

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude
de MASTER ACADEMIQUE**
Spécialité : **Machine Electrique**
Filière : **Génie Electrique**

Présenté par
Mustapha Tabbou
Hamza Takilt

Mémoire dirigé par **Rabah Khaldi**

Thème

**Estimation des pertes fer dans une machine
asynchrone à cage d'écureuil de 2.2 KW**

Mémoire soutenu publiquement le 12 juillet 2017 devant le jury composé de :

M Mohand Tahar Belassel

MCCA, UMMTO, Président

M Rabah Khaldi

MACA, UMMTO, Rapporteur

M Azouz Miouat

MACA, UMMTO, Examineur

M AbdElGhani Kimouche

MACA, UMMTO, Examineur

Laboratoire d'électrotechnique

Remerciements

Au terme de ce travail. Tout d'abord, nous remercions le dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, la force, la volenter, la patience nécessaire pour réaliser ce modeste travail.

Egalement, nous tenons à remercier notre promoteur Mr : KHALDI RABAH pour ces orientations, ces conseils et son soutien le long de ce travail qu'il trouve toutes les expressions de notre respect.

Nous remerciant vivement les membres de jury qui ont acceptés d'examiner notre travail.

Nous remerciant aussi madame RAJA NADIA qui nous a aidée à faire ce mémoire.

En fin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribués de près et de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

A ceux qui sont les plus chères au monde, ma mère et mon père pour leur sacrifices, leur encouragement, leur confiance et qui m'ont apporté leur soutien depuis toujours.

A mes frères et ma sœur.

A toute ma famille.

A mon binôme et sa famille.

A tous mes amis.

Mustapha

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre projet ainsi qu'à :

Celle qui m'a élevé, ma mère, et celui qui m'a toujours soutenu et aidé dans toute ma vie mon père.

Egalement à mes sœurs et mon frère.

Et une dédicace spéciale à tous mes amis sans exceptions.

A tous ceux qui ont une bonne impression dans mon cœur.

HAMZA

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre1 : généralité et différentes pertes dans un moteur asynchrone à cage

I-1 Introduction	3
I-2 Généralités sur la machine asynchrone	3
I-2-1 Définition et représentation de la machine asynchrone à cage	3
I-2-2 Constitution d'un moteur asynchrone	4
I-2-3 Principe de fonctionnement	6
I-3 Bilan de puissance et des pertes	8
I-3-1 Le bilan de puissance	9
I-3-1-e Rendement.....	11
I-3-2 Définition des différentes pertes dans une machine asynchrone a cage	11
I-3-2-1 Pertes dans le circuit électrique.....	11
I-3-2-2 Pertes dans le circuit magnétique.....	12
I-3-3 Pertes supplémentaires.....	13
I-3-3-1 Pertes fer supplémentaire.....	14
I-3-3-2 Pertes supplémentaires dans le circuit électrique.....	14
I-3-3-3 Pertes supplémentaires dans le circuit magnétique.....	15
I-3-4 Pertes mécaniques.....	15
I-4 Conclusion.....	15

Chapitre II : calcul des pertes fer par la méthode de dimensionnement

II-1 Introduction.....	16
II-2 Calcul des pertes fer par la méthode de dimensionnement.....	16
II-2-1 Pertes magnétiques.....	16
II-2-1-a Pertes dans la culasse statorique.....	16
II-2-1-b Pertes dans les dents statorique.....	17
II-2-2 Pertes magnétiques supplémentaires d'acier.....	18
II-2-2-a Pertes à la surface du rotor (pertes superficielles).....	18
II-2-2-b Pertes par pulsation du flux dans les dents.....	19
II-2-2-c Pertes magnétiques supplémentaires total dans l'acier.....	19
II-2-2-d Pertes magnétiques total dans l'acier.....	20
II-2-3 Pertes mécaniques.....	20
II-2-4 Résultats de calcul des pertes.....	20
II-2-5 Commentaire du tableau.....	21
II-3 Etude de la machine asynchrone à cage en utilisant le logiciel FEMM (Finis Element Method Magnetique).....	21
II-3-1 Présentation de la structure étudiée.....	22
II-3-2 Tracé de l'arbre.....	22
II-3-3 Tracé de l'encoche du rotor.....	22
II-3-4 Tracé de l'encoche du stator.....	22
II-3-5 Tracé de la machine asynchrone a cage d'écureuil complète.....	23
II-3-6 Le maillage.....	23
II-3-7 La répartition des lignes de champ.....	24

Sommaire

II-3-8 La densité de flux magnétique	24
II-3-9 Distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer (cas linéaire)	25
II-3-10 Effet de saturation sur le fer dans le stator et le rotor	25
II-3-10-a Modèle linéaire	25
II-3-10-b Modèle non linéaire	26
II-3-11 La densité de flux magnétique	26
II-3-12 Distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer (cas non linéaire).....	26
II-3-13 La densité de courant	27
II-4 Evolution des pertes fer en fonction des paramètres des formules	28
II-4-1 Evolution des pertes fer en fonction de K_{dc} et K_{dz}	28
II-4 -2 Evolution des pertes en fonction de l'induction pour des valeurs des coefficients maximum.....	31
II-4-3 Evaluation des pertes fer dans la culasse et les dents en fonction de l'induction pour différentes valeurs de (K_{dc} et K_{dz})	32
II-4-4 Evolution des pertes fer dans le stator de la machine en fonction de l'induction pour différentes valeur des pertes spécifiques.....	33
II-5 Conclusion	34

Chapitre III: calcul analytique des pertes fer

III-1 introduction	35
III-2 Formulation de STEINMETZ.....	35
III-2-1. Formules analytiques sur les pertes fer statorique (massique).....	35
III-2-1–a. Pertes massiques par hystérésis (W/Kg).....	35
III-2-1–b. Pertes massiques par courant de Foucault (W/Kg).....	36
III-2-1–c. Pertes massiques globale (W/Kg)	36

Sommaire

III-2-1-d. Pertes globales (W)	36
III-3 Formulation de LIWSCHITZ	37
III-3-1 Pertes spécifiques	37
III-3-1-a Pertes spécifiques par hystérésis (W/Kg)	37
III-3-1-b Pertes spécifiques par courant de Foucault (W/Kg)	37
III-3-1-c Pertes spécifiques globales (W/Kg)	37
III-3-1-d Pertes spécifiques globales (W).....	38
III-4-1. Résultats analytiques obtenus par formulations de STEINMETZ et LIWSCHITZ pour le calcul des pertes fer.....	38
III-4-2. Interprétation des résultats obtenus	39
III-4-3. Conclusion.....	39

Chapitre IV : Mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage

IV-1 Introduction	40
IV-2 Présentation du moteur à étudier	40
IV-3 Description du banc d'essai.....	40
IV-4 Détermination de la résistance statorique R_s	41
IV-5 Essai à vide	42
IV-5-1 Détermination des pertes fer et des pertes mécaniques.....	42
IV-5-2 Schéma de montage.....	43
IV-5-3 Les résultats de mesure	44
IV-5-4 Le graphe de la puissance absorbé P_0 en fonction de la tension U	45
IV-5-5 Résultats de calcul des pertes fer et des pertes mécaniques.....	46

Sommaire

IV-5-6 Le graphe des pertes fer et des pertes mécaniques en fonction de la tension U^2	48
IV-6 Essai au synchronisme	49
IV-6-1 Montage de mesure au synchronisme	50
IV-6-2 Résultats de mesure au synchronisme.....	51
IV-6-3 Exploitation des résultats obtenue par l'essai au synchronisme	51
IV-6-4 Comparaison des résultats obtenue par l'essai à vide et l'essai au synchronisme	51
IV-7 Comparaison des résultats	52
IV-7-1 Commentaire sur le tableau.....	52
IV-7-2 Courbes des pertes par différentes méthodes en fonction de l'induction	52
IV-8 Conclusion.....	53
Conclusion générale.....	54

Bibliographie

Annexes

Nomenclature

Nomenclature

g : glissement

N_s : vitesse synchronisme [tr/min]

N : vitesse de rotation [tr/min]

p : Nombre de paires de pole

f : la fréquence de la source [Hz]

ω_s : vitesse synchrone du champ tournant [rad/s]

ω_s : Pulsation électrique synchrone du champ tournant [rad/s]

P_a : Puissance électrique absorbée [W]

U : tension composée du moteur [V]

I : courant absorbé [A]

$\cos\varphi$:facteur de puissance

P_{em} : Puissance électromagnétique [W]

P_m : Puissance mécanique [W]

P_U : Puissance utile [W]

η : Rendement

P_{js} : Pertes par effet de joule au stator [W]

R : Résistance entre deux bornes de l'enroulement statorique

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

P_f : Pertes fer par courant de Foucault [W/Kg]

K_F : Coefficient caractéristique de la tôle.

B_{max} : Induction maximale à la fréquence f [T]

e_1 : Épaisseur de la tôle [m]

P_{hys} : Puissance perdue par hystérésis [W/kg]

K_H : Coefficient des pertes par hystérésis

m_1 : Nombre de phase du stator

I_1 : Courant d'une phase au stator [A]

r : résistance d'une phase rotorique ramene au stator, a la température de fonctionnement [A]

K_i : Coefficient d'augmentation des pertes dues à l'effet de peau

K_{di} : Coefficient de distribution de l'enroulement statorique

P_{mec} : Pertes mécaniques [W]

n_1 : Vitesse de rotation asynchrone [tr/min]

D_{1ext} : Diamètre extérieure du stator [m]

k_t : Facteur de majoration, il est donne en fonction du nombre de paire de pôles et du diamètre extérieur du rotor

P_{fc1} : Pertes dans la culasse statorique [W]

B_{c1max} : Induction magnétique dans la culasse du stator [T]

$P_{10(50HZ)}$: Pertes spécifiques dans les tôles d'acier [W/kg]

K_{dc} : Coefficient total de majoration des pertes tenant compte de l'imperfection de la technologie

$\beta = 3/2$: Coefficient de dilation des tôles

G_{c1} : Poids total de la culasse [Kg]

l_i : Longueur virtuelle de l'induit [mm]

h_{c1} : Hauteur du dos du stator [mm]

γ_c : Masse volumique de l'acier [kg/m^3]

K_{fer} : Coefficient de remplissage du paquet de tôle statorique et rotorique

P_{fz1} : Pertes dans les dents statorique [W]

G_{z1} : Poids total des dents statorique [kg]

h_{z1} : Hauteur de la dent statorique

b_{z1} : Largeur de la dent statorique

K_{dz} : Coefficient de majoration des pertes des dents statorique

B_{z1max} : Induction maximale dans la dent statorique

P_{acp} : Pertes magnétiques [W]

P_{sr} : Pertes à la surface du rotor [W]

t_2 : Pas dentaire rotorique

b_{f2} : Largeur de la fente rotorique [mm].

Z_2 : Nombre d'encoche rotorique

K_{02} : Coefficient donnée en fonction de diamètre extérieure

P_{pul2} : Pertes par pulsation du flux dans les dents [W]

B_{z2max} : Induction maximale dans la dent rotorique [T]

δ : Entrefer [mm]

G_{z2} : Poids total des dents rotorique [kg]

b_{z2} : Largeur de la dent du rotor [mm]

h_{c2} : Hauteur de la culasse rotorique [mm]

P_{acsup} : Pertes magnétiques supplémentaires total dans l'acier [W]

f_h : Facteur de réaction qui varie en fonction de l'épaisseur réduite

σ_h : Constante du matériau

σ_w : Constante du matériau.

f_w : Facteur de réaction qui varie en fonction de l'épaisseur réduite

$R_{s(26^\circ C)}$: Résistance statorique a $26^\circ C$

T_2 : Température finale

T_1 : Température initiale

K : Constante pour le cuivre égale a $235^\circ C$

Liste des figures

Liste des figures

Figure I-1: la machine asynchrone

Figure I-2 : le stator d'une machine asynchrone

Figure I-3 : structure de la cage d'écureuil

Figure I-4 : schéma de principe du fonctionnement du moteur asynchrone

Figure I-5: Bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone

Figure I-6 : courant de Foucault dans un noyau magnétique

Figure II-1 : géométrie complète de la machine

Figure II-2 : Maillage élément finis de la machine

Figure II-3 : répartition des lignes de champ dans la machine à vide

Figure II-4 : lignes du champ magnétique et la densité du flux magnétique (cas linéaire)

Figure II-5 : induction tangentielle au milieu de l'entrefer à vide

Figure II-6 : induction radiale au milieu de l'entrefer à vide

Figure II-8 : ligne de champ et la densité du flux magnétique à vide (cas non linéaire)

Figure II-9 : induction radiale au milieu de l'entrefer à vide

Figure II-10 : induction tangentielle au milieu de l'entrefer à vide

Figure II-11 : La distribution de la densité des courants à vide

Figure II-12: variation des pertes fer dans la culasse en fonction des coefficients de majoration (cas linéaire)

Figure II-13: variation des pertes fer dans les dents en fonction des coefficients de majoration (cas linéaire)

Figure II-14: Variation des pertes fer dans la culasse en fonction des coefficients de majoration (cas non linéaire)

Figure II-15: variation des pertes fer dans les dents en fonction des coefficients de majoration (cas non linéaire)

Figure II-16: Variation des pertes fer en fonction de l'induction

Figure II-17 : Variation es pertes fer dans les dents et la culasse en fonction de l'induction et pour différents valeurs des coefficients

Figure II-18 : Variation des pertes fer en fonction de l'induction et pertes spécifiques

Figure II-19 : les pertes dans la culasse et dans les dents en fonction de l'induction

Figure IV-1 : Le circuit équivalent à vide

Figure IV-2 : circuit de mesure à l'essai à vide

Figure IV-3 : la puissance en fonction de la tension U

Figure IV-4 : les pertes fer et les pertes mécaniques en fonction de U^2

Figure IV-5 : Montage de mesure au synchronisme

Figure IV-6 : les courbes des pertes fer pour les trois méthodes de calcul

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II- a : Résultats du calcul par dimensionnement

Tableau II-B : Paramètres utilisés pour l'étude de l'évolution des pertes fer

Tableau II-c : Paramètres utilisés pour l'étude de l'évolution des pertes fer

Tableau II-d : Paramètres utilisés pour l'étude de la variation des pertes

Tableau II-e : Paramètres utilisés pour l'étude de la variation des pertes

Tableau III-a: Quelques formulations des pertes fer dérivent de la formulation de Steinmetz et Liwschitz

Tableau III- b: Résultats de calcul des pertes fer globales par les deux formulations

Tableau IV- a: Résultats de mesure de l'essai en courant continu

Tableau IV-b : Résultats obtenue de l'essai à vide

Tableau IV-c : Résultats de calcul de l'essai a vide

Tableau IV-d : Résultats de calcul des pertes fer et des pertes mécaniques obtenues de l'essai à vide

Tableau IV-e : Résultats obtenue de l'essai au synchronisme

Tableau IV-f : Résultats de calcul des pertes fer

Tableau IV-g : Résultats de calcul des pertes fer par différentes méthodes

Introduction générale

Introduction générale

Les machines électriques sont des machines électriques tournantes réversibles, c'est-à-dire, qu'elles peuvent fonctionner en moteur pour transformer de l'énergie électrique vers l'énergie mécanique ou en générateur pour transformer l'énergie mécanique en énergie mécanique. Parmi ces machines on trouve la machine asynchrone.

Aujourd'hui, la machine asynchrone de par sa construction, est la machine électrique la plus robuste et la moins chère du marché. Cette machine est largement utilisée dans la plupart des entraînements électriques dans plusieurs domaines industriels, notamment pour des applications à vitesse variable.

En règle générale, la machine asynchrone est fabriquée à base de matériaux ferromagnétiques afin d'assurer une induction magnétique élevée avec un champ magnétique minimal dans le but de réduire la taille de la machine ou d'augmenter son efficacité

Le principale phénomène pris en considération au niveau de matériau lors de la conception des machines asynchrones est les pertes fer (perte magnétiques). Pour concevoir une machine asynchrone performante, il faut disposer d'un matériau dont les pertes fer sont faibles. Les caractéristiques standards sont alors insuffisantes pour prédire le comportement du circuit magnétique. Ainsi, l'évolution des pertes reste aujourd'hui un problème délicat que les constructeurs de dispositif électrique contournent par l'utilisation de facteurs correctifs empiriques. La prédiction des pertes fer, fait partie des problèmes scientifiques qui nécessitent différentes approches et qui concernent plusieurs domaines des physiques, qui vont de l'étude microscopique du comportement des matériaux magnétiques lorsqu'ils sont intégrés dans un ensemble de conversion d'énergies.

Dans ce mémoire, nous intéressons à l'estimation des pertes fer, d'une machine asynchrone à cage d'écureuil, par formulation théorique et expérimentale le manuscrit du mémoire et divisé en quatre chapitre

Le premier chapitre, porte sur les généralités d'un moteur asynchrone et les différentes pertes engendrés pendant son fonctionnement.

Le deuxième chapitre porte sur le calcul des pertes fer par la méthode de dimensionnement, et la méthode numérique (méthode d'élément fini).

Introduction générale

Le troisième chapitre porte sur le calcul des pertes fer on utilisant la méthode analytique, et pour ce faire on s'est servis de deux formulations différentes qui sont STEINMETZ et LWISCHITZ.

Le quatrième chapitre consiste à faire des mesures expérimentales des pertes fer dans le laboratoire pour les mesurée, et les comparées à celles trouvées théoriquement.

Enfin nous termineront cette étude par une conclusion générale.

Chapitre I :

**Généralités et différentes
pertes dans un moteur
asynchrone à cage**

I-1 Introduction

Le moteur asynchrone à cage est le type de moteur le plus utilisé dans l'industrie. Il est aussi connu comme étant un moteur à champ tournant dans la vitesse n'est pas constante mais varie avec des valeurs assez continues. Pendant son fonctionnement, la machine asynchrone transforme l'énergie électrique en énergie mécanique ou l'inverse. [1]

Cette transformation va créer certaines pertes d'énergie sous forme de puissance, ces pertes sont réparties comme suit :

- Les pertes dans le circuit électrique (les pertes joules rotoriques et statorique).
- les pertes dans le circuit magnétique (les pertes par courant de Foucault et les pertes par hystérésis).
- les pertes mécaniques (les pertes par frottement et les pertes par ventilation).
- Les pertes supplémentaires.

Le premier chapitre de ce travail est un rappel sur les généralités et les différentes pertes d'une machine asynchrone à cage.

I-2 Généralité sur la machine asynchrone

I-2-1 Définition et représentation de la machine asynchrone à cage

Le moteur asynchrone est une machine tournante aussi appelée moteur à induction. Il fonctionne avec du courant alternatif. Sa particularité est de fonctionner avec un induit en court-circuit, sur lequel il n'a pas besoin de connexion électrique. Elle possède un rotor «en cage d'écureuil».

Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de rotation du rotor est différente de celle du champ tournant. [2]

La machine est représentée dans la figure suivante :

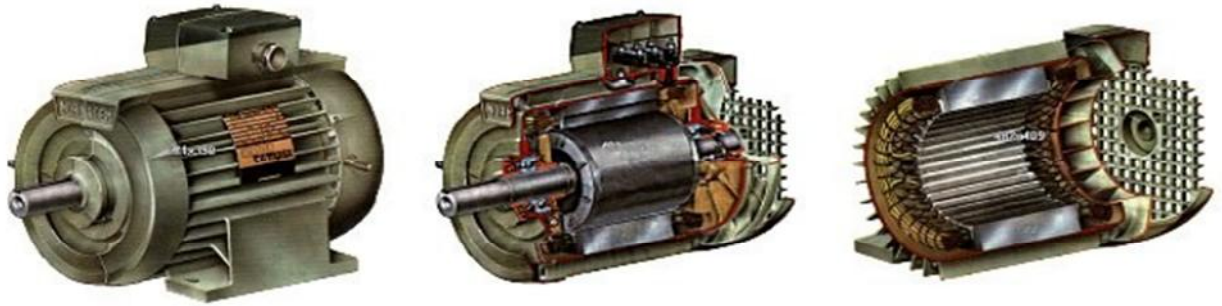


Figure I-1 : la machine asynchrone

I-2-2 Constitution d'un moteur asynchrone

On se propose dans cette partie de donner quelques précisions sur les éléments constitués des machines asynchrones. Cette description va nous permettre de comprendre de quelle façon le système est réalisé physiquement. Les machines asynchrone triphasée peuvent se décomposer de deux parties essentielles : [3]

- une partie fixe (le stator).
- une partie tournante (le rotor).

I-2-2-a) Le stator

Le stator d'un moteur asynchrone représente la partie fixe. Il comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles minces identiques. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet de courant de Foucault. Elles sont assemblées les unes aux autres pour former le circuit magnétique statorique. Ces tôles sont percées de trous à leur périphérie intérieure. L'alignement de ces trous forme des encoches dans lesquelles on loge un bobinage triphasé. Cette couronne est serrée dans une carcasse en fonte. [4]

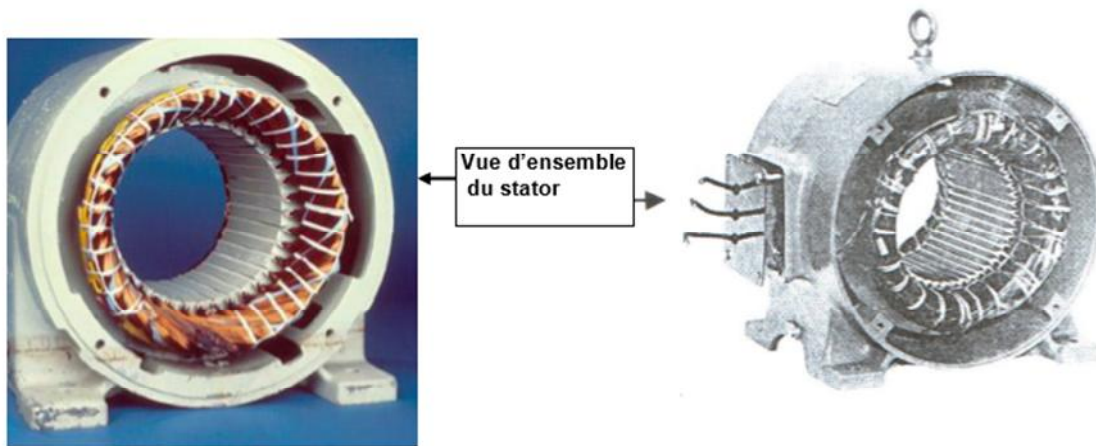


Figure I-2: le stator d'une machine asynchrone

I-2-2-b) Le rotor

Le rotor est la partie mobile dans la machine asynchrone. Il se compose d'un cylindre fait de tôles empilées. Des encoches sont percées à la périphérie extérieure destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0,4 à 2 mm seulement. Il existe deux types de rotor : le rotor à cage d'écureuil et le rotor bobiné. Dans notre cas on s'intéresse au rotor à cage d'écureuil. Ce rotor est constituées de barres de cuivre nues introduites dans les encoches ; ces barres sont soudées ou rivées à chaque extrémité à deux anneaux qui les court-circuitent. L'ensemble ressemble à une cage d'écureuil d'où le nom de rotor à cage d'écureuil. Dans les moteurs de petite moyenne puissance, les barres et les anneaux sont formés d'un seul bloc d'aluminium coulé. [4]

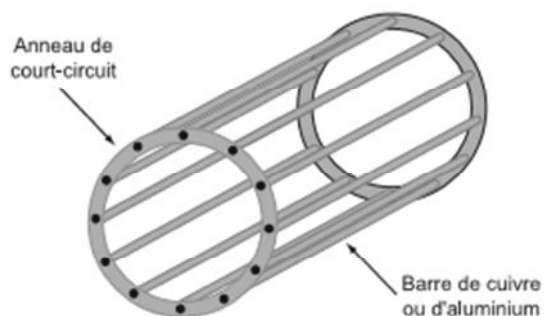


Figure I-3 : structure de la cage d'écureuil

I-2-3 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil est basé sur 3 principes :

- Création d'un champ magnétique par un courant (loi d'Ampère)
- Force maximale exercée sur un conducteur placé dans un champ magnétique (Loi de LORENZ)
- Déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique et tension induite ou loi de l'induction électromagnétique (Loi de FARADAY) [4]

Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives

La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant I . C'est une grandeur vectorielle. Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés. Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant. [5]

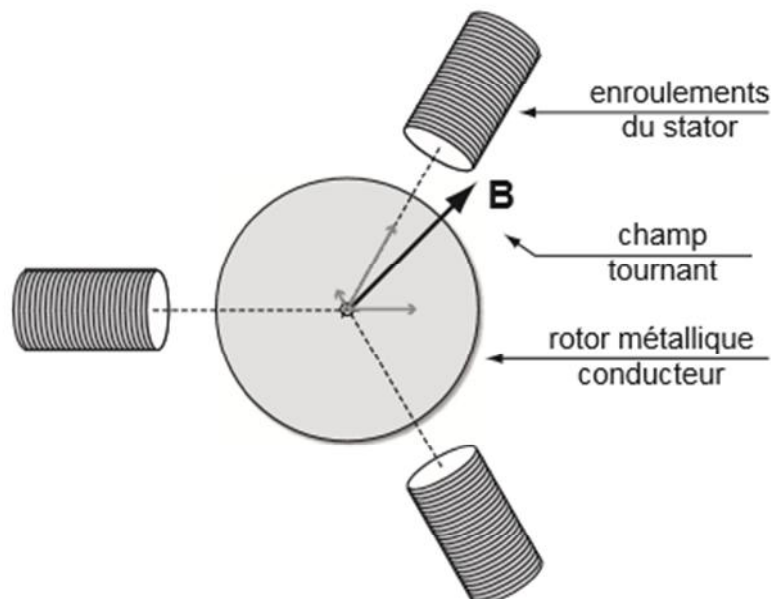


Figure I-4 : schéma de principe du fonctionnement du moteur asynchrone

Chapitre I: Généralités et différentes pertes dans un moteur asynchrone à cage

Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme.

Cette cage est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits. Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. D'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier.

Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone. [5]

I-2-4 Le glissement

Le glissement est la différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique. Nous le noterons g . Le glissement dépend de la charge mécanique du moteur: plus le moteur doit délivrer un couple important, plus le rotor glisse. Le glissement est défini par les vitesses de synchronismes et du rotor selon la relation : [6]

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \quad \text{(I-1)}$$

Avec :

g : le glissement

N_s : vitesse synchronisme [tr/min]

N : la vitesse de rotation [tr/min]

I-2-5 La vitesse de synchronisme

La vitesse de synchronisme dépend de la fréquence d'alimentation f et du nombre de paires de pôles p constituant le stator. [6]

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad \text{[tr/min]} \quad \text{(I-2)}$$

Avec :

P : Nombre de paires de pole

N_s : vitesse synchronisme [tr/min]

f : la fréquence de la source [Hertz]

I-2-6 Le champ tournant

C'est la variation du flux magnétique créer par les courants statoriques .et leur fréquence de rotation est imposé par la fréquence des courants statorique. C'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique la vitesse de ce champ est appelle vitesse de synchronisme ω_s en [rad/s] [7]

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} \quad [\text{rad/s}] \quad \text{(I-3)}$$

Ou bien :

$$\omega_s = \frac{W_s}{P} \quad [\text{rad/s}] \quad \text{(I-4)}$$

Avec :

ω_s : vitesse mécanique synchrone du champ tournant [rad/s]

W_s : Pulsation électrique synchrone du champ tournant [rad/s]

P : Nombre de paires de pole

N_s : vitesse synchronisme [rad/s]

I-3 Bilan de puissance et des pertes

Le bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone est reporté sur la **Figure I-5**. Le moteur asynchrone absorbe sur le réseau une puissance électrique active triphasée P_a .

Une partie de cette puissance est dissipée par effet Joule dans les enroulements du stator P_{js} . Par la suite, le champ magnétique inducteur entraîne des pertes dans le fer P_f , par hystérésis et par courant de Foucault. Le reste de la puissance P_{tr} est transmis au rotor à travers l'entrefer. La majeure partie de cette puissance est alors utilisée pour produire une puissance électromagnétique P_{em} , tandis que la présence d'un courant induit dans le rotor

Chapitre I: Généralités et différentes pertes dans un moteur asynchrone à cage

provoque des pertes par effet Joule P_{JR} . La puissance électromagnétique fournie par le stator est responsable de la mise en mouvement du rotor, qui produit la puissance mécanique utile P_U qui sera par la suite transmise à la charge par le biais d'un arbre de transmission ou d'une courroie de distribution. Toutefois, dans le mouvement du rotor, une partie de la puissance est perdue par divers mécanismes de frottements, c'est ce que l'on appelle les pertes rotationnelles P_{rot} . [2]

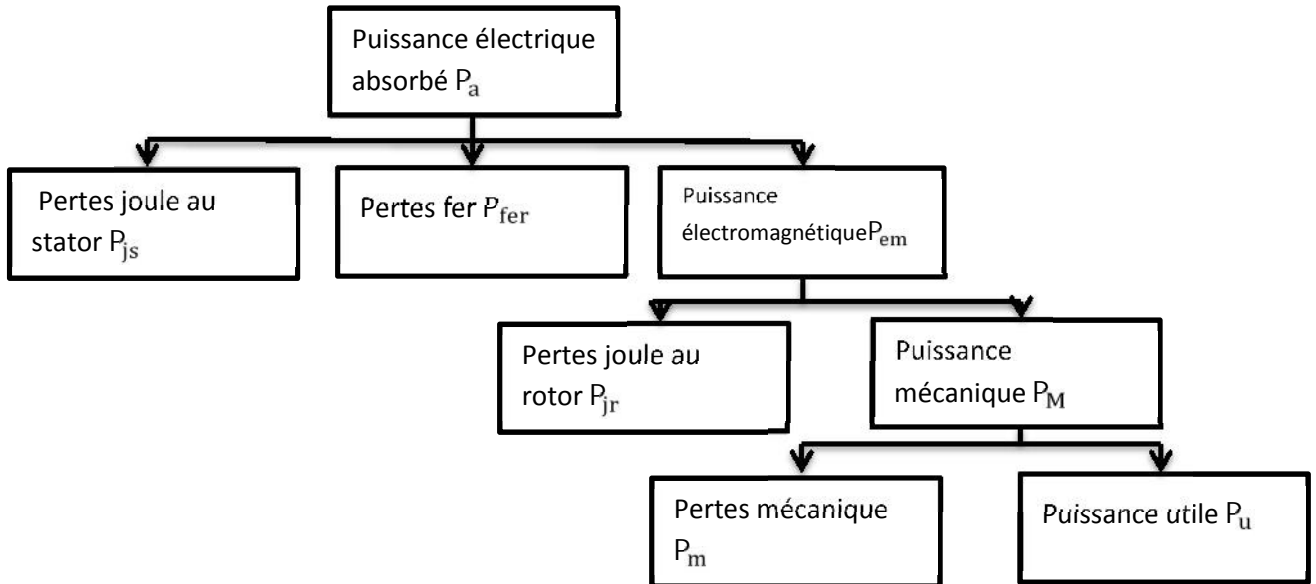


Figure I-5: Bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone.

I-3-1 Le bilan de puissance

Nous donnons par la suite les différentes relations permettant de calculer les puissances impliquées dans le moteur asynchrone.

I-3-1-a Puissance électrique absorbée

La puissance absorbée par un moteur asynchrone est une puissance active électrique. Lorsque le moteur est connecté à un réseau triphasé [2]

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (I-5)$$

Avec:

P_a : Puissance électrique absorbé [W]

U : tension compose du moteur [V]

I : courant absorbe [A]

$\text{Cos}\varphi$:facteur de puissance

I-3-1-b Puissance électromagnétique P_{em}

La puissance électromagnétique P_{em} transmise au rotor est égale à :

$$P_{em} = P_a - (P_{js} + P_{fer}) \quad (\text{I-7})$$

I-3-1-c Puissance mécanique

La puissance développée par le rotor égale à la puissance électromagnétique que le stator lui fournit diminuée des pertes fer et des pertes joule au rotor [2]

$$P_m = P_{em} - P_{ferR} - P_{jr} \quad (\text{I-8})$$

Avec :

P_m : La puissance mécanique [W]

I-3-1-d Puissance utile

De la puissance mécanique on soustrait les pertes mécaniques pour arriver à la puissance utile

$$P_U = P_m - P_{mec} \quad (\text{I-9})$$

Avec :

P_U : La puissance utile [W]

P_{mec} : Les pertes mécaniques

I-3-1-e Rendement

C'est le rapport entre la puissance utile mécanique qu'il fournit et la puissance électrique qu'il absorbe .de tel sorte que

$$= \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{I-10})$$

Avec :

P_u : La puissance utile [W]

P_a : La puissance électrique active [W]

I-3-2 Définition des différentes pertes dans une machine asynchrone a cage

I-3-2-1 Pertes dans le circuit électrique

On a deux types de pertes dans le circuit électrique :

I-3-2-1-a Pertes par effet de joule au stator P_{js}

Le stator peut être câblé en étoile ou en triangle. Puisque le moteur constitue un récepteur triphasé équilibré, alors : [2]

$$P_{js} = 3.r. I^2 \quad (\text{I-11})$$

Avec :

R : la résistance entre deux bornes

Dans le montage étoile, la résistance entre deux bornes R est reliée à la résistance de chaque enroulement r par la relation :

$$R = 2r \quad (\text{I-12})$$

Dans le montage triangle, cette relation devient :

$$R = \frac{2}{3} r \quad (\text{I-13})$$

I-3-2-1-b Pertes par effet de joule dans le rotor P_{jr}

Les pertes Joule au rotor sont fonctions de la puissance transmise à celui-ci. On peut par ailleurs montrer qu'elles sont aussi fonctions du glissement. En effet, les grandeurs P_{jr} et P_{tr} sont liées par la relation : [2]

$$P_{jr} = g \cdot P_{tr} \quad (\text{I-14})$$

I-3-2-2 Pertes dans le circuit magnétique

Ces pertes sont situées dans les parties magnétiques du moteur. On distingue deux composantes principales : les pertes par hystérésis et les pertes par courant de Foucault. Ces deux types de pertes apparaissent dans les différentes parties du circuit magnétique et n'y sont pas réparties uniformément. [9]

I-3-2-2-a Pertes par courant de Foucault :

Le flux magnétique généré par un bobinage est canalisé à l'intérieur du noyau magnétique. Le noyau magnétique est un circuit fermé reliant tous les bobinages. Une tension est induite autour du noyau magnétique. Le matériau magnétique a une résistivité finie, provoquant des courants induits qui circulent autour des lignes de flux magnétiques (**figure I-6**). La circulation de ces courants provoque des pertes appelées pertes par courants de Foucault. [8]

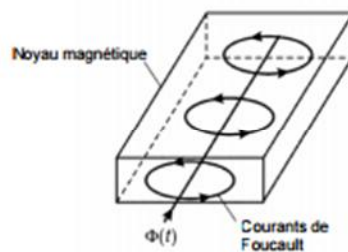


Figure I-6 : courant de Foucault dans un noyau magnétique

Les pertes par courants de Foucault dépendent de l'amplitude de l'induction (B), de la fréquence (f) et de l'épaisseur (e). Les pertes par courants de Foucault peuvent être approximées par l'expression suivante :

$$P_f = K_F (e_1 \cdot f \cdot B_{max})^2 \quad (\text{I-15})$$

Avec :

P_f : Pertes fer par courant de Foucault [W/Kg]

K_F : Coefficient caractéristique de la tôle.

B_{max} : Induction maximale à la fréquence f [T]

f : la fréquence de la source [Hertz]

e_1 : Épaisseur de la tôle [m]

I-3-2-2-b Pertes par hystérésis

Les pertes par hystérésis représentent, la puissance nécessaire à l'aimantation cyclique alternative du fer. Elles sont directement liées à l'évolution irréversible de la structure cristalline du matériau constituant les tôles. En effet, l'organisation de la matière en domaine de Weiss se modifie sous l'effet de variation en intensité et/ou en direction du champ magnétique. Les pertes engendrées sont proportionnelles à l'air du cycle d'hystérésis, au nombre de cycles d'aimantation et sont indépendantes de l'épaisseur de la tôle. [9]

La formule qui nous permet de calculer ces pertes est donnée comme suit :

$$P_{hys} = K_H \cdot f \cdot B_{max}^2 \quad \text{(I-16)}$$

Avec :

P_{hys} : Puissance perdue par hystérésis [W/Kg]

K_H : Coefficient des pertes par hystérésis

B_{max} : Induction maximale à la fréquence f [T]

I-3-3 Pertes supplémentaires

Elles sont définies comme étant des pertes additionnelles qui surviennent lors de la mise en charge du moteur. En alimentation sinusoïdale, elles ont comme origine le flux fondamental et la présence des flux d'harmoniques supérieures dus à la denture, à la saturation, etc. Suivant le cas, elles se localisent principalement dans les dents, dans les armatures, les barres et anneaux et les tôles d'extrémité. [10]

I-3-3-1 Pertes fer supplémentaire

C'est la somme des pertes à la surface du rotor, et les pertes harmoniques du flux dans les dents rotoriques et statoriques.

Les pertes fer supplémentaire à la surface d'une couronne :

Ces pertes dues aux variations locales de l'induction provoquées à la surface d'un pôle par son déplacement relatif vis-à-vis des dents de l'induit. [7]

I-3-3-2 Pertes supplémentaires dans le circuit électrique

C'est des flux qui peuvent modifier la densité de courant en charge par création des courants de Foucault dans les encoches ainsi que ces flux provoquent une augmentation des pertes par effet de joule. [7]

I-3-3-2-a Pertes dues au flux de fuite de phase

Lorsque le nombre de phase soit fini entraîne une distribution non sinusoïdale de la force électromotrice (f.é.m.) dans l'entrefer, d où l'apparition des pertes non négligeable.

I-3-3-2-b Pertes dues aux flux de fuite d'encoches statoriques et rotoriques

Les flux de fuites d'encoches coupent les conducteurs, en produisant à l'intérieure de ceux –ci des courants de foucault. la densité de courant dans ces conducteurs n est alors plus uniforme mais varie en amplitude et en phase selon la hauteur à laquelle en se place dans l encoche ce qui provoque une augmentation apparente de la résistance du conducteur et donc des pertes dissipées dans celui-ci. Ce qui traduit dans cette expression : [7]

$$P_{de} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot \dot{r} \cdot K_i \cdot K_{di} \quad (\text{I-17})$$

m_1 : Nombre de phase du stator

I_1 : Courant d'une phase au stator

\dot{r} : La résistance d'une phase rotorique ramené au stator, a la température de fonctionnement

K_i : Coefficient d'augmentation des pertes dues à l'effet de peau

K_{di} : Coefficient de distribution de l'enroulement statorique

I-3-3 Pertes supplémentaires dans le circuit magnétique

La distribution discontinue de la force électromagnétique(FMM) dans des machine entraine des pertes par pulsation dans les dents des encoches, et à la surface des pôles. [7]

I-3-4 Pertes mécaniques

Les pertes mécaniques prennent en compte tous les frottements dus à la rotation de la partie tournante de la machine. Elles apparaissent sous forme d'échauffement ou d'énergie cinétique fournie au fluide. Elles sont de multiples natures : [9]

- les pertes mécaniques provoquées par frottement dans les paliers ou dans les roulements,
- les pertes par ventilation nécessaires pour permettre la circulation de l'air.

Donc les pertes mécaniques peuvent être exprimées par la relation suivante :

$$P_{mec} = K_t (n_1/10)^2 (D_{1ext} \cdot 10^{-3})^4 \quad \text{(I-18)}$$

Avec :

n_1 : Vitesse de rotation asynchrone

D_{1ext} : Diamètre extérieure du stator

k_t : Facteur de majoration, il est donne en fonction de nombre de pair de pôles et de diamètre extérieure du rotor

$2p = 4$: $k_t = 1,3(1 - D_{1ext})$ pour $0,1 \leq D_{1ext} \leq 0,5$ m

$2p = 2$: $k_t = 2$

I-4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a défini les différentes parties constituant la machine asynchrone a cage, après on a décrit les différentes pertes.

Chapitre II :

**Calcul des pertes fer par la
méthode de
dimensionnement**

II-1 Introduction

La machine asynchrone à cage est comme les autres machines. Le passage du courant et le mouvement de rotation provoque plusieurs pertes d'énergies sous forme de pertes de puissance, on peut calculer ces pertes avec plusieurs méthodes.

Dans ce chapitre on va s'intéresser à la méthode de dimensionnement pour effectuer ces calculs. Cette méthode est basée sur le cahier de charge et les dimensions géométriques et électriques de la machine.

II-2 Calcul des pertes fer par la méthode de dimensionnement

II-2-1 Pertes magnétiques

Elles sont appelées aussi pertes fer du fait que les matériaux utilisés pour ce circuit sont habituellement à base de fer. Ces pertes regroupent les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault. Ces dernières correspondent à un déplacement des électrons libres du matériau sous l'effet d'une variation de flux magnétique, alors que les pertes par hystérésis correspondent à une modification locale du mouvement des électrons liés (au noyau), qui modifie l'orientation des moments magnétiques des atomes associés, sous l'effet de la variation de champ magnétique appliqué. [9]

II-2-1-a Pertes dans la culasse statorique

Pour évaluer les pertes dans la culasse statorique on multiplie les pertes spécifique calculer, pour une induction maximale dans la culasse (B_{clmax}) par la masse d'acier de la culasse, mais on tenant compte de la magnétisation qui est elliptique sur la frontière avec la couche des dents et pulsatrice sur la périphérie et de l'influence de l'usinage de l'isolation des tôles dans la culasse, on introduisant le coefficient de majoration. [11]

Les pertes dans la culasse est donne par la relation suivante :

$$P_{fc1} = P_{10(50HZ)} * K_{dc} * G_{c1} * (f_1 / 50)^\beta * B_{c1max}^2 \quad (II-1)$$

B_{c1max} : Induction magnétique dans la culasse du stator, calculé on fonction de B_δ (Annexe A).

$P_{10(50HZ)}$: Pertes spécifiques dans les tôles d'acier. On le prend 2,5 W/Kg.

K_{dc} : Coefficient total de majoration des pertes tenant compte de l'imperfection de la technologie, (Annexe B).

$K_{dc} = (1,3 \div 1,7)$ on le prend égal à 1,7.

f_1 : Fréquence du réseau d'alimentation.

$\beta = 3/2$: Coefficient de dilatation des tôles.

G_{c1} : Poids total de la culasse, il est donné par la formule suivante :(Annexe A).

$$G_{c1} = \pi(D_{1ext} - h_{c1}) * K_{fer} * l_i * h_{c1} * \gamma_c * 10^{-9} [\text{Kg}] \quad (\text{II-2})$$

l_i : Longueur virtuelle de l'induit.

h_{c1} : Hauteur du dos du stator [mm].

γ_c : Masse volumique $\gamma_c = 7,8 * 10^3 \text{ Kg/m}^3$.

K_{fer} : Coefficient de remplissage du paquet de tôle statorique et rotorique.

$K_{fer} = 0,95$ pour l'isolation avec oxydation ; $K_{fer} = 0,97$ pour l'isolation en vernie

Dans notre cas : $K_{fer} = 0,97$ (Annexe A).

D_{1ext} : Diamètre extérieur du stator [m] (Annexe E).

II-2-1-b Pertes dans les dents statorique

Les dents sont soumises à une magnétisation pulsatoire. On a donc ici à tenir compte seulement de l'augmentation des pertes dues à l'usinage des dents et des pertes liées aux harmoniques supérieure de l'induction. [6]

Les pertes dans les dents statorique sont données par la relation suivante :

$$P_{fz1} = K_{dz} * B_{z1max}^2 * G_{z1} * P_{10(50hz)} * (f_1/50)^\beta \quad [\text{W}] \quad (\text{II-3})$$

Avec:

G_{z1} : Poids total des dents statorique, il est donné par la relation suivante:

(Il est calculé dans l'Annexe B).

$$G_{z1} = h_{z1} * b_{z1} * l_i * Z_1 * K_{fer} * \gamma_c * 10^{-9} \quad [\text{Kg}] \quad (\text{II-4})$$

Avec:

h_{z1} : Hauteur de la dent.

l_i : Longueur virtuelle de l'induit.

b_{z1} : Largeur de la dent.

K_{dz} : Coefficient de majoration des pertes (coefficient des pertes supplémentaires).

$K_{dz}(1,7-1,8)$ dans notre cas on a choisi la valeur de $K_{dz}=1,8$.

B_{z1max} : Induction maximale dans la dent statorique et rotorique (calculer dans l'Annexe A).

Donc les pertes magnétiques sont données par la relation suivante :

$$P_{acp} = P_{fc1} + P_{fz1} \quad [\text{W}] \quad (\text{II-5})$$

II-2-2 Pertes magnétiques supplémentaires d'acier

Les pertes supplémentaires d'acier c'est la somme des pertes à la surface du rotor, et les pertes par harmonique du flux dans les dents statorique et rotorique.

II-2-2-a Pertes à la surface du rotor (pertes superficielles)

Elles sont données par la relation suivante (Annexe B) :

$$P_{sr} = P_{sr2} \cdot (t_2 \cdot b_{f2}) \cdot l_i \cdot Z_2 \cdot 10^{-6} \quad [\text{W}] \quad (\text{II-6})$$

Avec :

t_2 : Pas dentaire rotorique

b_{f2} : Le largeur de la fente rotorique [mm]. (Annexe E)

l_i : Le largeur virtuel de l'induit [mm].

Z_2 : Nombre encoche rotorique.

P_{sr2} Est calculé comme suit : (annexe B)

$$P_{sr2} = 0,5 K_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n_1}{10^4} \right)^{3/2} \cdot (B_{02} \cdot t_1)^2 \quad (\text{II-7})$$

Avec :

$K_{02} = 2$ coefficient en fonction du diamètre extérieur

n_1 : Vitesse de synchronisme [tr/min]

II-2-2-b Pertes par pulsation du flux dans les dents

La création des pertes par pulsation du flux dans les dents est due à la variation de l'induction dans les dents suite à la position des encoches rotorique et statorique. Les oscillations du flux dans les dents, consécutives à ce phénomène, créent des pertes supplémentaires ou pertes par pulsation du flux qui sont données par l'expression suivante : (Annexe B) [11]

$$P_{pul2} = 0,11 \cdot \left[\left(\frac{Z_1 \cdot n_1}{10^3} \right) B_{pul2} \right]^2 \cdot G_{Z2} \quad [\text{W}] \quad (\text{II-8})$$

Avec :

$$B_{pul2} = \left[\frac{y_1 \cdot \delta \cdot B_{z2max}}{2 \cdot t_2} \right] \quad [\text{T}] \quad (\text{II-9})$$

B_{z2max} : Induction maximale de la dent rotorique [T], calculé en fonction de B_δ

δ : Épaisseur de L entrefer ($\delta=0.25\text{mm}$)

G_{Z2} : Poids total des dents rotorique, il est calculé par la formule suivante :(Annexe B)

$$G_{Z2} = Z_2 \cdot h_{c2} \cdot b_{z2} \cdot l_i \cdot K_{fer} \cdot \gamma_c \cdot 10^{-9} \quad (\text{II-10})$$

Avec :

b_{z2} : Largeur de la dent du rotor [mm] (Annexe F)

h_{c2} : Hauteur de la culasse rotorique [mm]

II-2-2-c Pertes magnétiques supplémentaires total dans l'acier

Les pertes supplémentaires sont données par la somme des pertes à la surface du stator et des pertes par pulsation du flux dans les dents. (Annexe B)

$$P_{acsup} = P_{sr} + P_{pul2} \quad [\text{W}] \quad (\text{II-11})$$

II-2-2-d Pertes total dans l'acier

Les pertes totales dans l'acier sont égales à la somme des pertes principale dans l'acier et les pertes supplémentaires dans l'acier, et elles sont calculées par la relation suivante. [4] (Annexe B)

$$P_{ac} = P_{acp} + P_{acsup} \quad [\text{W}] \quad (\text{II-12})$$

II-2-3 Pertes mécaniques

Les pertes mécaniques sont données par la relation suivante :

$$P_{mec} = K_t (n_1 / 10)^2 * (D_{1ext} \cdot 10^{-3})^4 \quad [\text{W}] \quad (\text{II-13})$$

Avec:

n_1 : La vitesse de rotation asynchrone [tr/min]

D_{1ext} : Le diamètre extérieur du stator [m]

K_t : Facteur de majoration, il est donné en fonction de nombre de pair de pole et de diamètre extérieur du stator

$$K_t = 1,3(1 - D_{1ext}) \text{ pour } 0,1 \leq D_{1ext} \leq 0,5 \text{ m}$$

$$2p = 4 ; \quad K_t = 1,3(1 - D_{1ext})$$

$$2p = 2 ; \quad K_t = 1$$

II-2-4 Résultats de calcul des pertes

Le tableau suivant (**tableau III-A**) représente les résultats des calculs par la méthode de dimensionnement (Annexe B).

Les résultats du calcul par dimensionnement sont représentés dans le **Tableau II- a** suivant :

Tableau II-A : Les résultats du calcul par dimensionnement.

Les pertes de la machine	Le symbole	Les résultats du calcul	L'unité
Les pertes dans la culasse statorique	P_{fc1}	55, 32	W
Les pertes dans les dents statorique	P_{fz1}	29, 38	W
Les pertes principales dans l'acier	P_{acp}	84, 70	W
Les pertes à la surface du rotor	P_{sr}	2,49	W
Les pertes par pulsation de flux dans les dents	P_{pul2}	13,31	W
Les pertes magnétiques supplémentaires totales dans l'acier	P_{acsup}	15,8	W
Les pertes totales dans l'acier	P_{ac}	100,51	W
Les pertes mécaniques	P_{mec}	11,04	W

II-2-5 Commentaire du tableau

Le tableau représente les résultats de calcul des pertes magnétique (pertes fer) dans une machine asynchrone à cage

En remarque que la plupart des pertes fer dans cette machine sont localisé dans la culasse et dans les dents statorique. D'autre part, les pertes supplémentaires sont un peu faibles par rapport aux pertes principales. Et on trouve aussi que les pertes mécaniques sont très faibles.

II-3 Etude de la machine asynchrone à cage en utilisant le logiciel FEMM (Finit Element Method Magnetique)

La méthode des éléments finis peut être programmée en utilisant des logiciels comme MATLAB, Maple ou Fortran. La programmation de la méthode nécessitera un temps

considérable au détriment de son exploitation dans la conception des machines asynchrones à cage d'écureuil.

Pour cela, les calculs dans ce mémoire, sont effectués à l'aide d'un logiciel 2D basé sur la méthode des éléments finis désigné par FEMM (Finite Element Method Magnetics).

II-3-1 Présentation de la structure étudiée

La machine concernée est la machine asynchrone à cage d'écureuil de puissance 2,2 KW, ses données géométriques et les étapes de construction sont résumées dans (l'Annexe E).

II-3-2 Tracé de l'arbre

Placer les nœuds (0,18.5) ;(0,-18.5).Se mettre sur mode Arc puis tracer un Arc de droite à gauche avec un <<Arc angle >>180 et <<Max. Segment degrees>> 1.

II-3-3 Tracé de l'encoche du rotor

Placer les nœuds (-0.5, 44), (-0.5, 43).se mettre sur mode segment est relié les nœuds entre eux. Placer les (-0.5, 43), (-2.21, 40.75) Se mettre sur mode Arc puis tracer un Arc de droite à gauche avec un <<Arc angle >>12.857 et <<Max. Segment degrees>> 1.placer les nœuds (-2.21, 40.75), (-0.9, 29.78) se mettre sur mode segment est relié les nœuds entre eux. Sélectionner les segments et les Arcs un par un de droite et activer la barre d'espacement, dans la case <<In group>>, remplacer 0 par 1. Activer l'icône de groupe et sélectionner le groupe. Pour créer l'encoche complète, on utilise la fonction <<Mirror>> on place les coordonnées (0,0.9) pour <<first point on line >>et (0,2.21) dans <<second point on line>>, puis relier les deux nœuds du haut de l'encoche à l'aide d'un Arc avec un <<Arc angle >>180 et <<Max. Segment degrees>> 1. Sélectionner l'Arc et activer la barre d'espacement, dans la case <<In group>>, remplacer 0 par 1. Sélectionner le groupe et effectuer une copie, en mettant dans copy-<<Angular shift, degrees>> 12.875 et <<number of copies>> 28.

II-3-4 Tracé de l'encoche du stator

Placer les nœuds (-1.4, 44.25), (-1.4, 45.25), (-2,45.25), (-3.08, 56.68).se mettre sur mode segment est relié les nœuds entre eux. Sélectionner les segments un par un de droite et activer la barre d'espacement, dans la case <<In group>>, remplacer 0 par 1. Activer l'icône de groupe et sélectionner le groupe. Pour créer l'encoche complète, on utilise la fonction <<Mirror>> on place les coordonnées (0,1.4) pour <<first point on line >>et (0,3.08) dans <<second point on line>>, puis relier les deux nœuds du haut de l'encoche à l'aide d'un Arc

avec un <<Arc angle >>180 et <<Max. Segment degrees>> 1. Sélectionner l'Arc et activer la barre d'espacement, dans la case <<In group>>, remplacer 0 par 1.

Sélectionner le groupe et effectuer une copie, en mettant dans copy-<<Angular shift, degrees>> 10 et <<number of copies>> 36.

II-3-5 Tracé de la machine asynchrone à cage d'écureuil complète

Placer les nœuds (0,72.5) ; (0,-72.5). Se mettre sur mode Arc puis tracer un Arc de droite à gauche avec un <<Arc angle >>180 et <<Max. Segment degré. (Annexe B)

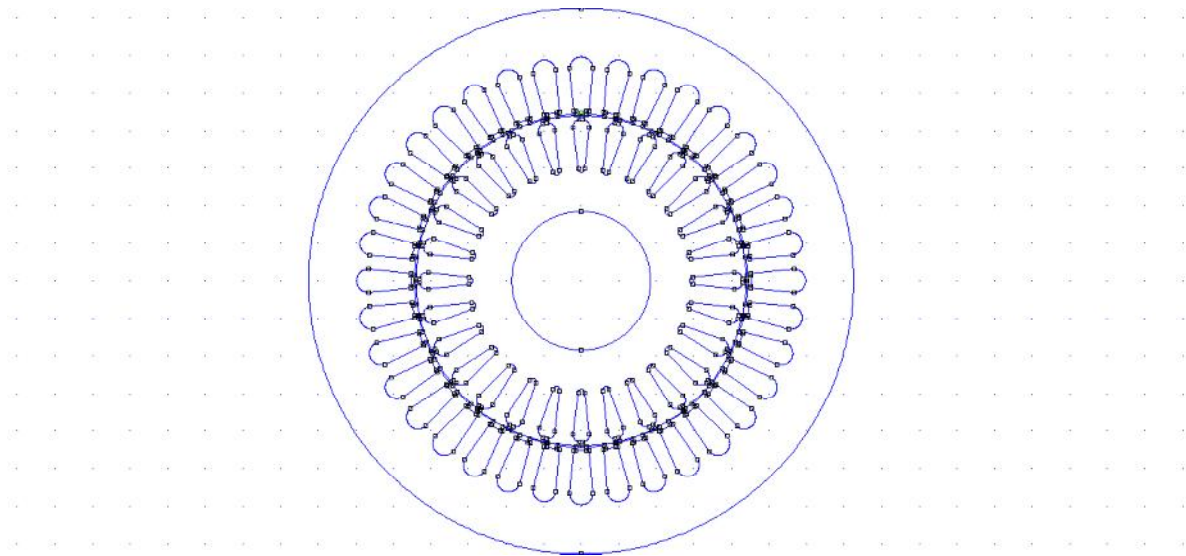


Figure II-1 : Géométrie complète de la machine.

II-3-6 Le maillage

Pour faire le maillage de la machine, on clique sur l'icône <<maillage>>. (Annexe B)

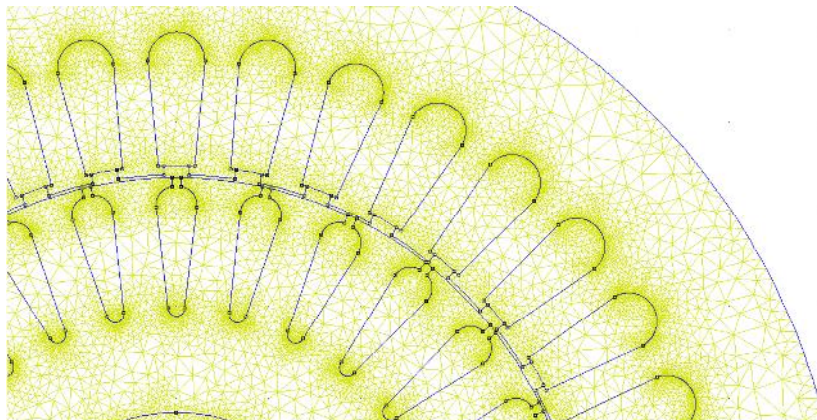


Figure II-2 : Maillage élément finis de la machine.

II-3-7 La répartition des lignes des lignes de champ

Les lignes du champ sont représentées dans la figure. En fonctionnement à vide, les lignes du champ magnétique dans la machine pénètrent profondément dans le rotor.

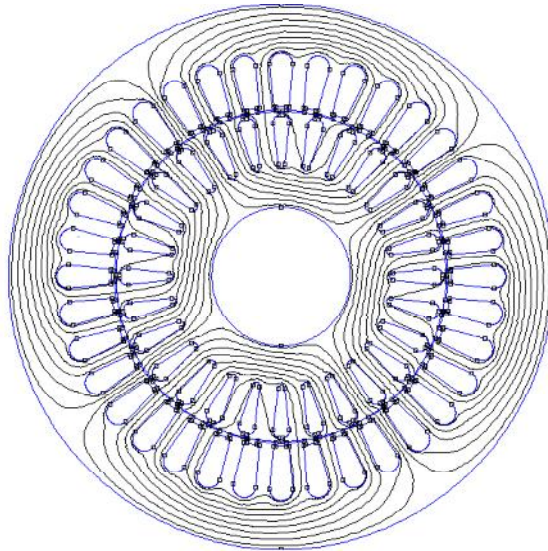


Figure II-3 : Répartition des lignes de champ dans la machine à vide.

II-3-8 La densité de flux magnétique

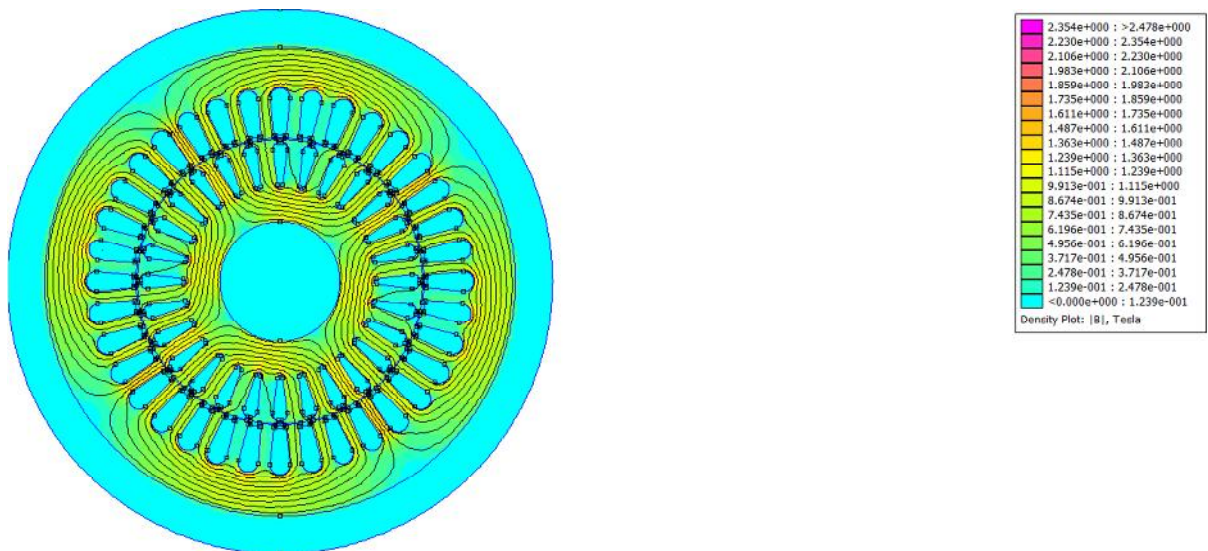


Figure II-4 : lignes du champ magnétique et la densité du flux magnétique (cas linéaire).

II-3-9 Distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer cas linéaire

La répartition de l'induction radiale et tangentielle est illustrée sur les figures suivantes.

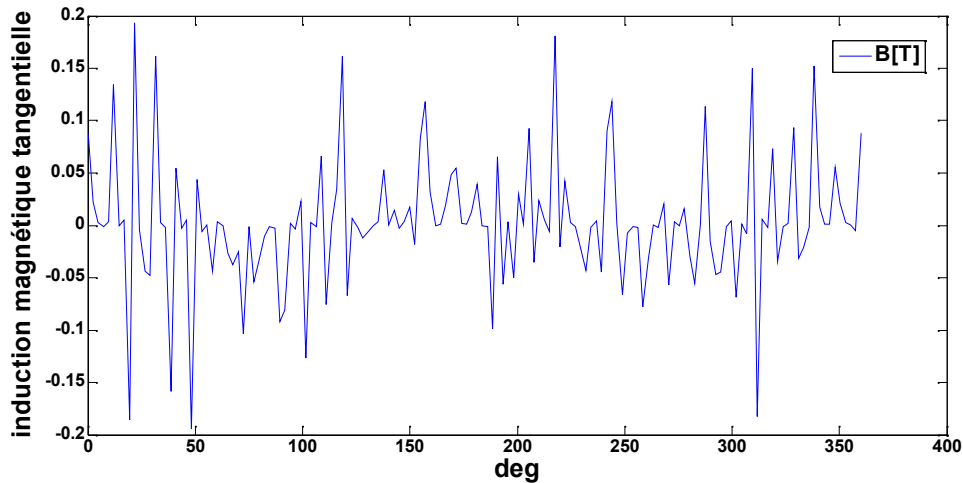


Figure II-5 : Induction tangentielle au milieu de l'entrefer à vide.

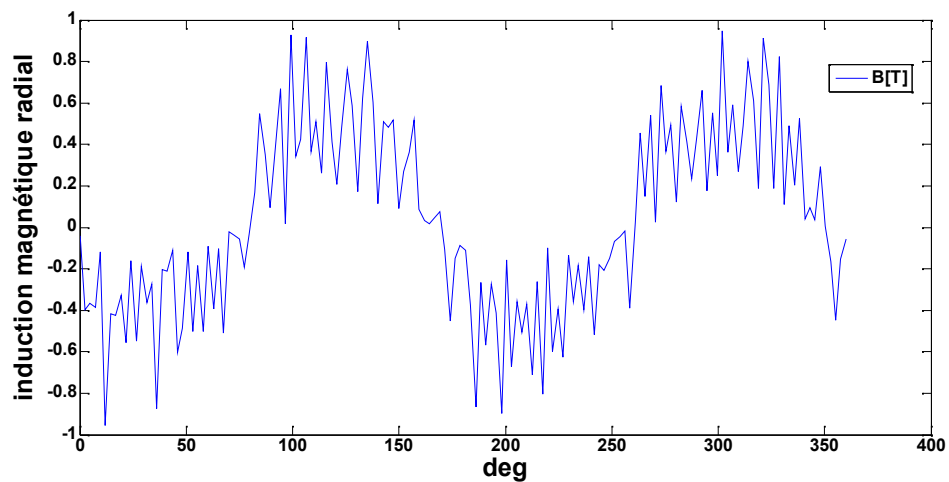


Figure II-6 : Induction radiale au milieu de l'entrefer à vide.

II-3-10 Effet de saturation sur le fer dans le stator et le rotor

Dans cette partie nous allons étudier le comportement des matériaux de la machine qui fonctionne à vide en deux cas différents, pour le premier cas on a utilisé la loi linéaire du fer, pour le deuxième cas on utilise la loi non linéaire du fer par la relation B-H.

II-3-10-a Modèle linéaire : Il s'agit de la loi la plus simple. Dans ce cas les champs B et H sont toujours proportionnels. Le rapport de proportionnalité est souvent exprimé par rapport à μ_0 ce qui correspond alors à la perméabilité relative du matériau.

II-3-10-b Modèle non linéaire : Il s'agit d'une loi dans laquelle les champs B et H sont toujours colinéaires, mais dont les intensités sont liées par l'intermédiaire de la courbe de saturation (figure II-7). [12]

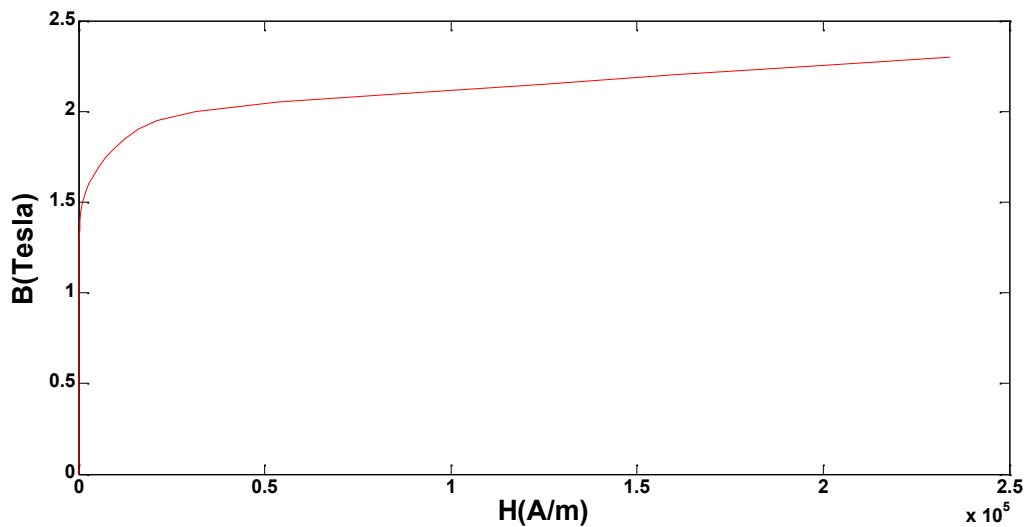


Figure II-7 : La relation non linéaire entre B-H.

II-3-11 La densité de flux magnétique

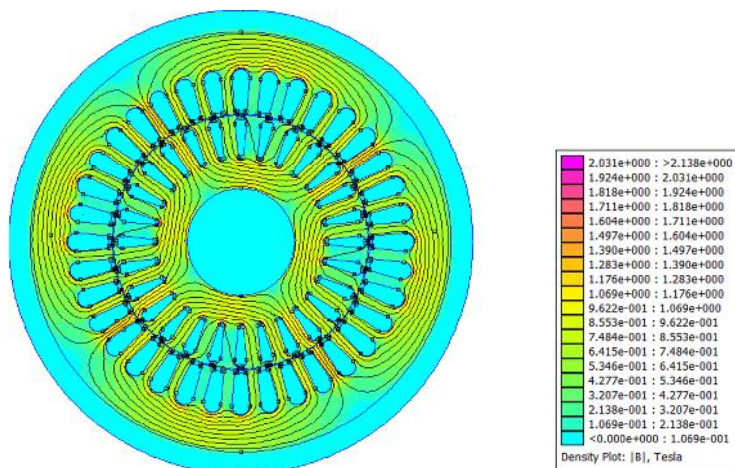


Figure II-8 : Ligne de champ et la densité du flux magnétique à vide (cas non linéaire).

II-3-12 Distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer cas non linéaire

La répartition de l'induction radiale et tangentielle est illustrée sur les figures suivantes.

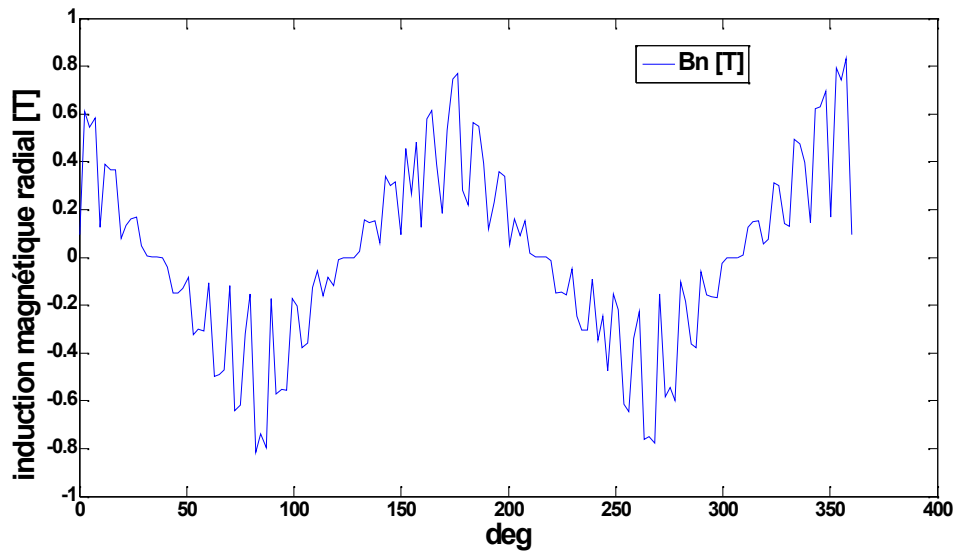


Figure II-9 : Induction radiale au milieu de l'entrefer à vide.

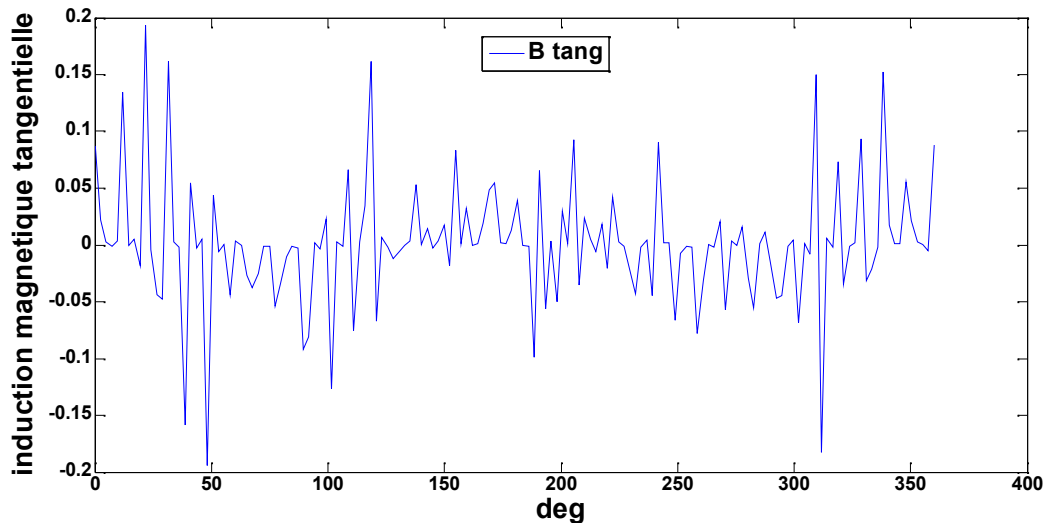


Figure II-10 : Induction tangentielle au milieu de l'entrefer à vide.

II-3-12 La densité de courant

On constate dans la **Figure II-11** que la densité de courant dans les barres du rotor à vide est très faible (presque nulle) et par conséquent les lignes de flux pénètrent profondément dans le rotor

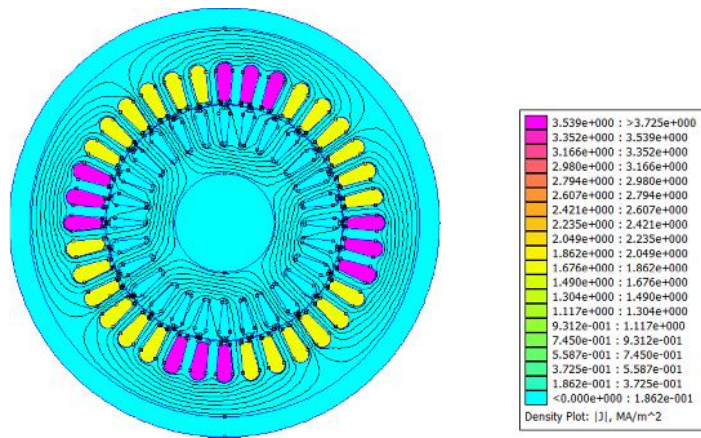


Figure II-11 : La distribution de la densité des courants à vide.

II-4 L'évolution des pertes fer en fonction des paramètres des formules

II-4-1 L'évolution des pertes fer en fonction de K_{dc} et K_{dz} (Annexe B)

Dans cette partie on va étudier l'évolution des pertes fer dans la culasse et dans les dents statorique en fonction des coefficients de majoration K_{dc} et K_{dz} . Dans le premier cas on utilise la méthode de dimensionnement et pour le deuxième cas on utilise le logiciel FEMM (cas linéaire et non linéaire).

Dans le cas linéaire, on fait varier les valeurs des coefficients de majoration des pertes dans la culasse de [1.3 à 1.7] et dans les dents statorique de [1.7 à 1.8]. Et pour présenter l'évolution des pertes fer on utilise le logiciel MATLAB.

Les résultats de calculs sont donnés dans le **Tableau II-b**. (Annexe B)

Tableau II-b : Les paramètres utilisés pour l'étude de l'évolution des pertes fer.

Paramètres pour la culasse statorique				Paramètres pour les dents statorique			
Dimensionnement		FEMM cas linéaire		Dimensionnement		FEMM cas linéaire	
$B_{c1max}[T]$	1,72	$B_{c1max}[T]$	1, 62	$B_{z1max}[T]$	1,92	$B_{z1max}[T]$	1, 65
$P_{10(50HZ)}$ W/Kg	2.5	$P_{10(50HZ)}$ W/Kg	2.5	$P_{10(50HZ)}$ W/Kg	2.5	$P_{10(50HZ)}$ [W/Kg]	2.5
K_{dc}	1.3 à 1.7	K_{dc}	1.3 à 1.7	K_{dz}	1.7 à 1.8	K_{dz}	1.7 à 1.8

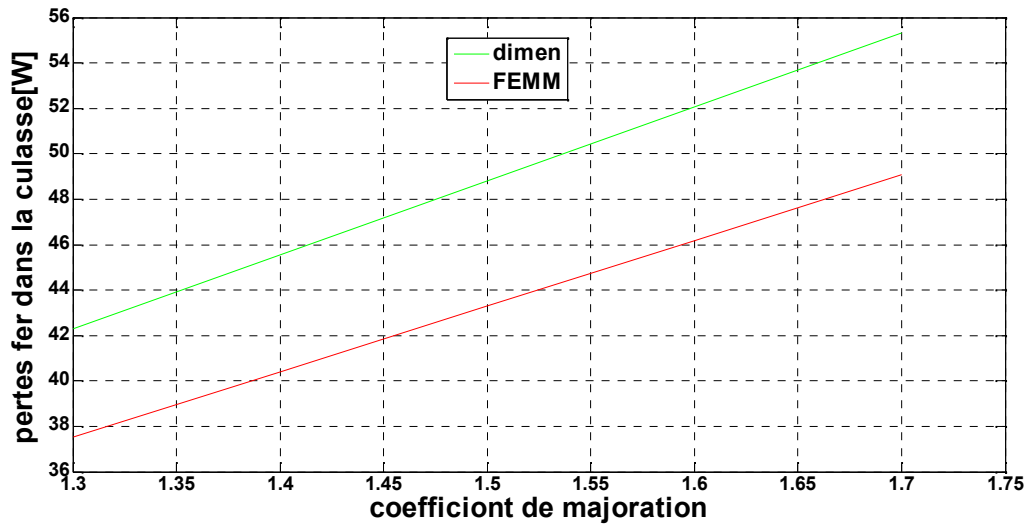


Figure II-12: Variation des pertes fer dans la culasse en fonction des coefficients de majoration (cas linéaire)

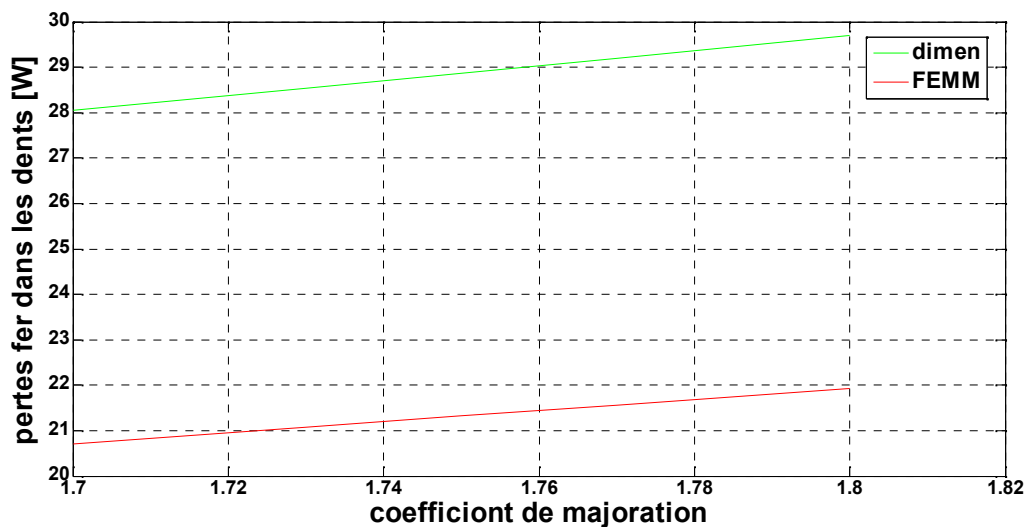


Figure II-13: variation des pertes fer dans les dents en fonction des coefficients de majoration (cas linéaire)

D'après les figures II-12 et II-13 on remarque que les pertes fer dans la culasse et dans les dents statorique augmentent à chaque fois qu'augmente les coefficients de majoration K_{dc} et K_{dz} soit par la méthode de dimensionnement soit par le logiciel FEMM. On peut dire que les pertes fer sont proportionnelles au coefficient de majoration.

Les résultats de calcul pour le cas non linéaire on variant les coefficients de majoration sont donnés dans le Tableau II-c. (Annexe B)

Tableau II-c : Paramètres utilisés pour l'étude de l'évolution des pertes fer

Paramètres pour la culasse statorique				Paramètres pour les dents statorique			
Dimensionnement		FEMM cas non linéaire		Dimensionnement		FEMM cas non linéaire	
$B_{c1max}[T]$	1,72	$B_{c1max}[T]$	1, 73	$B_{z1max}[T]$	1,92	$B_{z1max}[T]$	1, 70
$P_{10(50HZ)}$ W/Kg	2.5	$P_{10(50HZ)}$ W/Kg	2.5	$P_{10(50HZ)}$ W/Kg	2.5	$P_{10(50HZ)}$ [W/Kg]	2.5
K_{dc}	1.3 à 1.7	K_{dc}	1.3 à 1.7	K_{dz}	1.7 à 1.8	K_{dz}	1.7 à 1.8

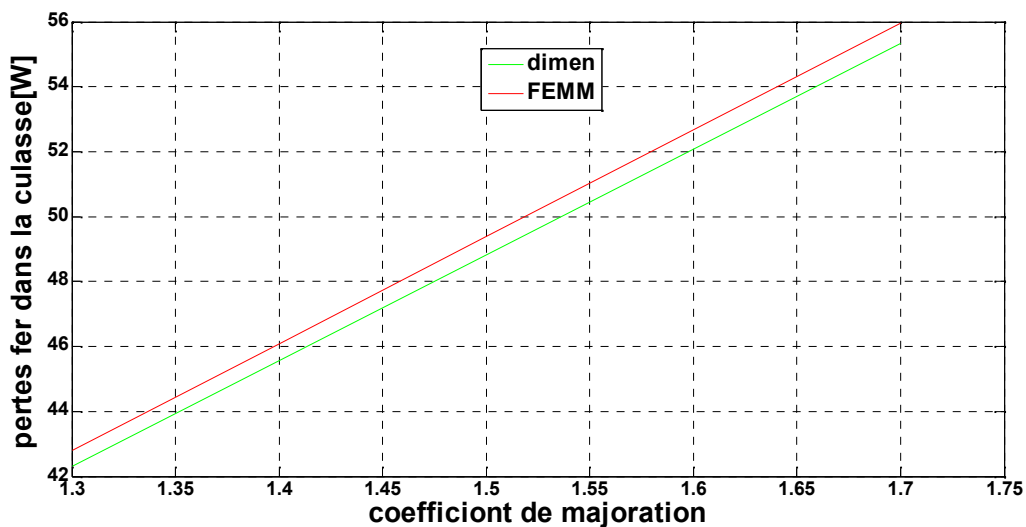


Figure II-14: Variation des pertes fer dans la culasse en fonction des coefficients de majoration (cas non linéaire)

D'après la figure II-14, on remarque que les pertes dans la culasse augmentent avec les coefficients de majoration, et que les valeurs obtenue soit par la méthode de dimensionnement ou par le logiciel FEMM sont très proches.

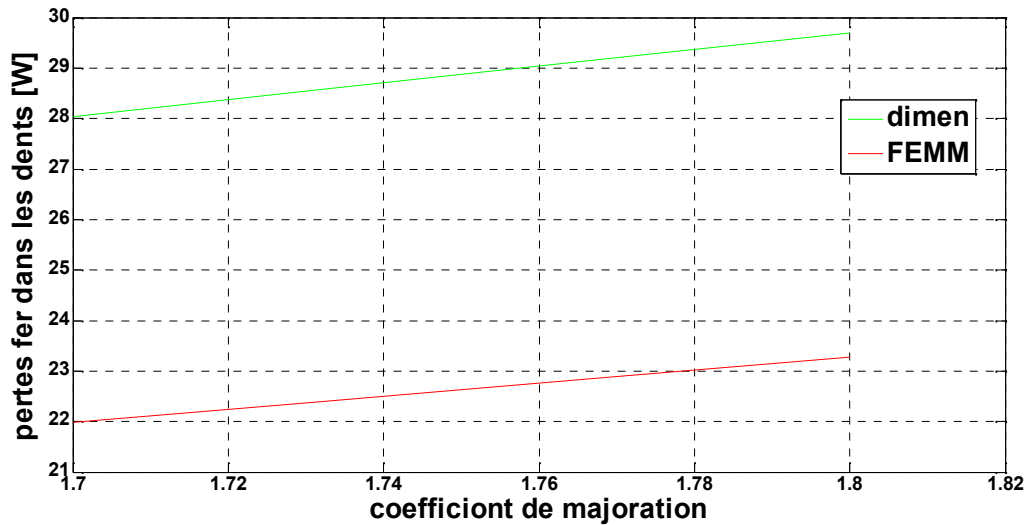


Figure II-15: variation des pertes fer dans les dents en fonction des coefficients de majoration (cas non linéaire)

D'après la figure II-15, on remarque que les pertes dans les dents augmentent avec les coefficients de majoration, et que les valeurs obtenues soit par la méthode de dimensionnement ou par le logiciel FEMM est proche par rapport à celle trouvée dans le cas linéaire.

II-4 -2 L'évolution des pertes en fonction de l'induction pour des valeurs des coefficients maximum. (Annexe B)

Dans ce cas, notre travail consiste à faire apparaître des pertes fer dans la culasse et les dents statorique en fonction de l'induction magnétique mais pour des valeurs maximales des coefficients de majoration des pertes (K_{dc} et K_{dz}) et des pertes spécifiques constantes.

Tableau II-d : Les paramètres utilisés pour l'étude de la variation des pertes (méthode de dimensionnement). (AnnexeB)

Les paramètres dans la culasse		Les paramètres dans les dents statorique	
$P_{10(50HZ)}$ [W]	2.5 pour 1 T	$P_{10(50HZ)}$ [W]	2.5 pour 1 T
K_{dc}	1.7	K_{dz}	1.8
B_{c1max} [t]	Varie de 0 à 2	B_{z1max} [T]	Varie de 0 à 2

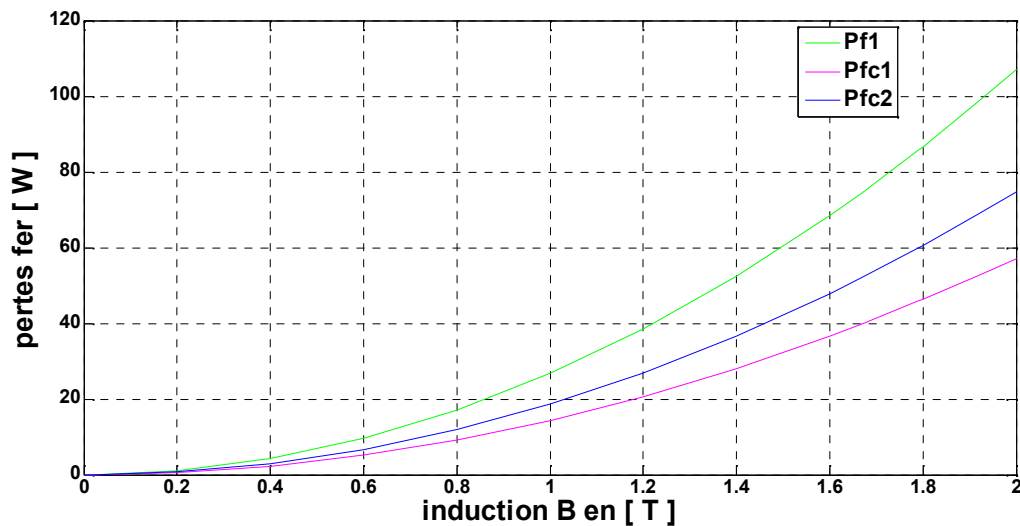


Figure II-16: Variation des pertes fer en fonction de l'induction (dimensionnement).

D'après la **figure II-16** on remarque que les pertes dans la culasse et dans les dents statorique augmentent avec l'augmentation de l'induction magnétique. On peut dire que les pertes fer évoluent avec le carré de l'induction magnétique. La somme de ces pertes nous donne des valeurs importantes.

II-4-3 Evaluation des pertes fer dans la culasse et les dents en fonction de l'induction pour de différentes valeurs de (K_{dc} et K_{dz}). (Annexe B)

Nous faisons varier l'induction magnétique et les coefficients de majoration des pertes pour chaque région (dans la culasse et les dents statorique). Le (**tableau III-e**) représente toute les valeurs des paramètres de l'étude.

Tableau II- e : Les paramètres utilisés pour l'étude de la variation des pertes (dimensionnement).

Les paramètres dans la culasse			Les paramètres dans les dents statorique		
Pour K_{dc}	1.3	1.7	Pour K_{dz}	1.7	1.8
$P_{10(50HZ)}$ [W]	2.5	2.5	$P_{10(50HZ)}$ [W]	2.5	2.5
B_{c1max} [T]	Varie de 0 à 2	Varie de 0 à 2	B_{z1max} [T]	Varie de 0 à 2	Varie de 0 à 2

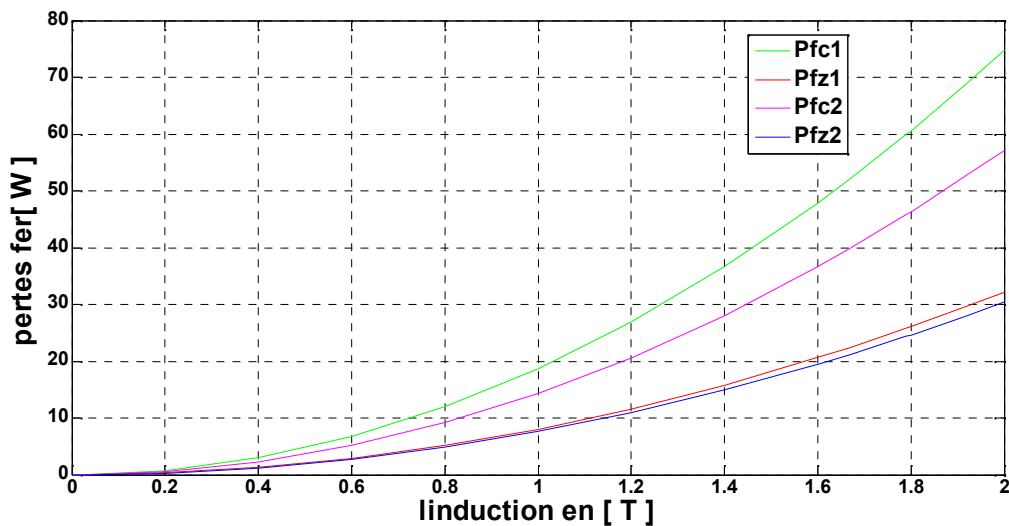


Figure II-17 : Variation des pertes fer dans les dents et la culasse en fonction de l'induction et pour différentes valeurs des coefficients K_{dc} et K_{dz} .

D'après la **figure II-17** on voit que le coefficient K_{dc} influe beaucoup plus sur les pertes que K_{dz} du fait que la marge de ce coefficient est assez large (1.3, 1.7).

II-4-4 L'évolution des pertes fer dans le stator de la machine en fonction de l'induction pour différente valeur des pertes spécifiques (Annexe B)

Un autre paramètre qui agit sur la valeur des pertes fer dans le stator de la machine, en fonction de l'induction. Ce paramètre représente les pertes spécifiques dans la tôle d'acier. Pour visualiser cette influence sur les pertes fer, des courbes sont représentées par les figures II-17 et II-18.

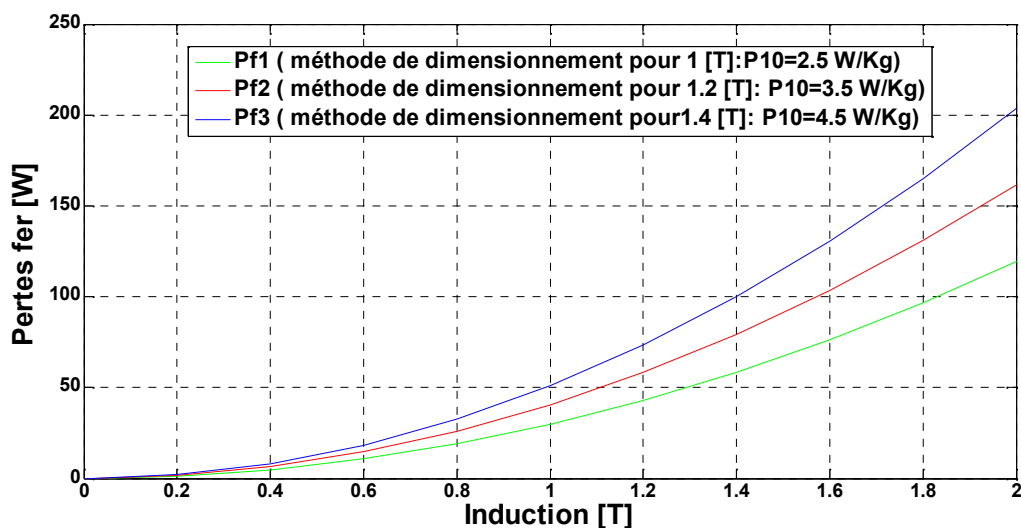


Figure II-18 : Variation des pertes fer en fonction de l'induction et pertes spécifiques.

D'après la figure II-18 on remarque que, à chaque fois on prend des valeurs différentes des pertes spécifiques, les pertes fer augmentent en fonction de l'induction magnétique. On peut dire que les pertes spécifiques dans la tôle d'acier jouent un rôle important dans l'évolution des pertes fer.

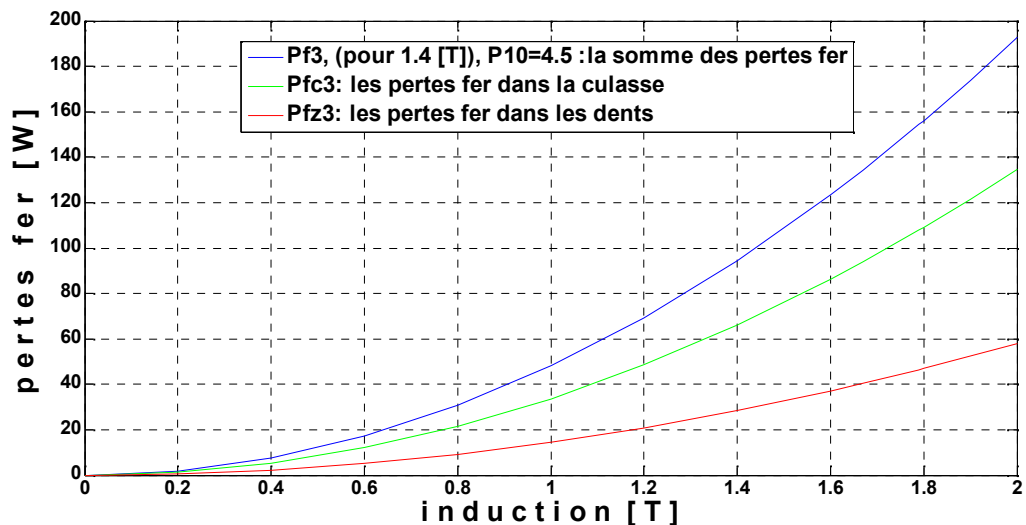


Figure II-19 : les pertes dans la culasse et dans les dents en fonction de l'induction pour une valeur des pertes spécifiques $P_{10}=4.5$ W/Kg.

D'après la figure II-19 on remarque que les pertes dans la culasse sont très importante par rapport à celles dans les dents.

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une méthode pour calculer les pertes fer d'une machine asynchrone à cage et qui est la méthode de dimensionnement.

Cette méthode est base sur l'utilisation de cahier de charge et les dimensions géométriques et électriques de la machine pour faire ces calculs.

L'examen des résultats de la procédure de dimensionnement nous permet de conclure : premièrement, les pertes fer se trouvent beaucoup plus dans la culasse que dans les dents statorique. Deuxièmement, ces derniers augmentent avec les pertes spécifiques. Ainsi que, les résultats obtenus par la FEMM dans le cas non linéaire est très proche par rapport aux résultats trouvés dans le cas linéaire comparés à celle de la méthode de dimensionnement.

Chapitre III :

**Calcul analytique des pertes
fer**

III-1 introduction

Dans ce chapitre on a calculé les pertes fer d'une machines asynchrone à cage d'écurueil, telle que les pertes par courant de Foucault et les pertes par hystérésis avec deux méthodes classiques Steinmetz, LIWSCHITZ qui sont bien entendu des méthodes de calcul analytiques. [7]

Le **Tableau III .a** suivant ne donne quelque formules de calcul quand va utilises

Tableau III .a : Formulations des pertes fer. [7]

Auteur	Pertes fer concernées	Formulation
STEINMETZ	Par hystérésis (W/Kg)	$P_{hyst} = K_H \cdot f \cdot B_{max}^2$
	Parcourant de Foucault (W/Kg)	$P_{cf} = K_F \cdot (e \cdot f \cdot B_{max})^2$
LIWSCHITZ	Par hystérésis (W/Kg) prise en compte de l'effet pelliculaire	$P_{hyst} = \sigma_h \cdot f \cdot B_{max}^2 \cdot f_h \cdot 10^{-2}$
	Parcourant de Foucault (W/Kg) prise en compte de l'effet pelliculaire	$P_{cf} = \sigma_{cf} \cdot (s_t \cdot f \cdot B_{max})^2 \cdot f_{cf} \cdot 10^2$
	Supplémentaire (W/Kg) pertes par pulsation de flux	$P_{pu1} = \frac{1}{2} \sigma_w \cdot \frac{1}{36} \cdot (s_t \cdot Z_2 \cdot 60nB_{pu})^2 \cdot m_{z1}$

III-2 Formulation de STEINMETZ

III-2-1. Formules analytiques des pertes fer statorique (massique) :

III-2-1 –a. Pertes massiques par hystérésis (W/Kg).

Les pertes massiques par hystérésis sont données par la formule suivante :

$$P_{hyst} = K_h \cdot f \cdot B_{max}^2 \tag{III-1}$$

Avec :

K_h : Coefficient des pertes par hystérésis, spécifique du matériau (fournie par le fabricant des tôles figure (21). (Annexe E).

f : Fréquence de l'induction [Hz].

B_{max} : L'induction maximale [T].

III-2-1 –b . Pertes massiques par courant de Foucault (W/Kg)

En peut calculer les pertes par courant de Foucault par la formule suivante :

$$P_f = K_f \cdot (f \cdot e_1 \cdot B_{max})^2. \quad (\text{III-2})$$

P_f : Les pertes fer massiques par courant de Foucault [W/Kg].

K_f : Coefficient des pertes par courant de Foucault. (figure (E)).(Annexe E).

f : La fréquence de l'induction [Hz].

e_1 : L'épaisseur de la tôle [M].

B_{max} : L'induction maximale [T]. (Annexe E)

III-2-1 –c. Pertes massiques globale (W/Kg)

La machine subit des pertes dans la partie magnétique, ces pertes sont principalement les pertes par hystérésis et les pertes par courant de Foucault (W/Kg). [6]

$$P_{fer} = (P_f + P_{hyst}) \quad (\text{III-3})$$

Donc :

$$P_{fer} = (K_h \cdot f + k_f \cdot (e_1 \cdot f)^2) \cdot B_{max}^2 \quad (\text{III-4})$$

III-2-1 –d. Pertes globale en (W)

$$P_{fer1} = \{ (K_h \cdot f + k_f \cdot (e_1 \cdot f)^2) \cdot B_{max}^2 \} \cdot [M_d + M_c]. \quad (\text{III-5})$$

Dans l'équation (III-5), on trouve les pertes globales en (W) d'une machine considérée parfaite et cela on se basant sur la théorie, mais dans les machines industrielles

(pratique) il existe toujours des pertes au niveau de ces machines. Ces pertes sont calculés dans l'équation (III-6) ou en multiples l'équation Précédente par des coefficients d'ordre 3 et 1.5 respectivement dans les dents et la culasse. La formule se donne comme suit : [7]

$$P_{fer2} = \{ (K_h \cdot f + k_f \cdot (e_1 \cdot f)^2) \cdot B_{max}^2 \} \cdot [3M_d + 1.5M_c] \quad \text{(III-6)}$$

Avec :

M_c : La masse totale de la culasse correspondent à G_{c1} dans (l'Annexe B).

M_d : La masse totale des dents correspondent à G_{z1} dans (l'Annexe B).

III-3 Formulation de LIWSCHITZ

Cette méthode est une approche analytique qui permet le dimensionnement des différentes parties de la machine stator, rotor, Elle est basée sur des formules empiriques. [13]

III-3-1 Pertes spécifiques

III-3-1-a Pertes spécifiques par hystérésis (W/Kg)

$$P_h = \sigma_h \cdot f \cdot B_{max}^2 \cdot f_h \cdot 10^{-2} \quad \text{(III-7)}$$

f_h : Facteur de réaction qui varie en fonction de l'épaisseur réduite (Annexe E).

σ_h : Constante du matériau (Annexe E).

III-3-1-b Pertes spécifiques par courant de Foucault (W/Kg)

$$P_w = \sigma_w \cdot (e_1 \cdot f \cdot B_{max})^2 \cdot f_w \cdot 10^2 \quad \text{(III-8)}$$

σ_w : Constante du matériau (Annexe C).

f_w : Facteur de réaction qui varie en fonction de l'épaisseur réduite (Annexe C).

III-3-1-c Pertes spécifiques globales (W/Kg)

C'est la somme des pertes par courant de Foucault et les pertes par hystérésis.

$$P_{spéc1} = P_w + P_h$$

$$P_{spéc1} = \sigma_h \cdot f \cdot B_{max}^2 \cdot f_h \cdot 10^{-2} + \sigma_w \cdot (e_1 \cdot f \cdot B_{max})^2 \cdot f_w \cdot 10^2 \quad \text{(III-9)}$$

III-3-1-d Pertes spécifiques globales en (W)

Les pertes spécifiques globales sont données par la formule suivante :

$$P_{spéc} = P_w + P_h * [M_c + M_d]$$

$$P_{spéc} = \sigma_h \cdot f \cdot B_{max}^2 \cdot f_h \cdot 10^{-2} + \sigma_w \cdot (e_1 \cdot f \cdot B_{max})^2 \cdot f_w \cdot 10^2 * [M_c + M_d] \quad \text{(III-10)}$$

Le résultat obtenus dans équation (III-10) représente les pertes spécifiques globales d'une machine considérer parfaite, alors que dans les machines industriels il existe des pertes au niveau de ces machines. Pour les calculer on va multiplier cette équation par des coefficients d'ordre 3 et 1.5 respectivement dans les dents et la culasse. Ce que nous avons vu dans la formule suivante :

$$P_{spéc} = \sigma_h \cdot f \cdot B_{max}^2 \cdot f_h \cdot 10^{-2} + \sigma_w \cdot (e_1 \cdot f \cdot B_{max})^2 \cdot f_w \cdot 10^2 \cdot [3M_d + 1.5M_c] \quad \text{(III-11)}$$

Avec :

M_c = la masse totale de la culasse correspondent à (G_{c1}) dans (l'annexe B)

M_d = la masse totale des dents correspondent à (G_{z1}) dans (l'annexe B)

III-4-1. Les résultats analytiques obtenus par formulations de Steinmetz et LIWSCHITZ sont donnée dans le tableau suivant

Tableau III .b: Les résultats de calcul des pertes fer globales par les deux formulations de Steinmetz et Liwschitz.(Annexe C)

Les pertes fer globales	Les pertes fer massiques [W/Kg]	Les pertes fer globales en [W]
Parformulation de STEINMETZ	43.3318	268.2236
Par formulation de LIWSCHITZ	2.1139	25.3034

III-4-2. Interprétation des résultats obtenus dans le tableau

D'après le **Tableau III .b**, on remarque que les pertes globales (pertes fer massique en [W/Kg] et les pertes globales en [W]) obtenues par la formulation de STEINMETZ sont plus grande par rapport à celle obtenues par la formulation de LIWSCHITZ. Cette différence revient principalement aux différentes formules utilisées.

III-4-3. Conclusion

Dans ce chapitre on a calculé les pertes fer dans une machine asynchrone à cage d'écureuil par la méthode analytique. Cette méthode consiste à utiliser deux formulation : formulation de STEINMETZ et formulation de de LIWSCHITZ.

Les résultats des pertes fer obtenue par cette méthode sont surestimés par la formulation de STEINMETZ et sous-estimés par la formulation de LIWSCHITZ comparées à la méthode de dimensionnement. Cela est certainement dû à l'influence du choix des valeurs de l'induction maximale B_{max} et surtout aux coefficients des pertes par courant de Foucault et des pertes par hystérésis pour les deux formulations.

Chapitre IV :

**Mesure expérimentale des
pertes fer d'un moteur
asynchrone à cage et
comparaison**

IV-1 Introduction

Dans ce chapitre, on détermine les pertes fer d'une machine asynchrone à cage par la méthode expérimentale. Ceci dans le but d'obtenir l'évolution de ces pertes et les comparer avec les résultats qu'on a obtenue dans la partie théorique. Pour validation de se travaille on va réaliser deux essai :

- Essai à vide.
- Essai au synchronisme.

Dans ce qui suit on présente la machine asynchrone étudié, le banc d'essai, ainsi que les différents résultats obtenus lors de la manipulation au niveau de laboratoire de machine électrique et leur interprétation.

IV-2 Présentation du moteur à étudier

- De type 890-1064-0041.
- De marque ENEL (électro-industrie) N° 22-128-02.
- De puissance 2,2 kW.
- Fonction sous une tension nominale 380 V.
- Absorbe un courant nominale de 5,2 A en triangle.
- Une vitesse de rotation de 1410 tr/min.
- Son coefficient de puissance, $\cos \varphi=0,83$.

IV-3 Description du banc d'essai

Pour effectuer l'essai sur la machine asynchrone, on va utiliser le matériel suivant :

- ❖ Un moteur à courant continue pour l'essai au synchronisme. Elle possède les caractéristiques suivantes :
 - De type DL2062.
 - Puissance nominale 2,4kW.
 - Tension nominale 220V.
 - Courant nominale 10,9A.
 - Vitesse nominale 1420tr/min.
 - Courant d'excitation égale à 1,6A.

- Classe d'isolation (F).
- ❖ Une source d'alimentation triphasé fixe 380V/6A et variable en alternatif et une source continue.
- ❖ Les différents appareils de mesure :
 - Ampèremètre, Voltmètre.
 - Wattmètre, tachymètre, ohmmètre.
 - Des résistances variables et une charge résistive.
 - Des fils de câblage.

IV-4 Détermination de la résistance statorique R_s

Pour mesurer cette résistance, on alimente chaque phase de l'enroulement du moteur asynchrone avec une tension variable.

Cet essai consiste à utiliser une source d'alimentation en continu, un voltmètre et un ampèremètre pour mesurer les grandeurs qui caractérisent la résistance statorique suivant la loi d'Ohm :

$$U = R_s * I \longrightarrow R_s = \frac{U}{I} \quad (\text{IV-})$$

1) Cette mesure est faite à une température ambiante de 26°C a froid.

Les résultats des mesures sont représentés dans le **tableau IV-a**

Tableau IV- a: résultats de mesure de l'essai en courant continu

Phase [$U_1 U_2$]			Phase [$V_1 V_2$]			Phase [$W_1 W_2$]		
U (V)	I_s (A)	R_s (Ω)	U (V)	I_s (A)	R_s (Ω)	U (V)	I_s (A)	R_s (Ω)
25	3	8,33	25	3	8,33	25	3	8,5
17.5	2	8,75	17,5	2	8,75	17,5	2	8,75
9	1	9	9	1	9	9	1	9

Donc la valeur moyenne de la résistance statorique à une température ambiante de 26°C à froid est :

$$R_s = 8,69 \Omega$$

IV-5 Essai à vide

Cet essai nous permet de mesurer les pertes fer et les pertes mécanique du moteur. Dans ce cas le moteur est couplé avec la génératrice et la charge est nulle.

Cet essai consiste à alimenter le moteur par différentes valeurs de la tension. Puis on relève les grandeurs suivantes :

- La tension d'alimentation U [V].
- Le courant absorbé à vide I_0 [A].
- La puissance absorbée à vide P_0 [W].
- La vitesse de rotation N_0 [tr/min].

IV-5-1 Détermination des pertes fer et des pertes mécaniques

La puissance absorbée P_0 à vide égale à la somme: des pertes dans le fer du stator, les pertes par effet de joule dans le stator P_{js} , et les pertes mécaniques P_{mec} .

Avec :

Les pertes par effet de joule se calcul avec la formule suivante :

$$P_{js} = 3R_s I_0^2 \quad \text{(IV-2)}$$

Donc on aura :

$$P_0 = P_{js} + P_{fer} + P_{mec} \quad \text{(IV-3)}$$

$$P_0 - P_{js} = P_{fer} + P_{mec} \quad \text{(IV-4)}$$

En variant la tension d'alimentation de la valeur nominale jusqu'à a la valeur minimale pour trouver les valeurs de I_0 et P_0 à l'aide d'un ampèremètre et un wattmètre.

A l'aide de ces grandeurs on peut tracer la courbe des pertes fer et des pertes mécanique.

Ainsi, dans le calcul des pertes joule à vide, on tient compte de la variation de la résistance en fonction de la température par la formule suivante : **(Annexe D)**

$$R_s = R_{s(26^\circ C)} * \frac{T_2 + K}{T_1 + K} \quad (IV-5)$$

Avec :

$R_{s(26^\circ C)}$: La résistance statorique a 26 °C.

T_2 : Température finale.

T_1 : Température initiale.

K : Une constante pour le cuivre égale a 235 °C.

❖ Cet essai est fait à vide à une température de 26 °C.

IV-5-2 Schéma de montage

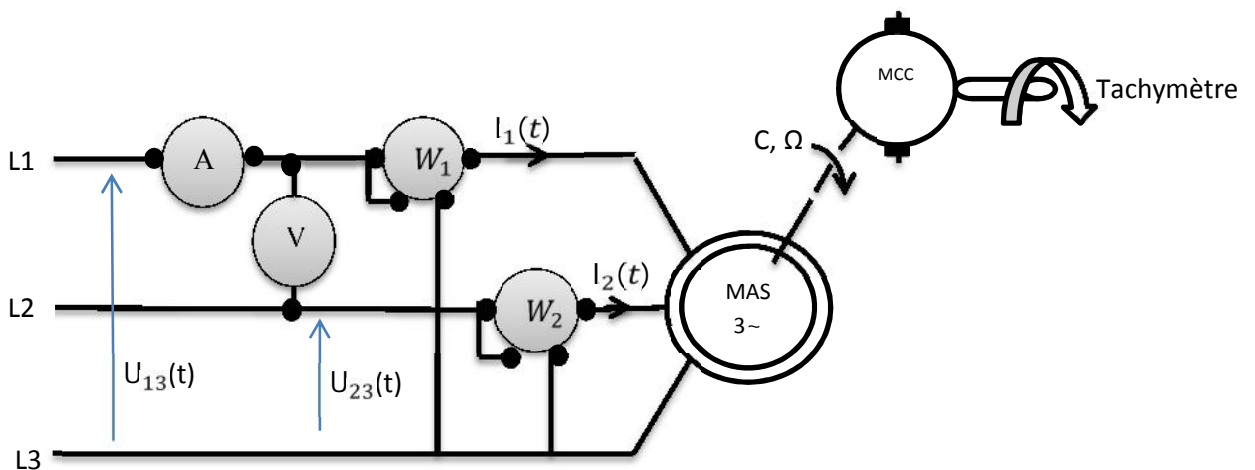


Figure IV-2 : circuit de mesure de l'essai à vide

IV-5-3 Les résultats de mesure

Les résultats de l'essai à vide sont représentés dans le **tableau IV-b** suivant :

Tableau IV-b : Résultats obtenue de l'essai à vide

Tension (V)	I_0 (A)	P_{w1} (KW)	P_{w2} (KW)	P_0 (KW)	T ($^{\circ}C$)	N (tr/min)
380	2.9	0.65	-0.39	0.26	37,5	1496
370	2.71	0.64	-0.385	0.225	37,6	1496
360	2.5	0.56	-0.34	0.22	37,8	1496
350	2.32	0.51	-0.305	0.205	38	1496
340	2.2	0.46	-0.26	0.2	38,4	1496
330	2.05	0.41	-0.235	0.175	38,5	1496
320	1.9	0.381	-0.21	0.171	38,8	1495
310	1.8	0.36	-0.195	0.165	39,1	1495
300	1.7	0.33	-0.18	0.15	39,4	1495
290	1.6	0.3	-0.16	0.14	40	1495
280	1.51	0.28	-0.14	0.14	40,4	1495
270	1.49	0.26	-0.12	0.14	40,6	1495
260	1.41	0.24	-0.115	0.125	40,9	1495
250	1.35	0.22	-0.1	0.12	40,9	1495
240	1.31	0.21	-0.095	0.115	40,9	1495
230	1.26	0.2	-0.08	0.12	41,2	1494
220	1.19	0.18	-0.07	0.11	41,5	1494
210	1.12	0.16	-0.06	0.10	41,55	1493
200	1.08	0.15	-0.05	0.1	41,6	1493
180	0.9	0.12	-0.04	0.08	41,9	1493
160	0.78	0.1	-0.02	0.08	42,3	1491

Chapitre IV mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

140	0.75	0.08	-0.01	0.07	43, 4	1490
120	0.72	0.06	0	0.06	44, 2	1486
100	0.66	0.05	0	0.05	44, 8	1481
80	0.62	0.04	0	0.04	45, 5	1470
60	0.68	0.03	0.01	0.02	46	1446
40	1.1	0.03	0.01	0.02	47, 7	1342
20	1.4	0.02	0	0.02	41, 9	0
10	0.65	0	0	0	41	0

D'après le **Tableau IV-b**, on remarque que lors de la variation de la tension au-dessous de 240 V la vitesse de rotation de la machine varie et qu'elle est constante au-dessus de 240 V. la machine s'arrête de tourner une fois que la tension est inférieure à 20 V, à cause de l'incapacité de la machine de développer le couple nécessaire.

Alors pour l'étude de la machine, on s'intéresse à la partie où la vitesse de rotation est constante.

IV-5-4 Le graphe de la puissance absorbé P_0 en fonction de la tension (U)

La figure montre l'évolution de la puissance absorbée (pertes fer + pertes mécaniques + pertes joule statorique) en fonction de la tension d'alimentation de la machine.

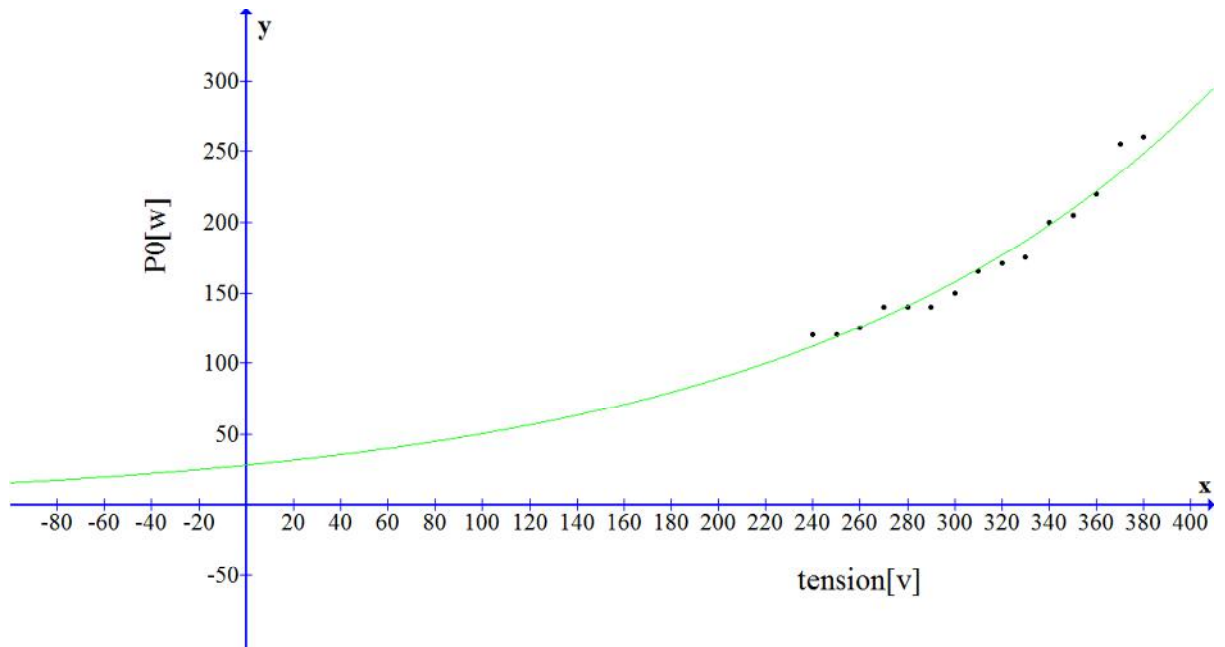


Figure IV-3 : la puissance absorbé en fonction de la tension U [V]

D'après la **Figure IV-3** on remarque que, à chaque fois on augmente la tension d'alimentation la puissance absorbée augmente. On peut dire que la puissance absorbée est proportionnelle à la tension.

IV-5-5 Résultats de calcul des pertes fer et des pertes mécanique

Les résultats des pertes fer et des pertes mécaniques de l'essai à vide sont représentés dans le **tableau IV-c** suivant :

V_0 [V]	I_{0Y} [A]	R_s [Ω]	P_{js} [W]	P_0 [W]	$P_0 - P_{js}$ [W]
380	1,67	9,07	75,88	260	184,12
370	1,56	9,07	66,21	225	158,79
360	1,44	9,08	56,48	220	163,52
350	1,33	9,08	48,18	205	156,82
340	1,27	9,10	44,03	200	155,97
330	1,18	9,10	38,01	175	136,99
320	1,09	9,11	32,47	171	138,53
310	1,03	9,12	29,02	165	135,98
300	0,98	9,13	26,30	150	123,7
290	0,92	9,15	23,23	140	116,77
280	0,87	9,16	20,79	140	119,21
270	0,86	9,17	20,34	140	119,66
260	0,81	9,18	18,06	125	106,95
250	0,77	9,18	16,32	120	103,68
240	0,75	9,18	15,49	115	99,51

IV-5-6 Le graphe des pertes fer et des pertes mécaniques en fonction de la tension (U^2)

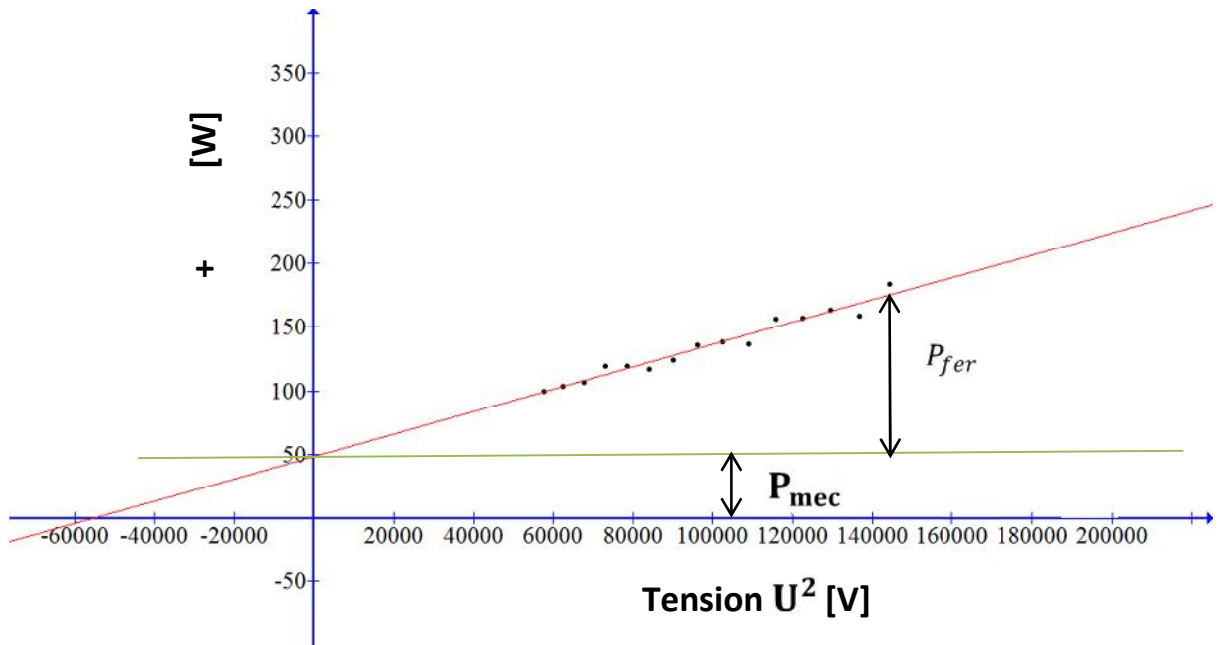


Figure IV-4 : les pertes fer et les pertes mécaniques en fonction de U^2

D'après la Figure IV-4 on peut séparer les pertes fer et les pertes mécaniques.

En traçant une droite qui passe par le maximum de points, celle-ci coupe l'axe des ordonnées. Ce point représente les pertes mécaniques, après en traçant une droite horizontale qui passe par ce dernier.

Donc le graphe est séparé en deux parties : une partie qui est au-dessous de la droite qui représente les pertes mécaniques et une partie au-dessus de la droite qui représente les pertes fer.

Les résultats des calculs après avoir exploité tous les résultats obtenus de l'essai à vide sont représentés dans le Tableau IV-d suivant, pour une tension de 380 V.

Tableau IV-d : Résultats de calcul des pertes fer et des pertes mécaniques obtenues de l'essai à vide

Pertes fer [W]	Pertes mécanique [W]	R_s [Ω]
136, 12	48	8.69

IV-6 Essai au synchronisme

Dans cet essai le moteur est entraîné grâce à la machine à courant continu fonctionnant en moteur pour quelle tourne au synchronisme.

Pour réaliser cet essai, on couple la machine à courant continu, a excitation shunt, avec la machine asynchrone.

En premier lieu, on alimente le moteur asynchrone avec une source triphasé et la machine à courant continu avec une source continue respectivement pour vérifier le sens de rotation des deux. On alimente la machine à courant continu avec une source variable pour entrainer la machine asynchrone à la vitesse de synchronisme (1500 tr/min). Ensuite, on alimente la MAS à sa tension nominale 380V.

On utilise un bras d'équilibrage pour mesurer le couple de la machine à courant continu. Ce couple nous permet de mesurer la puissance mécanique P_M de la MCC.

Les pertes fer peuvent être données à l'aide de la formule suivante: (Annexe D)

$$P_M + P_a = P_{fer} + P_{js} + P_{mec1} \quad (IV-7)$$

Donc on aura :

$$P_{fer} = P_M + P_a - P_{js} - P_{mec1} \quad (IV-8)$$

Avec :

$$P_M = C * \Omega \quad (IV-9)$$

$$\text{Et :} \quad C = M * L \quad (IV-10)$$

$$P_{mec} = P_{mec1} + P_{mec2} \quad \longrightarrow \quad P_{mec1} = P_{mec} - P_{mec2} \quad (IV-11) \text{ (Annexe D)}$$

M : la force appliqué sur le bras [M=50N].

L : La longueur mesuré sur le bras d'équilibrage [L=1, 6*10⁻² m].

C : Le couple fournie par la MCC [N.m].

Ω : la vitesse de rotation de la MAS [rd/s].

P_a : La puissance absorbée par la MAS [W].

P_{fer} : Les pertes fer dans la MAS [W].

Chapitre IV mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

P_{js} : Les pertes joules statorique de la MAS [W].

Avec : $P_{js}=3 \cdot R_s \cdot I_{0Y}^2$ (IV-12)

P_{mec1} : Les pertes mécaniques dans la MAS [W].

R_s : La résistance d'une phase statorique [Ω].

I_{0Y} : Le courant qui traverse une phase statorique (en étoile) [A].

Les appareils utilisés pour cet essai sont :

- Une source variable et fixe à courant continu pour alimenter la machine à courant continu.
- Une source variable a courant alternatif pour alimenter la machine asynchrone.
- Deux voltmètres.
- Trois ampèremètres pour lire le courant de phase, le courant d'excitation du la MCC et le courant dans l'inducteur.
- Deux wattmètres pour mesuré les puissances.
- Deux rhéostats branchés en parallèle à l'excitation pour ajuster la vitesse.
- Un tachymètre pour mesurer la vitesse de rotation.

IV-6-1 Le montage de mesure au synchronisme

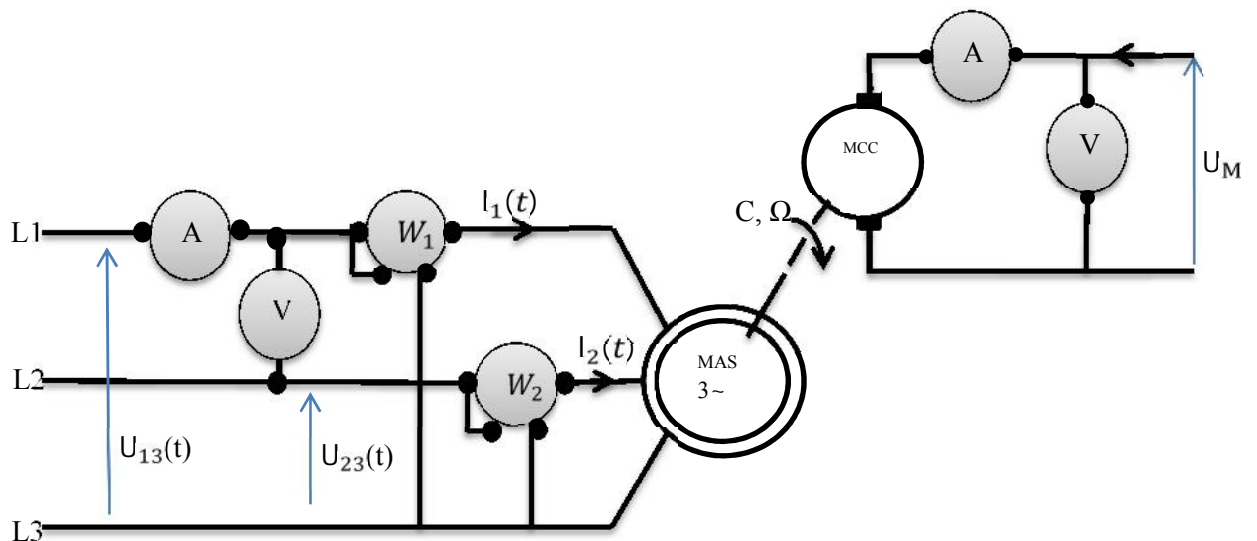


Figure IV-5 : Montage de mesure au synchronisme

IV-6-2 Résultats de mesure au synchronisme

Lors de l'essai, le champ tournant et le rotor tourne à la même vitesse. Le glissement est nul.

Dans ce cas on effectue un seul essai, les résultats de cet essai sont représentés dans le **tableau IV-e** suivant :

Tableau IV-e : les résultats de mesure de l'essai au synchronisme

V_0 [V]	I_{0Y} [A]	W_1 [KW]	W_2 [KW]	P_a [KW]	Ω [rd/s]
380	2,39	0,84	-0,645	0.195	1500

IV-6-3 Exploitation des résultats obtenue par l'essai de synchronisme

Le **tableau IV-f** suivant représente les calculs de l'essai au synchronisme :

Tableau IV-f: les résultats de calcul de l'essai au synchronisme

C [N.m]	P_M [W]	P_a [W]	P_{js} [W]	P_{fer} [W]	P_{mec1} [W]
0,8	125,65	195	156,79	150,59	13,27

IV-6-4 Comparaison des résultats obtenue par l'essai à vide et l'essai en synchronisme

D'après les résultats obtenue dans les deux essais (à vide et au synchronisme) lors de calcul des pertes fer, on remarque qu'il y a une petite différence environ 14 w.

Cette différence revient au :

- Des erreurs de mesure à cause de matériel utilisé.
- Manque de précision dans la lecture.
- L'instabilité du réseau électrique.

IV-7 Comparaison des résultats

La comparaison des différents résultats de calcul des pertes fer obtenue dans les chapitres précédents sont présentés dans le **tableau IV-g** suivant :

Tableau IV- g : les résultats de calcul des pertes fer par différentes méthodes

Les différentes méthodes de calculs des pertes fer	Pertes fer	L'unité
Méthode de dimensionnement	100, 51	W
Méthode analytique par la formulation de Steinmetz	268, 2236	W
Méthode analytique par la formulation de Liwschitz	25, 30341	W
Par l'essai à vide	136, 12	W
Par l'essai au synchronisme	150, 59	W

IV-7-1 Commentaire sur le tableau

D'après ce tableau on peut constater que les valeurs des pertes sont différentes d'une méthode à une autre.

On peut dire que la méthode expérimentale est très proche à la réalité par rapport aux autres méthodes (méthodes de dimensionnement et analytique). Parce que les résultats obtenus dans la méthode de dimensionnement et la méthode analytique sont difficiles à les approximer aux valeurs réelles des pertes à cause des coefficients de ces pertes.

IV-7-2 Les courbes des pertes par différentes méthodes en fonction de l'induction

La comparaison par courbe de l'évolution des pertes fer en fonction de l'induction magnétique pour différentes méthodes (dimensionnement, analytique, expérimentale) est représenté dans la **figure IV-6** :

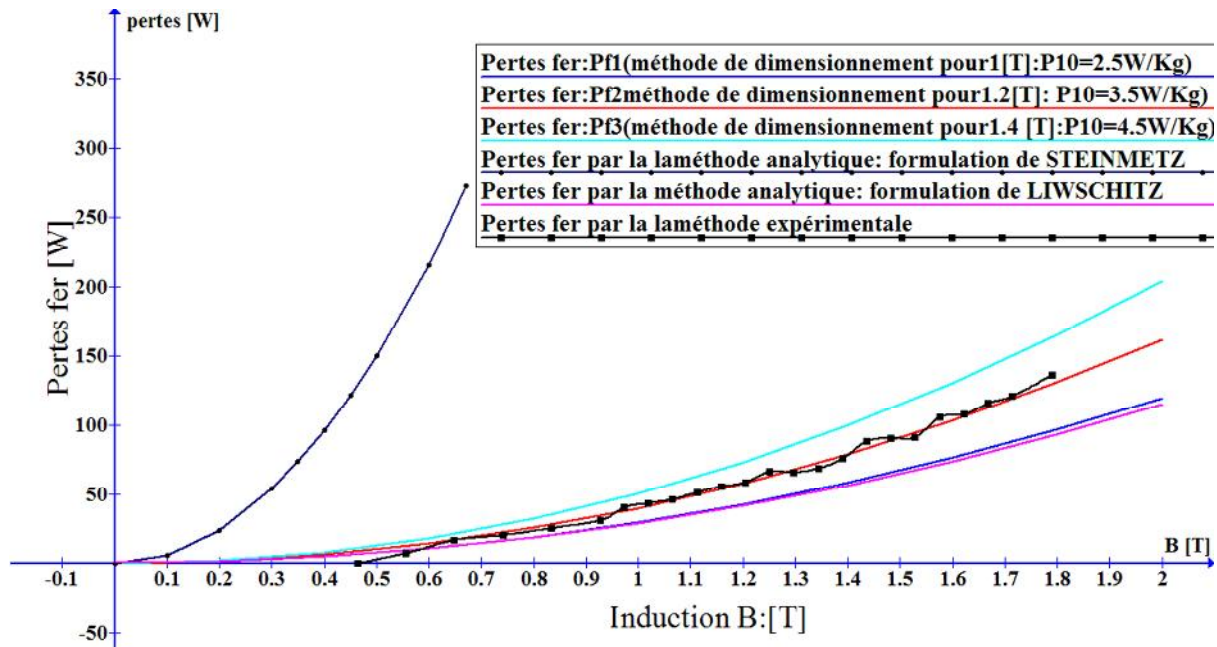


Figure IV-6 : les courbes des pertes fer (dimensionnement, analytique et expérimentale) par les trois méthodes de calcul

D'après la **figure IV-6** on remarque que les pertes fer augmentent à chaque fois on augmente l'induction. Dans ce cas on prend la courbe de la méthode expérimentale comme référence parce qu'elle est proche de la réalité.

On constate une coïncidence de la formulation analytique de LIWSCHITZ avec celle de dimensionnement pour $P_{10}=2,5 \text{ W/Kg}$. D'autre part la méthode de dimensionnement coïncide avec l'expérimentale pour $P_{10}=3,5 \text{ W/Kg}$, et que la formulation analytique de STEINMETZ n'est pas applicable dans notre cas.

IV-8 Conclusion

Dans ce chapitre, on a mesuré expérimentalement les pertes fer dans une machine asynchrone à cage.

Les résultats obtenus par cette méthode sont considérés comme une référence. On se basant sur cette dernière, on a abouti que le calcul analytique de la formulation de STEINMETZ n'est pas applicable dans notre étude. Et que la méthode de dimensionnement coïncide avec la méthode expérimentale pour $P_{10}=3,5 \text{ W/Kg}$. D'autre part, la formulation de LIWSCHITZ coïncide avec la méthode de dimensionnement pour $P_{10}=2,5 \text{ W/Kg}$.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude et l'estimation des pertes fer dans une machine asynchrone a cage 2,2 KW par différentes méthodes. Notre travail consiste à déterminer les pertes fer qui existe dans la machine par différentes formules de calcul et leurs définitions.

En premier lieu, on a fait une généralité sur la machine asynchrone à cage et on a déterminé les différentes puissances et les différentes pertes qui existe dans cette machine. Dans notre cas on s'intéresse aux différentes pertes en particulier les pertes fer

Par la suite, on a utilisé trois méthodes pour calculer les pertes fer dans la machine qui sont : la méthode de dimensionnement, la méthode analytique et la méthode expérimentale.

La méthode de dimensionnement et la méthode analytique sont basées sur des formules pour calculer les pertes fer en utilisant le cahier de charge, ensuite sur les dimensions géométriques et électriques de la machine.

La méthode expérimentale qui est faites au niveau de laboratoire de machine a courant alternatif au sein du département d'électrotechnique. Cette méthode consiste à réaliser deux essais : un essai à vide et un essai au synchronisme pour déterminer les pertes fer. Les résultats obtenus par ces essais sont pris comme référence pour la comparaison.

A la fin, on a fait une comparaison des résultats obtenus par les trois méthodes et on a considéré la méthode expérimentale comme référence parce qu'elle est proche de la réalité. Et que le calcul analytique de la formulation de STEINMETZ n'est pas applicable dans notre étude. Par contre la méthode de dimensionnement coïncide avec la méthode expérimentale pour une valeur de pertes spécifiques égale a $P_{10}=3,5$ W/Kg. D'autre part, la formulation de LIWSCHITZ coïncide avec la méthode de dimensionnement pour $P_{10}=2,5$ W/Kg.

On remarque aussi que les pertes fer par courant de Foucault sont moins importantes par rapport à celle d'hystérésis. Et que la grande partie de ces pertes se trouvent dans la culasse statorique par rapport à celle des dents.

Bibliographies

Bibliographies

[1] Moteur asynchrone a cage d'écureuil

Année 2008

[2] « Moteur asynchrone triphasé », IUT Mesures physiques

université de Montpellier 2, Année Universitaire 2008/2009

[3] **GAETAN DIDIER**

« Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence des défaillances » thèse

de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy I Année 2004.

[4] **BAPIO BAYALA**

« la machine asynchrone », Année 2010

[5] **ALAIN CHARBONNEL**

« Le moteur asynchrone triphasé ».

Année 2010

[6] **CHAIR.K, SADI HADDAD.L**

« Études et estimation des pertes fer dans une machine asynchrone a cage » mémoire de fin

d'études de master académique UMMTO, 2014 -2015.

[7] **OUGHACHA.M, TABOU.A**

« étude des pertes fer dans une machine asynchrone à cage 2.2 ».

Mémoire de fin d'études de master académique UMMTO, 2016

[8] **VALENTIN COSTAN**

« étude des pertes fer dans les transformatrices inter-cellules »

Thèse du doctorat. Institut National polytechnique de Toulouse, 2007

[9] **AURELIE FASQUELLE**

« contribution à la modélisation multi physique ».

Thèse du doctorat. Ecole Centrale de L'ILLE, novembre 2007

[10] **GABRIEL RAKOTONIRINA**

« modélisation thermique des moteurs asynchrone a cage par la méthode des éléments

finie »

Thèse du doctorat. Université de Québec, 2001

Bibliographies

[11] AIGOUN.A, AMRANE.S

« études des pertes d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil ».

Mémoire de fin d'études de master académique UMMTO. Edition 2010

[12] THIERY CHEVALIER

« modélisation et mesure des pertes fer dans les machines électriques, application à la machine asynchrone ».

Institut national polytechnique de Grenoble laboratoire d'électrotechnique de Grenoble, année 2009

[13] BENGUEDOUAR.Y

« Algorithme d'optimisation par essaim de particules (OEP) Application à l'amélioration des moteurs El-Azazga, Algérie ».

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de MASTER en génie électrique université de MSILA. Année 2011/2012

Annexe A :

**Calcul des paramètres
magnétiques et électriques
de la machine asynchrone à
cage**

I. Calcul des paramètres magnétiques et électriques de la machine asynchrone à cage**I.1 Calcul du courant dans la phase statorique**

$P_n = 2,2$ puissance nominale

$U_1 = 380$ la tension d'alimentation

$m_1 = 3$ nombre de phase

$n_n = 0,78$ le rendement

$P = 2$ le nombre de pair de pôles

$\cos(\varphi) = 0,83$ facteur de puissance

$\varphi = 33,9^\circ$ le déphasage

$K_e = 0,985 - 5 \cdot p \cdot 10^{-3} = 0,975$ le rapport U/E

I_1 : le courant d'une phase statorique

$$I_1 = \frac{P_n \cdot 10^3}{m_1 \cdot U_1 \cdot n_n \cdot \cos(\varphi)}$$

$$I_1 = 2,98 \text{ A}$$

I-2 calcul Coefficient de l'enroulement K_{enr1}

$$K_{enr1} = K_{d1} \cdot K_{f1}$$

I-2-1 Calcul de coefficient de distribution :

$Z_1 = 36$ encoche statorique

$$q_1 = Z_1 / 2p \cdot m_1$$

$$q_1 = 3 \text{ enc/pole/phase}$$

$$\alpha = 2 \cdot \pi \cdot p \cdot q_1 / Z_1$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Alors K_{d1} ce calcul comme suit :

$$K_{d1} = \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{q_1 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2 \cdot q_1}\right)}$$

$$K_{d1} = 0,96$$

I.2.2 coefficient de raccourcissement

$$K_{r1} = \sin \frac{\beta\pi}{2}$$

Avec : $\beta = 1$ pas de raccourcissement

$$K_{r1} = 1$$

Donc le coefficient de d'enroulement est donne comme suit :

$$K_{enr1} = K_{d1} \cdot K_{f1}$$

$$K_{enr1} = 0.96.1$$

$$K_{enr1} = 0.96$$

I-3 calcul de nombre de spires W_1 :

I-3-1 pas dentaire

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_{1int}}{Z_1} = 7.72 \text{ mm}$$

$$t_1 = 7.72 \text{ mm}$$

I-3-2 le nombre de conducteur :

$a_1 = 1$ nombre de branche parallèle

$$U_{en1} = \frac{a_1 \cdot t_1 \cdot A_1 \cdot 10^{-3}}{I_1}$$

$$U_{en1} = \frac{1.7,72 \cdot 2.47 \cdot 10^4 \cdot 10^{-3}}{2,98}$$

$$U_{en1} = 64 \text{ conducteurs}$$

Donc le nombre de spire se calcul comme suit :

$$W_1 = U_{en1} \cdot \frac{Z_1}{2 \cdot m_1 \cdot a_1} = 384 \text{ spires}$$

$$W_1 = 384 \text{ spires}$$

I-4 calcul de charge linéaire A_1 :

$D_{1int} = 88,5$ le diamètre intérieure du stator

$$A_1 = 2 \cdot m_1 \cdot W_1 \cdot \frac{I_1}{\pi \cdot D_{1int} \cdot 10^3} = 2,47 \cdot 10^4 \text{ A/m}$$

$$A_1 = 2,47 \cdot 10^4 \text{ A/m}$$

I-5 La puissance électromagnétique P_e :

$$P_e = K_e \cdot \frac{P_n}{\ln \cdot \cos \varphi_n} = 3,31 \text{ kW}$$

$$P_e = 3,31 \text{ KW}$$

I-6 Calcul de l'induction magnétique B_δ

l_i : Longueur virtuelle de l'induit =110mm

n_1 : La vitesse de synchronisme [tr/min]

α_i : $2/\pi=0,637$: coefficient de recouvrement polaire

$K_f=1,11$: coefficient de la forme d'onde d'induction dans l'entrefer

$$B_\delta = \frac{6,1 \cdot 10^{12} \cdot P_e}{l_i \cdot \alpha_i \cdot K_f \cdot K_{enr1} \cdot A_1 \cdot D_{1int}^2 \cdot n_1}$$

$$B_\delta = \frac{6,1 \cdot 10^{12} \cdot 3,31}{110 \cdot 0,637 \cdot 1,11 \cdot 0,96 \cdot 2,47 \cdot 10^4 \cdot 88,5^2 \cdot 1500}$$

$$B_\delta = 0,93 \text{ T}$$

I-6 Calcul de l'induction maximale dans les dents statorique B_{z1max} :

$t_1=7,72$ mm

$K_{fer}=0,97$ Coefficient de remplissage des tôles statorique

$b_{z1}=3,87$ mm La largeur de la dent statorique

$$B_{z1max} = \frac{t_1 \cdot B_\delta}{K_{fer} \cdot b_{z1}} = 1,91$$

$$B_{z1max} = 1,91 \text{ T}$$

I-7 Calcul de l'induction magnétique ans le dos statorique B_{clmax} **I-7-1 Le pas polaire**

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{1int}}{2 \cdot p} = 69,5 \text{ mm}$$

$$\tau = 69,5 \text{ mm}$$

I-7-2 Hauteur du dos du stator

$D_{1moy}=119,53$ mm Diamètre moyen du stator

$$h_{c1} = \frac{D_{1ext} - D_{1moy}}{2}$$

$$h_{c1} = \frac{145 - 119,53}{2} = 12,73$$

$$h_{c1} = 12,73 \text{ mm}$$

L'induction magnétique dans le dos statorique est donne comme suit :

$$B_{clmax} = \frac{0,5 \cdot \alpha_i \cdot B_\delta \cdot \tau}{K_{fer} \cdot h_{c1}} = 1,72 \text{ T}$$

$$B_{clmax} = 1,72 \text{ T}$$

I-8 Le poids total de la culasse G_{c1} :

$$\gamma_c = 7,8 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{masse volumique}$$

$$G_{c1} = \pi \cdot (D_{1ext} - h_{c1}) \cdot K_{fer} \cdot l_i \cdot h_{c1} \cdot \gamma_c \cdot 10^{-9}$$

Alors :

$$G_{c1} = 3,14 \cdot (145 - 12,735) \cdot 0,975 \cdot 110,7 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 4,40 \text{ Kg}$$

$$G_{c1} = 4,40 \text{ Kg}$$

I-9 Calcul de B_{02}

I-9-1 Le pas dentaire rotorique

$$Z_2 = 28 \quad \text{Le nombre d'encoche rotorique}$$

$$D_{2ext} = 88 \text{ mm} \quad \text{le diamètre extérieure}$$

$$t_2 = \pi \cdot \frac{D_{2ext}}{Z_2} = 9,87 \text{ mm}$$

$$t_2 = 9,87 \text{ mm}$$

I.9.2. Calcul de coefficient de KARTER K_δ

$$b_{f1} = 2,8 \text{ mm} \quad \text{la largeur de la fente statorique}$$

$$b_{f2} = 1 \text{ mm} \quad \text{la largeur de la fonte rotorique}$$

$$\delta = 0,25 \text{ mm} \quad \text{epaisseur de l'entrefer}$$

$$K_{\delta 1} = 1 + \frac{b_{f1}}{t_1 - b_{f1} + 5 \delta \cdot \frac{t_1}{b_{f1}}} = 1,33$$

$$K_{\delta 2} = 1 + \frac{b_{f2}}{t_2 - b_{f2} + 5 \delta \cdot \frac{t_2}{b_{f2}}} = 1,04$$

Alors :

$$K_\delta = K_{\delta 1} \cdot K_{\delta 2} = 1,38$$

$$K_\delta = 1,38$$

Donc B_{02} se calcul comme suit :

Avec : $\beta_{02}=0.275$ coefficient déterminé de la figure 2(Annexe F)

$$B_{02}=\beta_{02} \cdot B_{\delta} \cdot K_{\delta}$$

$$B_{02}=0,275 \cdot 0,93 \cdot 1,38=0,35$$

$$B_{02}=0,35$$

I-10 Calcul de l'induction pulsatoire B_{pul2} :

I-10-1 Le pas d'enroulement

$$y_1 = \frac{(\frac{b_{f1}}{\delta})^2}{5+b_{f1}} = 7,74$$

$$y_1 = 7,74$$

I-10-2 La largeur de la dent rotorique

$$b_{z2}=4,77\text{mm}$$

$$b_{z2}=4,77 \text{ mm}$$

I-10-3 Calcul de l'induction maximale de la dent rotorique B_{z2max}

$$B_{z2max}=B_{\delta} \cdot \frac{t_2}{b_{z2} \cdot K_{fer}}=1,98 \text{ T}$$

$$B_{z2max}=1,98 \text{ T}$$

Donc :

$$B_{pul2} = \left[\frac{y_1 \cdot \delta \cdot B_{z2max}}{2 \cdot t_2} \right] = 0,19 \text{ T}$$

$$B_{pul2} = 0,19 \text{ T}$$

I-11 Calcul de l'induction magnétique dans le dos rotorique B_{c2}

$h_{c2}=15,12\text{mm}$ La hauteur du dos rotorique

$$B_{c2}=0,5 \cdot \alpha_i \cdot \tau \cdot \frac{B_{\delta}}{K_{fer} \cdot h_{c2}}=1,40 \text{ T}$$

$$B_{c2}=1,40 \text{ T}$$

I.12. la hauteur de la culasse statorique

$$h_{c2} = 0,5 \cdot \frac{\alpha_{i.t} \cdot B_{\delta}}{K_{fer} \cdot B_{c2}} = 15.12 \text{ mm}$$

$$h_{c2} = 15.12\text{mm}$$

Annexe B :

**Calcul des pertes fer par la
méthode de
dimensionnement**

I-Pertes magnétiques dans l'acier**I-1-les pertes dans la culasse statorique**

$$P_{10(50HZ)}=2,5 \text{ W/Kg}$$

$$K_{dc}=1,3 \text{ coefficient totale de majoration des pertes}$$

$$\beta=3/2$$

$$f_1=50\text{Hz}$$

$$G_{c1}=4,40 \text{ Kg}$$

$$B_{c1max}=1,72 \text{ T}$$

$$P_{fc1}=P_{10(50HZ)} * K_{dc} * G_{c1} * (f_1/50)^\beta * B_{c1max}^2$$

$$P_{fc1}=2,5 * 1,3 * 4,40 * (50/50)^{3/2} * (1,72)^2=55,32 \text{ W}$$

$$P_{fc1}=55,32 \text{ W}$$

I-2- Les pertes dans les dents statorique

$$B_{z1max}=1,92 \text{ T}$$

$$K_{dz}=1,7 \text{ coefficient de majoration des pertes}$$

$$h_{z1}=15,51 \text{ hauteur de la dent statorique}$$

$$G_{z1}=h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot l_i \cdot Z_1 \cdot K_{fer} \cdot \gamma_c \cdot 10^{-9}$$

$$G_{z1}=15,51 * 3,87 * 110,36 * 0,977 * 8 * 10^3 * 10^{-9}=1,79 \text{ Kg}$$

$$G_{z1}=1,79 \text{ Kg}$$

Alors :

$$P_{fz1}=K_{dz} * B_{z1max}^2 * G_{z1} * P_{10(50hz)} * (f_1/50)^\beta$$

$$P_{fz1}=1,8 * (1,92)^2 * 1,79 * 2,5 * \left(\frac{50}{50}\right)^{3/2}$$

$$P_{fz1}=29,38 \text{ W}$$

I-3- Les pertes magnétiques principales d'acier

$$P_{acp} = P_{fc1} + P_{fz1}$$

$$P_{acp} = 55,32 + 29,38 = 84,70 \text{ W}$$

$$P_{acp} = 84,70 \text{ W}$$

I-4- Les pertes magnétiques supplémentaires d'acier**I-4-1- Les pertes à la surface du rotor P_{sr} (pertes superficielles)**

$$B_{02} = 0,35 \text{ (calculer dans l'Annexe A)}$$

$$K_{02} = 2 \text{ Coefficient en fonction du diamètre extérieure}$$

$$n_1 = 1500 \text{ tr/min}$$

$$t_1 = 7,72 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 36$$

$$P_{sr2} = 0,5 K_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n_1}{10^4} \right)^{3/2} \cdot (B_{02} \cdot t_1)^2$$

$$P_{sr2} = 0,5 \cdot 2 \cdot \left(\frac{36 \cdot 1500}{10^4} \right)^{3/2} \cdot (0,35 \cdot 7,72)^2 = 91,16 \text{ W}$$

$$P_{sr2} = 91,16 \text{ W}$$

$$t_2 = 9,87 \text{ mm}$$

$$Z_2 = 28$$

$$b_{f2} = 1 \text{ mm}$$

$$P_{sr} = P_{sr2} \cdot (t_2 \cdot b_{f2}) \cdot l_i \cdot Z_2 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{sr} = 91,16 \cdot (9,87 - 1) \cdot 110 \cdot 28 \cdot 10^{-6} = 2,49 \text{ W}$$

$$P_{sr} = 2,49 \text{ W}$$

I-4-2- Les pertes par pulsation de flux dans les dents P_{pul2}

$$B_{pul2} = 0,19 \text{ T}$$

$$G_{Z2} = Z_2 \cdot h_{c2} \cdot b_{z2} \cdot l_i \cdot K_{fer} \cdot \gamma_c \cdot 10^{-9}$$

$$G_{Z2} = 28 \cdot 10,374 \cdot 77,110 \cdot 0,977 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 1,68 \text{ kg}$$

$$G_{Z2} = 1,68 \text{ Kg}$$

Donc :

$$P_{pul2} = 0,11 \cdot \left[\left(\frac{Z_1 \cdot n_1}{10^3} \right) B_{pul2} \right]^2 \cdot G_{Z2}$$

$$P_{pul2} = 0,11 \cdot \left[\left(\frac{36 \cdot 1500}{10^3} \right) \cdot 0,19 \right]^2 \cdot 1,68 = 13,31 \text{ W}$$

$$P_{pul2} = 13,31 \text{ W}$$

I-5- Les pertes magnétiques supplémentaires total dans l'acier

$$P_{acsup} = P_{sr} + P_{pul2}$$

$$P_{acsup} = 2,49 + 13,31 = 15,8 \text{ [W]}$$

$$P_{acsup} = 15,8 \text{ W}$$

I-6- Les pertes totales dans l'acier P_{ac} :

$$P_{ac} = P_{acp} + P_{acsup}$$

$$P_{ac} = 84,71 + 15,8 = \text{[W]}$$

$$P_{ac} = 100,51 \text{ W}$$

I-7- Les pertes mécaniques

$$P_{mec} = K_t (n_1/10)^2 * (D_{1ext} \cdot 10^{-3})^4$$

$$K_t = 1,3(1 - D_{1ext})$$

Pour $2p=4$ on a $D_{1ext} = 145 \text{ mm}$

$$\text{Alors } K_t = 1,3(1 - 145 \cdot 10^{-3}) = 1,11$$

$$K_t = 1,11$$

$$n_1 = 1500 \text{ [tr/min]}$$

Alors :

$$P_{mec} = K_t (n_1/10)^2 * (D_{1ext} \cdot 10^{-3})^4$$

$$P_{mec} = 1,11(1500/10)^2 * (145 \cdot 10^{-3})^4 = 11,04 \text{ [W]}$$

$$P_{mec} = 11,04 \text{ W}$$

II- Les différents matériaux et leurs paramètres

Air :

- Perméabilité relative égal à 1

Copper :

- Perméabilité relative égal à 1
- Conductivité électrique égal à 58 MS/m

Aluminium:

- Perméabilité relative égal à 1
- Conductivité électrique égal à 34,45 MS/m

Acier :

- Perméabilité relative égal à 1
- Conductivité électrique égal à 1, 334 MS/m

Fer :

- Perméabilité relative égal à 120
- Conductivité électrique égal à 1, 9 MS/m

III- Etude d'évolution des pertes fer en fonction de paramètre de calcul par dimensionnement**III-1-L'évolution des pertes fer en fonction de Kdc et Kdz**

%les pertes fer dans la culasse en utilisant des valeurs de l'induction obtenue par dimensionnement

```
clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;
Gc1=4.40;
Bc1max=1.72;
Kdc=[1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 ];
Pfc1=P10*(f/50).^B1*Kdc *Gc1*Bc1max.^2;
```

%les pertes fer dans la culasse en utilisant les valeurs de l'induction

%obtenue par la FEMM

```
P10=2.5;
Bc1max=1.62;
Kdc=[1.3 1.4 1.5 1.6 1.7];
Pfc2=P10*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*Bc1max.^2;
plot (Kdc,Pfc1,'G',Kdc,Pfc2,'R')
xlabel('coefficient de majoration')
ylabel('pertes fer dans la culasse')
legend('dimen','FEMM')
grid on
```

%les pertes fer dans les dents en utilisant des valeurs de l'induction obtenue par dimensionnement

```
clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;
Gz1=1.79;
Bz1max=1.91;
Kdz=[1.7 1.73 1.75 1.77 1.8 ];
Pfz1=P10*(f/50).^B1*Kdz *Gz1*Bz1max.^2;
```

%les pertes fer dans les dents on utilisant les valeurs de l'induction

%obtenue par la FEMM

```
P10=2.5;
Bz1max=1.65;
Kdz=[1.7 1.73 1.75 1.77 1.8 ];
Pfc2=P10*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*Bz1max.^2;
plot (Kdz,Pfz1,'G',Kdz,Pfz2,'R')
xlabel('coefficient de majoration')
```

```

ylabel('pertes fer dans les dents')
legend('dimen','FEMM')
grid on
%les pertes fer dans la culasse en utilisant des valeurs de l'induction obtenue par
dimensionnement
clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;
Gc1=4.40;
Bc1max=1.72;
Kdc=[1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 ];
Pfc1=P10*(f/50).^B1*Kdc *Gc1*Bc1max.^2;
%les pertes fer dans la culasse en utilisant les valeurs de l'induction
%obtenue par la FEMM
P10=2.5;
Bc1max=1.73;
Kdc=[1.3 1.4 1.5 1.6 1.7];
Pfc2=P10*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*Bc1max.^2;
plot (Kdc,Pfc1,'G',Kdc,Pfc2,'R')
xlabel('coefficient de majoration')
ylabel('pertes fer dans la culasse')
legend('dimen','FEMM')
grid on
%les pertes fer dans les dents en utilisant des valeurs de l'induction obtenue par
dimensionnement
clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;
Gz1=1.79;
Bz1max=1.91;
Kdz=[1.7 1.73 1.75 1.77 1.8 ];
Pfz1=P10*(f/50).^B1*Kdz *Gz1*Bz1max.^2;
%les pertes fer dans les dents on utilisant les valeurs de l'induction
%obtenue par la FEMM
P10=2.5;
Bz1max=1.70;
Kdz=[1.7 1.73 1.75 1.77 1.8 ];
Pfz2=P10*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*Bz1max.^2;
plot (Kdz,Pfz1,'G',Kdz,Pfz2,'R')
xlabel('coefficient de majoration')
ylabel('pertes fer dans les dents')
legend('dimen','FEMM')
grid on

```

III-2- L'évolution des pertes fer en fonction de l'induction pour des valeurs des Coefficients maximaux

```

% l'évolution des pertes fer en fonction de l'induction pour des valeurs des coefficients max
clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;

```

```

Gc1=4.40;
Gz1=1.79;
Kdc=1.3;
B=[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.67 1.79 1.8 1.92 2];
Pfc1=P10*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*B.^2;
Kdz=1.7;
Pfc2=P10*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*B.^2;
Pfl=Pfc1+Pfc2;
B=[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.67 1.79 1.8 1.92 2];
Kdc=1.7;
Pfc2=P10*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*B.^2;
Kdz=1.8;
Pfc2=P10*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*B.^2;
Pfc2=Pfc2+Pfc2;
plot(B,Pf2,'G',B,Pfc1,'M',B,Pfc2,'B');
xlabel('l'induction')
ylabel('pertes fer[W]')
legend('Pfl','Pfc1','Pfc2')
grid on

```

III-3- L'évolution des pertes fer dans la culasse et les dents en fonction de l'induction pour les différentes valeurs (Kdc,Kdz).

% l'évolution des pertes fer dans la culasse et les dents en fonction
%de l'induction pour des différentes valeurs de (Kdc,Kdz)

```

clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;
Gc1=4.40;
Gz1=1.79;
Kdc=1.7;
B=[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.67 1.79 1.8 1.92 2];
Pfc1=P10*(f/50).^B1*Kdc*Gc1*B.^2;
Kdz=1.8;
Pfc2=P10*(f/50).^B1*Kdz*Gz1*B.^2;
Kdc1=1.3;
Pfc2=P10*(f/50).^B1*Kdc1*Gc1*B.^2;
Kdz1=1.7;
Pfc2=P10*(f/50).^B1*Kdz1*Gz1*B.^2;
plot(B,Pfc1,'G',B,Pfc2,'R',B,Pfc2,'M',B,Pfc2,'B')
xlabel('l'induction')
ylabel('pertes fer[W]')
legend('Pfc1','Pfc2','Pfc2','Pfc2')
grid on

```

III-4- L'évolution des pertes fer dans le stator de la machine en fonction de l'induction pour des différentes valeurs des pertes spécifique

% l'évolution des pertes fer dans le stator de la machine en
% fonction de l'induction pour des différentes valeurs des pertes
% spécifique

```

clear all
close all
P10=2.5;

```

```

f=50;
B1=3/2;
Gc1=4.404;
Gz1=1.79;
Kdz=1.7;
Kdc=1.7;
Psr=2.632;
Gz2=1.15;
sigma=0.25;
gama1=7.74;
t2=9.86;
Z1=36;
n1=1500;
B=[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2];
Bpul2=(gama1*sigma*B)/(2*t2);
Ppul2=0.11*Gz2*(Bpul2*Z1*n1*10^-3).^2
Pfc1=P10*(f/50).^B1*Kdc*Gc1*B.^2;
Pfcz1=P10*(f/50).^B1*Kdz*Gz1*B.^2;
Pfl=Pfc1+Pfcz1+Ppul2;
P10d=3.5;
Pfc2=P10d*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*B.^2
Pfcz2=P10d*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*B.^2
Pfl2=Pfc2+Pfcz2+Ppul2;
P10F=4.50;
Pfc3=P10F*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*B.^2
Pfcz3=P10F*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*B.^2
Pfl3=Pfc3+Pfcz3+Ppul2;
plot(B,Pfl,'G',B,Pfl2,'R',B,Pfl3,'B')
legend('Pfl ( méthode de dimensionnement pour 1 [T]:P10=2.5 W/Kg)', 'Pfl2 (
méthode de dimensionnement pour 1.2 [T]: P10=3.5 W/Kg)', 'Pfl3 ( méthode de
dimensionnement pour1.4 [T]: P10=4.5 W/Kg)')
xlabel('Induction [T]')
ylabel('Pertes fer [W]')

```

Annexe C :

**Calculs analytique des
pertes fer**

```
% 1.formulation de STEINMETZ
% 1.1 les pertes fer massiques
%1.1.a les pertes massiques par hystérésis (W/Kg)
Dext=145;
Dint=88.5;
Hz1=15.51;
Kh=1.002;
F=50;
Bmax=0.93;
Pyst= (Bmax ^2)* F*Kh
Pyst =
```

43.3315

```
%1.1.b les pertes massiques par courant de Foucault (W/Kg)
Kf=1.02;
e1=0.35*(10^-3);
Pf=Kf*(e1*F*Bmax)^2
Pf =
```

2.7017e-004

```
%1.2 les pertes fer massiques globales (W/Kg)
Pfer=Pyst+Pf
Pfer =
```

43.3318

```
%les pertes fer massiques globales en (W) supposent une machine parfaites
Mc=4.40;
Md=1.79;
Pfer1 =Pfer*(Mc+Md)
Pfer1 =
```

268.2236

```
%les pertes fer massiques globales en (W) après le processus de fabrication
des tôles
%en affectes les pertes des coefficients d'ordre 3et 1.5 respectivement
dans
%les dents et la culasse
Pfer2=Pfer*[ (1.5*Mc)+(3*Md) ]
Pfer2 =
```

518.6812

```
%2. Formulation de LIWSCHITZ
%2.1 les pertes fer spécifiques
%2.1.a les pertes spécifiques par hystérésis (W/Kg)
F=50;
Bmax=0.93;
sigmah=4.8; %(annexe E)
Fh=1; %facteur de réaction (annexe E)
Ph=sigmah*F*(Bmax^2)*Fh*10^-2
Ph 2.0758
```

```
%2.1.b les pertes spécifiques par courant de Foucault (W/Kg)
sigmaw=1.44;
```

```
e1=0.35*(10^-3);
```

```
F=50;
```

```
Bmax=0.93;
```

```
Fw=1 ;%facteur de réaction (annexe E)
```

```
Pw = sigmaw*(e1*F*Bmax)^2*Fw*10^2
```

```
Pw =
```

```
0.0381
```

```
% les pertes spécifiques globales en (W/Kg)
```

```
Psp1=Pw+Ph
```

```
Psp1 =
```

```
2.1139
```

```
%2.2.1 les pertes spécifiques globales en W supposent une machine parfaites
```

```
Psp1=Psp1*[Mc+Md]
```

```
Psp1 =
```

```
13.0851
```

```
%les pertes spécifiques globales en (W) après le processus de fabrication des tôles
```

```
%en affectes les pertes des coefficients d'ordre 3et 1.5 respectivement dans
```

```
%les dents et la culasse
```

```
Psp2=Psp1*[(1.5*Mc) + (3*Md)]
```

```
Psp2 =
```

```
25.3034
```

Annexe D :

**Calcul des pertes fer et les
paramètres de la machine
par la méthode
expérimentale**

Annexe D mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

IV-1 Programme des pertes fer d'essai à vide

% 1.essai à vide

% calcul des pertes fer et les pertes mécanique en fonction de la tension (u)

%I0: le courant mesurer a vide

I0=[2.9 2.71 2.5 2.32 2.2 2.05 1.9 1.8 1.7 1.6 1.51 1.49 1.41 1.35 1.31 1.26 1.19 1.12 1.08 0.9
0.78 0.79 0.72 0.66 0.62 0.68 1.1 1.4 0.65]

%I1=I0^2

I1=[8.41 7.3441 6.25 5.3824 4.84 4.2025 3.61 3.24 2.89 2.56 2.2801 2.2201 1.9881 1.8225
1.7161 1.5876 1.4161 1.2544 1.166 0.81 0.6084 0.6241 0.5184 0.4256 0.3844 0.46224 1.21
1.96 0.4225]

% Pjs: les pertes joules statorique

$$P_{js}=3*R_s*I_0^2$$

$$R_s = R_{s(26^\circ C)} * \frac{T_2 + K}{T_1 + K}$$

%Pw1: la puissance mesurer en premier wattmètre

Pw1=[0.65 0.64 0.56 0.51 0.46 0.41 0.381 0.36 0.33 0.3 0.28 0.26 0.24 0.22 0.21]

%Pw2: la puissance mesurer en deuxième wattmètre

Pw2=[-0.39 -0.385 -0.34 -0.305 -0.26 -0.235 -0.21 -0.195 -0.18 -0.16 -0.14 -0.12 -0.115 -0.1
-0.095]

%P0: la somme des deux puissances

$$P0=(Pw1+Pw2)*10^3$$

%la tension mesurer

u=[380 370 360 350 340 330 320 310 300 290 280 270 260 250 240]

plot (u,P0,'*k')

xlabel ('u [V]')

Annexe D mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

ylabel ('P0 [W]')

%2 calcul des pertes fer et mécanique en fonction de la tension au carré u

u1=[144400 136900 129600 122500 115600 108900 102400 96100 90000 84100 78400
72900 67600 62500 57500]

P0=(Pw1+Pw2)*10^3

plot(u,P0- Pjs,'*K')

xlabel('u [V]')

ylabel('P0- Pjs [W]')

IV-2 Calcul des différents paramètres

IV-2-1 Essai à vide

$$V_0 = 380 \text{ V}$$

$$I_0 = 1.67 \text{ A}$$

$$P_0 = 260 \text{ W}$$

$$p_{mec} = 48 \text{ W}$$

$$P_{fer} + p_{mec} = 184,12 \text{ W}$$

$$P_{fer} = 136,12 \text{ W}$$

IV-2-1-a Calcul des pertes mécanique dans la MAS

Après l'échauffement du moteur on a refait l'essai à vide pour une tension de 380 V pour calculer les pertes mécanique de la MAS, on a trouvé les valeurs suivantes:

a- Moteur asynchrone et la machine à courant continue

$$V_0 = 380 \text{ V}$$

$$I_0 = 2,42 \text{ A}$$

Annexe D mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

$$P_0 = 360 \text{ W}$$

$$R_s = R_{s(26^{\circ}\text{C})} * \frac{T_2 + K}{T_1 + K} = 8,69 * \frac{40 + 235}{26 + 235} = 9,15 \Omega$$

$$\mathbf{R_s = 9,15 \Omega}$$

$$P_{js} = 3R_s I_0^2 = 3 * 9,15 * (2,42)^2 = 160,75 \text{ W}$$

$$\mathbf{P_{js} = 160,75 \text{ W}}$$

$$P_0 - P_{js} = P_{\text{fer}} + P_{\text{mec}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Avec: } P_{\text{mec}} = P_{\text{mec1}} + P_{\text{mec2}}$$

$$P_0 - P_{js} = 360 - 160,75 = 199,25 \text{ W}$$

$$\mathbf{P_0 - P_{js} = 199,25 \text{ W}}$$

a- Machine asynchrone toute seule

$$V_0 = 380 \text{ V}$$

$$I_0 = 2,38 \text{ A}$$

$$P_0 = 320 \text{ W}$$

$$R_s = 9,15 \Omega$$

$$P_{js} = 3R_s I_0^2 = 3 * 9,15 * (2,38)^2 = 155,48 \text{ W}$$

$$\mathbf{P_{js} = 155,48 \text{ W}}$$

$$P_0 - P_{js} = P_{\text{fer}} + P_{\text{mec1}} \dots\dots\dots (2)$$

$$P_0 - P_{js} = 320 - 155,48 = 164,52 \text{ W}$$

$$\mathbf{P_0 - P_{js} = 164,52 \text{ W}}$$

On fait (1) – (2):

On trouve:

$$\mathbf{P_{mec2} = 34,73 \text{ W}}$$

Annexe D mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

Donc :

$$P_{\text{mec}} = P_{\text{mec1}} + P_{\text{mec2}} \quad \longrightarrow \quad P_{\text{mec1}} = P_{\text{mec}} - P_{\text{mec2}}$$

$$P_{\text{mec1}} = 48 - 34,73 = 13,27 \text{ W}$$

$$P_{\text{mec1}} = 13,27 \text{ W}$$

IV-2-2 Essai en synchronisme

$$N = 1500 \text{ tr/min}$$

$$V_0 = 380 \text{ V}$$

$$M = 50 \text{ N}$$

$$L = 1,6 \text{ cm}$$

$$I_{0Y} = 2,39 \text{ A}$$

$$R_s = 9,15 \Omega$$

IV-2-2-a Le couple développer par la machine a courant continue

$$C = F * L = 50 * 1,6 * 10^{-2} = 0,8 \text{ N.m}$$

$$C = 0,8 \text{ N.m}$$

IV-2-2-b La puissance mécanique

$$P_M = C * \Omega$$

$$\text{Avec: } \Omega = \frac{2 \pi N}{60} = \frac{2 \pi 1500}{60} = 157,07 \text{ rd/s}$$

$$\Omega = 157,07 \text{ rd/s}$$

Donc:

$$P_M = C * \Omega$$

$$P_M = 0,8 * 157,07 = 125,65 \text{ W}$$

$$P_M = 125,65 \text{ W}$$

IV-2-2-c Les pertes joule dans le stator

$$P_{js} = 3R_s I_0^2 = 3 * 9,15 * (2,39)^2 = 156,79 \text{ W}$$

$$P_{js} = 156,79 \text{ W}$$

IV-2-2-d Pertes fer

$$P_M + P_0 = P_{fer} + P_{js} + P_{mec1}$$

$$P_{fer} = P_M + P_0 - P_{js} - P_{mec1}$$

On a: $P_0 = 195 \text{ W}$

$$P_{fer} = 125,65 + 195 - 156,79 - 13,27 = 150,59 \text{ W}$$

$$P_{fer} = 150,59 \text{ W}$$

IV-3 Programme de comparaison des résultats des pertes fer obtenue par les différentes méthodes

```

% 1.les pertes fer par la méthode de dimensionnement
clear all
close all
P10=2.5;
f=50;
B1=3/2;
Gc1=4.404;
Gz1=1.79;
Kdz=1.7;
Kdc=1.7;
Psr=2.632;
Gz2=1.15;
sigma=0.25;
gama1=7.74;
t2=9.86;
Z1=36;
n1=1500;
B=[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2];
Bpul2=(gama1*sigma*B)/(2*t2);
Ppul2=0.11*Gz2*(Bpul2*Z1*n1*10^-3).^2
Pfc1=P10*(f/50).^B1*Kdc*Gc1*B.^2;
Pfcz1=P10*(f/50).^B1*Kdz*Gz1*B.^2;
Pfc1=Pfc1+Pfcz1+Ppul2;
P10d=3.5;
Pfc2=P10d*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*B.^2
Pfcz2=P10d*(f/50).^B1 *Kdz*Gz1*B.^2
Pfc2=Pfc2+Pfcz2+Ppul2;
P10F=4.50;

```

Annexe D mesure expérimentale des pertes fer d'un moteur asynchrone à cage et comparaison

```
Pfc3=P10F*(f/50).^B1 *Kdc*Gc1*B.^2
Pfc3=P10F*(f/50).^B1 *Kdc*Gz1*B.^2
Pf3=Pfc3+Pfc3+Ppul2;
```

```
% 2.les pertes fer par la méthode analytique
```

```
% formulation de STEINMETZ
```

```
Kh=1.002;
Kf=1.02;
e1=0.35*10.^-3;
Mc=4.40;
Md=1.79;
Pyst= (B.^2)*f*Kh%les pertes massiques par hystérésis (W/Kg)
Pf=Kf*(e1*f*B).^2%les pertes massiques par courant de Foucault (W/Kg)
Pfer1=Pyst+Pf%les pertes fer massiques globales (W/Kg)
Pfer=Pfer1*[(Mc)+(Md)]%les pertes fer massiques globales en (W) après le
processus de fabrication des tôles
```

```
%3 Formulation de LIWSCHITZ
```

```
Qw=1.44;
e1=0.35*(10^-3);
f=50;
Qh=4.8;
Fw=1
Fh=1
Pw = Qw*(e1*f*B).^2*Fw*10^2%les pertes spécifiques par hystérésis (W/Kg)
Ph=Qh*f*(B.^2)*Fh*10^-2%les pertes spécifiques par courant de Foucault
(W/Kg)
Psp1=Pw+Ph%les pertes spécifiques globales en (W/Kg)
Psp=Psp1*[(1.5*Mc) + (3*Md)]%les pertes spécifiques globales en (W) après
le processus de fabrication des tôles
```

```
% les pertes fer par la méthode expérimentale
```

```
P=2;
L=11;
D=8.85;
W=384;
t1=0.7723;
bz1=0.387;
Kfer=0.97;
ai=2/pi
Tp=6.9508;
hc1=12.735;
U=[380 370 360 350 340 330 320 310 300 290 280 270 260 250 240 230 220 210
200 180 160 140 120 100 80 60 40 20 10];
B0=0.225*2*P*U*(10^2)/(L*D*W);
Bz=B0*t1/(bz1*Kfer);
Bc=0.5*ai*Tp*B0/(Kfer*hc1);
Bm=(Bz+Bc)/2;
Pm=48;
Pa=[184.12 158.72 163.52 156.09 155.97 136.99 138.53 135.98 123.7 116.77
119.21 119.66 106.95 103.68 99.51 104.5 97.24 88.7 89.4 73.1 74.4 64.87
55.32 45.97 36.58 15.77 8.8 0 0]
Pferex =Pa-Pm
```

```
plot(B,Pf1,'G',B,Pf2,'R',B,Pf3,'B',B,Psp,'.K',B,Psp,'M')
```

```
legend('Pf1 ( méthode de dimensionnement pour 1 [T]:P10=2.5)', 'Pf2 (
méthode de dimensionnement pour 1.2 [T]: P10=3.5)', 'Pf3 ( méthode de
```

dimensionnement pour 1.4 [T]: P10=4.5)', 'pertes fer par formulation de LIWSCHITZ', 'pertes fer par formulation ')

Annexe E :

**Dimensions géométrique de
la machine et certains
coefficients**

1-cahier de charge est donné comme suivant :

- Puissance nominale $P= 2,2 \text{ KW}$
- Tension nominale $U=380\text{V}$
- Fréquence du courant statorique $f=50\text{HZ}$
- Nombre de pole $2p=4$
- Facteur de puissance $\cos \varphi=0,83$
- Rendement $\eta=0,78$
- Hauteur d'axe $h=100 \text{ mm}$
- Vitesse de synchronisme $n_1=1500\text{tr/min}$
- Longueur utilisé $l_i=110\text{mm}$
- Nombre d'encoche statorique $Z_1=36$
- Nombre d'encoche rotorique $Z_2=28$
- Nombre de phase $m_1=3$

Tableau-1-Mesure obtenue de tôle magnétique statorique

Les dimensions géométriques de la tôle statorique	Valeurs numériques [mm]
Diamètre extérieur du stator D_{1ext}	145
Diamètre moyen du stator D_{1moy}	119.53
Diamètre intérieur du stator D_{1int}	88.5
Hauteur du dos du stator h_{c1}	12,735
Largeur de la dent du stator b_{z1}	3,87
Hauteur de la fente h_{f1}	1
Hauteur de la dent du stator h_{z1}	15,51
Largeur de l'encoche (cote entrefer) b_{en1}	4
Largeur de la fente de l'encoche b_{f1}	2,8

Tableau 1 : Mesure de la tôle magnétique du stator

Tableau-2-Mesure obtenue de tôle magnétique rotorique :

Les dimensions géométriques de la tôle rotorique	Valeurs numériques [mm]
Diamètre extérieur du rotor D_{2ext}	88
Diamètre intérieur du rotor D_{2int}	37
Hauteur du dos du rotor h_{c2}	15,12
Largeur de la dent du rotor b_{z2}	4,77
Hauteur de la fente h_{f2}	1
Largeur de la fente de l'encoche b_{f2}	1

Tableau 2 : Les mesures de la tôle magnétique rotorique

$\delta=0,25\text{mm}$ épaisseur de l'entrefer

$e_1=0,35*10^{-3}$ m

2-caractéristique des enroulements

- type 106-4 2,2 KW
- $r_{nu}=0,71$ mm
- $r_{isol}=0,753\text{mm}$
- U=380V couplage triangle
- 6 bobines triple /moteur
- 2 bobines en série par phase
- Enroulement concentrique
- Pas d'enroulement 1-12 2-11 3-10
- N^{bre} de section totale =18 sections
- N^{bre} de section par phase =6 sections
- N^{bre} de bobine totale =6 bobines
- N^{bre} de bobine par phase =2 bobines

Annexe E dimensions géométriques de la machine et certains coefficients

- $a_1=1$ branche parallèle
- 6 câbles de raccordement de section $0,75mm^2$
- 64 conducteurs par encoches
- Nombre d'encoche statorique est 36
- Nombre d'encoche rotorique est 28

-