



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Telidji - Laghouat

FACULTE : Technologie

DEPARTEMENT : Electrotechnique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : ZERARI Meroua

GUELLAI Mounia Madjeda

DOMAINE : Sciences et techniques

FILIERE : Electrotechnique

OPTION : Electrotechnique Industrielle

Thème

**Prédétermination des caractéristiques d'un moteur
asynchrone triphasé en charge via**

le diagramme de cercle

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
SAROUTE Mohamed	MAA	Président
NOUREDDINE Lahcene	MCA	Examineur
BOUFLIGHA Messaoud	MCB	Encadreur

Promotion : Juillet 2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail de préparation de mémoire de master à :

Mes très chers parents qui m'ont mis au monde, qui m'ont bien élevé, qui m'ont permis d'être scolarisée et arriver au niveau universitaire et jusqu'au jour où je suis avec vous ;

Mes frères et sœurs qui me sont très chers pour leur encouragement ;

À tous les membres de la grande famille ;

À tous et toutes mes ami(e)s qui aiment et qui n'ont cessé de me soutenir ;

À tous mes enseignants, professeurs et formateurs de toutes les étapes de mon cursus scolaire ;

À tous les étudiants et étudiantes de ma promotion ;

À tous ceux ou celles que j'ai omis involontairement de citer.

Remerciements

Tout d'abord, merci à dieu le tout puissant pour le courage et la volonté qu'il nous a donnés pour avoir réalisé ce modeste travail.

*Ensuite, nos vifs remerciements sont adressés à notre honorable encadreur et docteur monsieur **M. BOUFLIGHA** pour ses précieuses directives et orientations durant toute la préparation de ce document.*

Nous n'oublions pas de remercier également les membres du jury qui ont honoré par leur présence notre soutenance ; nous tenons à les remercier pour l'importance accordée à notre travail et pour les précieux conseils et remarques donnés.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles pour leur soutien et leurs précieux conseils mis à notre disposition ainsi que tous les moyens possibles qu'ils nous ont fourni pour terminer nos études et arriver à cette dernière étape.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation et à l'aboutissement de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

التحديد المسبق لخصائص محرك غير متزامن ثلاثي الاطوار تحت الحمل عبر مخطط الدائرة

ملخص:

بما ان الماكنة اللاتزامنية تعتبر الاكثر استخداما في المجال الصناعي ويعتبر الاختيار الصحيح للماكينة اهم عامل في كفاءة انجاز المهام فان عملنا هذا يركز على استخراج الصفات المميزة للماكينة اللاتزامنية باستخدام دائرة الرسم البياني ثم استخدام ماتلاب من اجل رسم البيانات وتحليلها خطوة بخطوة.
كلمات مفتاحية: محرك لاتزامني ثلاثي الاطوار، مخطط الدائرة.

Prédétermination des caractéristiques d'un moteur asynchrone triphasé en charge via le diagramme de cercle

Résumé :

Étant donné que la machine asynchrone est la plus largement utilisée dans le domaine industriel et que le choix correct de la machine est le facteur le plus important pour l'efficacité de l'exécution des tâches, notre travail se concentre sur l'extraction des caractéristiques de la machine asynchrone à l'aide du diagramme de cercle et puis en utilisant Matlab afin de tracer les caractéristiques de la machine, interpréter et analyser les résultats étape par étape.

Mots-Clés : Moteur asynchrone triphasé, Diagramme de cercle.

Predetermination of the characteristics of a three-phase asynchronous motor under load via the circle diagram

Abstract:

Since the asynchronous machine is the most widely used in the industrial field and the correct choice of the machine is the most important factor for the efficiency of the execution of the tasks, our work is focused of the extraction of the characteristics of the asynchronous machine using the circle diagram and then using Matlab in order to plot the characteristics, interpret and analyze the results step by step.

Key words: Three-phase asynchronous motor, circle diagram.

Table des matières

Résumé	i
Table des matières	ii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations et des symboles	viii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

CHAPITRE I GÉNÉRALTÉS SUR LE MOTEUR ASYNCHRONE

I.1 Introduction	4
I.2 Définitions	4
I.3 Constitution de la machine asynchrone	4
I.3.1 Stator	5
I.3.2 Entrefer	6
I.3.3 Rotor	6
I.3.3.1 Rotor à cage d'écureuil	6
I.3.3.2 Rotor bobiné ou rotor à bagues	7
I.3.3.3 À double cage	8
I.3.3.4 À double encoches ou à encoches profondes	8
I.4 Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone	9
I.5 Régimes de fonctionnement d'une machine asynchrone	10
I.5.1 Fonctionnement en mode moteur	10
I.5.2 Fonctionnement en mode génératrice	10
I.5.3 Fonctionnement en mode frein électrique	11
I.6 Utilisation du moteur asynchrone	11
I.7 Avantages et inconvénients des moteurs asynchrones	11
I.7.1 Avantages des moteurs asynchrones	11
I.7.2 Inconvénients des moteurs asynchrones	11
I.8 Conclusion	12

CHAPITRE II SCHÉMA ÉQUIVALENT ET CHEMINEMENT DE LA PUISSANCE D'UN MOTEUR ASYNCHRONE

II.1 Introduction	14
II.2 Fonctionnement du moteur asynchrone à vide	14
II.2.1 Courant absorbé à vide	14
II.2.2 Force électromotrice induite par phase	14
II.2.3 La f.e.m induite dans le rotor par le champ tournant du stator	14
II.3 Fonctionnement du moteur asynchrone en charge	16
II.4 Relation entre courant à vide et courant en charge	17
II.4.1 Force magnétomotrice à vide	17
II.4.2 Force magnétomotrice en charge	17
II.5 Schéma simplifié	17
II.6 Schéma équivalent ramené au stator d'un moteur asynchrone	18
II.7 Bilan énergétique d'un moteur asynchrone	19
II.7.1 Puissance absorbée (P_a)	20
II.7.2 Pertes Joules (P_{Js}) et pertes fer (P_{fer}) au stator	20
II.7.3 Puissance transmise dans l'entrefer (P_{tr})	20
II.7.4 Pertes Joules au rotor (P_{Jr})	20
II.7.5 Puissance électromagnétique (P_{em}) et couple électromagnétique (T_{em})	21
II.7.6 Puissance utile (P_u) et couple utile (T_u)	21
II.7.7 Rendement d'un moteur asynchrone	22
II.8 Caractéristiques mécaniques d'un moteur asynchrone	22
II.9 Calcul du couple électromagnétique (C_{em})	22
II.10 Conclusion	24

CHAPITRE III DIAGRAMME DE CERCLE

III.1 Introduction	26
III.2 Variation du glissement et trajectoire du vecteur du courant absorbé	26
III.3 Applicabilité	27
III.4 Essais nécessaires	27
III.4.1 Essai à vide	27
III.4.2 Essai en court-circuit	27

III.4.3	Mesure des résistances des enroulements statorique R_1 et rotorique R_2	28
III.5	Caractéristiques du moteur asynchrone choisi	28
III.6	Résultats des essais	29
III.6.1	Résultats de l'essai à vide	29
III.6.2	Résultats de l'essai en court-circuit	29
III.6.3	Valeurs des résistances R_1 et R_2 à température ambiante (20 °C)	29
III.7	Construction du diagramme de cercle	29
III.7.1	Étapes et procédure de construction de diagramme de cercle	30
III.7.2	Calcul préliminaire et détermination du point de fonctionnement	32
III.7.3	Exploitation du diagramme de cercle	35
III.8	Évolution des différentes caractéristiques du moteur	38
III.8.1	Représentation de diagramme de cercle	38
III.8.2	Relèvement des caractéristiques du moteur asynchrone en charge	38
III.9	Conclusion	46
	CONCLUSION GÉNÉRALE	47
	BIBLIOGRAPHIE	47

Liste des figures

Liste des figures de chapitre I :

Figure (I.1) : Vue éclatée d'un moteur asynchrone à rotor bobiné	4
Figure (I.2) : Plaque à bornes d'un moteur asynchrone	5
Figure (I.3) : Types de couplage de bobinage statorique d'un moteur asynchrone	5
Figure (I.4) : Symbole de moteur asynchrone et structure de cage d'écureuil	6
Figure (I.5) : Symbole du moteur à rotor bobiné	7
Figure (I.6) : Structure d'un rotor bobiné	7
Figure (I.7) : Association des enroulements du rotor à un rhéostat de démarrage	8
Figure (I.8) : Coupe d'un rotor à double cage	8
Figure (I.9) : Illustration de fonctionnement d'un moteur asynchrone	9

Liste des figures de chapitre II :

Figure (II.1) : Schéma équivalent du moteur asynchrone sans résistance rotorique	18
Figure (II.2) : Schéma équivalent de moteur asynchrone avec résistance rotorique	18
Figure (II.3) : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone ramené au stator	19
Figure (II.4) : Cheminement de la puissance dans un moteur asynchrone en fonctionnement en charge	19
Figure (II.5) : Bilan énergétique d'un moteur asynchrone triphasé	22
Figure (II.6) : Variation du couple électromagnétique en fonction du glissement	23
Figure (II.7) : Variation de la vitesse en fonction du couple et variation du couple en fonction de la vitesse d'un moteur asynchrone	24

Liste des figures de chapitre III :

Figure (III.1) : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone simplifié	26
Figure (III.2) : Représentation vectorielle des courants	26
Figure (III.3) : illustration graphique de la détermination de glissement par le diagramme de cercle	26
Figure (III.4) : Construction graphique de diagramme de cercle	34
Figure (III.5) : Organigramme du programme	37

Figure (III.6) : Diagramme de cercle du moteur asynchrone	38
Figure (III.7) : Variation du courant absorbé en fonction de la puissance utile	39
Figure (III.8) : Variation du courant absorbé en fonction du glissement	39
Figure (III.9) : Variation du facteur de puissance en fonction de la puissance utile	40
Figure (III.10) : Variation du facteur de puissance en fonction du glissement	41
Figure (III.11) : Variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance utile	42
Figure (III.12) : Variation du couple électromagnétique en fonction du glissement	42
Figure (III.13) : Variation du couple électromagnétique en fonction de la vitesse de synchronisme	43
Figure (III.14) : Variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance électromagnétique	44
Figure (III.15) : Variation du rendement en fonction de la puissance utile	45
Figure (III.16) : Variation du rendement en fonction du glissement	45

Liste des tableaux

Liste des tableaux de chapitre III :

Tableau (III.1) : Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé choisi	28
Tableau (III.2) : Mesures relevées lors d'un essai à vide	29
Tableau (III.3) : Mesures relevées lors d'un essai en court-circuit	29
Tableau (III.4) : les valeurs des résistances à la température de service	29

Liste des abréviations et des symboles

MAS	Moteur asynchrone
UTE	Union technique des électriciens
P_a	Puissance absorbée
P_u	Puissance utile
Ω	Vitesse de rotation du moteur
Ω_s	Vitesse de rotation du champ statorique
g	Glissement
E	Force électromotrice
U	Tension composée entre deux phases
V	Tension simple
I_a	Courant absorbé
η	Rendement du moteur
T_u	Couple utile
T_{em}	Couple électromagnétique
p	Nombre de paires de pôles
P_J	Pertes Joules
P_{JS}	Pertes Joules statoriques
P_{JR}	Pertes Joules rotoriques
P_f	Pertes fer
P_{FR}	Pertes fer rotoriques
P_{tr}	Puissance transmise dans l'entrefer

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Les moteurs asynchrones triphasés sont les plus employés dans l'industrie. Ils possèdent en effet plusieurs avantages à savoir la simplicité, la robustesse, le coût le peu élevé et leur facile entretien. Lorsqu'on veut utiliser un moteur asynchrone triphasé pour une certaine application, il faut faire un choix, donc, il est très utile de connaître les caractéristiques d'utilisation. Certains moteurs ayant des puissances élevées sont soumis à des contraintes inattendues gênant leurs comportements en charge.

La prédétermination donc des caractéristiques est d'une importance considérable. La méthode de diagramme de cercle peut nous renseigner sur ces caractéristiques. Cette méthode est une représentation vectorielle ou graphique du schéma équivalent du moteur.

Il a été démontré que lorsque le moteur est alimenté à tension et à fréquence constante si le glissement varie, l'extrémité du courant absorbé décrit un cercle. Cette méthode est basée sur les résultats de trois essais (essai à vide, essai en court-circuit, mesures à chaud des résistances des enroulements statorique et rotorique). Deux tracés très légèrement différents sont prévus pour les moteurs suivant que leur puissance utile est supérieure ou inférieure à 15 kW.

La méthode de construction de diagramme de cercle choisie est recommandée par l'UTE (union technique des électriciens). Nous avons opté pour un moteur asynchrone à rotor bobiné pour un fonctionnement exigeant une puissance utile de 70 kW et des résultats des essais typiques déjà connus.

Dans ce mémoire nous essayons de dévoiler la méthode de construction de diagramme de cercle, en aboutissant à l'élaboration d'un programme Matlab permettant la prédétermination et la simulation de l'évolution des différentes caractéristiques du moteur asynchrone en charge.

Ce mémoire sera divisé en trois chapitres :

Au premier chapitre, nous présentons certaines généralités du moteur asynchrone qui concernent en particulier sa construction, son principe de fonctionnement, domaine d'utilisation, ses avantages et ses inconvénients.

Au deuxième chapitre, nous essayons d'élaborer le schéma équivalent du moteur asynchrone, nous présentons le cheminement de la puissance et le bilan énergétique. Nous établirons une relation menant à la connaissance de l'allure de la caractéristique mécanique.

Au troisième chapitre, nous présentons les étapes de la méthode de diagramme de cercle et nous exploitons les résultats de sa construction. Nous présentons un simple organigramme qui nous a conduit à la simulation des différentes caractéristiques en charge du moteur asynchrone en s'aidant de quelques paramètres inspirés de la construction graphique de diagramme de cercle.

Nous clôturons ce travail avec une conclusion générale en dégagant quelques perspectives.

CHAPITRE I GÉNÉRALTÉS SUR LE MOTEUR ASYNCHRONE

I.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons le moteur asynchrone et nous donnons un aperçu sur sa construction et son principe de fonctionnement. Nous terminerons avec un rappel de ses domaines d'utilisation, ses avantages et ses inconvénients.

I.2 Définitions

Les moteurs asynchrones triphasés sont des convertisseurs électromécaniques qui transforment l'énergie électrique fournie par le réseau en énergie mécanique dont la vitesse de rotation (Ω) pour une fréquence donnée (f) dépend de la charge

Le moteur asynchrone est une machine tournante électrique. Il a deux enroulements dont le premier (le primaire) est alimenté par un réseau électrique de pulsation ω et le deuxième (le secondaire) est fermé sur lui-même ou sur des résistances électriques. Généralement ce type de machines est plus utilisé. Le mot asynchrone veut dire que le rotor ne tourne pas à la même vitesse que le champ statorique. [1, 2]

I.3 Constitution de la machine asynchrone

Le moteur asynchrone comporte deux armatures coaxiales, l'une est fixe appelée stator et l'autre est mobile appelée rotor. Entre les deux armatures il y a l'entrefer [2]. La figure (I.1) montre une vue éclatée d'un moteur asynchrone à rotor bobiné.

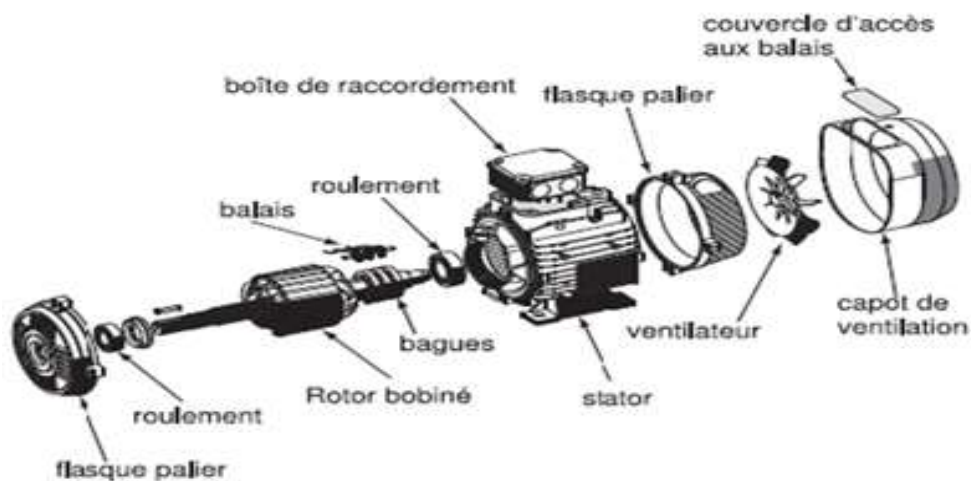


Figure (I.1) : Vue éclatée d'un moteur asynchrone à rotor bobiné

I.3.1 Stator

Il est appelé inducteur ou primaire, il est fixé au bâti et formé d'une carcasse ayant l'aspect général d'un cylindre creux, le stator est un anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé. Cet enroulement est toujours relié à la source d'alimentation, il constitue le primaire. L'enroulement est alimenté en triphasé par l'intermédiaire de la plaque à bornes. [2, 3]

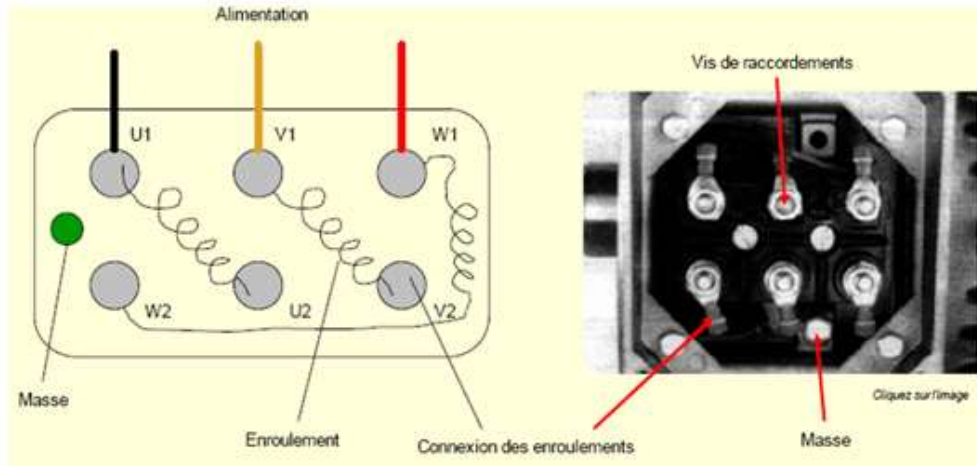


Figure (I.2) : Plaque à bornes d'un moteur asynchrone

Le stator comporte un bobinage triphasé, dont chaque phase ne comporte qu'une bobine. Les couplages du bobinage statorique les plus courants (Figure.3), sont le couplage triangle et le couplage étoile [2].

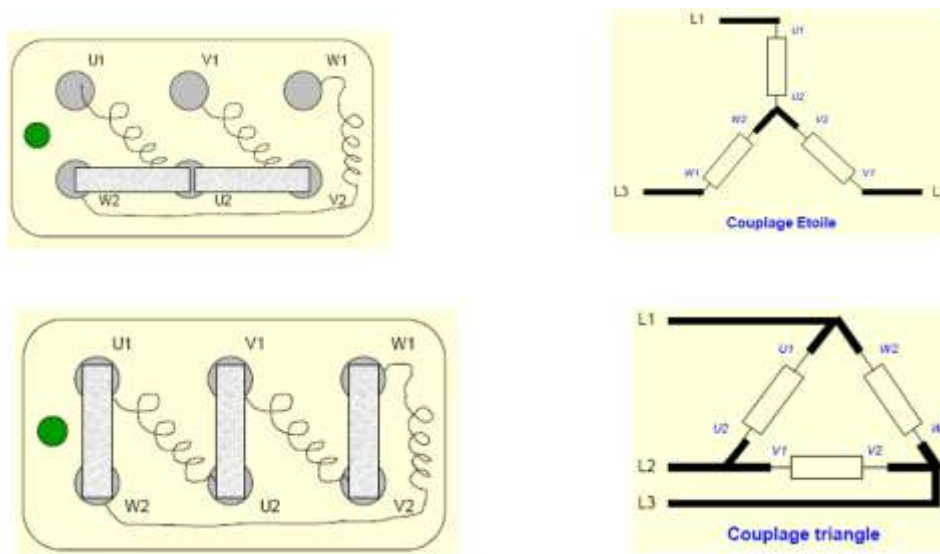


Figure (I.3) : Types de couplage de bobinage statorique d'un moteur asynchrone

Les courants alternatifs dans les bobines du stator créent un champ magnétique B_1 tournant à la vitesse de synchronisme [2]

I.3.2 Entrefer

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor [3]

I.3.3 Rotor

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorique est constitué de tôle d'acier qui est en général, de même origine que celle utilisées pour la construction du stator. Le rotor porte un enroulement polyphasé mis en court-circuit constituant ainsi le secondaire, Le courant dans ses enroulements est induit uniquement par le champ statorique, car le rotor n'est lié à aucune source électrique extérieure [4, 2]. Il existe plusieurs types de rotors :

I.3.3.1 Rotor à cage d'écureuil

Dans le moteur asynchrone à cage d'écureuil symbolisé dans la figure (I.4), l'ensemble à l'aspect d'une cage cylindrique dont à chaque bout une couronne métallique est raccordée dans laquelle se trouve un empilement de tôles.

Les enroulements sont constitués de barres de cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits « de court-circuit ». Ces barres sont uniformément inclinées pour limiter les harmoniques et ainsi diminuer très fortement le bruit magnétique [5].

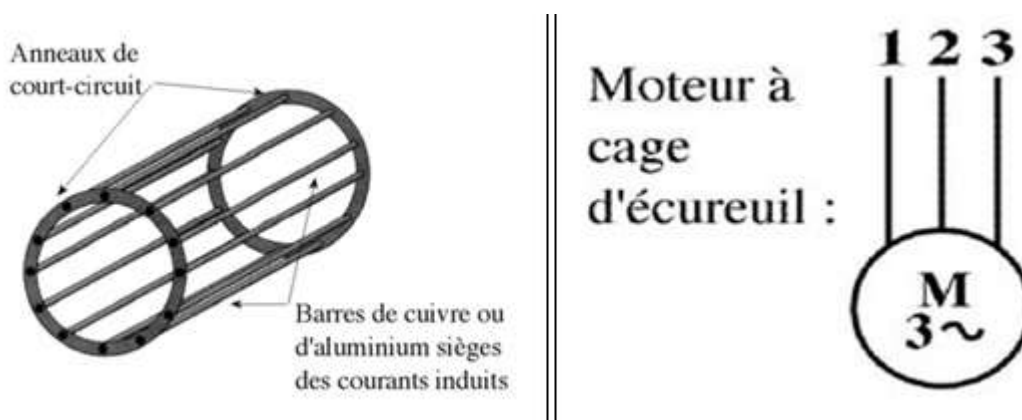


Figure (I.4) : Symbole de moteur asynchrone et structure de cage d'écureuil

I.3.3.2 Rotor bobiné ou rotor à bagues

Dans le cas du moteur asynchrone à rotor bobiné dont le symbole est illustré dans la figure (I.5).



Figure (I.5) : Symbole du moteur à rotor bobiné

La structure et la forme de ce rotor sont représentées dans la figure (I.6).

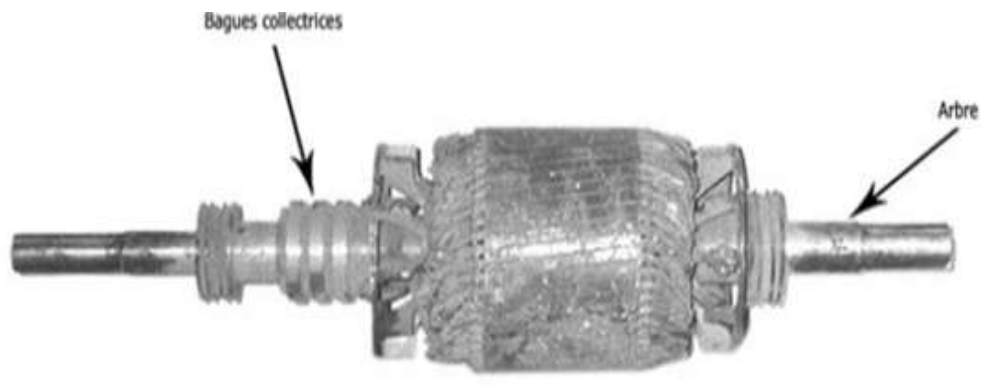


Figure (I.6) : Structure d'un rotor bobiné

Ce rotor comporte dans ses rainures, un enroulement identique à celui du stator. Le couplage de cet enroulement est toujours en étoile figure (I.7), le point neutre n'est pas accessible mais les trois extrémités libres sont reliées à trois bagues calées sur l'arbre sur laquelle appuyant trois balais (charbon) pour avoir accès aux phases rotoriques par l'intermédiaire d'un rhéostat qui est utilisé pour assurer les meilleures conditions de démarrage [2].

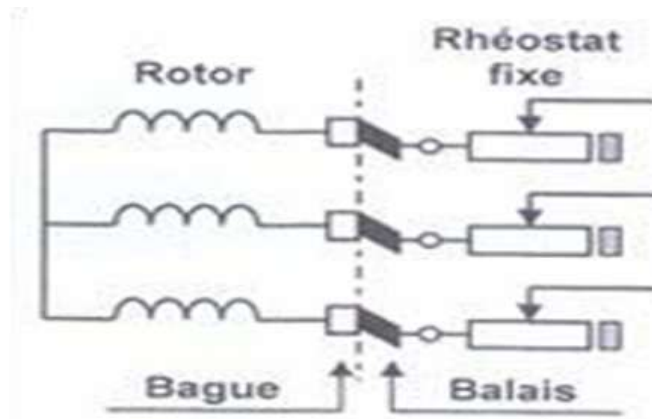


Figure (I.7) : Association des enroulements du rotor à un rhéostat de démarrage

I.3.3 À double cage

Le rotor est construit suivant le principe du rotor à cage simple, mais avec deux cages électriquement indépendantes figure (I.8). Une cage externe à la périphérie du rotor est composée de matériaux résistifs (laiton, bronze) et possède une faible dispersion magnétique. Une cage interne en cuivre possède une résistivité plus faible et une dispersion magnétique importante. [6]

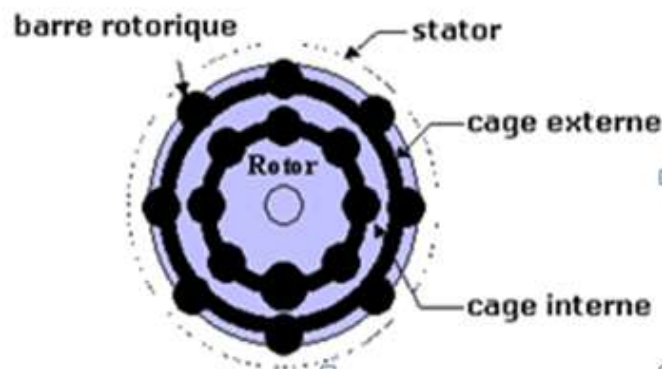


Figure (I.8) : Coupe d'un rotor à double cage

I.3.3.4 À double encoches ou à encoches profondes

Ce sont des rotors à cage qui utilisent l'effet de peau dans les conducteurs afin de faire varier la résistance du rotor en fonction de la vitesse de fonctionnement de la machine. L'effet de peau est un phénomène électromagnétique qui fait que plus la fréquence des courants augmente, plus le courant a tendance à ne circuler qu'en surface des conducteurs. [6]

I.4 Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

L'enroulement statorique (primaire) reçoit de l'énergie électrique du réseau de pulsation ω , ce qui crée un champ tournant à la vitesse angulaire synchrone ; ce champ, en balayant les enroulements rotorique (secondaires) y induit des f.é.m. et donc des courants dans les conducteurs rotoriques, car les spires sont fermées sur elles-mêmes figure (I.9).

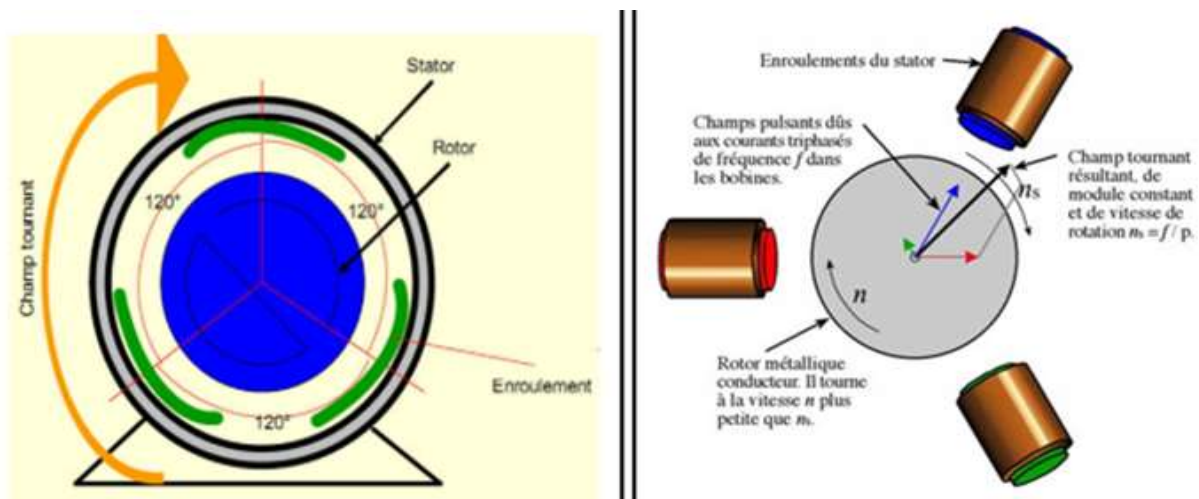


Figure (I.9) : Illustration de fonctionnement d'un moteur asynchrone

Ces courants induits produiront à leur tour un champ qui sera de sens opposé au champ du stator (d'après la loi de Lenz : la f.é.m. induite tend à s'opposer à la cause qui l'a produite). La réaction du courant secondaire sur le champ primaire provoquera un couple moteur qui entrainera la mise en mouvement du rotor dans les sens du champ tournant primaire

Afin et à mesure que le rotor augmentera sa vitesse de rotation, la différence entre la vitesse angulaire du champ tournant et la vitesse angulaire du rotor diminuera. Et la pulsation des courants secondaires diminuera aussi : [2, 7]

$$\omega' = \omega - \omega_1 \quad (\text{I.1})$$

Lorsque le rotor tourne à une vitesse différente du synchronisme, l'application de la loi de FARADAY à des enroulements rotoriques montre que celui-ci devient le siège d'une force électromotrice qui étant court-circuité sur les enroulements va donner naissance à un courant dont l'intensité est limitée par l'impédance de ce dernier. L'interaction entre ce

courant et le champ va donner naissance à des forces s'exerçant sur les brins du rotor qui commence à tourner avec une vitesse $n < n_{sn}$ [8].

La vitesse n_s est appelée vitesse du champ tournant ou vitesse de synchronisme est donnée par :

$$n_s = \frac{60f}{P} \quad (I.2)$$

De même on définit le glissement comme suit :

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (I.3)$$

I.5 Régimes de fonctionnement d'une machine asynchrone

La machine asynchrone est utilisée dans plusieurs domaines. Parmi lesquels on trouve :

I.5.1 Fonctionnement en mode moteur

Cas limites :

- Au synchronisme : $n = n_s$ donc $g = 0$;
- Au démarrage : $n = 0$ donc $g = 1$.

Ce qui donne : $1 > g > 0$.

Pour le fonctionnement moteur n est en retard par rapport à n_s ($n < n_s$).

I.5.2 Fonctionnement en mode génératrice

Cas limites :

- Au synchronisme : $n = n_s$ donc $g = 0$;
- Lorsque la vitesse dépasse la vitesse de synchronisme $n \rightarrow +\infty$ donc $g \rightarrow -\infty$. [2]

Donc, n sera en avance par rapport à n_s car le rotor est entraîné par un moteur d'entraînement ou $n > n_s$ donc $g < 0$.

I.5.3 Fonctionnement en mode frein électrique

La machine fonctionne en mode frein, lorsque la vitesse n est inférieure par rapport à n_s , c'est-à-dire que le rotor tourne dans le sens inverse par rapport au champ tournant statorique.

Cas limites :

- À l'arrêt : $n = 0$ donc $g = 1$;
- Lorsque la vitesse dépasse la vitesse de synchronisme $n \rightarrow -\infty$ donc $g \rightarrow +\infty$ [2].

I.6 Utilisation du moteur asynchrone

Le moteur asynchrone triphasé est très utilisé en industrie dans divers entraînements. Il est utilisé dans les entraînements à vitesse fixe (pompe, ascenseur, convoyeur, etc.) ou les entraînements à vitesse variable (ventilateur).

Aussi, il est utilisé dans les entraînements qui nécessitent deux sens de rotation, à titre d'exemple : machine à laver.

I.7 Avantages et inconvénients des moteurs asynchrones

Si l'on compare le moteur asynchrone au moteur shunt à courant continu, on constate que les caractéristiques dans leur partie stable, sont identiques, ce qui conduit aux mêmes applications industrielles.

En ce qui concerne le choix d'un moteur pour une application donnée, il est intéressant de mentionner les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs.

I.7.1 Avantages des moteurs asynchrones

- Source en courant alternatif ;
- Son prix d'achat est moins élevé ;
- Beaucoup plus robuste car il ne nécessite pratiquement pas d'entretien ;
- Les deux qualités : prix et solidité résultent du fait qu'il n'a pas de collecteur.

I.7.2 Inconvénients des moteurs asynchrones

- Le moteur asynchrone a des performances médiocres par rapport au moteur shunt ;
- Zone de stabilité étroite.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, tout d'abord nous avons présenté le moteur asynchrone, sa constitution, son principe et ces régimes de fonctionnement. Nous avons terminé par un rappel de son domaine d'utilisation ses avantages et ses inconvénients.

**CHAPITRE II SCHÉMA ÉQUIVALENT
ET CHEMINEMENT DE LA
PUISSANCE D'UN MOTEUR
ASYNCHRONE**

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous s'intéressons au moteur asynchrone à bagues (moteur à rotor bobiné). Nous essayons à partir de l'analogie entre le transformateur et le moteur asynchrone d'élaborer un schéma équivalent pour ce dernier. Ensuite nous montrons le cheminement de la puissance en aboutissant à un bilan de puissance en fonctionnement nominal. De même, nous déterminerons les équations des caractéristiques mécaniques.

II.2 Fonctionnement du moteur asynchrone à vide

II.2.1 Courant absorbé à vide

Raisonnons sur un moteur asynchrone triphasé à bagues en supposant que le rotor est à l'arrêt et les bagues sont ouvertes. En alimentant le stator, on aura un champ tournant statorique prélevant du réseau un courant très faible qu'on appelle courant à vide I_0 qui sera en phase avec le flux magnétique suivant la relation donnée par [2].

$$N_1 \vec{I}_0 = R \vec{\Phi} \quad (\text{II.1})$$

R : Reluctance magnétique.

I_0 : Courant absorbé à vide par phase.

N_1 : Le nombre de spires statorique.

Φ : Flux magnétique.

II.2.2 Force électromotrice induite par phase

Soit : $\Phi = \Phi_0$ le flux magnétique qui traverse chaque spire du stator. La force électromotrice (f.e.m) induite par phase pour expression :

$$E_1 = 4,44 * N_1 * f * \Phi \quad (\text{II.2})$$

II.2.3 La f.e.m induite dans le rotor par le champ tournant du stator

Étudions les deux cas suivants :

Rotor immobile :

Cette f.e.m est identique à celle qui est induite au stator, elle aura pour expression :

$$E_{20} = 4.44 * N_2 * f * \Phi \quad (\text{II.3})$$

Où : N_2 est nombre de spires rotoriques.

Dans ces conditions le moteur asynchrone se comporte exactement comme un transformateur parfait dont le rapport de transformateur est :

$$m = \frac{E_{20}}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{II.4})$$

Rotor en mouvement :

Soit :

- f_1 : fréquence du réseau (donc du champ statorique) ;
- f_2 : fréquence du courant induit dans le rotor (donc du champ rotorique).

Si n est la vitesse de rotation du rotor (mécanique), la vitesse relative du champ tournant par rapport au rotor, n_g est donnée par :

$$n_g = n_s - n \quad (\text{II.5})$$

Donc :

$$n_g = g n_s \quad (\text{II.6})$$

En utilisant l'équation (II.6) qui sera écrit comme suit :

$$\frac{60 f_2}{P} = g \frac{60 f_1}{P} \quad (\text{II.7})$$

Nous pouvons écrit la fréquence rotorique de la façon suivante :

$$f_2 = g f_1 \quad (\text{II.8})$$

La f.é.m. prendra la forme suivante :

$$E_2 = 4.44 * f_2 * N_2 * \Phi = 4.44 * g * f_1 * N_2 * \Phi \quad (\text{II.9})$$

D'où :

$$E_2 = gE_{20} \quad (\text{II.10})$$

Remarque :

Si le rotor est immobile ($f_1=f_2$ et $g=1$), la f.e.m, E_2 deviendra :

$$E_2 = E_{20} \quad (\text{II.11})$$

II.3 Fonctionnement du moteur asynchrone en charge

Mettons les bagues du rotor en court-circuit ; le rotor entraîné à sa vitesse normale. La tension induite E_2 par le champ tournant statorique \vec{B}_1 va engendrer dans le rotor des courants de fréquence gf_1 ; ces courants vont engendrer à leur tour un champ tournant rotorique \vec{B}_2 de fréquence gf_1 par rapport au rotor, ou bien de fréquence f_1 par rapport au stator. [2]

La vitesse du champ \vec{B}_2 par rapport au stator sera :

$$n_g + n = n_s - n + n = n_s \quad (\text{II.12})$$

Donc le champ \vec{B}_2 tourne avec la même vitesse n_s par rapport au stator (condition pour avoir un couple).

Les deux champs \vec{B}_1 et \vec{B}_2 se superposent et on aura un champ résultant donné par :

$$\vec{B}_r = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (\text{II.13})$$

Ce champ produit dans chacune des spires du stator et du rotor un flux alternatif Φ . En négligeant la résistance et l'inductance de fuites dans les phases du stator la tension statorique V_1 est donnée par :

$$V_1 \cong E_1 = 4.44 * N_1 * f * \Phi \quad (\text{II.14})$$

II.4 Relation entre courant à vide et courant en charge

II.4.1 Force magnétomotrice à vide

La force magnétomotrice à vide est donnée par :

$$F_0 = R\Phi = N_1 I_0 \quad (\text{II.15})$$

II.4.2 Force magnétomotrice en charge

La force magnétomotrice en charge est donnée par :

$$F = R\Phi = N_1 I_1 + N_2 I_2 \quad (\text{II.16})$$

Où :

I_1 : courant circulant dans l'enroulement statorique en charge,

I_2 : courant circulant dans l'enroulement rotorique

$R\Phi$: est constant on pourra écrire :

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + \vec{I}_2' \quad (\text{II.17})$$

C'est la même relation trouvée dans le cas d'un transformateur.

II.5 Schéma simplifié

Moteur à l'arrêt :

À l'arrêt un moteur asynchrone se comporte exactement comme un transformateur dont l'enroulement secondaire a comme résistance R_2 et une réactance X_2 .

Machine en marche normale :

En charge, il y a un courant qui circule dans l'enroulement rotorique I_2 donnée par :

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + (X_2)^2}} \quad (\text{II.18})$$

Le moteur asynchrone est équivalent à un transformateur statique dont le secondaire est supposé sans résistance et de réactance X_2 alimentant une charge variable $\left(\frac{R_2}{g}\right)$.

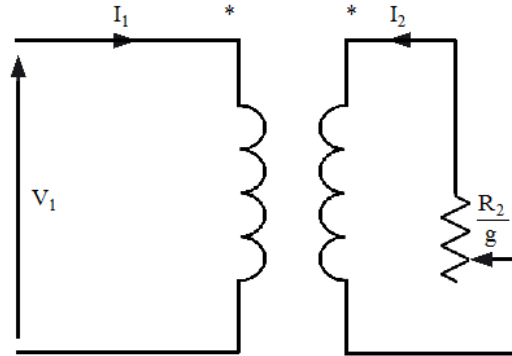


Figure (II.1) : Schéma équivalent du moteur asynchrone sans résistance rotorique

Remarque :

Si on tient compte de la résistance rotorique, le schéma équivalent est :

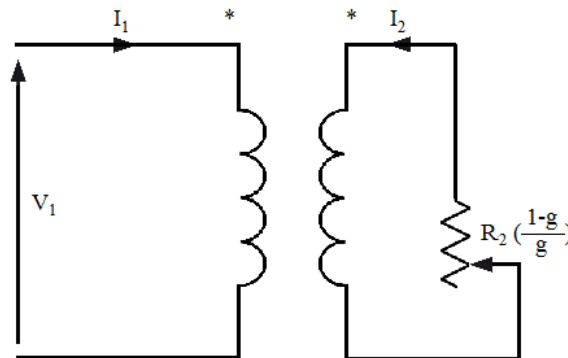


Figure (II.2) : Schéma équivalent de moteur asynchrone avec résistance rotorique

II.6 Schéma équivalent ramené au stator d'un moteur asynchrone

Désignant par R_2' la résistance rotorique ramenée au stator exprimé comme suit :

$$R_2' = \frac{R_2}{m^2} \quad (\text{II.19})$$

Désignant par x'_2 la réactance rotorique ramenée au stator exprimé comme suit :

$$x'_2 = \frac{x_2}{m^2} \quad (\text{II.20})$$

Le schéma équivalent sera alors illustré par la figure (II.3).

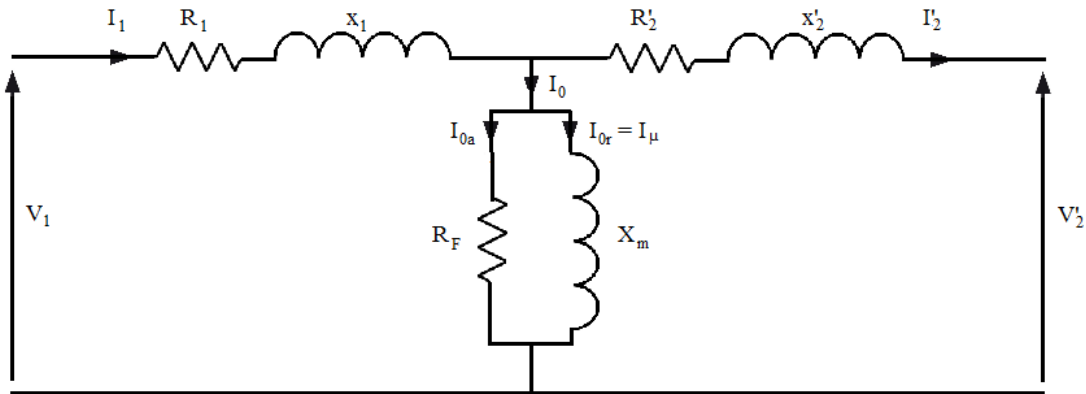


Figure (II.3) : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone ramené au stator

Le courant à vide I_0 se divise en deux composantes, l'une active, I_{0a} et l'une réactive I_{0r} . R_F est parcourue par la première composante, elle est responsable des pertes fer, tandis que X_m qui est alimenté par la deuxième composante est nécessaire pour entretenir le flux.

II.7 Bilan énergétique d'un moteur asynchrone

À travers la figure (II.4), nous donnons un aperçu sur le cheminement de la puissance absorbé lors de fonctionnement normal d'un moteur asynchrone.

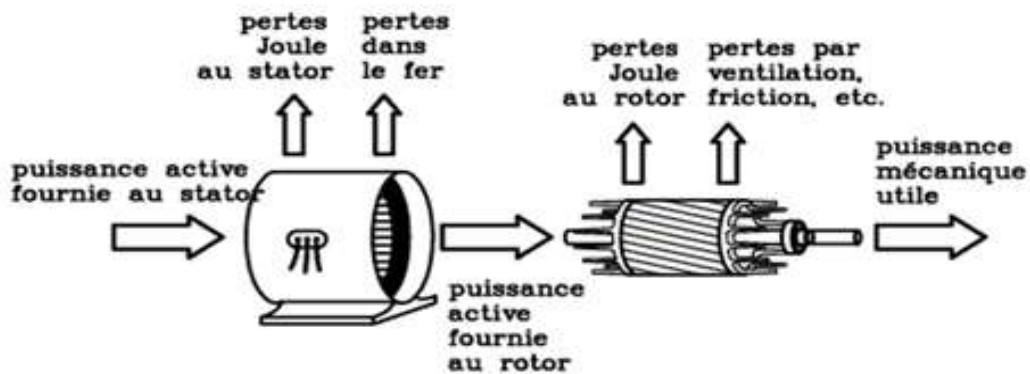


Figure (II.4) : Cheminement de la puissance dans un moteur asynchrone en fonctionnement en charge

II.7.1 Puissance absorbée (P_a)

Le moteur absorbe du réseau électrique la puissance active.

$$P_a = 3 * V * I_1 * \cos(\varphi_1) \quad (\text{II.21})$$

II.7.2 Pertes Joules (P_{JS}) et pertes fer (P_{fer}) au stator

À travers les bornes statoriques, une partie de cette puissance (1 à 2%) est perdue dans le stator sous forme de pertes fer (pertes magnétiques) P_f et de pertes dans le cuivre due à l'effet joules.

$$P_{JS} = \frac{3}{2} RI^2 \quad (\text{II.22})$$

II.7.3 Puissance transmise dans l'entrefer (P_{tr})

La puissance transmise au rotor à travers l'entrefer P_{tr} est la partie de puissance absorbée qui n'est pas perdue dans les enroulements du stator et dans le fer.

$$P_{tr} = P_a - (P_{JS} + P_{FS}) \cong P_a \quad (\text{II.23})$$

Le rotor exploite cette puissance (P_{tr}) pour deux utilisations :

- Une partie est gaspillée sous forme de pertes par effet joules rotoriques (P_{rot}) ;
- L'autre partie se retrouve sous forme de puissance mécanique, qu'on appelle puissance utile (P_u) disponible à l'arbre du moteur $P_e = P_u + P_{rot}$ on peut négliger d'une part, les pertes fer rotoriques car elles dépendent de la fréquence rotorique qui est très faible et d'autres part les pertes mécaniques.

II.7.4 Pertes Joules au rotor (P_{JR})

Les pertes fer sont fonctions du flux magnétique. Elles ne dépendent donc que de la tension d'alimentation et de la fréquence des courants statoriques. Or, en régime de fonctionnement, ces grandeurs ne varient pas et, par conséquent, les pertes fer peuvent être considérées comme constantes quelle que soit la charge du moteur.

Expérimentalement, les pertes fer sont mesurées lors d'un essai à vide, en même temps que les pertes rotationnelles.

Les pertes Joule au rotor sont fonction de la puissance transmise à celui-ci. On peut par ailleurs montrer qu'elles sont aussi fonction du glissement.

En effet, les grandeurs P_{JR} et P_{tr} sont liées par la relation :

$$P_{JR} = g * P_{tr} \quad (\text{II.24})$$

II.7.5 Puissance électromagnétique (P_{em}) et couple électromagnétique (T_{em})

La puissance mécanique P_{mec} est égale à :

$$P_{mec} = (1 - g) * P_{tr} \quad (\text{II.25})$$

Le rotor, tournant à la vitesse Ω , est soumis à un couple électromagnétique T_{em} et reçoit par conséquent une puissance électromagnétique égale à :

$$P_{em} = T_{em} * \Omega_s \quad (\text{II.26})$$

En injectant l'équation (II.25) dans (II.26), on peut montrer que :

$$T_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} \quad (\text{II.27})$$

II.7.6 Puissance utile (P_u) et couple utile (T_u)

Le rotor fournit un couple utile T_u à la vitesse Ω . Il délivre alors la puissance utile P_u donnée par :

$$P_u = T_u * \Omega \quad (\text{II.28})$$

La figure (II.5) représentera bien une récapitulation du bilan de puissance pour un moteur asynchrone en fonctionnement nominal.

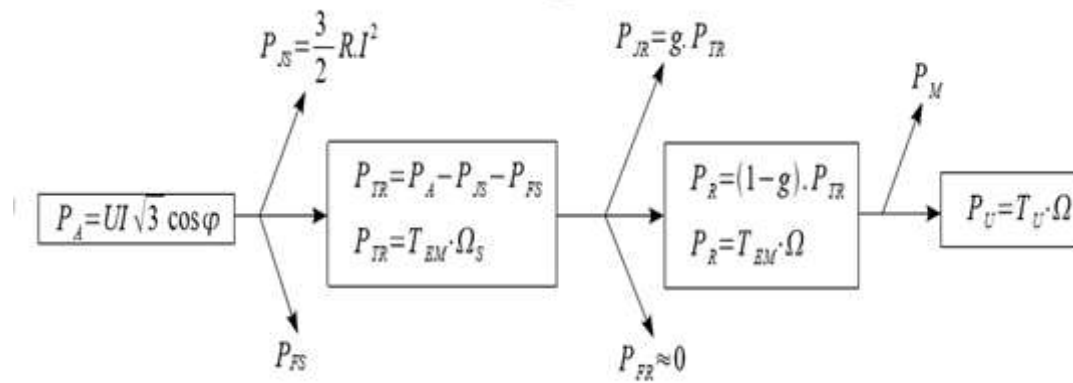


Figure (II.5) : Bilan énergétique d'un moteur asynchrone triphasé

II.7.7 Rendement d'un moteur asynchrone

Le rendement du moteur est donné par :

$$\eta = \frac{P_a - \sum \text{pertes}}{P_a} = \frac{P_a - (P_{jr} + P_{js} + P_{fer} + P_{rot})}{P_a} \quad (\text{II.29})$$

II.8 Caractéristiques mécaniques d'un moteur asynchrone

Le schéma simplifié ($I_0 = 0$) illustré par la figure (II.3), nous permet d'écrire que :

$$I_1 = I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{g}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (\text{II.30})$$

La puissance électromagnétique transmise est exprimée comme suit :

$$P_e = \frac{3R_2'}{g} (I_2')^2 \quad (\text{II.31})$$

II.9 Calcul du couple électromagnétique (C_{em})

Le couple électromagnétique peut être exprimé par :

$$C_{em} = \frac{3pR_2'}{\omega g} \cdot \frac{V_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{g}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (\text{II.32})$$

Posons $X_1 + X_2' = X'$: réactance cyclique de fuites total ramenée au primaire ;

Négligeons $R_1 \cong 0$ car $\frac{R_2'}{g} \gg R_1$.

L'expression du couple électromagnétique se réduit à :

$$C_{em} = \frac{3p \cdot \frac{R_2'}{g} V_1^2}{\omega \left[\left(\frac{R_2'}{g} \right)^2 + X'^2 \right]} \quad (\text{II.33})$$

D'après cette dernière relation précédente, on voit que le couple T_{em} varie en fonction du glissement g (donc de la vitesse n) et les caractéristiques mécanique $T_{em}=f(g)$ ou $T_{em}=f(n)$ peuvent être obtenues. La variation du couple électromagnétique (T_{em}) en fonction du glissement (g) est illustrée dans la figure (II.6).

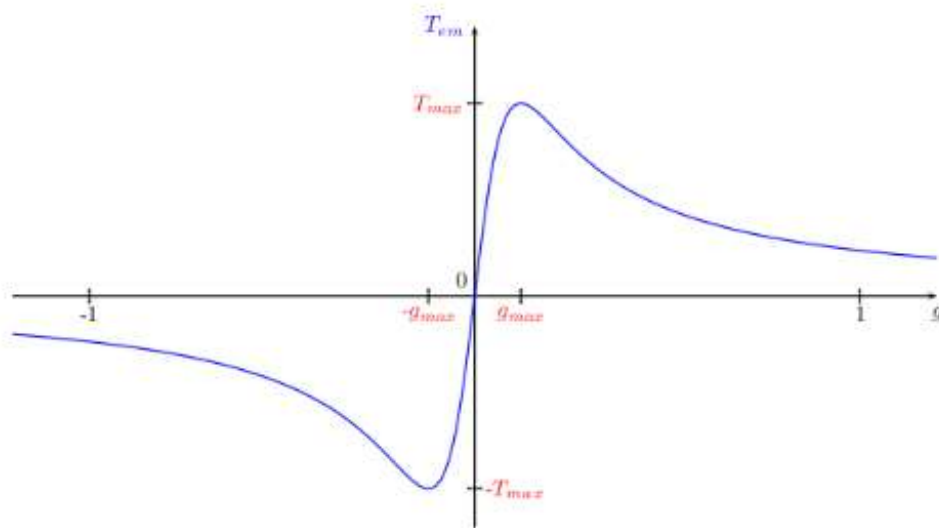


Figure (II.6) : Variation du couple électromagnétique en fonction du glissement

Remarque :

La courbe $T_{em}=f(g)$ présente 2 branches, l'une stable comprise entre $g=0$ et g_{crit} ; l'autre partie est instable $g_{crit} \leq g \leq 1$ Si le couple dépasse C_{max} ; le moteur s'arrête (il décroche) ;

De même on peut représenter les caractéristiques mécaniques (figure II.7) définies par $n=f(C_M)$, ou encore $C_M=f(n)$.

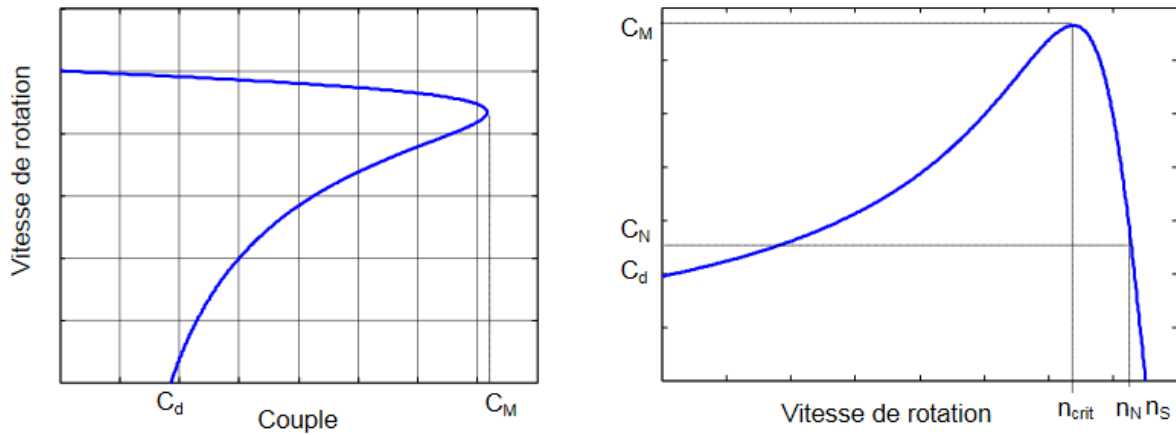


Figure (II.7) : Variation de la vitesse en fonction du couple et variation du couple en fonction de la vitesse d'un moteur asynchrone

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré le schéma équivalent du moteur asynchrone. Ensuite nous avons décrit le cheminement de la puissance en précisant les différentes pertes. Cela a conduit à un bilan énergétique. La relation entre le couple électromagnétique et la vitesse de rotation a été établie menant aux tracés des allures des caractéristiques mécaniques

CHAPITRE III DIAGRAMME DE CERCLE

III.1 Introduction

Le diagramme de cercle est une représentation graphique du schéma équivalent. En effet, après avoir élaboré ce schéma au chapitre précédent, nous essayons dans ce troisième chapitre de décrire la méthode et les moyens et les étapes pour la construction de ce diagramme, la présentation de ces points particuliers et son exploitation pour la prédétermination des caractéristiques d'un moteur asynchrone. De plus nous utilisons les informations fournis par ce diagramme pour décrire l'évolution de ces caractéristiques en charge.

III.2 Variation du glissement et trajectoire du vecteur du courant absorbé

Soit le schéma équivalent simplifié ramené au primaire ci-dessous (R_l et X_l et les pertes fer ($R_f \approx 0$) sont négligées).

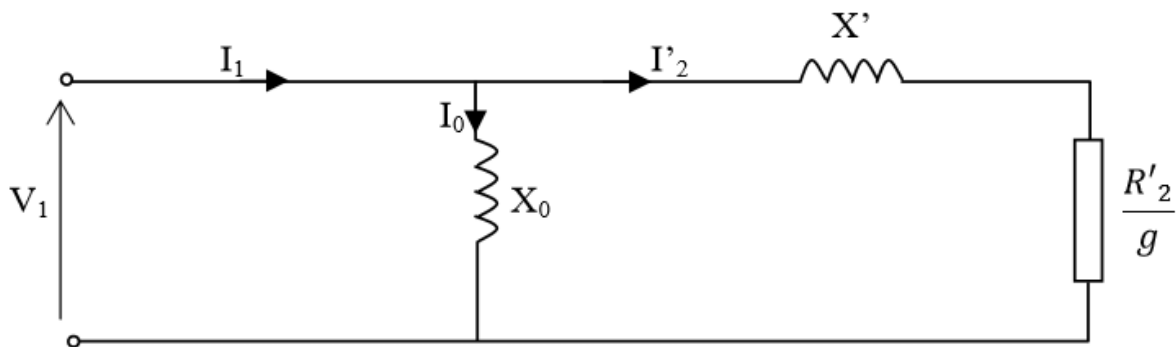


Figure (III.1) : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone simplifié par phase

D'après la figure précédente, on peut écrire :

$$V_1 = \left(\frac{R'_2}{g} + jX' \right) \cdot I'_2 \quad (\text{III.1})$$

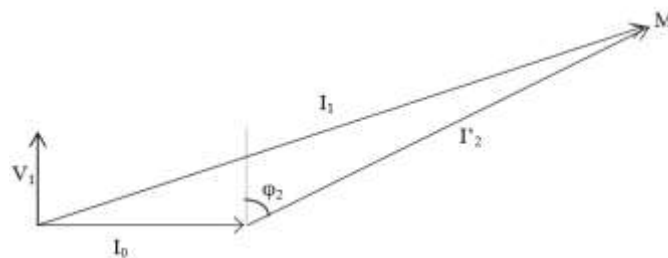


Figure (III.2) : Représentation vectorielle des courants

La valeur du courant (I_2') est obtenue en utilisant la formule suivante :

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R_2'}{g}\right)^2 + (x')^2}} \quad (\text{III.2})$$

D'après la relation précédente on voit que le courant I_2' est en fonction du glissement (donc de la vitesse). C'est à dire I_1 est encore fonction de glissement. En gardant I_0 constant ; le point M de la figure (III.2) change de position en fonction de la vitesse en décrivant un cercle.

III.3 Applicabilité

Ce diagramme est utilisé seulement aux moteurs polyphasés non saturés en marche industrielle (tension et fréquence constantes).

III.4 Essais nécessaires

III.4.1 Essai à vide

Dans cet essai la charge est nulle, on alimente le moteur sous tensions U à laquelle correspond V (tension simple pour enroulement), et nous relevons les mesures suivantes :

- I_0 (courant à vide) ;
- P_0 (la puissance absorbée à vide dans chaque enroulement). On calcule le $\cos(\varphi_0)$:

$$\cos(\varphi_0) = \frac{P_0}{VI_0} \quad (\text{III.3})$$

III.4.2 Essai en court-circuit

Dans cet essai, on bloque le rotor afin d'empêcher sa rotation ($n = 0$ et $g = 1$). On alimente le moteur sous tension réduite U_{cc} de façon à ne pas dépasser le courant nominal et on mesure :

- V_{cc} (la tension simple en court-circuit) ;
- I'_{cc} (le courant absorbé en court-circuit) ;
- P_{cc} (la puissance absorbée en court-circuit dans chaque enroulement). Le facteur en

court-circuit est évalué comme suit :

$$\cos(\varphi_{cc}) = \frac{P_{cc}}{V_{cc} I'_{cc}} \quad (\text{III.4})$$

- Le courant de court-circuit I_{cc} ramené à la tension nominale est obtenu en utilisant la relation ci-dessous.

$$I_{cc} = I'_{cc} \frac{V}{V_{cc}} \quad (\text{III.5})$$

- La puissance de court-circuit ramenée à la tension nominal est calculée par l'expression suivante :

$$P_{cc} = P'_{cc} \frac{V}{V_{cc}} \quad (\text{III.6})$$

III.4.3 Mesure des résistances des enroulements statorique R1 et rotorique R2

Cet essai est effectué en utilisant un voltmètre et un ampèremètre ou direct par ohmmètre. Il faut tenir compte de la température de fonctionnement. Les valeurs des résistances des enroulements du stator et du rotor mesurées à température ambiante seront corrigées comme suit.

$$R_{fin} = R_{am}(1 + \alpha(T_{fin} - T_{am})) \quad (\text{III.7})$$

Où : α est une constante donnée ($\alpha=4.0141 * 10^{-3}$).

III.5 Caractéristiques du moteur asynchrone choisi

Le moteur asynchrone choisi a les caractéristiques données dans le tableau (III.1). [9]

Tableau (III.1) : Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé choisi

Tension nominale (U)	500 V
Puissance utile (P_u) (voulue)	70 kW
Fréquence (f)	50 Hz
Nombre de pôles	8 pôles
Type de marche	Continue

III.6 Résultats des essais

Les résultats des essais à vide et en court-circuit appliqués sur le moteur choisi sont représentés ci-dessous.

III.6.1 Résultats de l'essai à vide

Les résultats de l'essai à vide sont groupés dans le tableau ci-dessous. [9]

Tableau (III.2) : Mesures relevées lors d'un essai à vide

Tension statorique (U_s)	500 V
Courant à vide (I_0)	29 A
Puissance absorbée (P_0)	2100 W

III.6.2 Résultats de l'essai en court-circuit

Les résultats de l'essai en court-circuit sont groupés dans le tableau ci-dessous. [9]

Tableau (III.3) : Mesures relevées lors d'un essai en court-circuit

Tension statorique (U_{cc})	160 V
Courant de court-circuit (I_{cc})	115 A
Puissance absorbée (P_{cc})	7500 W

III.6.3 Valeurs des résistances R_1 et R_2

$$R_{90^\circ} = R_{20^\circ}(1 + \alpha(T_{90^\circ} - T_{20^\circ})) \quad [9]$$

Tableau (III.4) : les valeurs des résistances à la température de service

La valeur de résistance à 20°C	La valeur de résistance à 90°C
$R_1 = 0.13 \Omega$ (entre bornes)	$R_1 = 0.166 \Omega$
$R_2 = 0.042 \Omega$ (entre bagues)	$R_2 = 0.053 \Omega$

III.7 Construction du diagramme de cercle

Le diagramme de cercle que nous procédons de construire est recommandé par l'U.T. E (union technique des électriciens). Il est toujours établi pour un seul enroulement du stator.

III.7.1 Étapes et procédure de construction de diagramme de cercle

a) Construction de l'arc de phases :

On trace deux axes rectangulaires (Ox, Oy), dans l'axe Oy nous prenons $OO' = 50$ mm avec O' c'est le centre de cercle, on décrit un arc de cercle ayant OO' pour rayon.

b) Localisation de point de fonctionnement à vide :

Sur l'arc de centre O' nous portons $Oa = 100 \cos(\varphi_0)$. Sur la droite Oa nous portons $OM_0 = I_0$ en respectant l'échelle des courants choisis. M_0 est le point de fonctionnement à vide

c) Localisation de point de fonctionnement en court-circuit :

Sur l'arc de centre O' nous portons $Ob = 100 \cos(\varphi_{cc})$. Sur la droite Ob nous portons $OM_{cc} = I_{cc}$ en respectant l'échelle des courants choisis. M_{cc} est le point de fonctionnement en court-circuit.

d) Traçage de la droite des puissances :

En reliant les deux points M_0 et M_{cc} nous obtenons la droite des puissances (M_0M_{cc}).

e) Détermination du centre de cercle :

La perpendiculaire au milieu de M_0M_{cc} la coupe en un point C qui est le centre de cercle des courants.

f) Traçage de la droite des couples utiles :

Nous traçons le cercle de centre C et de rayon M_0C . Par M_{cc} menons la perpendiculaire à Ox, elle rencontre en H la parallèle à Ox passant par M_0 . Sur la droite ($M_{cc}H$) nous portons.

$$HP = \frac{R_1 I_{cc}^2}{V_s} \quad (\text{III.8})$$

Nous relierons les points M_0 et P. Le résultat est la droite (M_0P) des couples utiles.

g) Détermination du glissement

Nous expliquons dans ce qui suit une des méthodes pour la détermination graphique du glissement pour n'importe quel point de fonctionnement. Cette méthode est illustrée par la figure (III.3). Le glissement peut être lu sur une droite parallèle à la droite des puissances.

Le glissement $g=0$ aura lieu lorsque le point de fonctionnement P est confondu avec le point P_0 . En traçons la tangente au cercle au point P_0 . La droite (P_0P_{cc}) rencontre la droite de glissement (EF) en F . En fonctionnement moteur, le segment $[EF]$ sera gradué en cent parties égales ou le glissement $g=0$ en E et $g=1$ en F

La détermination du glissement pour un point de fonctionnement P sera obtenue en prolongeant la droite (P_0P) qui rencontrera la droite (EF) en un point qui représentera le glissement au point de fonctionnement P .

Dans ce mémoire nous avons opté pour la détermination du glissement à l'exploitation de la relation liant la puissance $P_{em}(P_{tr})$ et les pertes joules rotoriques.

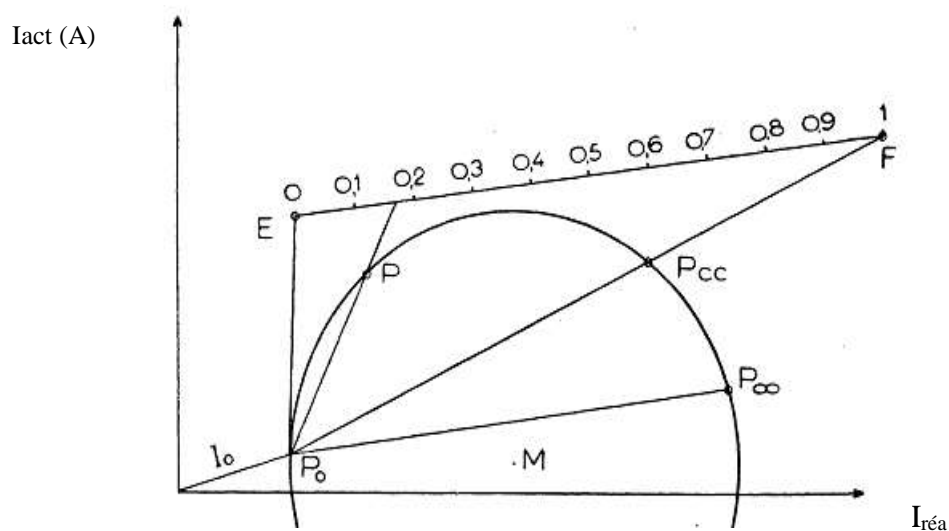


Figure (III.3) illustration graphique de la détermination du glissement par le diagramme de cercle

III.7.2 Calcul préliminaire et détermination du point de fonctionnement

a) Calcul de facteur de puissance à vide ($\cos(\varphi_0)$) :

$$\cos(\varphi_0) = \frac{P_0}{\sqrt{3} * U_0 * I_0}$$

$$\cos(\varphi_0) = 0,0836$$

b) Calcul de facteur de puissance en court-circuit ($\cos(\varphi_{cc})$) :

$$\cos(\varphi_{cc}) = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} * U_{cc} * I_{cc}}$$

$$\cos(\varphi_{cc}) = 0,235$$

$$Oa = 100 \cos(\varphi_0) = 8,36 \text{ mm}$$

$$Ob = 100 \cos(\varphi_{cc}) = 23,5 \text{ mm}$$

c) Calcul du courant de court-circuit :

$$160 \text{ V} \rightarrow 115 \text{ A}$$

$$500 \text{ V} \rightarrow I_{cc}$$

$$I_{cc} = \frac{500 * 115}{160} = 359,37 \text{ A}$$

On prend l'échelle de courant : $1 \text{ cm} \rightarrow 12,5 \text{ A}$

Sur la droite Oa, on prend :

$$OM_0 = \frac{29}{12,5} = 2,32 \text{ cm}$$

Sur la droite Ob, on prend :

$$OM_{cc} = \frac{359,37}{12,5} = 28,75 \text{ cm}$$

$$I_{cc} \cos(\varphi_{cc}) = \frac{P_{jcc}}{\sqrt{3} * U_n} \quad \rightarrow \quad I_{cc} \cos(\varphi_{cc}) = \frac{3}{2} \frac{R_s I_{cc}^2}{\sqrt{3} * U_n} = 37,12 \text{ A}$$

Sur la droite $M_{cc}H$, nous portons :

$$HP = \frac{I_{cc} \cos(\varphi_{cc})}{12,5} = 2,96 \text{ cm}$$

d) Point de fonctionnement nominal :

Premièrement, on va calculer le courant actif nominal :

$$I_a = \frac{80,82}{12,5} = 6,46 \text{ cm}$$

Marquons sur le cercle, le point M tel que sa distance verticale MN à la droite des puissances soit égale à 6,46 cm. C'est le point de fonctionnement nominal.

III.7.3 Exploitation du diagramme de cercle

a) Courant absorbé (I_a) :

$$OM = 12 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad I_a = 12,5 * 8,25 = 103,125 \text{ A}$$

b) Facteur de puissance ($\cos(\varphi)$) :

$$\varphi = 30^\circ \quad \rightarrow \quad \cos(\varphi) = 0,866$$

c) Puissance utile (P_u) :

$$\begin{aligned} MN = 6,46 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad MN = 6,46 * 12,5 = 80,75 \text{ A} \quad \rightarrow \quad P_u &= \sqrt{3} * U * MN \\ &= 69,931 \text{ kW} \end{aligned}$$

d) Pertes joules rotoriques (P_{jr}) :

$$NS = 0,2 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad P_{jr} = \sqrt{3} * U * NS = 2,165 \text{ kW}$$

e) Pertes statoriques (P_{st}) :

$$ST = 0,2 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad P_{st} = P_{jst} - P_{js0} = \sqrt{3} * U * ST = 2,165 \text{ kW}$$

f) Puissance transmise au rotor (P_{tr}) :

$$MS = 6,7 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad P_a - P_{st} = 72,53 \text{ kW}$$

g) Courant rotorique (I_R) :

$$MM_0 = 7,2 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad I_R = MM_0 * 12,5 = 90 \text{ A}$$

h) Couple utile (T_u) :

La droite MM' se croise avec la droite du couple utile sur le point S ; donc on va mesurer MS. C'est la distance correspondante au courant consommé au point de fonctionnement de la puissance utile.

La valeur du courant sera donc :

$$MS = 6,7 \text{ cm} \rightarrow 6,5 * 12,5 = 83,75 \text{ A}$$

La vitesse de synchronisme du moteur (ω_s) exprimée en (rad/s) :

$$\omega_s = \frac{2 * \pi * f}{p} = \frac{2 * 3,14 * 50}{4} = 78,5 \text{ rad/s}$$

Maintenant, on peut calculer le couple utile (T_u) :

$$T_u = \frac{MS * U}{\omega} = 921,18 \text{ Nm}$$

i) Calcul de glissement :

Le rendement de rotor est :

$$\frac{MN}{MS} = \frac{64.6}{66.8} = 0.967$$

Le glissement est donc :

$$1 - 0.967 = 0.033$$

Soit : $g = 3.3 \%$

En connaissant le courant nominal, le facteur de puissance ainsi que le courant active par phase de court-circuit, et par simplicité nous pouvons élaborer un programme Matlab pour tracer et voir l'évolution des différentes caractéristiques du moteur asynchrone. L'élaboration de ce programme est effectuée selon l'organigramme ci-dessous.

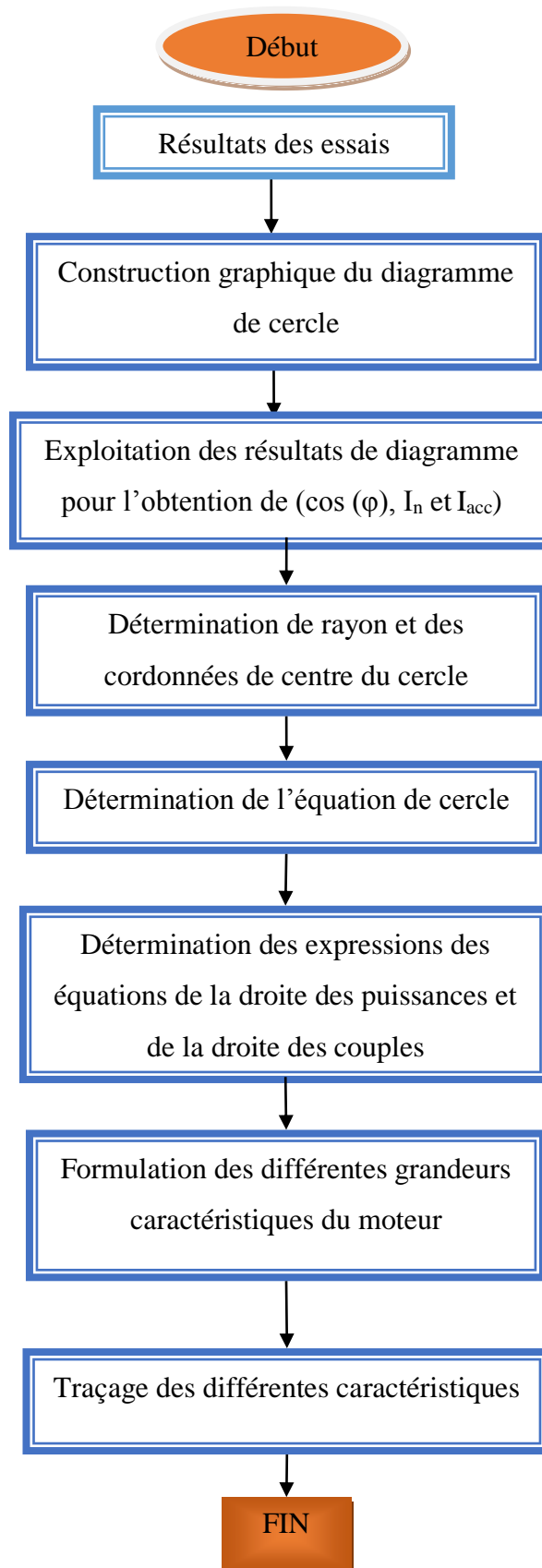


Figure (III.5) : Organigramme du programme

III.8 Évolution des différentes caractéristiques du moteur

III.8.1 Représentation de diagramme de cercle

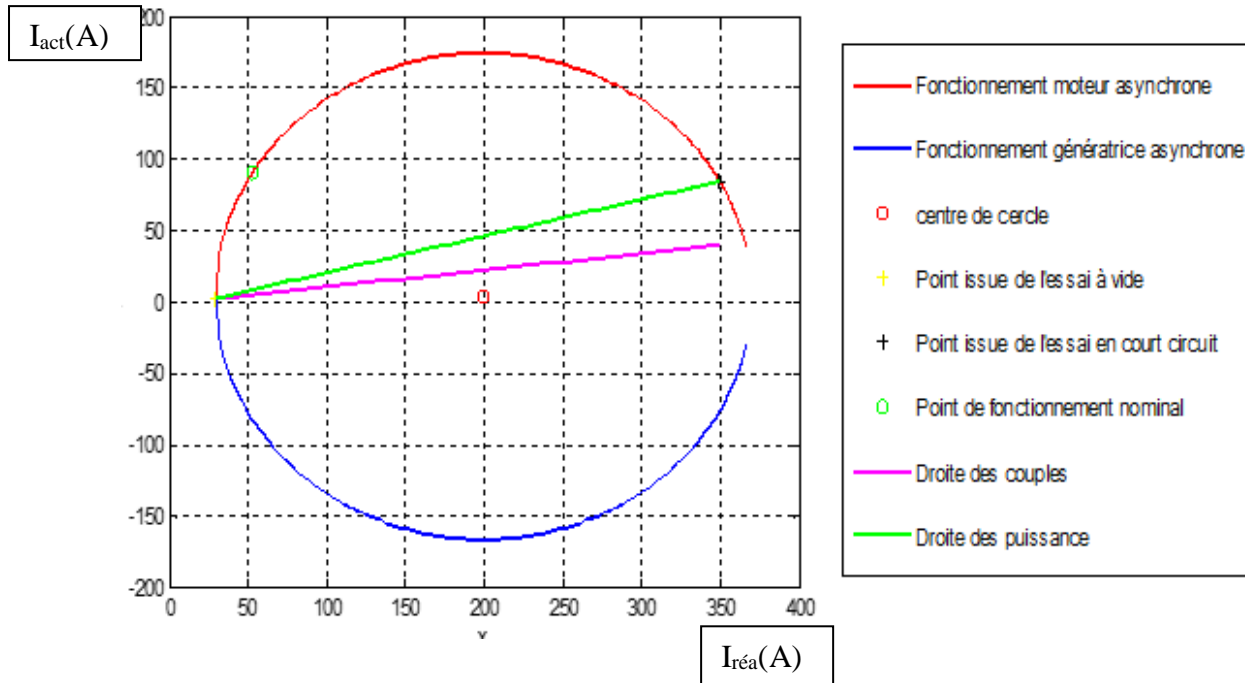


Figure (III.6) : Diagramme de cercle du moteur asynchrone

La figure ci-dessus représente le diagramme de cercle tracé en exécutant notre programme. Cette figure visualise les différents points particuliers du diagramme du cercle à savoir le point de fonctionnement nominal, le point issu de l'essai de court-circuit, le point issu de l'essai à vide, les droites des puissances et des couples. Cette figure spécifie aussi la zone de fonctionnement en moteur (rouge) et en génératrice (bleu).

Dans la suite de ce document nous essayons de relever certaines caractéristiques du moteur asynchrone en charge.

III.8.2 Relèvement des caractéristiques du moteur asynchrone en charge

a) Variation du courant absorbé en fonction de la puissance utile :

La figure (III.7) représente le courant absorbé par un moteur asynchrone en fonction de la puissance utile. Nous avons remarqué que le courant part d'une valeur non nulle à cause du courant de la branche magnétisante, après il augmente jusqu'à la puissance utile maximale. Ensuite, nous signalons une zone d'instabilité.

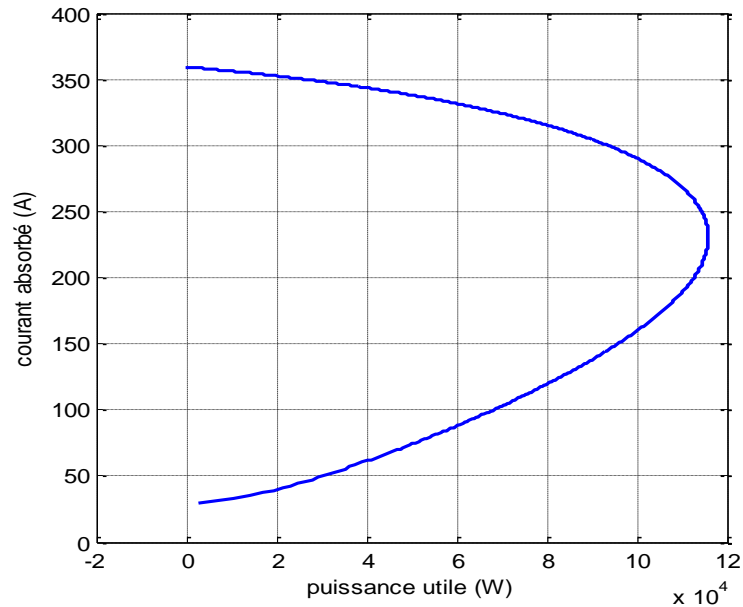


Figure (III.7) : Variation du courant absorbé en fonction de la puissance utile

b) Variation du courant en fonction du glissement :

De même, le courant absorbé peut être représenté en fonction du glissement. La figure (III.8) montre bien que le courant croît avec la diminution de la vitesse (augmentation du glissement).

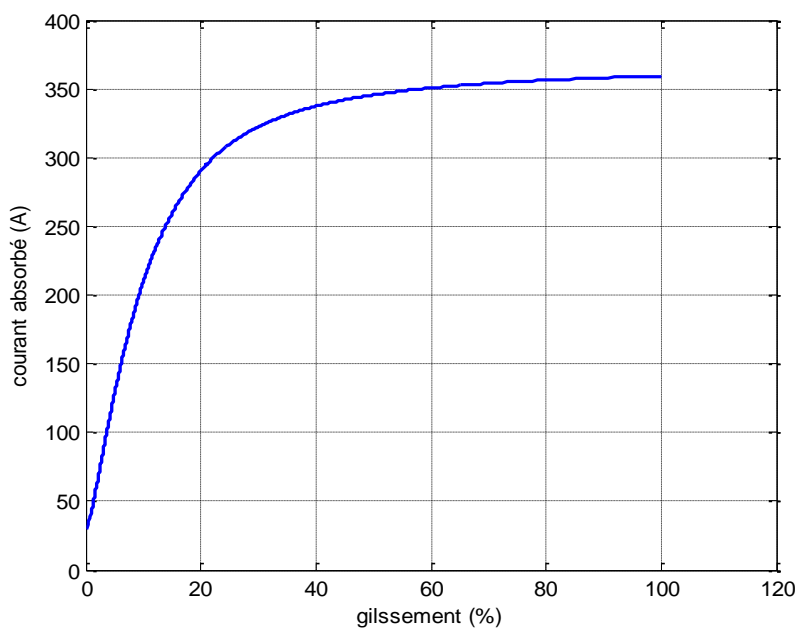


Figure (III.8) : Variation du courant absorbé en fonction du glissement

c) Variation du facteur de puissance en fonction de la puissance utile :

La figure (III.9) représente la variation du facteur de puissance en fonction de la puissance utile, à vide, le facteur de puissance est faible. Il augmente rapidement avec l'augmentation de la puissance.

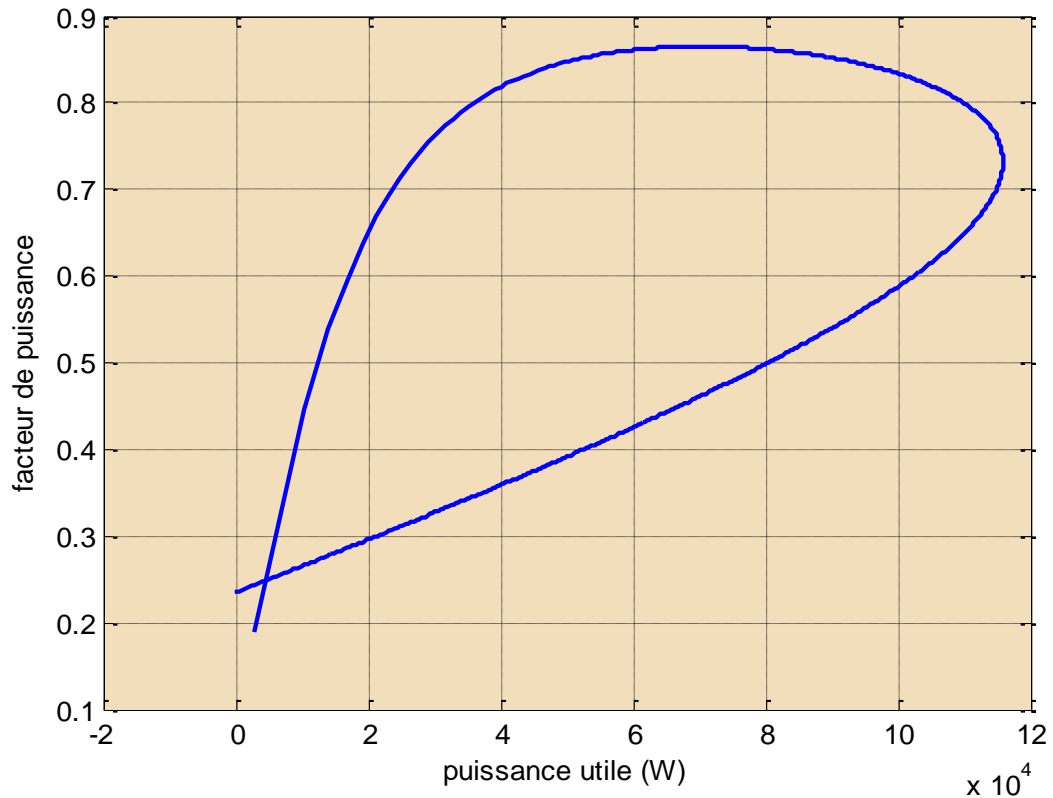


Figure (III.9) : Variation du facteur de puissance en fonction de la puissance utile

d) Variation du facteur de puissance en fonction du glissement :

La figure (III.10) représente le facteur de puissance en fonction de glissement. Le facteur de puissance passe par son maximum à un faible glissement. Ensuite, il diminue pour revenir à une valeur assez faible à l'arrêt.

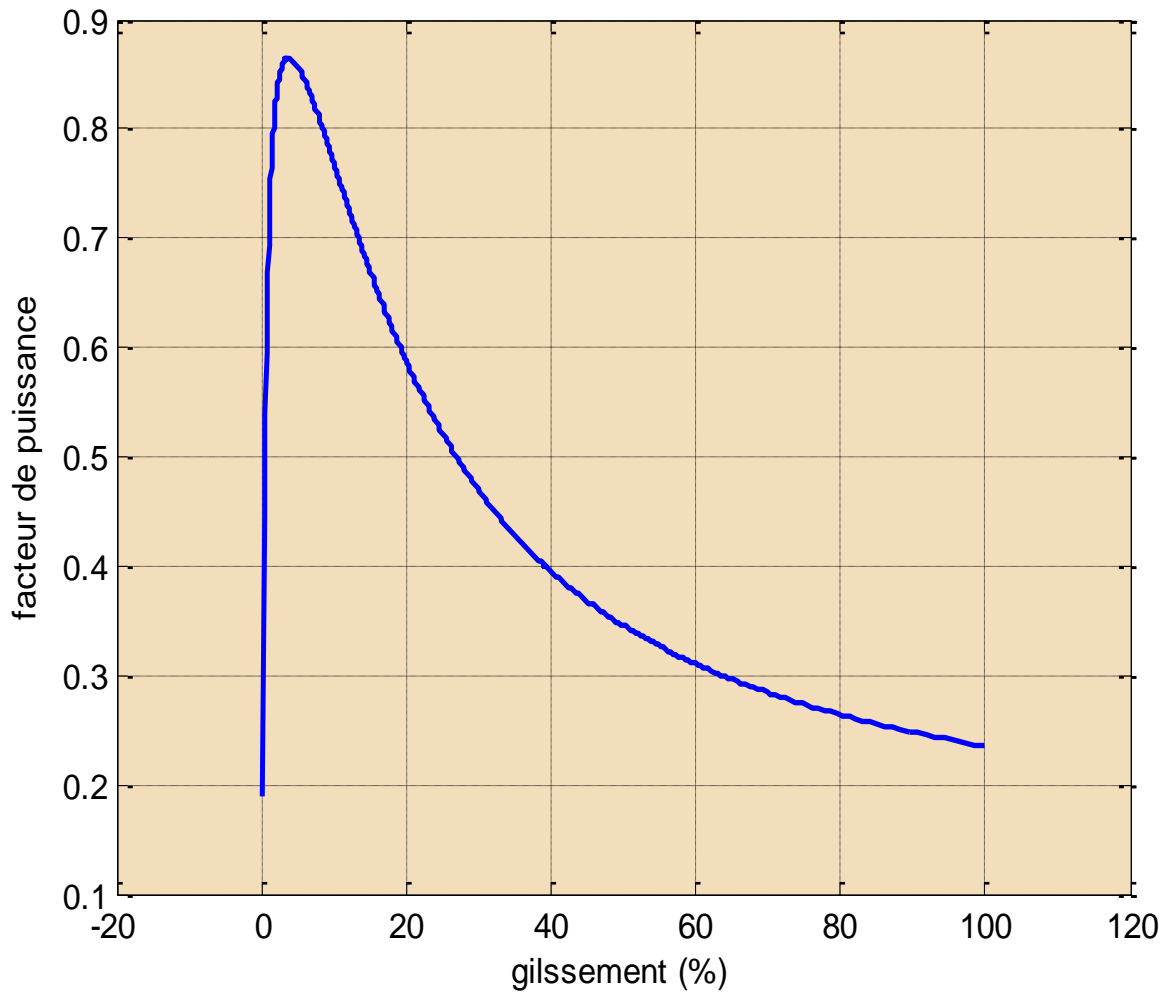


Figure (III.10) : Variation du facteur de puissance en fonction du glissement

e) Variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance utile :

La figure (III.11) représente la variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance utile. Nous avons remarqué qu'il augmente proportionnellement en fonction de la puissance utile, surtout proche de la zone de fonctionnement nominale. Puis il s'incurve pour passer par son maximum. Si la puissance demandée continue à croître même si la puissance utile diminue, le couple diminue jusqu'à atteindre sa valeur au démarrage.

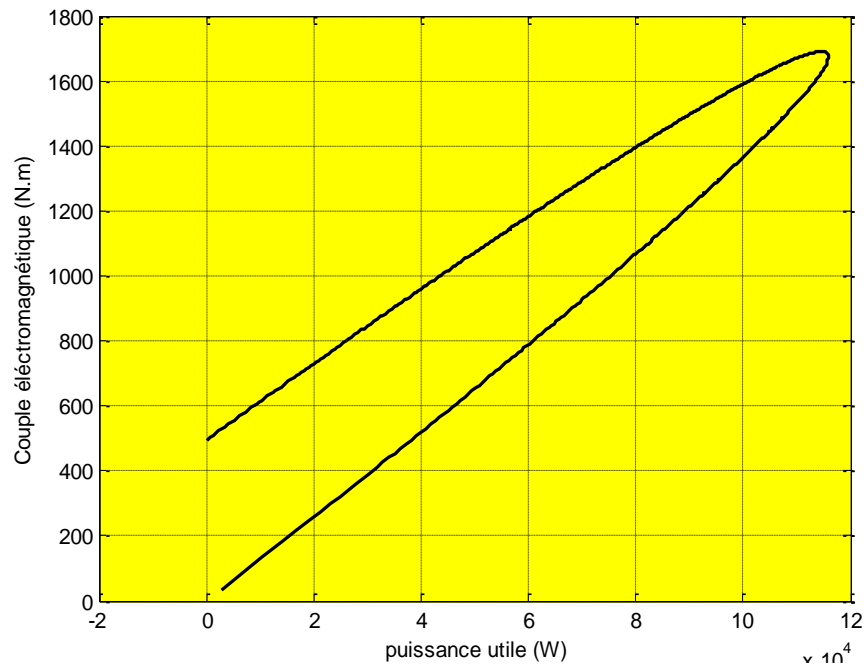


Figure (III.11) : Variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance utile

f) Variation du couple électromagnétique en fonction du glissement :

Tandis que la figure (III.12) représente la variation du couple électromagnétique en fonction du glissement. Nous avons remarqué qu'il y'a un pic dans la valeur du couple à cause du couple de démarrage après il prend sa valeur nominale avec l'augmentation du glissement

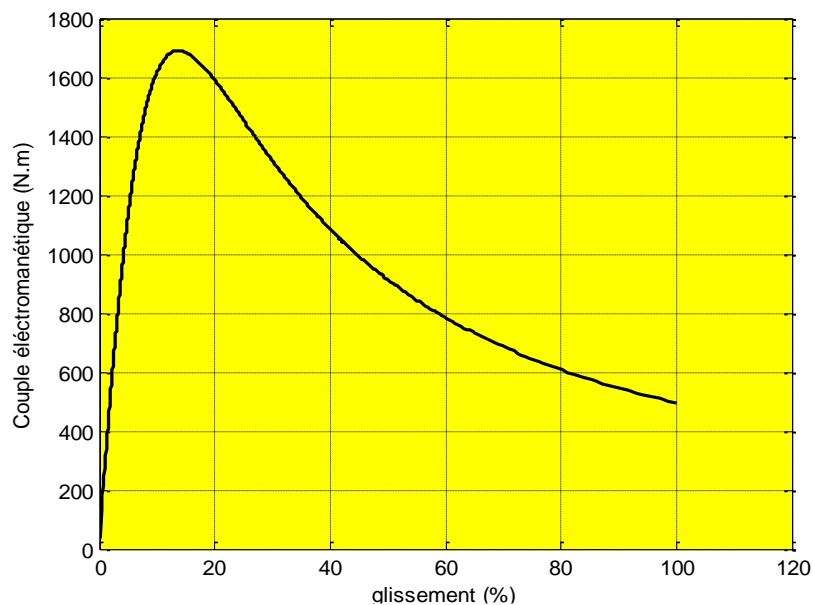


Figure (III.12) : Variation du couple électromagnétique en fonction du glissement

g) Variation du couple électromagnétique en fonction de la vitesse :

La figure (III.13) représente la variation du couple électromagnétique en fonction de la vitesse. Nous avons remarqué que le couple démarre d'une valeur non nulle (couple de démarrage du rotor) il augmente jusqu'à le rotor prend sa vitesse de synchronisme après il va diminuer.

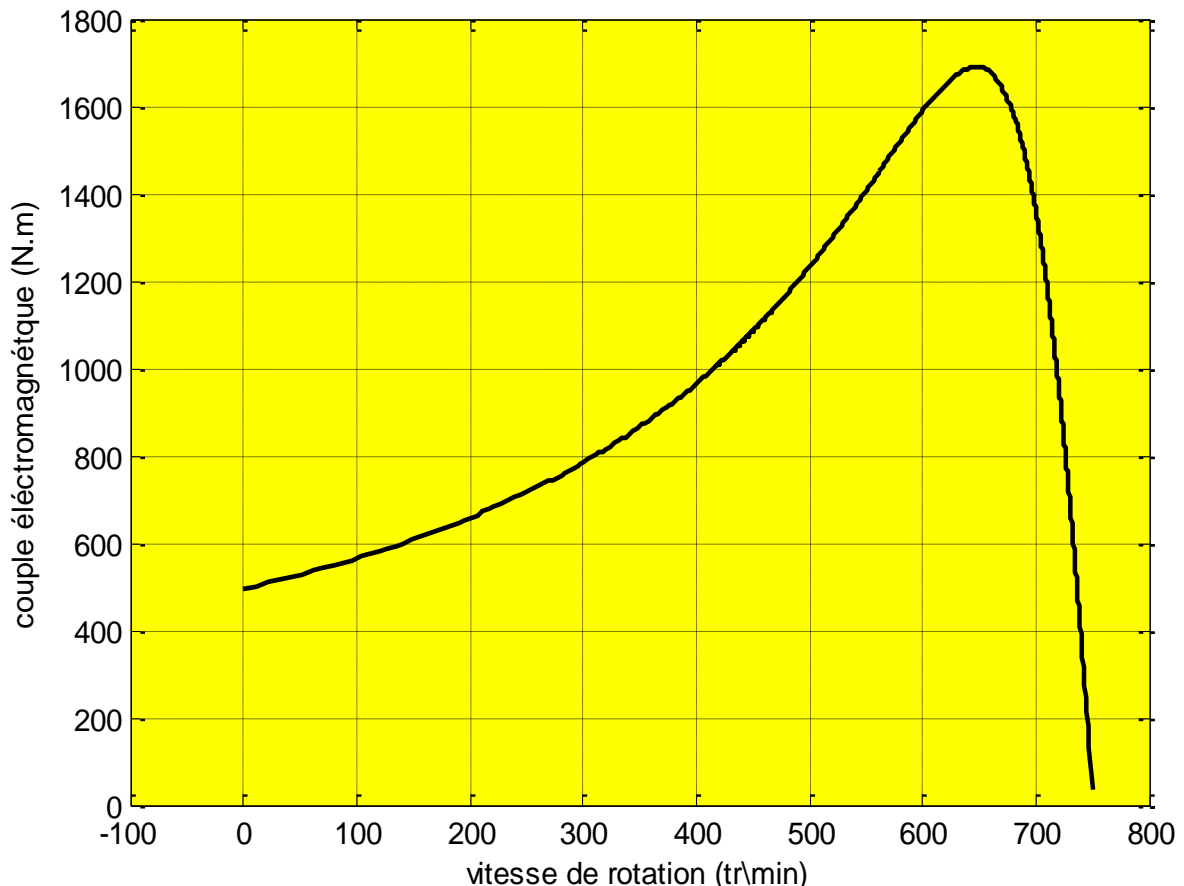


Figure (III.13) : Variation du couple électromagnétique en fonction de la vitesse de rotation

h) Variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance électromagnétique :

La figure (III.14) représente la variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance électromagnétique. Nous avons remarqué qu'il croît linéairement avec la puissance électromagnétique.

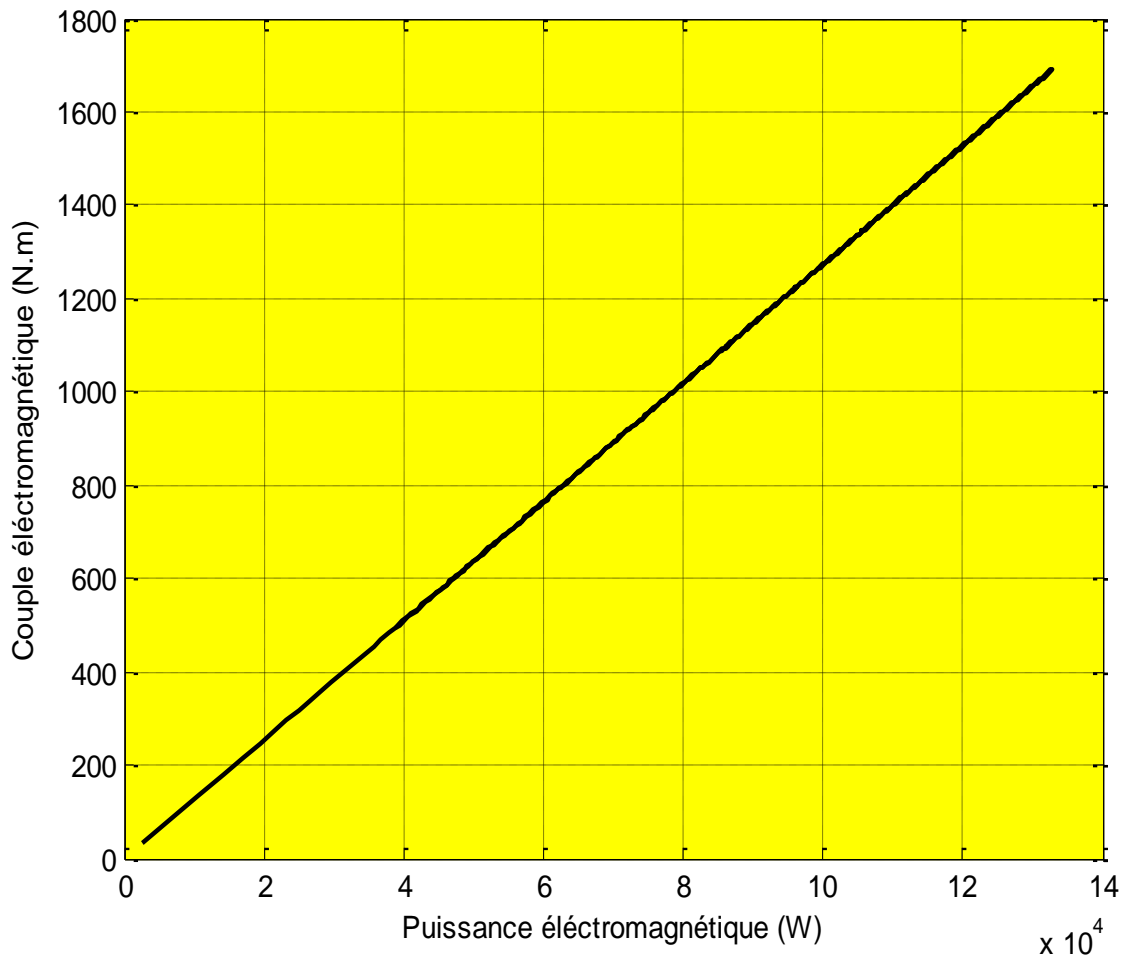


Figure (III.14) : Variation du couple électromagnétique en fonction de la puissance électromagnétique

i) Variation du rendement en fonction de la puissance utile et du glissement :

La figure (III.15) représente la variation du rendement en fonction de la puissance utile et la figure (III.16) représente la variation du rendement en fonction du glissement. Nous avons remarqué que le rendement part d'une valeur nulle et croit en fonction de la puissance utile. Il a un maximum au voisinage du point de fonctionnement nominal (à un glissement faible). Il diminue ensuite pour s'annuler en fonctionnement à rotor bloqué.

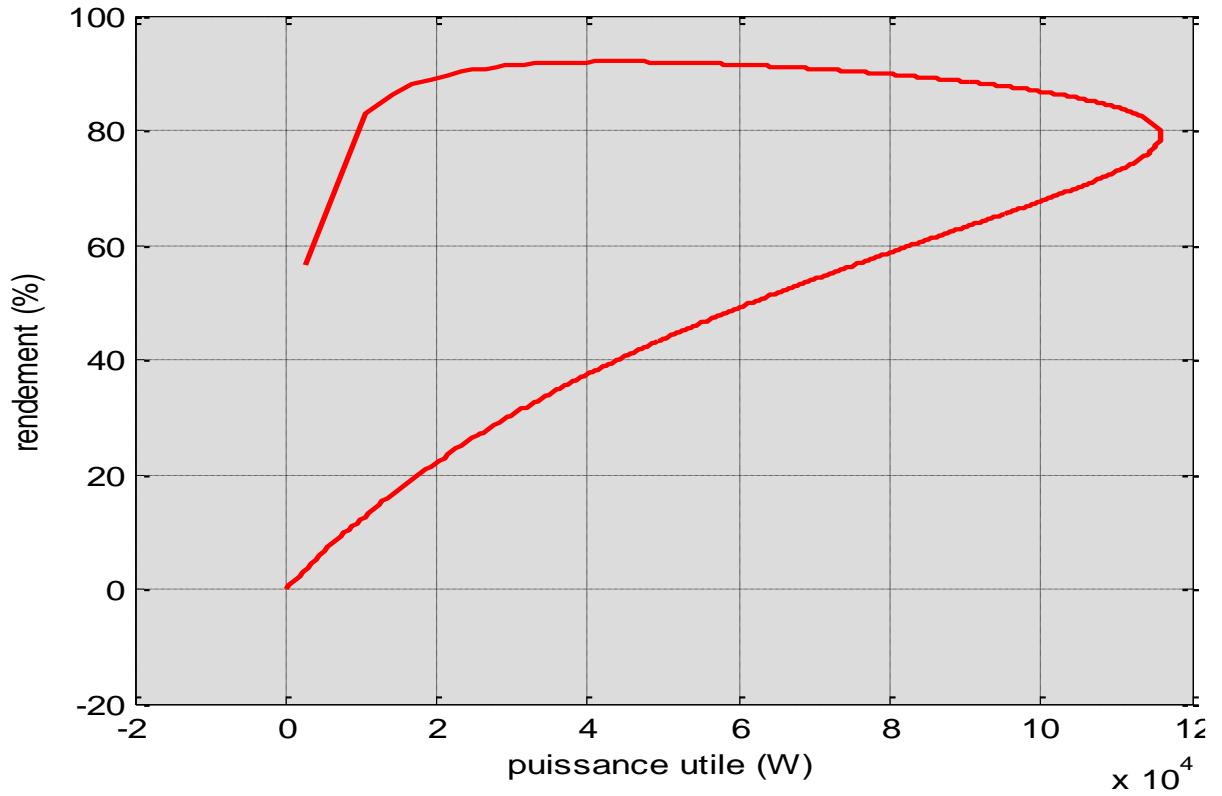


Figure (III.15) : Variation du rendement en fonction de la puissance utile

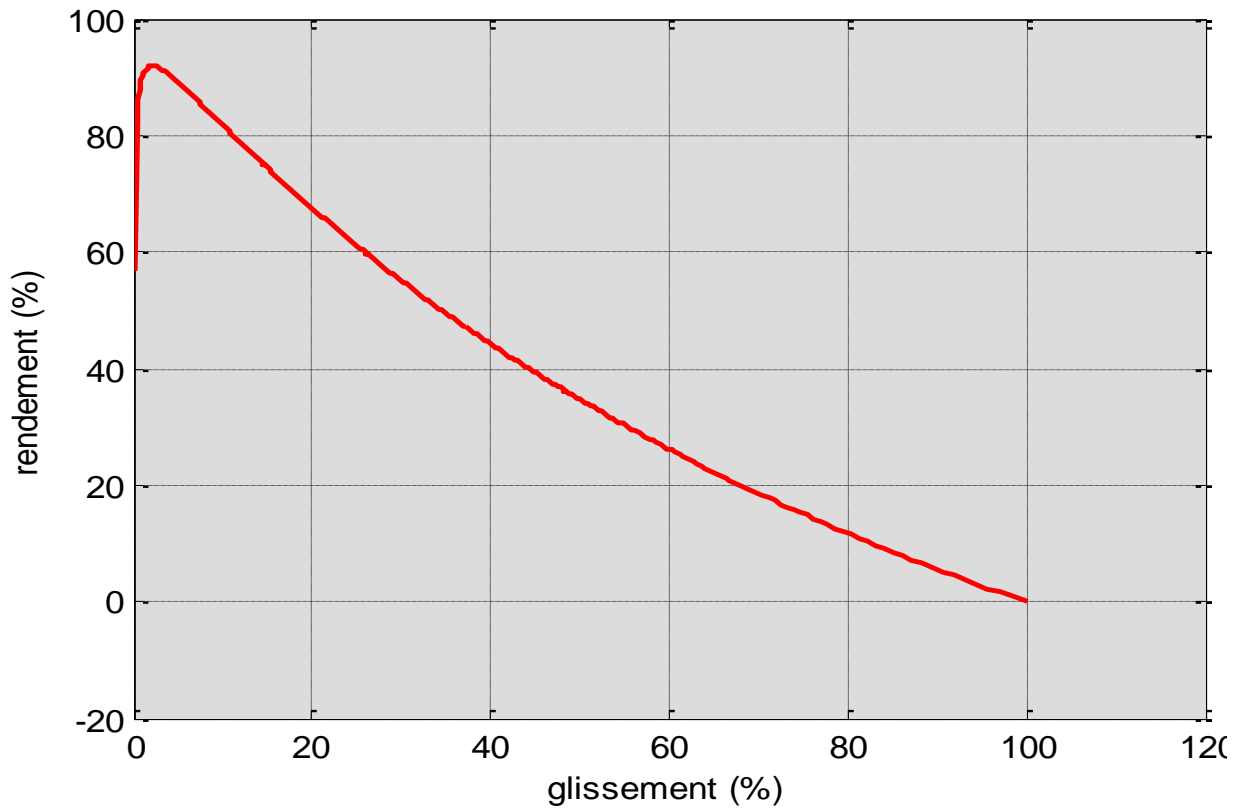


Figure (III.16) : Variation du rendement en fonction du glissement

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqués avec détails la méthode et les étapes de construction de diagramme de cercle. En exploitant les résultats de ce diagramme et en élaborant un programme Matlab, ce qui nous a mené à la simulation des déférentes caractéristiques de notre moteur asynchrone.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Dans ce mémoire on s'est intéressé à la détermination des caractéristiques en charge d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné par la méthode de diagramme de cercle. Ce moteur a une puissance supérieure à 15 KW. La méthode de diagramme de cercle nécessite la réalisation de trois essais à savoir : L'essai à vide, l'essai en court-circuit, la mesure des résistances des enroulements statoriques et rotoriques. Vu la difficulté d'effectuer ces essais localement, nous avons opté pour les résultats de certains essais déjà connus.

Nous avons débuté notre travail avec un aperçu et des généralités sur le moteur asynchrone. Nous avons ensuite rappelé le fonctionnement du ce moteur en aboutissant au schéma équivalent et au bilan de puissance. La méthode de diagramme de cercle est entamé par la présentation des résultats des essais sélectionnés le rappel des étapes et la procédure de la construction de ce diagramme.

En se basant sur les résultats de la construction de ce diagramme et l'élaboration d'un organigramme de calcul, la majorité des caractéristiques du moteur sont obtenus. Les résultats obtenus sont en accord avec la théorie.

La méthode de diagramme de cercle permet la prédétermination des caractéristiques en charge d'un moteur asynchrone triphasé sans le recours à l'essai en charge donc avec un minimum d'énergie.

Ce travail nécessite comme même à une extension en particulier au cas de la génératrice asynchrone.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BENAMROUCHE Nacereddine. Identification des paramètres électriques de la machine asynchrone à cage d'écureuil. Mémoire de master. Tizi Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [2] BENDAOU. Théorie des machines asynchrones. Sidi Bel Abbès : Université Djillali Liabès.
- [3] GHERAISSA Othmane. Modélisation et simulation d'un moteur asynchrone alimenté par générateur diesel et commandé par onduleur de tension multi-niveaux. Mémoire de master. El Oued : Université Hamma Lakhdar, 2018.
- [4] HAMMOUM Amar. Modélisation et simulation d'un variateur de vitesse d'un moteur asynchrone. Mémoire de master. Blida : Université Saad Dahled, 2015.
- [5] GHERBI Allel. Commande d'un moteur asynchrone par la logique floue adaptative. Mémoire de master. Bouira : Université Akli Mouhand Oulhadj, 2018.
- [6] CHERIF Hakima. Détection des défauts statoriques et rotoriques dans la machine asynchrone en utilisant l'analyse par FFT et ondelettes. Mémoire de magister. Biskra : Université Mohamed Khider, 2014.
- [7] GAETAN Didier. Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone présence de défaillances. Thèse de doctorat d'université. Nancy : Université Henry Poincaré, 2004.
- [8] BOUDJTAT Walid. Étude et simulation d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur de tension à commande MLI. Mémoire de master. Annaba : Université Mokhtar Badji, 2017.
- [9] André Fouille, Problèmes électrotechniques à l'usage des ingénieurs ,Tome 2 (machines électriques) ,Dunod,1978