{di_{dr}}{dt} \\ V_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + L_s \cdot \frac{di_{qs}}{dt} + M_{sr} \frac{di_{qs}}{dt} \\ V_{dr} = 0 = R_r i_{dr} + L_r \frac{di_{dr}}{dt} + M_{sr} \frac{di_{ds}}{dt} - \omega \cdot L_r i_{qs} - \omega \cdot M_{sr} i_{qs} \\ V_{qr} = 0 = R_r i_{qr} + L_r \frac{di_{qr}}{dt} + M_{sr} \frac{di_{qs}}{dt} + \omega \cdot L_r i_{dr} + \omega \cdot M_{sr} i_{ds} \end{array} \right. \quad (1.16)$$

a. Equations électriques

Nous pouvons alors écrire l'équation d'état suivante :

$$\dot{X} = AX + BU \quad (1.17)$$

$$[X] = [i_{ds} \quad i_{qs} \quad \Phi_{dr} \quad \Phi_{qr}]^T \quad : \text{Vecteur d'état.}$$

$$[U] = [V_{ds} \quad V_{qs}] \quad : \text{Vecteur de commande.}$$

$$[A] \quad : \text{matrice d'évolution d'état du système.}$$

$$[B] \quad : \text{matrice de système de commande.}$$

b. Equations mécaniques :

L'équation mécanique de mouvement et l'équation de couple électromagnétique sont définies comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{em} = P \cdot \frac{M_{sr}}{L_s} (\Phi_{ds} i_{qs} - \Phi_{qs} i_{ds}) \\ J \cdot \frac{d\Omega}{dt} + \Omega \cdot f = C_e - C_r \end{array} \right. \quad (1.18)$$

1.3 Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une description générale de la machine asynchrone à cage d'écureuil précisant ainsi sa constitution, sa structure et son principe de fonctionnement.

Ensuite, on a pu établir le modèle mathématique de la machine asynchrone, alimentée par une source de tension sinusoïdale triphasée, en utilisant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, grâce à l'application de la transformation de Park qui ramène la machine triphasée en une machine diphasé équivalente, ce qui signifie une facilité de résolution et de simulation. Après avoir transformé les équations on a choisi le référentiel lié au stator qui est le mieux adapté pour une identification des paramètres de la machine asynchrone.

2.1 Introduction

Dans le premier chapitre, nous avons étudié la représentation mathématique de la machine asynchrone à cage d'écurueil. Dans ce qui suit, on propose une méthodologie à suivre pour identifier les paramètres d'une machine asynchrone à cage d'écurueil. Il s'agit d'une étape préliminaire importante en vue de la réalisation de lois de commande aussi complexes que celles de la commande vectorielle. 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 à l'arrêt et en rotation.

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.

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

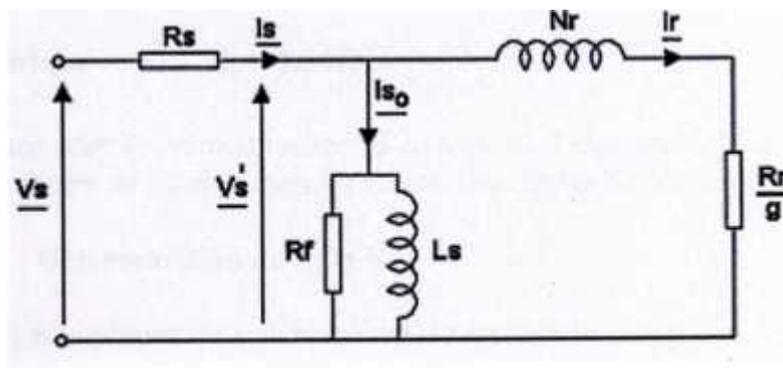


Figure 2.1 : Schéma équivalent de la machine asynchrone en régime permanent.

2.2 Détermination expérimentale des paramètres de la machine par les essais classiques

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

Nous avons utilisé le couplage étoile :

Puissance utile nominale	: 1.5kW
Fréquence nominale	: 50 Hz
Tension stator nominale	: 220/380V
Courant stator nominale	: 3.4 A
vitesse nominale	: 1425 tr/min
Facteur de puissance nominale	: 0.86

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

	V	Hz	min ⁻¹	kW	cosP	A
人	380	50	1425	1.50	0.86	3.40
人	230	50	1435	1.50	0.84	5.50
人	400	50	1435	1.50	0.84	3.20
人	415	50	1440	1.50	0.82	3.20
人	440	60	1715	1.80	0.86	3.40
人	460	60	1725	1.80	0.85	3.30
人	480	60	1735	1.80	0.83	3.20

VENT. MOND 1.0.5A P.90W -PTO- CTP-COD 1024PTS 5V

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 le matériel est le suivant:

- Fils de raccordement.
- Bloc d'alimentation.
- Autotransformateur.
- Moteur asynchrone à cage d'écureuil.
- Tachymètre.
- Ampèremètre, Wattmètre, Voltmètre.
- Un environnement Matlab/Simulink pour la simulation.

2.2.1 Détermination des paramètres électriques

a. Mesure des résistances statoriques :

La mesure des résistances statoriques est faite par la méthode volt-ampérométrique, on a effectué plusieurs mesures de la tension et du courant au niveau d'un seul enroulement statorique. La résistance du stator est obtenue par le calcul de la valeur moyenne des différentes mesures.

➤ Mesure statique sans alimentation des résistances par phase :

La résistance du stator est obtenue par le calcul de la valeur moyenne des différentes mesures, par l'ohmmètre directement sur les phases statoriques et on a obtenu les valeurs suivantes :

TABLEAU DES MESURES :

LES BORNES	Entre U_1, U_2	Entre V_1, V_2	Entre W_1, W_2	Entre $(V_1-V_2) + (U_1-U_2)$	Entre $(V_1-V_2) + (W_1-W_2)$	Entre $(U_1-U_2) + (W_1-W_1)$	$R_{moy} (\Omega)$
$R_s (\Omega)$	5.8	5.8	5.8	11.4	11.4	11.4	5.84
	6.4	6.3	7.4	11.1	11.2	10.9	
	5.4	5.5	6.4	11.2	11.3	11	

Tableau 2.1: Mesure statique de R_s sans alimentation.

➤ Mesure statique avec alimentation des résistances par phase :

Puisque la résistance statorique est faible, on a utilisé le montage aval suivant:

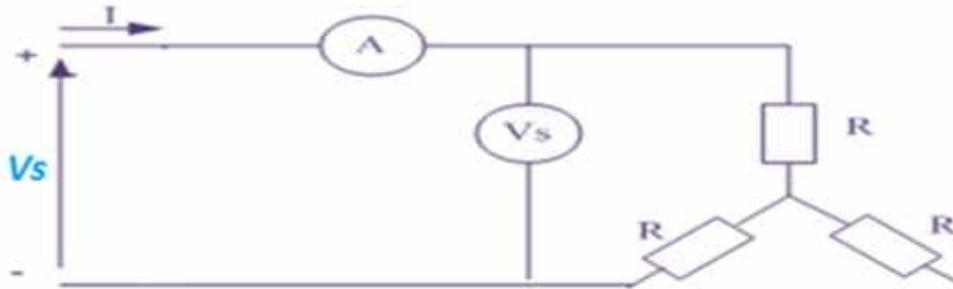


Figure 2.3 Montage étoile neutre non accessible.

La résistance du stator est obtenue par des différentes mesures de courant et tension à partir de plusieurs valeurs de tension d'entrée.

Pour la phase statorique on relève V_s et I_s .

$$\text{On aura } R_S = \frac{V_s}{2I_s} \quad (2.1)$$

et on a obtenu les valeurs suivantes :

TABLEAU DES MESURES :

TENSION D'entrée par le générateur E (V)	TENSION MESURE PAR LE VOLTMETRE V_s (V)	COURANT MESURE PAR L'Ampèremètre I_s (A)	$2 R_S$	R_S (Ω)
5	4.88	0.41	11.90	5.95
10	9.84	0.86	11.44	5.72
15	14.79	1.31	11.29	5.64
20	19.72	1.75	11.26	5.63

Tableau 2.2: Mesure statique R_s avec alimentation

Alors la valeur moyenne $R_s = 5.735$ (Ω)

b. Essai à vide : Détermination de L_s et R_f

Dans l'essai à vide, à la vitesse de synchronisme, le modèle se réduit aux trois éléments : R_s , L_s et R_f .

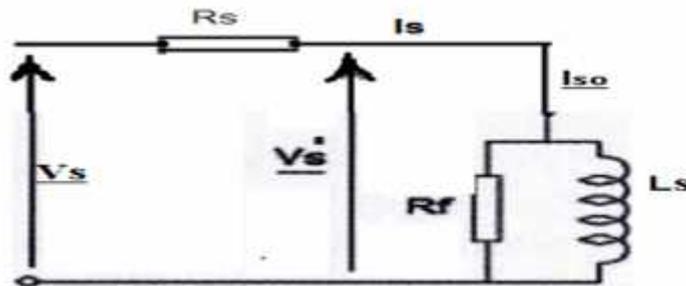


Figure 2.4 le modèle de la machine asynchrone à vide.

On réalise le montage de la figure II.5, La machine est alimentée à la tension nominale, et tourne à vide, le rotor est en court-circuit, on relève donc P_{so} , I_{so} , V_s .

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

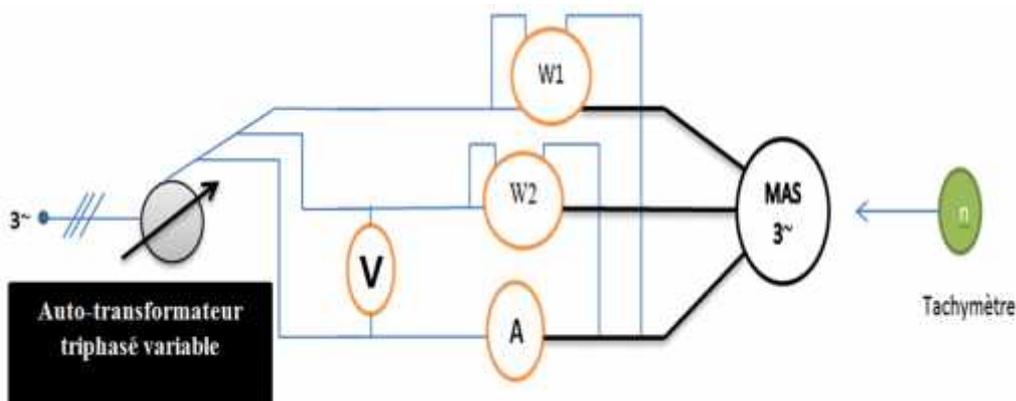


Figure 2.5 : Montage de l'essai à vide

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 wattmètres, en utilisant la relation suivante :

$$P = P_1 + P_2$$

P	La puissance active absorbée en watts [W]
P_1	La lecture du premier wattmètre [sans unités]
P_2	La lecture du second wattmètre [sans unités]

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 sera l'indication de l'autre wattmètre, du signe « plus » si les deux grandeurs étaient de même signe et du signe « moins » dans le cas contraire.

La puissance réactive

La puissance réactive Q absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante :

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

Q	La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
P_1	La lecture du premier wattmètre [sans unités]
P_2	La lecture du second wattmètre [sans unités]

V.A.R : Volts ampères réactifs

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

$$P_{so} = P_{js} + P_f + P_{méca} \quad (2.2)$$

On peut déterminer la somme des pertes fer et des pertes par frottement :

$$P_f + P_{\text{méca}} = P_{so} - P_{js}$$

LE TABLEAU DES MESURES :

D'après le montage II.5 on a mesuré le courant **I_{so}** et nous avons calculé les puissances actives **P_{so}** et réactive **Q_{so}** à partir de formules suivantes :

$$P_{so} = P_1 + P_2 \quad (2.3)$$

$$Q_{so} = \sqrt{3} (P_1 - P_2) \quad (2.4)$$

Les pertes Joules statoriques s'expriment par la relation :

$$P_{js} = 3 R_s I_s^2 \quad (2.5)$$

Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

TENSION (V)	COURANT Iso (A)	P ₁	P ₂	P _{so} (w)	Q _{so} (VAR)	P _{js} (W)	Pf+Pmeca (W)	$\frac{3V_s^2}{R_s}$
377,40	1,55	340	-220	120	969,94	41,22	78,77	142430,76
361	1,43	300	-200	100	866,02	35,09	64,90	130321
320,70	1,20	225	-144	81	639,12675	24,71	56,28	102848,49
312	1,16	210	-140	70	606,21778	23,09	46,90	97344
260	0,94	140	-90	50	398,37169	15,16	34,83	67600
230	0,81	115	-57	58	297,91274	11,25	46,74	52900

Tableau 2.3: 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 aussi longtemps que la vitesse de rotation ne varie pas beaucoup.

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

Les pertes mécaniques sont approximativement constantes aussi longtemps que la vitesse de rotation ne varie pas beaucoup.

En traçant la courbe de la puissance $P_f + P_{méca}$ en fonction du carré de la tension d'alimentation, on obtient la caractéristique de la **Figure 2.6** 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.

Les pertes mécanique, soit : $P_{méca} = 16.66 \text{ w}$.

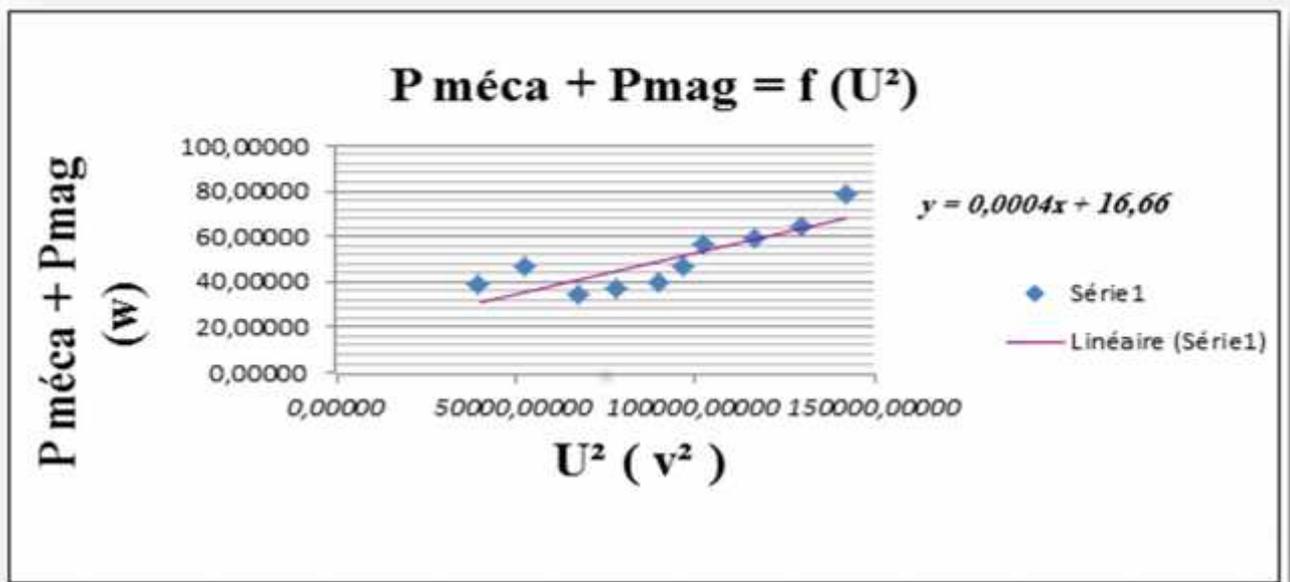


Figure 2.6 : graphe des puissances.

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

$$P_f = \frac{3}{R_f} V_s^2 \quad (2.6)$$

Cet essai permet de déterminer l'inductance cyclique L_s

Tel que :

$$L_s = 3 \frac{V_s^2}{Q_{so} \cdot \omega_s} \quad (2.7)$$

Application numérique :

$$\omega_s = 2\pi f$$

Pour $V_s = 190.75 \text{ V}$, $I_{s0} = 1.24 \text{ A}$

On aura :

$$L_s = L_r = 0.514 \text{ H}$$

C. Essai à rotor bloqué : Détermination de 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 :

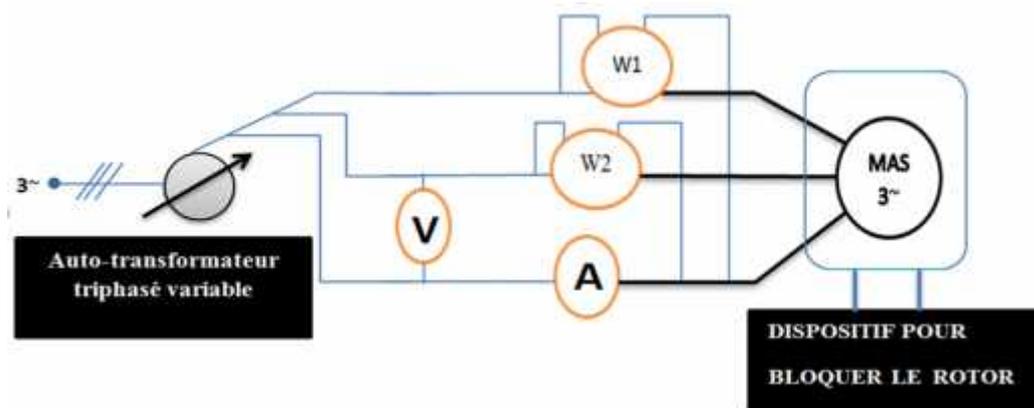


Figure 2.7 : Le montage de mesure.

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 :

U (v)	I_{cc} (A)	P_1 (w)	P_2 (w)	P_{cc} (w)	Q_{cc} (VAR)
81,2	3,2	40	255	295	372,39

Tableau 2.4 : 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_{so} et réduire le schéma de la figure 2.1 à ce qui suit:

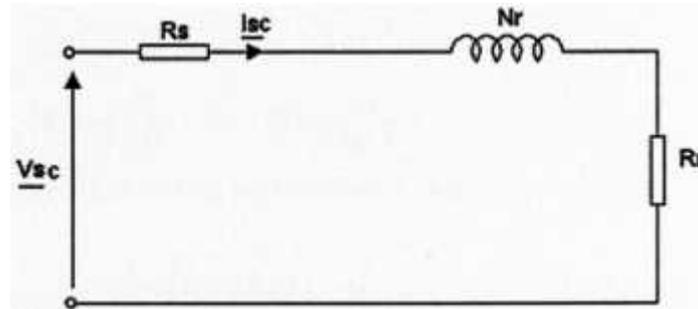


Figure 2.8 : Essai avec rotor bloqué

La figure 2.8 : permet d'écrire:

$$P_{cc} = 3(R_s + R_r) * I_{cc}^2. \quad (2.8)$$

$$Q_{cc} = 3(N_r * W_s) * I_{cc}^2. \quad (2.9)$$

$$\text{On en déduit : } R_r = (P_{cc} / 3 I_{cc}^2) - R_s \quad (2.10)$$

$$N_r = Q_{cc} / 3 W_s I_{cc}^2 \quad (2.11)$$

Le calcul de l'inductance mutuelle M_{sr} par la relation suivante [16] :

$$M_{sr} = \frac{-N_r + \sqrt{N_r^2 + 4L_s^2}}{2} \quad (2.12)$$

Application numérique : Avec les valeurs suivantes :

$$P_{cc} = 295 \text{ w.} \quad I_{cc} = 3.2 \text{ A.}$$

$$Q_{cc} = 372.39 \text{ var.}$$

$$R_r = 3.88 \text{ ohm.}$$

On aura donc :

$$M_{sr} = 0.5 \text{ H.}$$

2.3.2 Détermination des paramètres mécaniques

a. Détermination du moment d'inertie

Le moment d'inertie de la MAS peut être calculé à l'aide de l'essai de ralentissement. 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 une carte d'acquisition.

Le résultat sur le graphe suivant :

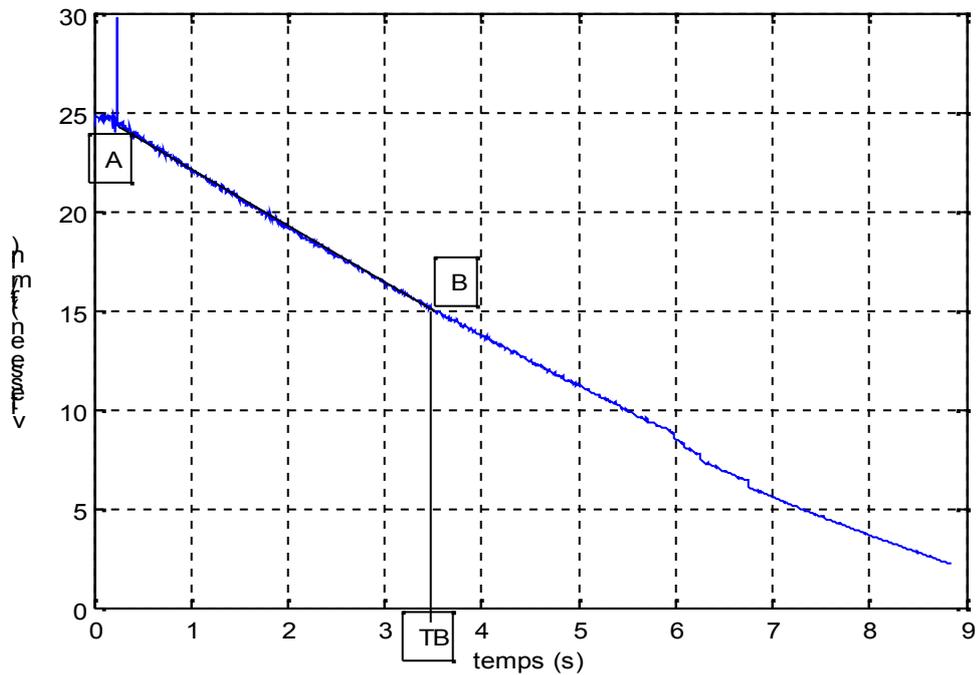


Figure 2.9 : l'essai de ralentissement

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 [16] :

$$J = \frac{P_{méc}}{n \left(\frac{d\Omega}{dt} \right) \Omega = \Omega n} \quad (2.13)$$

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

$$P_{\text{méca}} = 16.66 \text{ W}$$

Puis on déduit les constants t et N :

$$\frac{d\Omega}{dt} = 2 \frac{N}{t \cdot 60}, \quad n = 2 \frac{Nn}{60} \quad (2.14)$$

Application numérique : Avec les valeurs suivantes :

$$P_{\text{méca}} = 16.66 \text{ W}$$

$$\Delta N = N = 1494 \text{ tr/min.} \quad \Delta t = 8 \text{ s}$$

$$\text{On trouve :} \quad \mathbf{J = 0.00571 \text{ Kg m}^2}$$

b. Détermination du coefficient de frottement K_f

Pour calculer le coefficient de frottement on a :

$$\mathbf{J = 0.00571 \text{ Kg m}^2}$$

On commence par l'équation mécanique de la vitesse :

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

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

$$\Omega = \Omega_0 e^{-t/T_m} \quad \text{avec } T_m = \frac{J}{K_f} \quad (2.15)$$

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

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

$$\Omega(t) = \Omega_0 - (\Omega_B - \Omega_0) t / t_B \quad (2.16)$$

A l'instant $t = T_m$; $\Omega(t) = 0$

$$\text{et donc } T_m = \frac{0 \text{ tB}}{(-B + 0)} \quad t_q : \Omega_B = \frac{\Omega_0}{\omega} \quad (2.17)$$

$$\Omega_0 = 1497.81 \text{ tr/min} \quad \Omega_0/e = 551. \text{tr/min} \quad T_B = 3.5 \text{ S}$$

On trouve $t_m = 8.8 \text{ s}$

Alors $K_f = 6.48 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

2.4 Résultats des paramètres identifiés :

Les paramètres identifiés par les essais classiques sont représentés dans le tableau suivant :

Les paramètres identifiés	La valeur
R_s	5.72
R_r	3.88
L_r	0.52 H
L_s	0.52 H
M_{sr}	0.5 H
J	0.00571 Kg m ²
K_f	$6.48 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Tableau 2.4 : les paramètres identifiés

2.5 La comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux

La validation des résultats

Dans cette partie nous avons validé nos résultats par la comparaison entre les résultats de simulation et les signaux expérimentaux les courbes obtenues sont représentés ci-dessous :

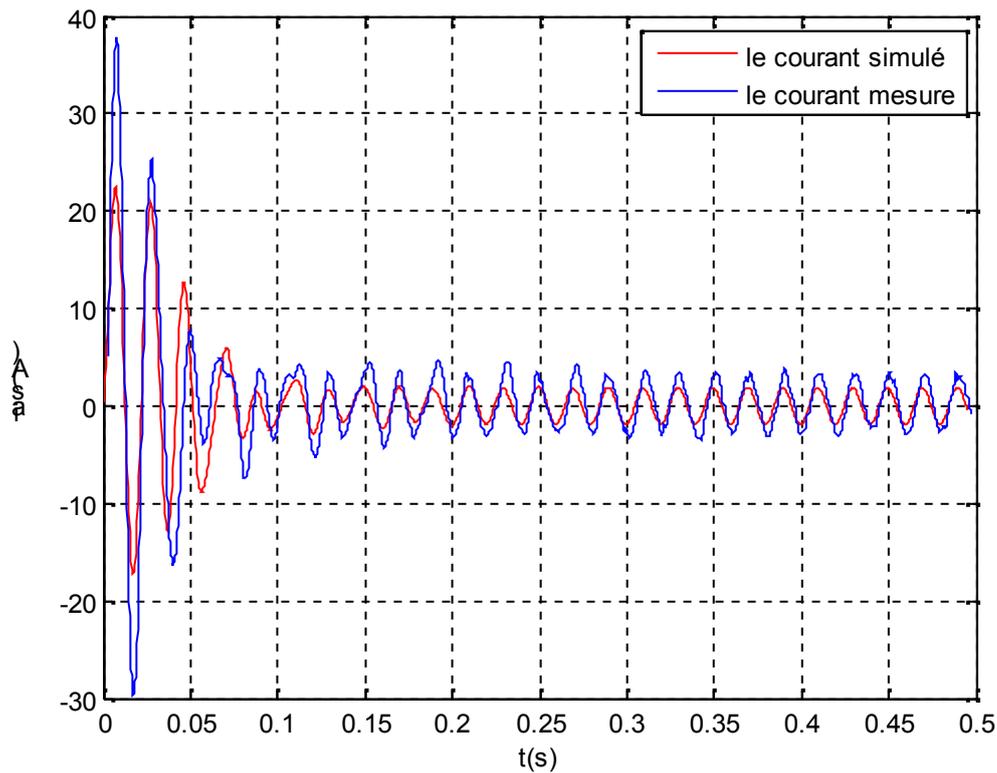


Figure 2.10 : comparaison entre courants de phase simulé et mesuré.

On remarque qu'il y a une concordance entre le courant simulé et le courant mesuré. Néanmoins, au démarrage nous notons une différence entre ces deux courants.

2.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les paramètres électriques et mécaniques de la machine asynchrone à cage d'écureuil à partir des essais classiques. Ensuite nous avons simulé les différents fonctionnements de la machine à base de ces paramètres, Nous avons remarqué une concordance en régime permanent par contre en régime transitoire quelques différences, ceci peut s'expliquer par les erreurs de mesure et de lecture commises lors des tests, les hypothèses émises lors de l'élaboration du modèle, et enfin les essais classiques utilisés pour l'identification qui ne sont en réalité 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 génétique ».

Chapitre 3 Algorithme génétique

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons proposé une approche d'optimisation, qui présente la méthode de résolution de notre problème principale qui est l'optimisation de l'erreur quadratique entre le courant réel et celle-ci simulé et détermine les valeurs exactes des paramètres : $(R_s, R_r, L_s, L_r, M_{sr}, J, K_f)$ alors nous avons identifié la machine asynchrone.

Une métaphore biologique prend son inspiration dans le mécanisme de la sélection naturelle et la génétique de l'évolution ; cette métaphore prend la forme d'algorithme de recherche appelé « L'algorithme Génétique ».

Les algorithmes génétiques sont appliqués dans différents domaines parmi les plus importants en contrôle, en traitement de signal,... les raisons de ce grand nombre d'applications est que les algorithmes génétiques peuvent résoudre des problèmes complexes, avec des connaissances moyennes dans le domaine.

Les algorithmes d'optimisation :

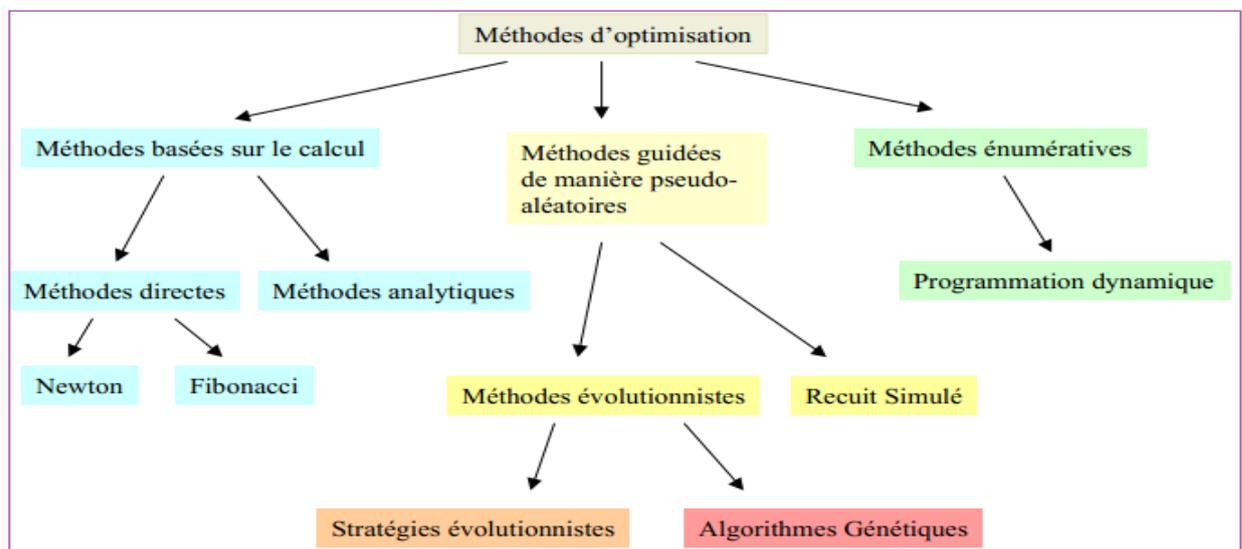


Figure 3.1 : les algorithmes d'optimisation.

3.2 Définition :

Les algorithmes génétiques appartiennent à la famille des algorithmes métaheuristiques. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte (ou que la solution est inconnue) pour le résoudre en un temps raisonnable. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle et l'appliquent à une population de solutions potentielles au problème donné. La solution est approchée par «bonds» successifs, comme dans une procédure de séparation et évaluation, à ceci près que ce sont des formules qui sont recherchées et non plus directement des valeurs.

3.3 Les origines :

Depuis des millénaires nos ancêtres utilisent la sélection et la reproduction pour améliorer le rendement, les récoltes végétales et animaux (les vaches, les chevaux, poire... etc.). De nos jours on se pose la question est ce qu'on peut agir de la même façon pour améliorer les systèmes technologiques ?

L'utilisation d'algorithmes génétiques, dans la résolution des problèmes, est à l'origine le fruit des recherches de John Holland et de ses collègues et élèves de l'Université du Michigan qui ont, dès 1960, travaillé sur ce sujet. La nouveauté introduite par ce groupe de chercheurs a été la prise en compte de l'opérateur d'enjambement en complément des mutations. Et c'est cet opérateur qui permet le plus souvent de se rapprocher de l'optimum d'une fonction en combinant les gènes contenus dans les différents individus de la population. Le premier aboutissement de ces recherches a été la publication en 1975 d'Adaptation in Natural and Artificiel System.

3.4 Présentation

3.4.1 Analogie avec la biologie :

a. Terminologie commune aux deux disciplines :

Les algorithmes génétiques étant basés sur des phénomènes biologiques, il convient de rappeler au préalable quelques termes de génétique.

Les organismes vivants sont constitués de cellules, dont les noyaux comportent des chromosomes qui sont des chaînes d'ADN. L'élément de base de ces chromosomes (le caractère de la chaîne d'ADN) est un gène. Sur chacun de ces chromosomes, une suite de gènes constitue une chaîne qui code les fonctionnalités de l'organisme (la couleur des yeux ...). La position d'un gène sur le chromosome est son locus. L'ensemble des gènes d'un individu est son génotype et l'ensemble du patrimoine génétique d'une espèce est le génome. Les différentes versions d'un même gène sont appelées allèles.

Voici quelques mots de vocabulaire relatifs à la génétique :

- **Individu** : correspond au codage sous forme de gènes d'une solution potentielle à un problème d'optimisation.
- **Génotype ou chromosome** : c'est une autre façon de dire « individu ».
- **Gène** : un chromosome est composé de gènes. Dans le codage binaire, un gène vaut soit 0 soit 1.
- **Phénotype** : Chaque génotype représente une solution potentielle à un problème d'optimisation. La valeur de cette solution potentielle est appelée phénotype.

Tous ces éléments sont illustrés à la figure suivante :

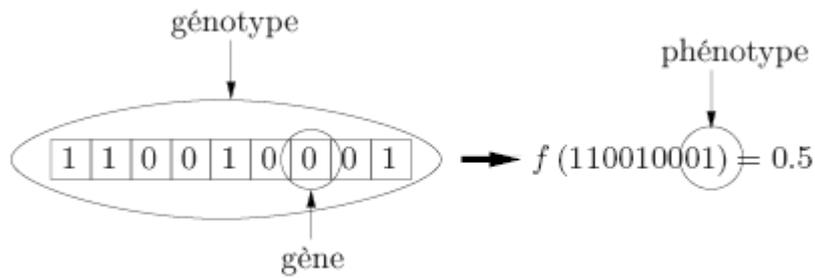


Figure 3.2 : le vocabulaire des algorithmes génétiques.

Afin de bien comprendre les algorithmes génétiques, il faudra d'abord connaître leur vocabulaire. Ceci sera résumé dans le tableau ci-dessous :

	En biologie	L'algorithme génétique
Chromosome	Support physique des informations héréditaires (caractéristiques) d'un organisme vivant.	Une chaîne codée représentant une solution potentielle appelée également « individu »
Gène	Représente une caractéristique (ex : le gène de la couleur des yeux).	Un bit ou ensemble de bits codant une information.
Allèle	La valeur d'une caractéristique (ex : bleu pour la couleur des yeux)	Valeur de la suite des bits (ex : « 010 » représente un entier sa valeur égale à 2)
Locus	La position du gène dans le chromosome.	Position de bloc de bits dans la chaîne binaire.
Génotype	L'ensemble des gènes (matériel génétique)	Structure qui code la chaîne (ensemble de paramètres).
Phénotype	C'est l'organisme formé par l'interaction de l'ensemble de la matérielle génétique.	Représente la structure décodée, ou un point dans l'espace de solutions.

Tableau 3.1 : les termes de base de l'algorithme génétique.

L'AG débute par la génération d'une population initiale et l'évaluation de la fonction d'adaptation de tous les individus qui composent cette première population. Puis, des individus sont sélectionnés aléatoirement pour la reproduction selon le principe de la survie du plus adapté. Ensuite, des individus « enfants » (ou les descendants) sont générés en appliquant les deux opérateurs génétiques suivantes : le croisement et la mutation. Ces enfants sont placés dans une nouvelle population $P(t)$ et vont se substituer, en tout ou en partie, à la population de la génération précédente. De nouvelles populations d'individus vont ensuite se succéder, d'une génération (t) à la génération $(t+1)$, chaque génération représentant une itération jusqu'à l'atteinte du critère d'arrêt. L'AG présenté ci-dessus est dit générationnel car tous les individus enfants générés sont placés dans une population et vont remplacer entièrement la population des individus parents [7].

b. Schéma récapitulatif :

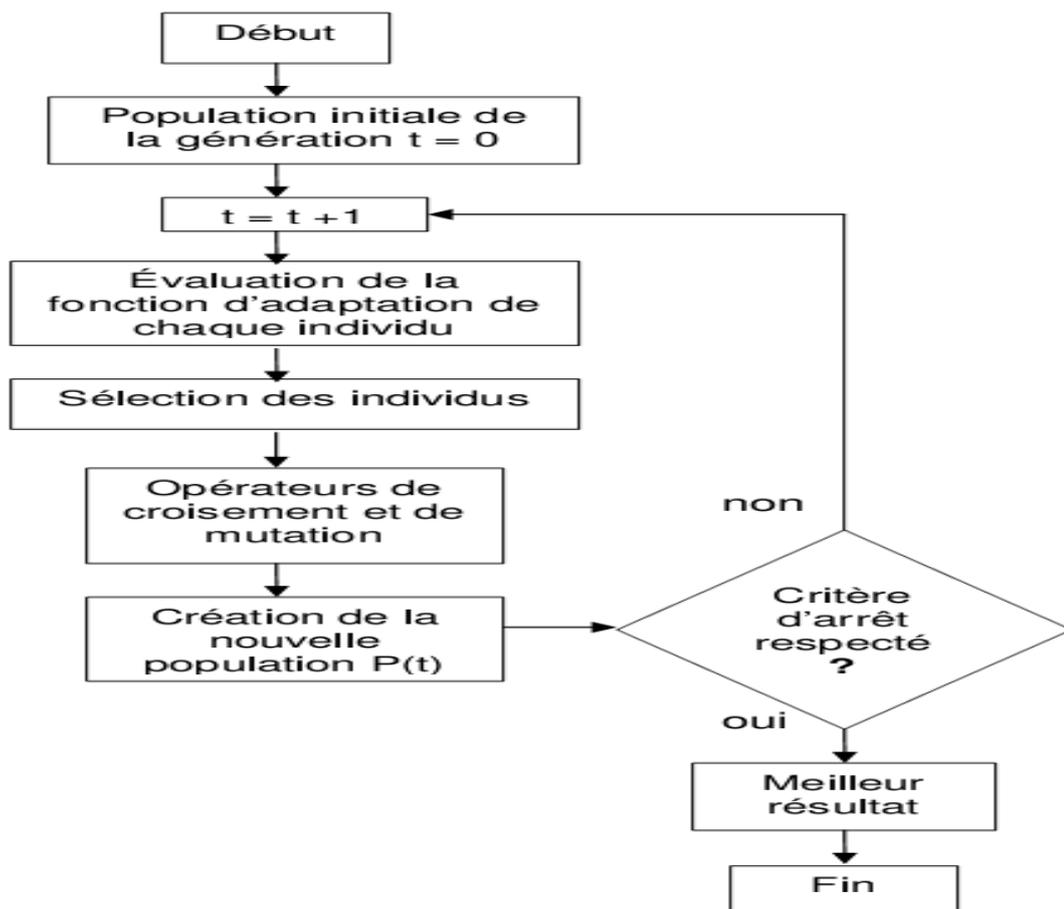


Figure 3.3 : organigramme d'un AG standard.

C. Les outils issus de la biologie:

La génétique a mis en évidence l'existence de plusieurs opérations au sein d'un organisme donnant lieu au brassage génétique. Ces opérations interviennent lors de la phase de reproduction lorsque les chromosomes de deux organismes fusionnent.

Ces opérations sont imitées par les algorithmes génétiques afin de faire évoluer les populations de solutions de manière progressive.

➤ La sélection

Pour déterminer quels individus sont plus enclins à obtenir les meilleurs résultats, une sélection est opérée. Ce processus est analogue à un processus de sélection naturelle, les individus les plus adaptés gagnent la compétition de la reproduction tandis que les moins adaptés meurent avant la reproduction, ce qui améliore globalement l'adaptation. Etant donné que la sélection est le résultat d'une intervention humaine ou, du moins, l'application d'un critère défini par l'homme, les algorithmes génétiques devraient donc plutôt être rapprochés de la sélection artificielle telle que la pratiquent les agriculteurs que de la sélection naturelle, qui œuvre "en aveugle".

➤ La croisement ou recombinaison

Lors de cette opération, deux chromosomes s'échangent des parties de leurs chaînes, pour donner de nouveaux chromosomes. Ces enjambements peuvent être simples ou multiples. Dans le premier cas, les deux chromosomes se croisent et s'échangent des portions d'ADN en un seul point. Dans le deuxième cas, il y a plusieurs points de croisement. Pour les algorithmes génétiques, c'est cette opération (le plus souvent sous sa forme simple) qui est prépondérante. Sa probabilité d'apparition lors d'un croisement entre deux chromosomes est un paramètre de l'algorithme génétique et dépend du problème et de la technique de recombinaison. La probabilité d'un enjambement est alors comprise entre 0 et 1 strictement.

➤ **La mutation**

De façon aléatoire, un gène peut, au sein d'un chromosome être substitué à un autre. De la même manière que pour les enjambements, on définit ici un taux de mutation lors des changements de population qui est généralement compris entre 0,001 et 0,01.

Il est nécessaire de choisir pour ce taux une valeur relativement faible de manière à ne pas tomber dans une recherche aléatoire et conserver le principe de sélection et d'évolution. La mutation sert à éviter une convergence prématurée de l'algorithme.

Par exemple lors d'une recherche d'extremum la mutation sert à éviter la convergence vers un extremum local.

3.4.2 Principe :

Les algorithmes génétiques, afin de permettre la résolution de problèmes, se basent sur les différents principes décrits ci-dessus. Le problème théorique de la convergence a été résolu par Raphael Cerf, en se basant sur la théorie de Friedlin Weizel des perturbations stochastiques des systèmes dynamiques. La démonstration de R. Cerf montre d'ailleurs que le processus de convergence dépend essentiellement de la mutation, le croisement pouvant être éliminé en théorie. Cependant, la preuve théorique de convergence n'a que peu d'utilité dans la pratique, où l'opérateur de croisement fait bien souvent toute la richesse de l'algorithme génétique par rapport à des méthodes de type recuit simulé.

De manière globale, on commence avec une population de base qui se compose le plus souvent de chaînes de caractères correspondant chacune à un chromosome. Nous reviendrons par la suite sur les différentes structures de données possibles mais nous retiendrons pour le moment l'utilisation du codage binaire (ex. : 0100110).

Le contenu de cette population initiale est généré aléatoirement. On attribue à chacune des solutions une note qui correspond à son adaptation au problème. Ensuite, on effectue une sélection au sein de cette population.

3.5 les opérateurs génétiques :

3.5.1 la Sélection :

Il existe plusieurs techniques de sélection. Voici les principales utilisées :

a. La roulette

La sélection des individus par le système de la roulette s'inspire des roues de loterie. A chacun des individus de la population est associé un secteur d'une roue. L'angle du secteur étant proportionnel à la qualité de l'individu qu'il représente. Vous tournez la roue et vous obtenez un individu. Les tirages des individus sont ainsi pondérés par leur qualité. Et presque logiquement, les meilleurs individus ont plus de chance d'être croisés et de participer à l'amélioration de notre population.

➤ **Exemple de roue avec 10 chromosomes.**

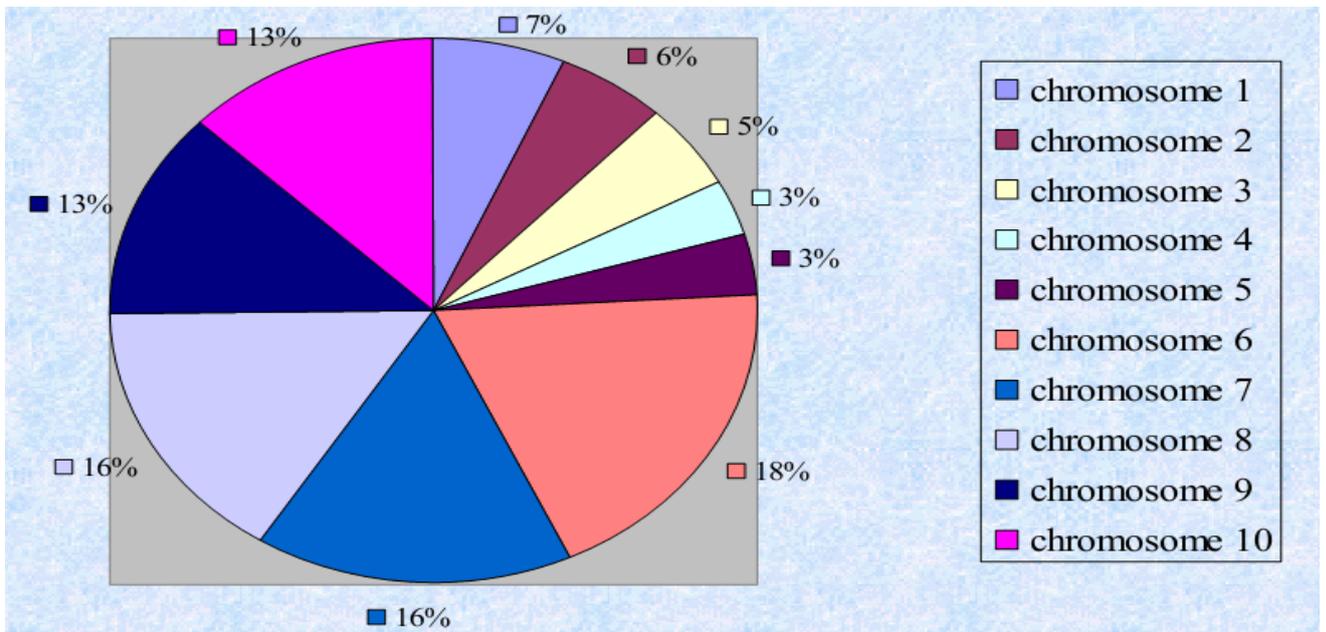


Figure 3.4 : Schéma d'une roulette.

b. La sélection par rang

La sélection par rang est une variante du système de roulette. Il s'agit également d'implémenter une roulette, mais cette fois-ci les secteurs de la roue ne sont plus proportionnels à la qualité des individus, mais à leur rang dans la population triée en fonction de la qualité des individus.

D'une manière plus parlante, il faut trier la population en fonction de la qualité des individus puis leur attribuer à chacun un rang. La suite de la méthode consiste uniquement en l'implémentation d'une roulette basée sur les rangs des individus. L'angle de chaque secteur de la roue sera proportionnel au rang de l'individu qu'il représente.

c. La sélection par tournoi

Le principe de la sélection par tournoi augmente les chances pour les individus de piètre qualité de participer à l'amélioration de la population. Le principe est très rapide à implémenter. Un tournoi consiste en une rencontre entre plusieurs individus pris au hasard dans la population. Le vainqueur du tournoi est l'individu de meilleure qualité.

Vous pouvez choisir de ne conserver que le vainqueur comme vous pouvez choisir de conserver les 2 meilleurs individus ou les 3 meilleurs. À vous de voir, selon que vous souhaitez créer beaucoup de tournois, ou bien créer des tournois avec beaucoup de participants ou bien mettre en avant ceux qui gagnent les tournois haut la main. Vous pouvez faire participer un même individu à plusieurs tournois. Une fois de plus, vous êtes totalement libre quant à la manière d'implémenter cette technique de sélection.

d. L'élitisme

Cette méthode de sélection permet de mettre en avant les meilleurs individus de la population. Ce sont donc les individus les plus prometteurs qui vont participer à l'amélioration de notre population. Cette méthode a l'avantage de permettre une convergence (plus) rapide des solutions, mais au détriment de la diversité des individus. On prend en effet le risque d'écartier des individus de piètre qualité, mais qui auraient pu apporter de quoi créer de très bonnes solutions dans les générations suivantes. Cette méthode est extrêmement sensible à la présence d'optima locaux, c'est à dire à la présence

de solutions paraissant optimales tant que l'on ne s'en éloigne pas trop - le véritable optimum pouvant alors être situé dans une toute autre partie du domaine de recherche.

3.5.2 Croisement :

Le phénomène de croisement est une propriété naturelle de l'ADN, et c'est analogiquement qu'on fait les opérations de croisement dans les AG.

Le croisement permet de créer de nouveaux individus en échangeant de l'information entre deux individus « *parents* », considérés à cette occasion comme des vecteurs, la dynamique de l'opérateur croisement, inspirée directement du processus de multiplication des chromosomes humains, consiste à générer deux nouveaux individus « *enfants* » de la façon suivante :

a. croisement en un point :

On choisit au hasard un point de croisement, pour chaque couple. Notons que le croisement s'effectue directement au niveau binaire. Un chromosome peut donc être coupé au milieu d'un gène.

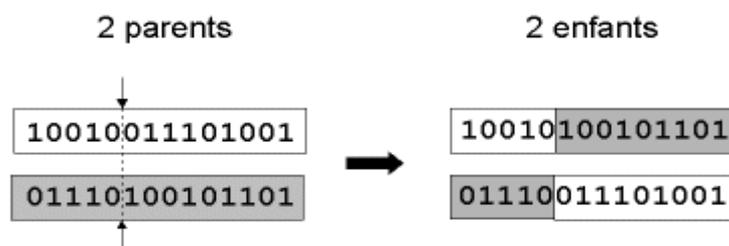


Figure 3.5 : croisement en 1 point.

b. croisement en deux points :

Ce croisement se fait dans deux points, pour chaque couple, il est plus utilisé car il est généralement considéré comme plus efficace que le précédent.

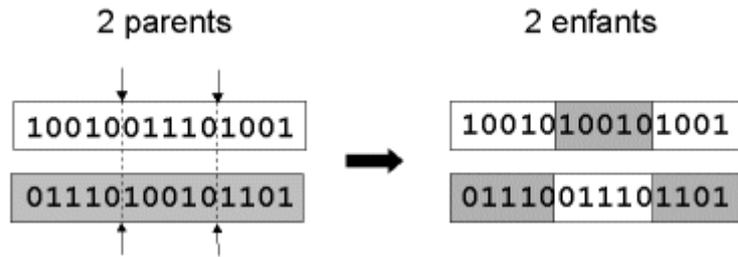


Figure 3.6 : représentation schématique du croisement en 2 points.

3.5.3 Mutation

L'opération de mutation consiste à modifier de manière aléatoire, avec une probabilité généralement faible,

Nous illustrons à la Figure 3.7, pour un codage binaire, un exemple de schéma de mutation.



Figure 3.7 : mutation de gène 1 en 0.

Lorsque deux chromosomes ont été sélectionnés, on réalise un croisement. On effectue ensuite des mutations sur une faible proportion d'individus, choisis aléatoirement. Ce processus nous fournit une nouvelle population. On réitère le processus un grand nombre de fois de manière à imiter le principe d'évolution, qui ne prend son sens que sur un nombre important de générations. On peut arrêter le processus au bout d'un nombre arbitraire de générations ou lorsqu'une solution possède une note suffisamment satisfaisante.

3.6 Conclusion :

Les algorithmes génétiques peuvent être utilisés en tant que méthode de recherche combinatoire incluant, des propriétés basent sur le parallélisme et l'exploration, des heuristiques de recherche intéressante basées sur des principes d'auto-organisation.

Les algorithmes génétiques fournissent des solutions proches de la solution optimale à l'aide des mécanismes de sélection, d'hybridation et de mutation. Ils sont applicables à de nombreux problèmes.

Chapitre 4 Application de l'algorithme génétique

l'identification paramétrique d'un moteur asynchrone

Introduction :

Quel que soit la technologie de la machine asynchrone triphasée, elle est décrite par un modèle et elle parfaitement caractérisée par le vecteur paramétrique suivant :

$$\mathbf{v} = [\sigma, T_s, L_s, T_r, J, K_f]$$

4.1 Identification des paramètres :

On détermine les paramètres de la machine par la minimisation de l'erreur quadratique (ϵ) entre les résultats de la simulation et l'expérimentales, comme il montre le schéma de principe de l'identification.

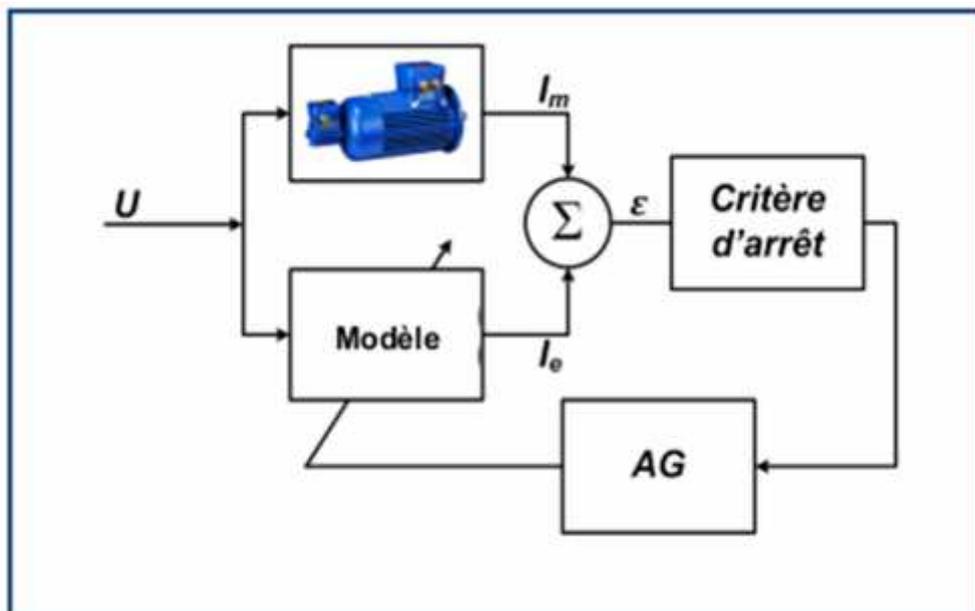


Figure 4.1 : principe d'identification par modèle de référence.

4.2 Le codage des chromosomes :

Une solution (chromosome) est la suite des paramètres recherchés organisés dans un seul vecteur et chaque paramètre est repérable par sa position.

Dans le cas de la MAS la solution contient les paramètres suivants :

σ : Coefficient de fuite.

T_s, L_s : Constantes de temps statorique et rotorique.

L_s : Inductance cyclique statorique.

J : Moment d'inertie de rotor.

K_f : Coefficient de frottement.

Ces paramètres sont codés en binaire en considérant un trois chiffre dans la Partie entière et 12 chiffres pour la partie fractionnaire.

4.3 La génération de la première population

On a générée une première population dont la taille et le contenu sont aléatoires. La prochaine population et les différentes probabilités (de croisement et de mutation) permettent d'optimiser ces paramètres et donc diminuer le temps de calcul.

La pré-connaissance des intervalles de variation des paramètres de la MAS permet d'initialiser le meilleur chromosome afin de garantir la convergence de l'algorithme et de minimiser aussi le temps de calcul. Ce chromosome a été initialisé par les valeurs suivantes :

$R_s = 5.72$; $R_r = 3.88$; $L_s = 0.52$; $L_r = 0.52$; $M_{sr} = 0.5$;

$K_f = 0.000648$; $J=0.00571$.

4.4 Evaluation de la population

L'évaluation de chaque individu a été effectuée en calculant l'erreur quadratique entre deux signaux :

- Le premier (I_m) est donné par les mesures.
- Et le deuxième (I_e) est obtenu à partir du modèle mathématique de la MAS en utilisant les paramètres donnés par cet individu.

On utilise la formule suivante :

Telle que :

$$\varepsilon = 1/N \sum_{n=1}^k (I_n + I_e)^2 \quad (4.1)$$

Avec :

N : La taille de la population.

Les essais sont réalisés sur un moteur asynchrone triphasé ayant les caractéristiques suivantes:

1.5 KW, 220/380 v, 2 pôles et un courant nominal de 3.4A.

Les mesures simultanées du courant de démarrage et de la tension de phase correspondante sont effectuées à l'aide d'un oscilloscope numérique avec une fréquence d'échantillonnage de 25 KHz.

4.5 La sélection

La sélection sert à choisir dans l'ensemble de la population les individus qui participeront au croisement et à la mutation.

La méthode utilisée pour la sélection est celle de la roulette, et La probabilité de sélection de chaque individu (i) s'écrit :

$$Ps(i) = fe(i) / \sum_{i=1}^N fe(i) \quad (4.2)$$

Avec cette méthode chaque individu a une chance d'être sélectionné proportionnelle à sa performance, donc plus les individus sont adaptés au problème, plus ils ont de chances d'être sélectionnés.

Avec : $Ps(i)$: La probabilité de sélection de l'individu (i).

$fe(i)$: Fonction d'évaluation (fitness) de l'individu (i).

N : La taille de la population.

4.6 Le croisement :

Le croisement permet de créer de nouvelles chaînes en échangeant de l'information entre deux chaînes . Le croisement s'effectue en deux étapes. D'abord les nouveaux éléments produits par la reproduction sont appariés, ensuite chaque paire de chaînes subit un croisement .

4.7 La mutation :

La mutation est exécutée seulement sur une seule chaîne. Elle représente la modification aléatoire et occasionnelle de faible probabilité de la valeur d'un caractère de la chaîne, pour un codage binaire cela revient à changer un 1 en 0 et vice versa. Cet opérateur introduit de la diversité dans le processus de recherche des solutions et peut aider l'AG à ne pas stagner dans un optimum local.

4.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a d'abord on est intéressés au problème d'identification des paramètres de machine et on a présenté la méthode de l'algorithme génétique qu'est une méthode numérique basée sur la modèle de référence. Ce dernier est utilisé pour minimiser l'erreur quadratique entre le courant mesuré et celui fourni par un modèle mathématique. La mesure du courant statorique et de la tension correspondante a été effectuée à l'aide d'un oscilloscope numérique.

Conclusion générale

Le travail présent consiste d'une part, à mettre en œuvre un A.G sur des problèmes d'identification des machines électriques, et d'autre part à comparer ses performances avec les méthodes classiques telles que la méthode du maximum de vraisemblance et la méthode électrotechnique basée sur des essais à vides et en court-circuit.

Les paramètres électriques et mécaniques de la machine ont été déterminés à l'aide de quelques essais expérimentales (à vides, court-circuit, ralentissement). Le courant de démarrage et la tension simple correspondante ont été considérés comme des signaux d'entrée sortie, tandis que l'erreur quadratique entre le courant mesuré et le courant calculé a été choisi comme critère d'arrêt de l'algorithme génétique.

L'utilisation de l'algorithme génétique pour l'ajustement des paramètres dans le but de satisfaire le critère d'arrêt, j'ai donné une bonne convergence du vecteur des paramètres du modèle de la machine simulé comparativement au vecteur des paramètres expérimentale.

Cette technique d'identification de la machine asynchrone triphasé a donné d'excellents résultats, elle enrichira la famille des techniques nombreuses déjà existantes et ouvrera les portes pour la maîtrise (control et diagnostique) des machines asynchrones.

Introduction générale

De nos jours, l'utilisation des machines asynchrones dans les entraînements industriels est en pleine expansion, du fait de leurs qualités, leurs robustesses, leurs prix et le quasi absence d'entretien. Elles dépassent les 80% des parts de marché du parc des machines électriques. C'est une composante clé de la plupart des équipements industriels comme l'aéronautique, le nucléaire, la chimie, ou encore le transport ferroviaire.

En plus de l'intérêt économique de traiter ce type d'actionneur, l'étude de la machine asynchrone présente un autre intérêt aussi important, c'est l'identification des différents paramètres de la machine asynchrone c'est une étape indispensable.

Dans la cadre de ce travail, on utilisera deux méthodes principales peuvent être utilisées pour le problème de l'identification paramétrique de la machine asynchrone triphasée; La méthode classique basée sur des essais expérimentaux et l'autre une méthode numérique c'est l'algorithme génétique basée sur un modèle de référence.

Les paramètres électriques et mécaniques d'une machine de 1.5kw a été utilisée, ont été premièrement déterminés à l'aide de quelque essais expérimentaux (à vides, court-circuit, ralentissement), puis ont été optimisées à l'aide d'un algorithme génétique qui minimise l'erreur quadratique entre le courant mesuré et celui qui provient du modèle mathématique.

Les algorithmes génétiques simulent le processus d'évolution d'une population de N solutions du problème représentant des individus, ils utilisent des opérateurs telle que la sélection le croisement et la mutation pour reproduire une nouvelle population de solutions de mieux en mieux adaptée au problème. Cette adaptation est évaluée grâce à une fonction coût. Le courant de démarrage a été consisté comme de signal de sortie et la tension simple correspondante comme signal d'entrée, tandis que l'erreur quadratique entre le courant mesuré et le courant calculé a été choisi comme critère d'arrêt de l'algorithme génétique. Ce dernier est utilisé pour minimiser l'erreur quadratique entre le courant mesuré et celui fourni par un modèle mathématique.

Structure du mémoire

Pour satisfaire les besoins de ce mémoire, notre travail s'articule principalement autour de quatre chapitres.

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation générale de la machine asynchrone ainsi que le modèle mathématique de cette machine, prenant en considération certaines hypothèses simplificatrices.
- La seconde partie de ce travail est réservée à l'étude d'une méthode classique d'identification paramétrique basée sur les essais expérimentaux. Ensuite on valide les paramètres identifiés en comparant les résultats de simulation à ceux trouvés expérimentalement.
- Dans le troisième chapitre, consiste à présenter l'algorithme génétique. Pour cela nous commençons par présenter l'analogie avec la biologie, puis en donne la structure générale de l'algorithme.
- Dans le quatrième chapitre, on a appliqué l'algorithme génétique dans l'identification des paramètres avec le logiciel **MATLAB 9**.

Nous clôturons notre travail par une conclusion générale.