

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA



FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : COMMANDE ELECTRIQUE

THEME

**Contribution à la réalisation d'un logiciel de
Conception des machines asynchrones
À flux radial**

Proposé et dirigé par :

Mr.M. HAMIMID

Mr.S. CHEKROUN

Présenté par :

-BADREDDINE Rouza
- MAHMOUDI Nassira

Année Universitaire : 2007 / 2008

REMERCIEMENTS

Nous remercions et nous louons, d'abord notre dieu de nous avoirs aider a atteindre ce but, et de défier tous les obstacles afin de compléter ce modeste mémoire, sans le rien ne se fait ou ne se Crée.

Un grand merci pour notre encadreur Mr .M .HAMIMID pour nous avoir encadré, guidé et suivi ce travail avec intérêt

Nous tenant de remercier Messieurs les membres de jury pour avoir accepter de juger notre travail .

*Tout notre remerciement a Mr.S. CHAKROUN,
Mme.BENHAMADOUCHE .Lamia, Ms. L. MEKFEN et Ms
ACHOUR,
notre chef département « Ms. BENJAIMA »*

*A tout les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur
d'état en électrotechnique option
"commande électrique"*

*N'oublions pas Adel BADREDDINE, Kamel, Salim, Rodwane,
H.Mouhamed, M.Mouhamed et Terqui
A tous les amis (es) d'études" Commande électrique " Promotion 2008*

En fin pour tous ceux qui, de prés ou de loin ont rendu ce travail possible

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents et je

Veux vous dis : Même si la mer devient encre

, et le ciel du papier est insuffisant pour écrire

« Je t'aime MAMA et PAPA »

Ames frères surtout « hadj » et soeurs surtout « Dalida »

A tous se qui je l'aime

" Si je n'ai pas l'amour, je ne suis rien".

BADREDDINE Rouza

Dédicace

Je dédie ce travail :

À Ma très chère mère et mon père

Et Sans oublier ma tante et son mari

À Mes soeurs

À Mes frères surtout Ali et houssine

À toute ma famille

À mes chers amis

À tous les amis (es) d'études surtout ceux

«Commande électrique » Promotion 2008

MAHMOUDI Nassira

SOMMAIRE

NOTATIONS

INTRODUCTION GENERALE.

GENERALITE

CHAPITRE I :

LES MACHINES ASYNCHRONES

| | | |
|------------|---|----|
| I-1 | Introduction | 19 |
| I-2 | Les machines asynchrones..... | 20 |
| I-2-1 | Définition..... | 20 |
| I-2-2 | Organisation générale d'un moteur asynchrone..... | 20 |
| I-2-2-1) | Organe électrique | 20 |
| I-2-2-2) | Organe magnétique | 20 |
| I-2-2-3) | Organe mécanique | 21 |
| I-2-3 | parties principales..... | 21 |
| I-2-3-1 | Stator..... | 21 |
| I-2-3-2 | Rotor | 22 |
| I-2-3-2-1) | Enroulement et encoches du rotor | 22 |
| I-2-4 | Entrefer..... | 23 |
| I-2-5 | L'isolation | 23 |
| ✚ I-2-5 | Principe de fonctionnement du moteur asynchrone..... | 24 |
| I-2-6 | Caractéristique de fonctionnement..... | 25 |
| I-2-7 | Schéma équivalent électrique | 25 |
| I-2-8 | Glissement et vitesse de glissement..... | 26 |
| I-2-9 | Tension et fréquence induite dans le rotor..... | 26 |
| ✚ I-2-10 | Caractéristique mécanique | 26 |
| I-2-11 | Couple moteurs et puissance d'une machine asynchrone..... | 26 |
| I-2-12 | Démarrage d'un moteur asynchrone..... | 29 |

| | |
|--|----|
| I-2-12-1 Généralités | 29 |
| I-2-13 Modes de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones triphasée | 29 |
| I-2-14 Moteur asynchrone à rotor en court-circuit | 29 |
| I-2-14-1 Moteur à cage d'écureuil..... | 29 |
| I-2-14-2 Démarrage d'un moteur à rotor en court-circuit | 29 |
| I-2-14-3 Les avantages d'un moteur à rotor en court-circuit | 30 |
| I-3 La conception d'une machine asynchrone..... | 30 |
| I-3-1 Définition | 30 |
| I-3-2 L'organigramme..... | 31 |
| I-3-3 Considérations techniques pour la conception des machines | 31 |
| I-3-4 Principaux matériaux utilisés dans les machines électriques..... | 31 |
| I-3-5 Matériaux utilisés dans construction des machines électriques..... | 32 |
| I-3-6 Protection des machines électriques..... | 33 |
| I-3-7 Types de refroidissement..... | 33 |
| I-3-8 Formes constructives pour les machines électriques..... | 34 |
| I-4 Conclusion..... | 35 |

CHAPITRE II :

LES DIMENSIONS STATORIQUES

| | |
|--|----|
| II – 1 Introduction..... | 42 |
| II – 2 Caractéristique de la machine électrique..... | 43 |
| II-2-1 Facteur de puissance et rendement de la machine asynchrone..... | 43 |
| II-2-2 La puissance apparente du moteur..... | 43 |
| II -3 Règles de dimensionnement..... | 43 |
| II-4 Les dimensions statorique..... | 43 |
| II-4 -1 choix des dimensions principales | 43 |
| II -4-2 les dimensions des encoches | 45 |
| II-4-2-1 Encoche du stator..... | 45 |
| II-4-3 Coefficient d'utilisation..... | 46 |
| II- 4-4 calcul de la zone dentaire du stator | 46 |
| II-4-4-1 Introduction | 46 |

| | |
|--|----|
| II-4-4-2 Choix des dimensions principales dans la zone dentaire..... | 51 |
| II-5 conclusion..... | 52 |

CHAPITRE III :

LES DIMENSIONS ROTORIQUES

| | |
|---|----|
| III-1 Introduction | 55 |
| III – 2 Calcul des dimensions principales du rotor..... | 56 |
| III – 3 Calcul des dimensions de l’encoche rotorique..... | 56 |
| III-3-1 Encoche en forme bouteille..... | 56 |
| III-3-2 Encoche en forme profonde..... | 58 |
| III-3-3 Encoche en forme rectangulaire..... | 59 |
| III-3-4 Encoche en forme ovale..... | 60 |
| III - 4 Conclusion..... | 62 |

CHAPITRE IV :

RESULTATS OBTENUES

| | |
|--|----|
| IV-1 Introduction..... | 65 |
| IV-2 Résultats obtenues..... | 65 |
| IV-2-1 Pour une puissance utile $P_u=20Kw$ | 65 |
| IV-2-1-a Les dimensions statoriques..... | 65 |
| IV-2-1-a-1 Les dimensions principales..... | 65 |
| IV-2-1-a-2 Les dimensions de la zone dentaire..... | 66 |
| IV-2-1-b Les dimensions rotoriques..... | 68 |
| IV-2-2 Pour une puissance utile $P_u=4.75Kw$ | 70 |
| IV-2-2-a Les dimensions statoriques..... | 70 |
| IV-2-2-a-1 Les dimensions principales..... | 70 |
| IV-2-2-a-2 Les dimensions de la zone dentaire..... | 71 |
| IV-2-2-b Les dimensions rotoriques..... | 75 |
| IV-3 Deux exemples de comparaisons..... | 76 |
| IV-3-1 exemple 1 | 76 |
| IV-3-2 exemple 2..... | 76 |

| | |
|-------------------------|----|
| IV-3-3 comparaison..... | 77 |
| IV-4 Conclusion..... | 77 |

CONCLUSION GENERAL

ANNEXE

BEBLIOGRAPHIE

Notations

| | |
|----------------|--|
| a | Le nombre de voix |
| A | La charge électromagnétique |
| A_{an} | La largeur de l'anneau |
| A_c | La charge linière corrigée |
| A_j | La charge thermique |
| B_δ | L'induction magnétique |
| B_a | L'induction magnétique moyenne dans le dos |
| B_1 | La grande largeur de l'encoche |
| B_2 | La petite largeur de l'encoche |
| $B_{\delta c}$ | L'induction magnétique corrigé |
| B_{z1} | L'induction magnétique moyenne dans la dent |
| B_{z2} | L'induction dans la dent |
| B_F | Largeur de l'ouverture d'encoche coté entrefer |
| B_{z1pri} | La largeur de la dent de cote culasse |
| B_{z12pr} | Largeur de la dent de cote entrefer |
| B_j | L'induction dans la culasse |
| B_{an} | L'hauteur de l'anneau |
| b | Largeur de la tige supérieure |
| b_{en} | Largeur préalable de l'encoche |
| b_{en2r} | Largeur de l'encoche rectifiée |
| b_f | Largeur d'entrée de l'encoche statorique |
| bb_{z1} | La largeur de la dent |
| b_{z2ro} | La largeur de la dent rotorique |
| b_{z1cu} | La largeur de dent de cote culasse |
| b_{z1fer} | La largeur de dent de cote entrefer |
| b_t | Largeur de la tige |

| | |
|---------------|---|
| D | Le diamètre intérieur de stator |
| D_a | Le diamètre extérieur de stator |
| D_{is} | Le diamètre d'isolation |
| D_{nu} | Le diamètre normalise du fil nu |
| d_{isnor} | Le diamètre du fil isole normalise |
| D_{2le} | Diamètre extérieur de rotor |
| D_{ar} | Diamètre préalable de l'arbre |
| D_{an} | Le diamètre de l'anneau |
| $D_{an\ moy}$ | Diamètre moyen de l'anneau |
| H | L'hauteur de l'axe de rotation |
| H_a | L'hauteur de la culasse |
| H_{an} | Hauteur de l'anneau |
| H_{en} | L'hauteur de l'encoche |
| H_r | Hauteur préalable |
| H_j | Hauteur de la culasse |
| H_{1pri} | La distance entre les rayons |
| H_{en2r} | Hauteur de l'encoche rectifiée |
| H_{jr} | Hauteur de la culasse rotorique rectifiée |
| $h_{1\ pri}$ | La distance entre les rayons |
| h_t | Hauteur de la tige |
| h_{m2} | L' hauteur de l'encoche |
| h_{c2} | La hauteur de dos rotorique |
| I_{1nom} | Le courant nominale |
| I_{an} | Le courant dans les anneaux |
| I_2 | Le courant rotorique |
| J_d | La densité du courant |
| J_2 | La densité dans la barre corrige |
| J_{2c} | La densité dans la barre corrige |
| J_{an} | La densité de courant dans les anneaux |

| | |
|-----------|---|
| J_d | La densité du courant |
| J_2 | La densité dans la barre corrige |
| J_{2c} | La densité dans la barre corrige |
| J_{an} | La densité de courant dans les anneaux |
| K_b | Le facteur de forme |
| K_D | Le rapport entre les diamètres intérieur D et extérieur D_a |
| K_e | Le coefficient de la chute de tension |
| K_{ar} | Le rapport de diamètres du rotor |
| kk_r | Le facteur de remplissage |
| K_{rvo} | Le facteur de volume |
| K_i | Facteur de réduction du courant rotorique |
| k_{rr} | Le coefficient de |
| KB_1 | Le coefficient de bobinage |
| KK_d | Le facteur de distribution |
| K_r | Le facteur de raccourcissement |
| KB_{1c} | Le facteur de bobinage corrigé |
| K_s | Le coefficient de saturation |
| L | La longueur de l'entrefer |
| L_c | La longueur de l'entrefer corrigé |
| L_2 | La longueur de noyau |
| N | La vitesse de rotation du champ en tours/seconde |
| n_v | Le nombre de canaux |
| n_{el} | Le nombre de conducteur élémentaire |
| P | Le nombre de pôle |
| P_i | La puissance transmise |
| P_u | La puissance utile |
| q_1 | Le nombre d encoche par pole et par phase |
| J_d | La densité du courant |
| J_2 | La densité dans la barre corrige |

| | |
|------------|---|
| J_{2c} | La densité dans la barre corrige |
| J_{an} | La densité de courant dans les anneaux |
| R_1 | Le grand rayon |
| R_2 | Le petit rayon |
| r_1 | Rayon de la partie supérieur |
| r_2 | Rayon de la partie inférieure |
| S_{an} | La section de l'anneau |
| S_B | La section de la barre |
| S_{Bc} | La section de la barre corrige |
| S_{en} | La section de la partie de l'encoche |
| S_{pe} | La section a coupe, par les conducteurs : |
| S_{nor} | La section du fil normalise |
| S_{inf} | Section de la tige inférieure |
| S_{sup} | Section de la tige supérieure |
| S_t | La Section de la tige |
| S_{tr} | La Section de la tige rectifier |
| T | Le pas d'enterre |
| T_2 | Le pas dentaire du rotor |
| t_{zmax} | Le pas dentaire cas des encoches monte fil à fil maximale |
| t_{zmin} | Le pas dentaire cas des encoches monte fil à fil minimale |
| t_z | Le pas dentaire cas des encoches monte fil à fil |
| t_1 | Le pas dentaire |
| U | La tension nominale |
| U_{en} | Le nombre de conducteur efficace |
| W | Le nombre préliminaire de spires |
| W_c | Le nombre de spire corrigé |
| W_{pri} | Le nombre de spire |
| Y_z | Le pas d'encoche |
| Z_1 | Le nombre d'encoche de stator |

| | |
|------------|---|
| Z_2 | Le nombre d'encoche de rotor |
| Z_{\max} | Le pas dentaire cas des encoches fil rectangulaire maximale |
| Z_{\min} | Le pas dentaire cas des encoches fil rectangulaire minimale |
| δ | Largeur de l'entrefer |
| ϕ_c | Le flux magnétique corrigé |
| η | Le rendement |
| ϕ | Le flux magnétique |
| λ | Le rapport dimensionnel |
| β | Le pas relatif |
| τ | Le pas polaire |
| α_i | Le facteur de distribution du champ |

Nomenclature

CAO : conception assistée par ordinateur.

MAS : moteur asynchrone.

INTRODUCTION GENERALE:

1- GENERALITE:

A l'instar de la plupart des révolutions techniques jalonnant l'histoire de l'humanité, la construction des premières machines électriques est l'oeuvre de chercheurs limités par un manque considérable de connaissances. Très vite, ceux-ci ont tenté de prévoir les caractéristiques de leurs produits. Ils ont recouru, une fois de plus.

Aux méthodes éprouvées de l'analogie et de la similitude, ce qui conduit aux procédés empiriques encore en vigueur de nos jours: le nombre élevé de courbes et d'abaques auxquelles se réfèrent la plupart des spécialistes en témoigne. Parallèlement, les physiciens ont développé des modèles permettant de simuler convenablement la plupart des phénomènes électromagnétiques.

Malheureusement, leur emploi dans le domaine des moteurs électriques nécessite un volume de calculs considérable, ce qui en limite l'emploi.

L'apparition des premiers calculateurs électroniques n'a que peu modifié cette situation.

Ce n'est que depuis ces toutes dernières années que l'usage de moyens informatiques puissants s'est généralisé et que n'importe quelle petite entreprise dispose d'ordinateurs performants.

De nos jours, la conception assistée par ordinateur vient de plus en plus occuper une place de choix dans divers domaines industriels. Dans certaines applications, elle doit être le cœur de l'industrie : mécanique, schématique, électronique et électrotechnique ...etc.

La conception et le dimensionnement des machines électriques sont des axes très importants dans l'industrie électrique surtout pour la construction et la fabrication du matériel dans une durée limitée et rapide. Elles sont applicables dans les différents types de machines

Le développement des machines électriques est basé sur des caractéristiques bien définies dans ce cas on trouve que les applications industrielles ou la traction électrique nécessitant la vitesse variable, utilisaient des machines à courant continu, car elles sont plus flexibles à commander. Mais elles exigent une maintenance périodique coûteuse de plus leur prix est relativement plus cher.

Le travail présenté dans ce mémoire participe à cette évolution. L'idée de départ consiste en la réalisation d'un logiciel permettant le dimensionnement automatisé de machines Asynchrone

Ce présent mémoire s'articule autour des chapitres suivants :

Le premier chapitre, traitera la description générale de la machine asynchrone du point de vue fonctionnement, conception et équations.

Le deuxième chapitre sera consacré au calcul des dimensions de la partie fixe de la machine (dimensions statoriques).

Dans le troisième chapitre, nous présenterons le calcul de la partie mobile ou tournante de la machine (dimensions rotoriques)

Nous présenterons dans le quatrième et le dernier chapitre, les résultats obtenus par l'exécution de notre logiciel.

Enfin, une conclusion générale viendra faire le point sur notre travail et mettra en évidence les résultats que nous avons obtenus.

CHAPITRE I :

LES MACHINES ASYNCHRONES

Chapitre I:

Les Machines Asynchrones

I-1 Introduction

I-2 Les machines asynchrones

I-2-1 Définition

I-2-2 Organisation générale d'un moteur asynchrone

I-2-2-1 Organe électrique

I-2-2-2 Organe magnétique

I-2-2-3 Organe mécanique

I-2-3 parties principales

I-2-3-1 Stator

➤ Enroulement et encoches du stator

I-2-3-2 Rotor

I-2-3-2-1 Enroulement et encoches du rotor

➤ Rotor en court circuit

➤ Rotor bobiné

I-2-4 Entrefer

I-2-5 L'isolation

I-2-6 Principe de fonctionnement du moteur asynchrone

I-2-6-1 caractéristique de fonctionnement

I-2-7 Schéma équivalent électrique

I-2-8 Glissement et vitesse de glissement

I-2-9 Tension et fréquence induite dans le rotor

I-2-10 Caractéristique mécanique

I-2-11 Couple moteurs et puissance d'une machine asynchrone

➤ Diagrammes énergétiques d'une machine asynchrone

➤ Couples moteurs d'une machine asynchrone

I-2-12 Démarrage d'un moteur asynchrone

I-2-12-1 Généralité

I-2-13 Modes de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones triphasés

I-2-14 Moteur asynchrone à rotor en court-circuit

I-2-14 -1 Moteur à cage d'écureuil

I-2-14-2 Démarrage des moteurs à rotor en court-circuit

I-2-14-3 Les avantages d'un moteur à rotor en court-circuit

I-3 la conception d'une machine asynchrone

I-3-1 Définition

I-3-2 L'organigramme

I-3-3 Considérations techniques pour la conception des machines

I-3-4 Principaux matériaux utilisés dans les machines électriques

I-3-5 Matériaux utilisés dans construction des machines électrique

I-3-6 Protection des machines électriques

I-3-7 Types de refroidissement

I-3-8 Formes constructives pour les machines électriques

I-4 Conclusion

I-1) Introduction :

La machine asynchrone est la machine électrique la plus utilisée dans l'industrie, elle est peut coûteuse, robuste, et son entretien est très limité, fonctionnant directement sur le secteur alternatif.

Les machines asynchrones, à la différence des machines synchrones, sont utilisées surtout comme moteur, elles peuvent fonctionner en génératrice quand le rotor est entraîné dans le sens du champ tournant à une vitesse supérieure à celle du synchronisme.

Le moteur asynchrone est le type le plus répandu des moteurs électriques, sa prépondérance par rapport aux autres moteurs est due aux inconvénients présentés par ses dernières, on peut citer :

- 1) pour le moteur synchrone classique, la nécessité de l'accrochage sur le réseau.
- 2) pour le moteur à collecteurs, le prix et la fragilité relative des collecteurs.
- 3) Le moteur asynchrone dans sa solution à cage est le moins cher et le plus robuste.[1]

Le fonctionnement de la machine à induction est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant, créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par la source d'alimentation et les courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par ce champ tournant. Cette interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant diffère de celle du rotor. Le fonctionnement d'une machine asynchrone est comparable à celui d'un transformateur dont l'enroulement secondaire est en court-circuit et tournant.

I -2) Les machines asynchrones:

I-2-1) Définition :

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

La machine asynchrone est dite machine à induction, car l'énergie transférée du stator au rotor ou inversement se fait par induction électromagnétique, elle représentent au moins 80% des moteurs. [2]



Fig(I.1) : Machine asynchrone de 4,7 MW, 45 tr /min

I-2-2) Organisation générale d'un moteur asynchrone :

On classe les différentes pièces rencontrées dans une machine tournante selon les trois grandes fonctions réalisées. [3]

I-2-2-1) Organe électrique :

- Enroulements statoriques
- Conducteurs rotoriques

I-2-2-2) Organe magnétique :

- Circuit magnétique fixe
- Circuit magnétique mobile

I-2-2-3) Organe mécanique :

- Carcasse avec fixation ou stator
- Ventilateur
- Rotor avec l'arbre
- Capot de ventilateur
- Tige de montage
- Plaque à borne
- Roulement à billes
- Flasques

I-2-3) Parties principales :

Le moteur asynchrone triphasé (*Parfois appelé moteur à induction triphasé*) comprend deux parties: le stator (*fixe*) et rotor (*tournant*) [4]

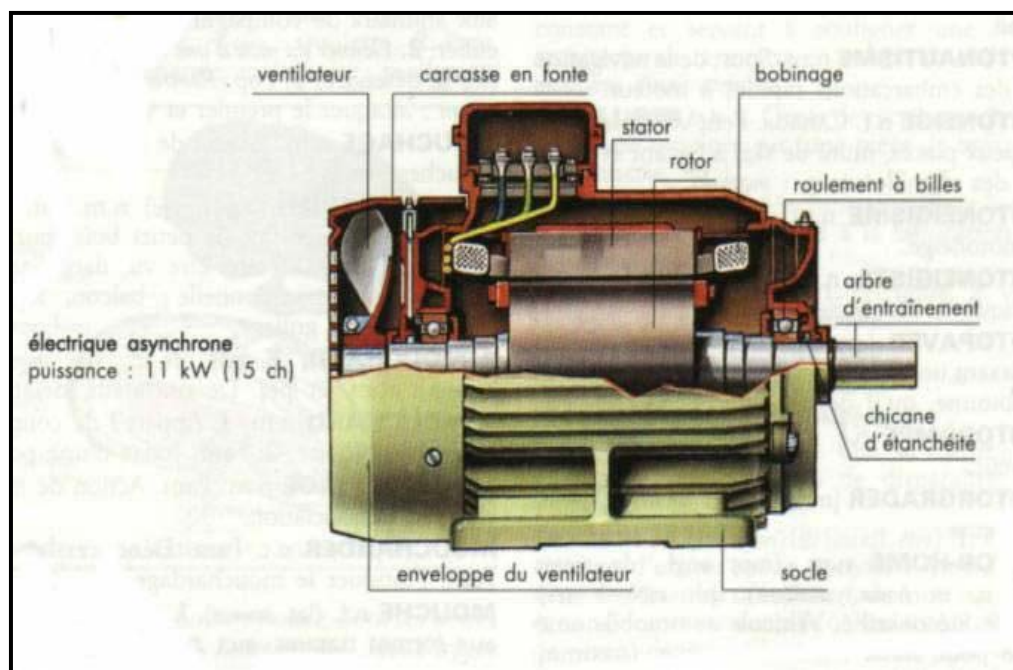


Fig (I.2) : Machine électrique asynchrone de 11 kW

I-2-3-1) Stator :

Le stator comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôle identique, que

Constituent un cylindre vide ces tôles sont percées de trous à leur périphérie intérieure l'alignement de ces trous forme des encoches dans les quelles on loge un bobinage triphasé. [4]

Enroulement et encoches du stator :

Le stator des machines petites et moyennes puissances_ à basse tension_ est exécuté avec des encoches semi-ouvertes et celui des autres machines, le plus souvent avec des encoches ouvertes. Le type d'enroulement préféré est celui à deux couches au quel on recourt toujours lorsqu'on des encoches ouvertes comparativement à l'enroulement à une couche, il offre l'avantage de pouvoir être exécuté comme un enroulement à pas partiel (*ou à pas raccourci*), de ce fait les facteurs d'enroulements des harmoniques supérieurs sont fortement diminués. [5]

Un autre avantage de cet enroulement est la faible hauteur radiale de la tête d'enroulement qui fournit le courant magnétisant est pouvoir d'un nombre entier d'encoches par pôle et phase car avec un enroulement d'excitation situé un nombre fractionnaire d'encoches par pôle et phase la marche de la machine peut devenir irrégulière. [5]

Le nombre d'encoches (q) par pôle et par phase du stator doit être, dans tous les cas, supérieur à (2) a fin que la dispersion provenant des champs harmoniques supérieurs demeure faible. Vu les pertes par flux dans le fer des dents, on doit, dans le cas d'encoches ouvertes, choisir le nombre d'encoches du stator supérieur à celui du rotor. [5]

I-2-3-2) Rotor :

Le rotor se compose d'un cylindre des tôles poinçonnées à leur périphérie extérieure pour former les encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court - de l'ordre de 0,4 à 2mm seulement. [4]

I-2-3-2-1) Enroulement et encoches du rotor

Le rotor en court circuit (à cage d'écurieul):

L'enroulement est remplacé par des barres de cuivre ou d'aluminium logées dans des encoches, et réunie à leurs extrémités par deux couronnes de cuivre ou d'aluminium. Ces cages comportant généralement des barreaux décalés afin de réduire les harmoniques d'encoches, il en résulte une légère diminution de la F.E.M induite par le champ tournant statorique dans ces barreaux. Un tel rotor est très robuste, depuis sa construction est particulièrement économique.

La cage étant généralement réalisée avec l'aluminium que l'on coule dans les encoches préparées à l'avance. En effet il n'est pas nécessaire d'isoler les barres et la masse du rotor, car les courants induits s'établissent surtout dans les barres, et leur étude théorique est identique à celle des moteurs à bagues. Si N désigne le nombre des barres d'une cage, les extrémités des barres, étant en court-circuit par les flasques. Un rotor à cage est assimilable à un rotor à bagues, qui aurait $q=N$ phases si la cage tourne dans un champ bipolaire alors qu'il a $q=N/p$ phases si la cage tourne à un champ $2p$ pôles.

Par comparaison avec les moteurs à bagues, et les moteurs à cage ont l'avantage d'être robustes et du coût plus faible. Il n'est pas possible de faire varier la résistance de leur rotor. Ce qui rend défavorable, les conditions de démarrage quand on l'alimente à tension et à fréquence constantes. On remédie cet inconvénient en utilisant soit des rotors à double cages, soit des rotors à une seule cage, mais à barre en la cause de leur profil, soit des moteurs à encoches très profondes : *barres (lames de sabre)*. [6]

Rotor bobiné (Rotor à bagues):

C'est un cylindre constitué de tôles empilées solidaire de l'arbre du moteur, les encoches sont percées dans ses tôles. Près de la surface de ce cylindre, des conducteurs passent dans ses encoches sont réunis à une de leur extrémité en court-circuit, l'autre extrémité est raccordée à 3 bagues permettant une liaison avec un circuit fixe (des résistances).

Les pôles du rotor sont en même nombre que le stator. Sur les bagues viennent frotter des balais raccordés au dispositif de démarrage. Ces moteurs ont un couple de démarrage s'élevant jusqu'à $2,5 C_n$, et le courant de démarrage est sensiblement égal à celui du couple. [7]

I-2-4) Entrefer :

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor, on choisit l'entrefer aussi grand que possible. Un entrefer assez grand est également avantageux pour ce que est des pertes supplémentaires dans le fer, produites par les pulsations du champ, et de la dispersion provoquée par les champs harmoniques supérieurs. En revanche, eu égard au courant magnétisant (*facteur de puissance*), l'entrefer doit être maintenu aussi faible que possible. [5]

I-2-5) L'isolation :

L'isolation du conducteur est en papier et en coton; l'augmentation d'épaisseur du conducteur se monte à 0.6 mm dans le sens de la largeur et à 0.7 mm dans celui de la hauteur compte tenu du fait que pour le rapport relativement grand des côtés du conducteur, soit

6.9/2.6=2.65, l'isolation sur le côté long, n'adhère pas aussi bien que sur le côté court. [8]

I-2-6) Principe de fonctionnement du moteur asynchrone :

Lorsque le fonctionnement d'une machine asynchrone est basée sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant, crée par le courant triphasé fourni à l'enroulement rotorique le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. De cette façon le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur. Le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire qui, dans le cas général, peut tourner à la vitesse n . Lorsque le champ tournant est sinusoïdal, sa vitesse de rotation est $n_1 = f / p$. L'interaction électromagnétique (*sans collecteur*) n'est possible que vitesse du champ tournant (n_1) diffère de celle du rotor (n), c'est-à-dire lorsque $n \neq n_1$ car dans le cas contraire, c'est dire lorsque $n = n_1$, champ induit dans l'enroulement rotorique. [9]

a) Création d'un champ tournant :

Fonctionnement d'un moteur asynchrone s'explique par la loi de LENZ.

Alors un champ tournant produit la rotation d'un disque de cuivre ce disque tourne à une vitesse inférieure à celle du champ tournant.

Si on alimente 3 bobines, identiques placées à 120° par une tension alternative triphasée :

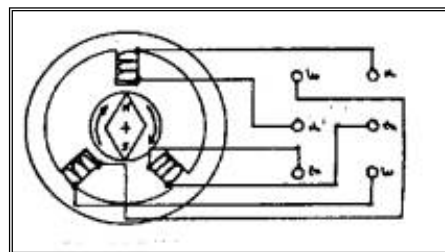


Fig (I.3)

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

Les trois champs alternatifs produits par les bobines alimentées en courant triphasé se composent pour former le champ tournant. [7]

b) Relation d'électrotechnique :

Le moteur asynchrone est une machine transformant l'énergie électrique en énergie mécanique. Il est caractérisé par des grandeurs d'entrée qui sont électriques et par des grandeurs de sortie qui sont mécaniques. [7]

I-2-6-1) Caractéristique de fonctionnement:

✚ Fonctionnement à vide

A vide le moteur n'entraîne pas de charge.

Conséquence : le glissement est presque nul est le moteur tourne à la vitesse proche du Synchronisme.

A vide : $g \approx 0$ et donc $N \approx N_s$

✚ Fonctionnement en charge

Le moteur fournit maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif.

Remarque : le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge. [10]

I-2-7) Schéma équivalent électrique:

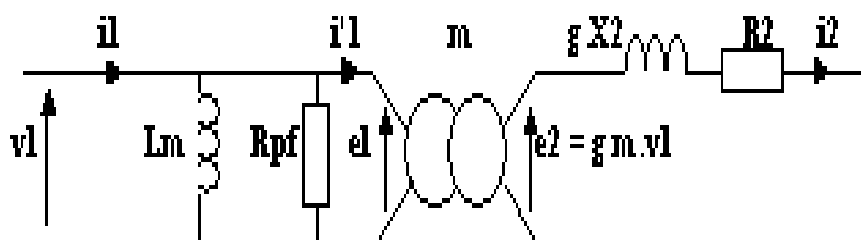


Fig (I-3) schéma par phase réaliste de la machine

Soient :

$V1$: est la tension d'alimentation d'un enroulement primaire.

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ La pulsation de la tension d'alimentation. [11]

Ω : la pulsation de rotation du rotor.

$K1$ et $K2$: les coefficients de Kapp d'un enroulement primaire ou secondaire.

$N1$ et $N2$: les nombres de brins conducteurs de ces enroulements.

Les grandeurs électriques relatives au primaire et au secondaire peuvent s'écrire :

1) **Primaire :**

- F.E.M : $e_1 = K1 \cdot N1 \cdot f \cdot \Phi$;

- Pulsation : ω ;

- Fréquence : f ;

- Intensité : i_1, i_1' ;

- Réactance de magnétisation Lm ;

- Résistance représentation les pertes dans le fer et par frottement et aération ;

2) **Secondaire:**

- F.E.M : $e_2 = K2 \cdot N2 \cdot g \cdot f \cdot \Phi = g \times m \times V1$;

- Pulsation : $\omega 2 = g \cdot \omega$;

- Résistance de rotor $R2$;

-Réactance de rotor $X2$.

I-2-8) Glissement et vitesse de glissement :

La vitesse de glissement ng d'un moteur asynchrone est simplement la différence entre la synchrone et la vitesse du rotor :

$$n = n_s - n \quad \text{(I-1)}$$

Par ailleurs, le glissement (g) d'un moteur asynchrone est la vitesse de glissement (ng) d'un moteur asynchrone est simplement la différence entre la vitesse synchrone et celle du rotor exprimée relativement à la vitesse synchrone. On peut donc écrire :

$$\text{Où } g = \frac{(n_s - n)}{n_s} \quad \text{(I-2)}$$

$$\Rightarrow g = \frac{ng}{n_s} \quad \text{(I-3)}$$

La valeur de (n) est positive lorsque le rotor tourne dans le même sens que le champ tournant.

Si on multiplie la valeur relative (p.u) du glissement (g) par 100, on obtient le glissement en pour cent. Le glissement d'un moteur tournant à vide est presque nul alors qu'il est de 1 (ou 100%) lorsque le rotor est à l'arrêt. [4]

I-2-9) Tension et fréquence induite dans le rotor:

La tension et la fréquence induites dans le rotor dépendent du glissement. Elles sont données par l'équations suivante: [4]

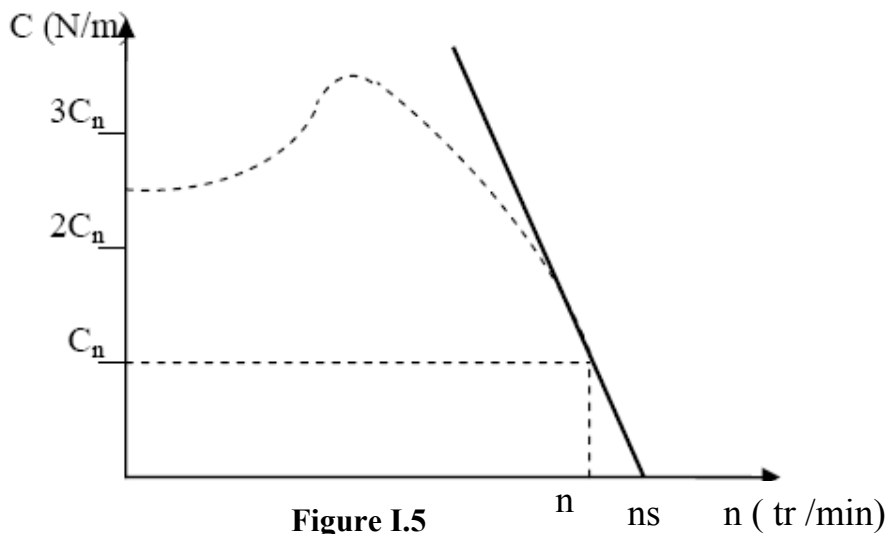
$$f_2 = g \cdot f \quad \text{(I-4)}$$

$$E_2 = g \cdot E_{co} \quad \text{(I-5)}$$

Dans un rotor à cage, la tension E_{co} à circuit ouvert est celle qu'on obtiendrait aux des barres si elles étaient dis connectées des anneaux. Dans le cas d'un moteur à barres, elle est égale à $(1/\sqrt{3})$ de la tension mesurée aux bornes des bagues à circuit ouvert. [4]

I-2-10) Caractéristique mécanique :

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée .les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques



- ✓ Couple de démarrage du moteur. On constate que ce couple est fort, la machine peut démarrer en charge.
- ✓ Zone de fonctionnement du moteur. On constate qu'elle est presque linéaire, cette partie de la courbe est très verticale la vitesse varie peu avec la charge.
- ✓ La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite. [10]

I-2-11) Couple moteur et puissance d'une machine asynchrone :

➤ Diagrammes énergétiques d'une machine asynchrone

Lors du travail d'un moteur asynchrone, il s'agit de la transformation de l'énergie électrique venant du réseau en énergie mécanique, tandis que lors du fonctionnement d'un générateur asynchrone il s'agit de la transformation de l'énergie mécanique fournie par le moteur primaire en énergie électrique livrée au réseau. Dans les deux cas, l'énergie est transmise par le champ magnétique de l'entrefer du stator au rotor ou inversement. Le transfert de l'énergie par l'entrefer est lié aux forces d'origine électromagnétique développée dans le rotor et créant un couple moteur qui est le développée électromagnétique de la machine. La transformation de l'énergie d'un genre à un autre genre est inévitablement liée aux pertes dans les différentes parties de la machine. Pour cette raison la puissance du flux d'énergie, les pertes et les couples moteurs représentent un ensemble de problèmes ayant une sérieuse importance pour l'étude des propriétés d'une machine asynchrone. [9][12][13]

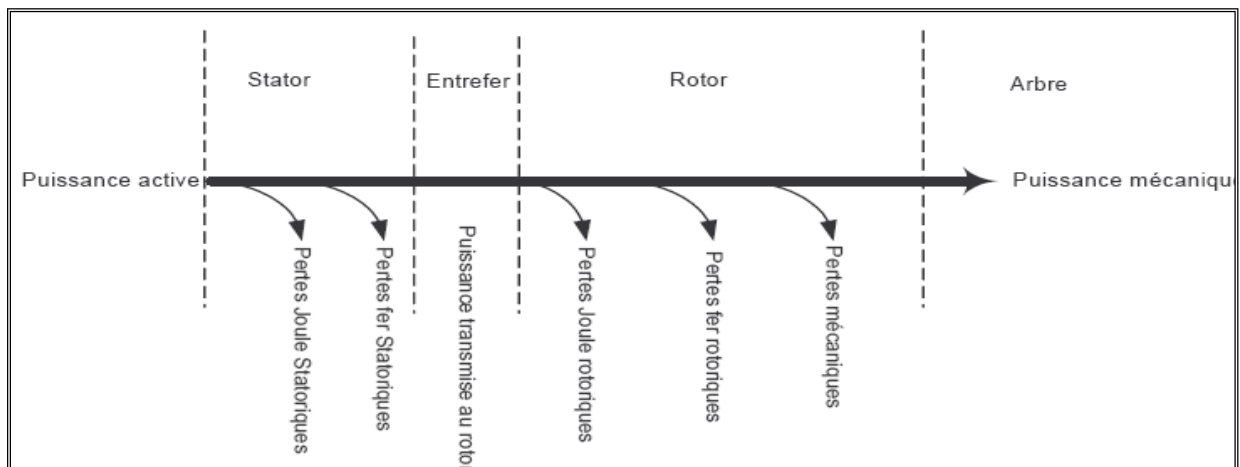


Fig (I-6) Diagrammes énergétique

-Puissance absorbée (puissance électrique) :

$$Pa = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad \text{(I-6)}$$

-Pertes :

-Pertes joule statorique, si R est résistance de l'enroulement d'une phase ;

$$\text{En étoile : } p_{js} = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (\text{I-7})$$

$$\text{En triangle : } p_{js} = R \cdot \left(\frac{I}{\sqrt{3}} \right)^2 \quad (\text{I-8})$$

-Si r est la résistance mesurée entre deux bornes, quel que soit le couplage :

$$p_{js} = \frac{3}{2} \cdot r \cdot I^2 \quad (\text{I-9})$$

-Pertes fer statorique p_{fs} , elles sont pratiquement indépendantes de la charge ;

-Pertes fer rotorique p_{fr} , on peut les négliger puisque la fréquence des courants rotorique est faible ;

-Pertes mécanique p_m , elles sont pratiquement de la charge ;

- **Puissance utile :**

$$Pu = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi - \sum \text{pertes} \quad (\text{I-10})$$

-**Puissance transmise au rotor :**

C'est la puissance absorbée diminuée des pertes du stator

$$P_{tr} = Pa - p_{js} - p_{fs} \quad (\text{I-11})$$

- Pertes joules rotoriques sont égaux au produit par le glissement de la puissance transmise :

$$p_{jr} = g \cdot P_{tr} \quad (\text{I-12})$$

-**Rendement :**

$$\eta = \frac{Pu}{Pa} \quad (\text{I-13})$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{(1-g) \cdot (Pa - p_{js} - p_{fr}) - p_m}{Pa} \quad (\text{I-14})$$

Couple moteur d'une machine asynchrone :

Comme dans les moteurs à courant continu, le moteur asynchrone en régime permanent

($n = const.$) Surmonte le couple de charge comprenant le couple résistant à vide et le couple résistant utile. Le couple électromagnétique développé dans le rotor du moteur, lorsque ce dernier tourne à vitesse constante, comprendre deux composantes dont chacune est en équilibre avec la composante correspondant du couple résistant.

-Couple électromagnétique :

$$C_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega} \quad \text{(I-15)}$$

-Couple utile

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega_s} \quad \text{(I-16)}$$

I-2-12) Démarrage des moteurs asynchrones triphasés:

I-2-12-1) Généralités :

Les éléments principaux du démarrage sont le couple de démarrage, et le courant de démarrage. Pour que le rotor des moteurs au démarrage puisse se mettre en mouvement le couple de démarrage développé doit être supérieur au couple résistant sur l'arbre crée par le mécanisme entraîné. Dans certains cas (*lors du Démarrage des broyeurs à boulets, concasseurs compresseurs, etc.*) un important couple de démarrage est exigé égale au couple nominale ou même supérieur. D' autre part les valeurs du courant de démarrage ne doivent dépasser certaines limites qui dépendent de la puissance du réseau .lorsqu' il s'agit des moteurs de grande puissance et d'un réseau de puissance relativement faible faut réduire la valeur du courant de démarrage. [9]-[13]

I-2-13) Modes de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones triphasés:

Modes de réglage de la vitesse :

Le problème du réglage de la vitesse des moteurs électriques en générale des moteurs asynchrones, en particulier est un problème très important .Dans plusieurs branches de l'industrie, les exigences vis-à-vis caractéristiques de réglage des moteurs sont très serrées en ce qui concerne les limites et la progressivité du réglage ainsi que son indice économique. Les caractéristiques de réglage, des moteurs asynchrones sont inférieures à celles des moteurs à

courant continu et ceci d'autant plus que les limites de réglage sont plus large. Beaucoup a été fait pour améliorer les caractéristique de réglage des moteurs asynchrones, mais jusqu'à présent ceux-ci ne peuvent pas remplacer les moteurs à courant continu dans les installations aux exigences serrées du point de vue des propriétés de réglage du moteur. [9]

1) coté stator

- a) changement du nombre de paires de pôles
- b) changement de la fréquence réseau

2) coté rotor

- a) en faisant varier la résistance dans le circuit rotorique
- b) en introduisant dans le circuit rotorique une F.E.M complémentaire de même fréquence que la F.E.M principale du rotor. [9]

I-2-14) Moteur asynchrone à rotor en court-circuit :

I-2-14-1) Moteur à cage d'écureuil:

Le rotor porte des barres conductrices court-circuitées à leurs extrémités par des anneaux de faible résistance. Les barres et les anneaux peuvent être en cuivre. Pour les petits moteurs

L'ensemble barres anneaux est en alliage d'aluminium et obtenu par coulée directe sous pression.



Fig(I.6) : moteur à cage d'écureuil

Un rotor à cage n'a pas un nombre de phases q_2 défini. Les conducteurs situés à 180° électriques s'associent d'eux-mêmes. Le nombre de paires de conducteurs par double distance polaire égale q_2 . Si n_2 est le nombre de barres $q_2 = n_2 / 2P$. [11][14]

I-2-14-2) Démarrage des moteurs à rotor en court-circuit :

Les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit sont les moteurs plus utilisés même s'ils ont plus coûteux et de fonctionnement moins car le démarrage s'effectue dès le début jusqu'à la fin suivant une seule caractéristique mécanique. Dans ces conditions, le couple moteur dans la portion instable la caractéristique doit être supérieur au couple résistant, (*l'insertion de résistance dans un rotor court-circuit étant impossible*). [13]

La diminution du courant de démarrage peut être obtenue par la diminution du courant et de la tension, aux bornes du moteur lors du démarrage. [15]

Pour le démarrage des moteurs à rotor en court-circuit on a.

- ✓ Branchement direct sur le réseau ;
- ✓ Démarrage à l'aide d'une bobine d'inductance dans le circuit statorique
- ✓ Démarrage à l'aide d'un autotransformateur
- ✓ Démarrage étoile triangle

I-2-14-3) Les avantages d'un moteur à rotor en court-circuit :

- ✓ Construction facile et robuste ;
- ✓ Absence de pièces d'usure, peu de maintenance ;
- ✓ Pas d'excitation ;
- ✓ Entretien réduit ;
- ✓ Moteurs peu coûteux ;
- ✓ Pas de balais par rapport à l'alternateur.

I-3) La Conception D'une Machine Asynchrone:

I-3-1) Définition:

La conception est une application pour imaginer, et formuler des solutions des problèmes car pour avoir une solution, il faut passer par une voie compliquée sauf si le problème est simple.

On peut le designer comme un processus itératif au cours d'un objet est conçu et modifié.

On identifie plusieurs étapes dans cette démarche : [17]

- ✓ Création d'un modèle de l'objet ;
- ✓ Analyse, essais et simulation ;

- ✓ Modification ;
- ✓ Construction de prototypes ;
- ✓ Réalisation de l'objet.

I-3-2) L'organigramme:

L'ingénieur doit communiquer ou consacrer les résultats de son travail à l'une ou l'autre des phases par exemple, il lui faut communiquer la forme du modèle pour la réalisation d'un prototype, ou bien les résultats d'un calcul de contraintes pour réaliser certaines modifications. Les modes de communication sont graphiques, chiffrés ou bien textuels. [2]

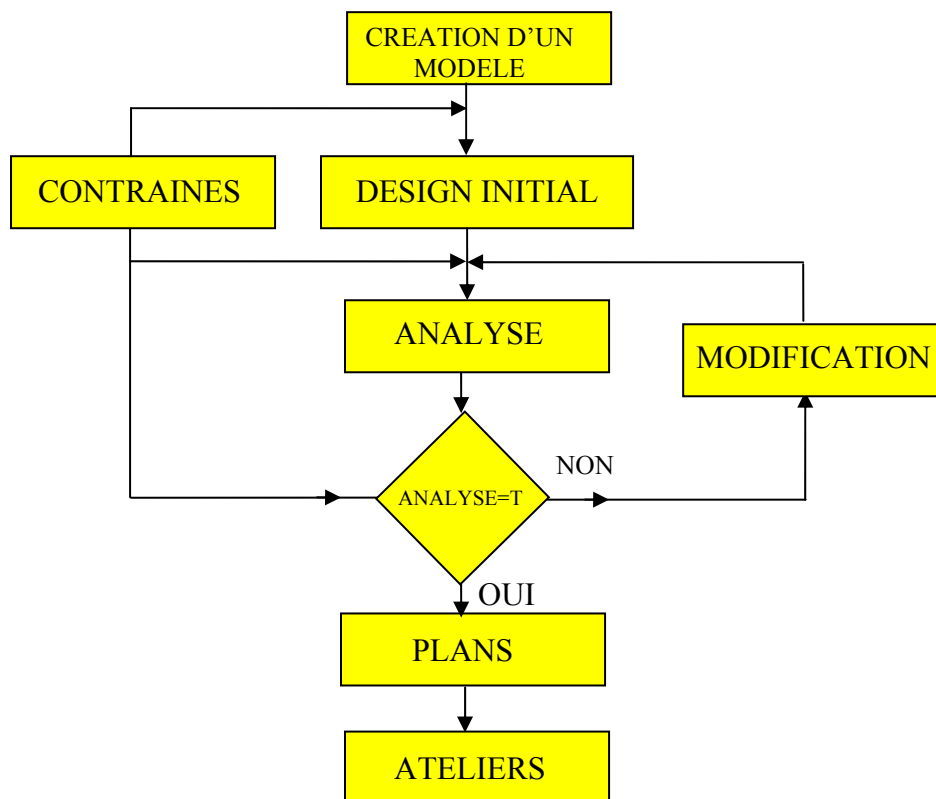


Fig (I-4) L'organigramme de la conception

I-3-3) Considérations techniques pour la conception des machines:

Pour la construction des machines électriques, la connaissance de la nature des matériaux devient importante afin de produire, de transmettre ou d'isoler un des phénomènes qui s'y produisent.

I-3-4) Principaux matériaux utilisés dans les machines électriques :

Les performances des machines électriques sont fortement liées aux caractéristiques des matériaux qui y sont employés. L'évolution de ces matériaux, notamment les aimants permanents. Et les matériaux ferromagnétiques, a contribué à l'amélioration des performances des machines électriques. Dans ce qui suit, les propriétés de différents types d'aimants permanents et de matériaux ferromagnétiques ainsi que leurs applications sont présentées.

[18]

I-3-5) Matériaux utilisés dans construction des machines électrique

✚ Classification des matériaux utilisés dans la construction des machines électriques :

Ces matériaux peuvent être divisés en trois catégories

- ✓ Matériaux de construction ;
- ✓ Matériaux actifs (*magnétique et conducteurs de l'électricité*) ;
- ✓ Matériaux isolants.

Les matériaux du conducteurs sont utilisés pour la fabrication des éléments des machines qui sont destinés surtout à transmettre et à recevoir des charges mécanique et à donner à certains éléments les formes requises pour que la machine puisse fonctionner normalement. Les matériaux actifs sont des conducteurs électriques et des conducteurs magnétiques, ils servent à créer les conditions nécessaires pour que les processus électromagnétiques puissent avoir lieu. Les matériaux isolants sont destinés à isoler les pièces sous tension. [17]

✚ Matériaux de construction

On utilise comme matériaux de construction :

- ✓ Fonte ordinaire, malléable et non magnétique;
- ✓ L'acier au carbone et l'acier allié pour obtenir des propriétés mécanique élevées que pure obtenir des propriétés magnétique;
- ✓ Les métaux non ferreux et leurs alliages;
- ✓ Les matières plastique. [17]

Les éléments des machines électriques sont soumis à des charges statiques et dynamiques. Dans la plupart cas leurs dimensions sont déterminées par les contraintes mécaniques ainsi que par les résultats électriques on se heurte au problème difficile du choix judicieux des

matériaux nécessaires. Les propriétés mécaniques d'un matériaux sont généralement caractérisées par les données suivantes :

- ✓ Résistance à la rupture;
- ✓ Limite d'écoulement ;
- ✓ limite de fatigue;
- ✓ Allongement en %;
- ✓ Essai de choc. [17]

Matériaux magnétiques:

Pour la fabrication du circuit magnétique d'une machine électrique on utilise différents matériaux ferromagnétique : l'acier magnétique de différentes nuances, la fonte, l'acier coulé, les tôles d'acier forgé, les alliages d'acier spéciaux (*pour les aimants permanents*).

La propriété la plus importante du matériau formant le circuit magnétique est la relation entre l'induction et l'intensité du champ, et la valeur des pertes par hystérésis et courant de Foucault en fonction de l'induction et de la fréquence. Lorsque certaines parties du circuit magnétique sont aussi soumises à des charges mécaniques (*rotor d'un turboalternateur, carter d'une machine à courant continu*) les propriétés mécaniques du matériaux jouent également un grand rôle. La métallurgie a résolu la tâche difficile de réunir à la propriétés mécaniques et magnétique élevées. [17]

L'acier magnétique :

La structure de l'acier magnétique est un conglomérat des grains ferritiques dans lesquels se trouvent d'autres éléments faisant partie de l'acier. Vu que l'acier magnétique est obtenu par laminage, ses grains sont un peu allongés dans le sens du laminage et cela rend non uniformes les propriétés mécaniques, magnétique et électrique. L'allongement des grains qui résulte de l'écrasement à froid lors du laminage diminue un peu les caractéristiques magnétique et augmente le cycle d'hystérésis, ce qui se traduit par un accroissement des résistances électriques, ce qui diminue les pertes par courants de Foucault mais l'influence de l'accroissement du cycle d'hystérésis reste déterminante. [17]

Fonte : La fonte est actuellement employée rarement pour les circuits magnétiques parce que ses propriétés magnétiques sont bien plus mauvaises que celles de l'acier. On peut l'employer pour les carcasses des machines à courant continu et les rotors de machines synchrones où le flux magnétique est constant. La fonte est remplacée par des tôles et on la conserve seulement dans certains rotors des machines synchrones lorsqu'il faut avoir un PD^2 augmenté vu la condition de travail (*par exemple, un moteur actionnant un compresseur*). Et

lorsque les contraintes mécaniques admettent l'emploi de la fonte. [17]

Acier coulé :

On utilise l'acier coulé pour circuits magnétiques dans les carcasses des machines à courant continu et les jantes des rotors des machines synchrones. Dans les machines à courant continu l'acier coulé est employé plus souvent que la fonte pour la fabrication des carcasses. Les caractéristiques magnétiques de l'acier coulé varient dans de larges limites en fonction de sa composition. [17]

Acier forgé :

L'acier forgé est utilisé pour les rotors des turboalternateurs et les machines synchrones rapides. La fabrication des rotors des machines rapides est difficile car ils sont soumis simultanément à des fortes contraintes mécaniques et de l'induction magnétique élevée. La limite d'écoulement des grandes pièces forgées atteint (600 ou 700 N/mm²). [17]

➤ **Matériaux conducteurs**

Le conducteur le plus employé en électrotechnique est le cuivre. Le cuivre destiné à être utilisé comme conducteur électrique ne doit pas contenir plus de 0,1% d'impuretés. Des additions de bismuth et d'antimoine sont particulièrement nuisibles. Lors du tréfilage à froid le cuivre subit un écrouissage qui le rend plus dur et augmente sa résistivité. Un recuit rendra au cuivre ses propriétés initiales, on y aura recours non seulement en câblerie mais aussi dans les usines de construction électrique si en cours de fabrication des enroulements les conducteurs de cuivre non isolés ont été écrouis (*bobines rotoriques des machines synchrones*). [17]

➤ **Matériaux isolants**

Dans les machines électriques, on emploie différents matériaux destinés à isoler les pièces sous tension. Pour cette raison ce que l'on exigera surtout des matériaux isolants, c'est une rigidité diélectrique élevée. Vu que les isolantes des machines travaillent à températures élevées, sous contraintes mécanique et sont soumis à l'action de l'humidité atmosphérique et dans certains cas à l'action de différents agents chimiques, la rigidité diélectrique doit se joindre à la tenue à la chaleur, la conductivité thermique, la résistance à l'humidité, la résistance aux agents chimiques et certaine résistance mécanique. En fonction des exigences de fonctionnement, les matériaux isolants de base et leur traitement changent. Vu que les isolantes résistent différemment à la chaleur, on peut admettre un échauffement des enroulements en fonction du genre de matériau. [17]

I-3-6) Protection des machines électriques:

La protection des moteurs est assurée par un disjoncteur magnétothermique, placé entre le sectionneur et le moteur. Ces équipements de protection assurent une protection globale indirecte des moteurs contre les surcharges à variation lente. Si l'on veut diminuer le temps de réaction, si l'on veut détecter une surcharge instantanée, si l'on veut suivre l'évolution de la température aux « points chauds » du moteur ou à des points caractéristiques pour la maintenance de l'installation, il est conseillé d'installer des sondes de protection thermique placées aux pointes sensibles. [18]

- ✓ Bilame à chauffage indirect avec contact et relais associé;
- ✓ Résistance variable R à chauffage indirect avec électronique associé ;
- ✓ Thermocouple type T ou K à chauffage indirect avec électronique associé.

I-3-7) Types de refroidissement:

La commission électrotechnique international (CEI) a publié une recommandation intitulée ; mode de refroidissement des machines tournantes ; donne des symboles et des désignations abrégées qui peuvent être utilisées pour tous les modes d'usage courant. [18]

| Code de ventilation | Caractéristique |
|----------------------------|--|
| IC 011 | machine ouverte auto ventilée. ventilation montée sur l'arbre. |
| IC 0141 | machine fermée. carcasse ventilée lisse ou à nervures. ventilateur externe. |
| IC 0151 | machine fermée. carcasse à tubes. deux ventilateurs, un externe et un interne. |
| IC 161 | machine fermée auto ventilée. deux ventilateurs, un externe et un interne. échangeurs monté sur la machine |

| | |
|------------------|---|
| | |
| IC 37 | deux canalisations machine ventilée par un groupe moto ventilateur, non monté sur la machine. |
| IC W37A71 | machine refroidie par air hydro réfrigérant sur la machine circulation d'eau par pompe séparée ou par distribution |

Tab. (I.1) Exemple de systèmes courants de ventilation

Quelques exemples du système complet décrivant deux circuits de refroidissement

- Le premier chiffre indique la disposition du circuit de refroidissement;
- La première lettre indique la nature du fluide primaire;
- Le deuxième chiffre indique le circuit de refroidissement primaire dans la machine;
- La deuxième lettre indique la nature de fluide secondaire.
- Le troisième chiffre indique le circuit de refroidissement secondaire, qui est à la température

la plus basse dans l'échangeur thermique.

L'air et l'eau, les fluides de refroidissement les plus usuels, sont symbolisés respectivement par les lettres A et w. La lettre A est supprimée, lorsque l'air est le seul fluide de refroidissement employé. Tableau. (I.2). [18]

| | |
|---|---|
| IC4 A1 A0 OÙ IC411 | Machine fermée refroidie par sa surface. Pas de ventilateur externe. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse. |
| IC4 A1 A1 OÙ IC411 | Machine fermée à carcasse ventilée. La ventilation externe est propre à la machine. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse. |
| IC5 A1 A1 OÙ IC511 | Machine fermée avec échangeur de chaleur incorporé (Exp : carcasse à tube) refroidi par air ambiant. Deux ventilateurs propres à la machine, l'un extérieur, l'autre intérieur, font circuler respectivement l'air ambiant de refroidissement et l'air chaud interne à travers l'échangeur. |

| | |
|---|--|
| IC4 A1 A6 OÙ IC416 | Machine fermée à carcasse ventilée au moyen d'un système de ventilation indépendant monté sur la machine. L'air à l'intérieur circule en circuit fermé sous l'effet de moyens propres à la machine et cède sa chaleur à travers la surface de la carcasse. |
| IC3 A1 W7 | Machine refroidie par air, avec hydroréfrigérant incorporé. La circulation de l'air chaud interne à travers l'échangeur est obtenue par une ventilation propre à la machine celle de l'eau par pompe ou par distribution. |

Tab. (I.2) Exemple de systèmes courants de ventilation

I-3-8) Formes constructives pour les machines électriques:

La désignation d'une machine électrique comprend deux lettres IM suivies d'un chiffre. Le chiffre est le numéro du groupe de la machine suivant sa forme constructive.

Tableau. (I.3). [18]

| Symboles du groupe | Forme constructive des machines |
|---------------------------|--|
| IM1 | Machines a pattes et paliers flagues. |
| IM2 | Machines a pattes, à paliers flasques et bride sur un plier. |
| IM3 | Machines sans pattes, a paliers flasque et bride sur un plier. |
| IM4 | Une machine sans pattes, a palier flasque et bride sur la carcasse. |
| IM5 | Machines à paliers lisses. |
| IM6 | Machines à paliers flasques et bâtis de palier. |
| IM7 | Machines à bâtis de palier (sans palier flasque). |
| IM8 | Machines à axe vertical non comprisses dans les groupes de IM1 et IM4. |
| IM9 | Machines à organes de fixation spéciaux |

Tab. (I-3) Groupes courants de formes constructives pour machines électriques

I-4) CONCLUSION

Nous avons, dans ce chapitre abordé les principes de la construction d'une machine asynchrone et son principe de fonctionnement, ensuite nous avons détaillées notre rappel sur la machine asynchrone à rotor en court-circuit.

Le calcul des dimensions statoriques est le but du deuxième chapitre.

CHAPITRE II :

LES DIMENSIONS STATORIQUES

Chapitre II

Les Dimensions Statoriques

II – 1) Introduction

II – 2) Caractéristique de la machine électrique

II-2-1) Facteur de puissance et rendement de la machine asynchrone

II-2-2) La puissance apparente du moteur

II -3) Règles de dimensionnement

II-4) Les dimensions statorique

II-4 -1) choix des dimensions principales

II -4-2) les dimensions des encoches

II-4-2-1) Encoche du stator

II-4-3) Coefficient d'utilisation

II- 4-4) calcul de la zone dentaire du stator

II-4-4-1) Introduction

II-4-4-2) Choix des dimensions principales dans la zone dentaire

II-5) conclusion

II – 1) Introduction

Lorsqu'on veut construire une machine électrique, on ne doit pas seulement tenir compte de ses propriétés électromagnétiques, mais faire en sorte que sa construction et son exploitation soient économiques et rentables,

Les facteurs qui influent sur les dimensions du moteur sont multiples et variés selon le type de la machine à construire. Pour les machines asynchrones, ce sont les conditions de démarrage, la capacité de surcharge, le facteur de puissance et le rendement qui sont déterminants,

En effet il n'existe pas une théorie précise pour le calcul des machines, ou plutôt des méthodes de calcul plus au moins précises basées sur des diagrammes établis à partir des études statistiques .

II-2) Caractéristique de la machine électrique:

II-2-1) Facteur de puissance et rendement de la machine asynchrone:

Dans les machines asynchrones, Le facteur de puissance et le rendement dépendent de la puissance de celle-ci, et leurs valeurs varient de 0.7 pour les petites machines à 0.95 pour les grandes machines. Le rendement η et le facteur de puissance ($\cos\varphi$) et tiré sont d'après des diagrammes tracés à partir des études statistiques faites sur un grand nombre de moteurs (*Normes allemandes*), [19]

Ou par l'expression suivante:

$$\eta = \frac{Pu}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi} \quad \text{(II-1)}$$

II-2-2) la puissance apparent du moteur

La puissance apparente est déterminée par l'expression :

$$P_s = \frac{K_c \cdot P_{nom}}{\eta_{nom} \cdot \cos\varphi_{nom}} \quad \text{[KVA]} \quad \text{(II-2)}$$

K_c désigne le facteur de chute de tension statorique déterminé à partir de la formule suivante en fonction de la paire de pôles [18]

$$K_c = 0,98 - 0,5P \cdot 10^{-3} \quad \text{(II-3)}$$

II-3) Règles de dimensionnement

Dans cette section, nous résumons les critères de performances qui seront considérés lors du dimensionnement ainsi que les paramètres géométriques sur lesquels nous pouvons agir.

En gardant à l'esprit le cahier des charges, les critères de performances sont principalement :

- ✓ Le couple volumique : a savoir le couple nécessaire dans un encombrement minimum.
- ✓ Le rendement et le facteur de puissance : agissant sur le courant absorbe et les pertes.
- ✓ Le taux d'ondulation du couple. [13]

II-4) les dimensions statorique:

II-4-1) Choix des dimensions principales:

Chaque machine asynchrone a des dimensions principales de basse actuelle :

D : diamètre intérieur du stator

L : la longueur de l'entrefer

Car ses dimensions principales dépend, tant, du deux point de vue magnétique et électrique, sans oublier les facteurs qui dépend des propriétés thermiques des matériaux isolants d'après ses points on peut faire l'ordre de choix est le suivant : [19]

- 1- La hauteur de l'axe de rotation est en fonction de la puissance utile et le nombre de paires de pôles du moteur $H=f(P_s, 2p)$ (tableau 1)
- 2- Le diamètre extérieur Da du stator (tableau2)
- 3- Le diamètre intérieur D du stator (tableau3)

$$D = K_D \cdot Da \quad (\text{II-4})$$

K_D : Le rapport entre le diamètre intérieur et extérieur du stator

- 4- Le pas polaire est donné par la formule suivante

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} \quad (\text{II-5})$$

- 5- la puissance transmise est donnée par la formule suivante

$$P_1 = m \cdot l \cdot E_1 = P_U \cdot \frac{K_e}{\eta \cdot \cos \varphi} \quad (\text{II-6})$$

K_e : Le coefficient de chute de tension

- 6- Le rendement et le facteur de puissance
- 7- Les charges électromagnétiques A (A/m) et B_δ (fig 5.1 –fig 5.2)
- 8- Le coefficient de bobinage K_{B1} :

$$K_{B1} = f(H_r, \text{type de forme})$$

- 9-La longueur de l'entrefer.

$$L = \frac{P_1}{\pi^2 \cdot \alpha_i \cdot D^2 \cdot N \cdot K \cdot B_1 \cdot k_b \cdot A \cdot B_\delta} \quad (\text{II-7})$$

N : La vitesse de rotation du champ en tours/seconde

α_i : facteur de distribution du champ;

K_b : facteur de forme

- 10- on détermine le rapport $\lambda=L/\tau$ (fig 6)

Si λ est hors du l'intervalle admissible

On diminuent ou augmentent la valeur de K_D , selon le cas.

Si non il faut augmenter la hauteur de l'axe de rotation et répéter le calculs du point 1 au point 10. [19]

II-4-2) Dimensionnement des encoches :

Le choix du type d'encoches pour une machine dépend:

- ✓ De la tension de service.
- ✓ De la puissance.
- ✓ Du type de bobinage.

Le stator des petites et moyennes machines, à basse tension, est exécuté avec des encoches trapézoïdales semi-ouvertes c'est le cas de notre machine 2,2 kW. Le choix de ce type d'encoches est d'assurer une meilleure insertion des conducteurs et obtenir un meilleur coefficient de remplissage de l'encoche. Puisque lors de la mise en encoche des enroulements, les conducteurs n'occupent pas tout l'espace qui leur ai réservé. Le rapport de surface des conducteurs et d'encoches est appelé coefficient de remplissage. Ce rapport varie selon la capacité des ouvriers spécialisés dans la mise en place du bobinage. Il peut être, dans les meilleures conditions égal à 0.7 pour des machines de faibles puissances.

Pour le rotor à cage d'écureuil l'enroulement est formé de barres court-circuitées par des anneaux. On remarque que du point de vue électrique, on préfère des cages en cuivre car le cuivre possède une plus faible résistivité que l'aluminium ; on réduit ainsi les dimensions des encoches, ce qui influe beaucoup sur les paramètres de fonctionnement de la machine. Par contre l'aluminium est meilleur du point de vue coût et facilité de travail.

Les encoches sont rondes ou rectangulaires, Selon la technique d'exécution et la caractéristique demandée :

- ✓ Simple cage ;
- ✓ Double cage ;
- ✓ Cage à effet pelliculaire.

II-4-2-1) Encoche du stator :

Soit (Z_1) le nombre d'encoches du stator

$$Z_1 = 2 \cdot p \cdot m \quad \text{(II-8)}$$

(Z_2) Permet la détermination du nombre d'encoches par pôle et par phase q , sachant que le nombre de paires de pôles p et le nombre de phases m sont définis:

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} \quad \text{(II-9)}$$

Nombre q est un paramètre fondamental pour la machine, car il intervient dans le coefficient de distribution K_d .[19]

Pour réduire l'amplitude des harmoniques supérieurs il est préférable que $q > 2$. L'augmentation de q engendre une augmentation de rang des harmoniques de denture. Cependant q ne peut pas augmenter indéfiniment car il est limité par la dimension de la machine. [19]

II-4-3) Coefficient d'utilisation:

Pour déterminer les dimensions principal d'une machine asynchrone, il faut prendre pour base la puissance apparente (P_s). Car La liaison entre ces dimensions et les contraintes, tant électriques que magnétiques, est donnée par la relation: [19]

$$C = \frac{P_s \cdot 10^{-3}}{D^2 \cdot l_i \cdot 60 \cdot n_s} = \frac{K_{w1} \cdot \beta_\delta \cdot A_1}{8.6 \cdot 10^3} \quad \text{(II-10)}$$

II-4-4) Calcul de la zone dentaire du stator :

II-4-4-1) Introduction :

Avant de procéder au calcul des dimensions de cette zone on choisit la forme des encoches à utiliser. Pour les machines de moyenne puissance ($H \leq 280 \text{ mm}$) on utilise généralement des encoches trapézoïdales, pour les machines de grande puissance on utilise des encoches rectangulaires.

Les encoches trapézoïdales sont caractérisées par des dents rectangulaires ce qui contribue à la diminution de la chute de potentiel magnétique dans cette zone. Dans ces encoches on loge des enroulements à fil rond par conséquent le coefficient de remplissage de l'encoche est relativement faible par rapport à celui des encoches rectangulaires. Ces dernières sont caractérisées par des dents à section variable.

Lors du choix des dimensions de la zone dentaire on doit tenir compte des facteurs suivants :

- 1- L'induction dans les dents (B_{z1}) et l'induction dans la culasse statorique (B_a) doivent être dans les limites préconisées.
- 2- La section de la dent dans les encoches trapézoïdales doit être uniforme.
- 3- Le facteur de remplissage de l'encoche trapézoïdale doit être dans les limites :

0.68 ÷ 0.75. [18]

II-4-4-2) Choix des dimensions principales dans la zone dentaire

Le choix de la forme l'encoche puisque' il y a trois forme avec ses types [1]

1- Calculs de nombre d'encoches de stator Z_1

2- Calcul le nombre d'encoches par pole et par phase q_1 , est donné par la formule suivant :

$$q_1 = \frac{Z_1}{p \cdot m} \quad \text{(II-11)}$$

3- Le pas dentaire cas des encoches monte fil à fil

$$t_{Z \min} = f(H_r, \tau)$$
$$t_{Z \max} = f(H_r, \tau)$$

4-Calcul le pas relatif β :

Les valeurs de β sont tirées du tableau en fonction du nombre d'encoches par pole et phase.

5- Calcul du facteur de distribution du champ α et facteur de forme K_b :

$$\alpha_i = 0.64$$

$$K_b = 1.11$$

6- Le nombre préliminaire de spires ω :

$$\omega = 4 \cdot \pi \cdot \frac{f}{p} \quad \text{(II-12)}$$

7- Le pas dentaire cas des encoches fil rectangulaire, est donné par les formules suivantes

$$Z_{\min} = \pi \cdot \frac{D}{t_{Z \max}}$$
$$Z_{\max} = \pi \cdot \frac{D}{t_{Z \min}} \quad \text{(II-13)}$$

8- Calcul de pas dentaire t_1 :

$$t_1 = \pi \cdot \frac{D}{Z_1} \cdot 100 \quad \text{(II-14)}$$

9- Calcul le pas d'encoche Y_z :

$$Y_z = f(H_r)$$

10- Le facteur de distribution K_{kd} , est donné par la formule suivante

$$K_{kd} = \frac{0,5}{q_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6 \cdot q_1}\right)} \quad \text{(II-15)}$$

11- Le facteur de raccourcissement K_r , est donné par la formule suivante

$$K_r = \sin\left(\beta \cdot \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{(II-16)}$$

confermation de facteur du bobinage $K_{B_{1C}}$, est donné par la formule suivante

$$K_{B_{1C}} = K_{kd} \cdot K_r \quad \text{(II-17)}$$

12- Le courant nominale I_{1nom} , est donné par la formule suivante

$$I_{1nom} = \frac{Pu}{m \cdot U \cdot \eta \cdot \phi} \quad \text{(II-18)}$$

13- Le flux ϕ , est donné par la formule suivante

$$\phi = \alpha \cdot B_\delta \cdot L \cdot \tau \quad \text{(II-19)}$$

14- Le nombre de spire W_{pri} , est donné par la formule suivante

$$W_{pri} = \frac{K_e \cdot 4}{222 \cdot K_{B1} \cdot \left(\frac{f}{50}\right) \cdot \phi} \quad \text{(II-20)}$$

15- Le nombre de conducteur efficace U_{en} , est donné par la formule suivante

$$U_{en} = \frac{W_{pri}}{q_1} \quad \text{(II-22)}$$

16- Confermation de nombre de spire W_c , est donné par la formule

Suivante

$$W_c = U_{en} \cdot q_1 \quad (\text{II-23})$$

17- La charge linaire corrigé A_c , est donnée par la formule suivante

$$A_c = \frac{2 \cdot I_{1nom} \cdot W_c \cdot m}{\pi \cdot D} \quad (\text{II-20})$$

18- L'induction magnétique corrigé $B_{\delta c}$, est donnée par la formule suivante

$$B_{\delta c} = \frac{\phi}{\alpha \cdot \tau \cdot L} \quad (\text{II-21})$$

19- La longueur corrigée L_c , est donnée par la formule suivante

$$L_c = \frac{L \cdot W_{pri}}{W \cdot 1000_c} \quad (\text{II-22})$$

20- Le flux corrigé ϕ_c , est donné par la formule suivante

$$\phi_c = \frac{K_e \cdot U}{4 \cdot k_b \cdot W_c \cdot K_{blc} \cdot f} \quad (\text{II-23})$$

21- L'induction magnétique moyenne dans le dos B_a , est tiré du tableau (8) induction magnétique dans le dos du stator.

22- L'induction magnétique moyenne dans la dent B_{z1} , est tiré du tableau (9) induction magnétique dans les dents du stator. $B_{z1} = f(H_r, P)$

23- Le nombre de canaux n_v :

$$n_v = 10$$

$$b_v = 10$$

24- Calcul de ll_1 :

$$\text{Le coefficient } k_{rr} = 0.97 \quad ll_1 = f(L_c)$$

25- La largeur de la dent, est donnée par la formule suivante

$$bb_{z1} = \frac{\beta_{\delta} \cdot t_1 \cdot L}{\beta_{z1} \cdot ll_1 \cdot k_{rr}} \quad (\text{II-24})$$

26- L' hauteur du dos d'induit H_a , est donnée par la formule suivante

$$H_a = \frac{\phi_c}{\left(2 \cdot \beta_a \cdot \frac{l_1}{1000} \cdot K_{rr}\right)} \cdot 1000 \quad (\text{II-25})$$

27- L' hauteur de l'encoche H_{en} , est donnée par la formule suivante

$$H_{en} = \frac{D_a - D}{2 - H_a} \quad (\text{II-26})$$

28- La grande largeur de l'encoche B_1 , est donnée par la formule suivant

$$B_1 = \frac{\pi(D + 2 \cdot H_{en})}{Z - bb_{z1}} \quad (\text{II-27})$$

29- La petite largeur de l'encoche B_2 :

$$b_f = f(H_r)$$

b_f : Largeur d'entrée de l'encoche statorique

$$B_F = 0.3 \cdot \sqrt{(H_{en})} \quad (\text{II-28})$$

B_F : Largeur de l'ouverture

$$B_2 = \frac{(\pi \cdot (D + 2 \cdot h_f - B_F) - Z_1 bb_{z1})}{Z_1 - \pi} \quad (\text{II-29})$$

30- La largeur de dent de cote culasse B_{z1pri} , est donné par la formule suivante

$$B_{z1pri} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot H_{en})}{Z_1 - B_1} \quad (\text{II-30})$$

31- Calcul de H_1 , est donné par la formule suivant

$$H_1 = H_{en} - \left(h_f + \frac{(B_2 - B_F)}{2} \right) \quad (\text{II-31})$$

32- La largeur de la dent de cote entrefer B_{z12pri} , est donnée par la formule suivante

$$B_{z12pri} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot (H_{en} - H_1))}{Z_1 - B_2} \quad (\text{II-32})$$

33- La section de la partie de l'encoche S_{en} , est donnée par la formule suivante

$$S_{en} = \frac{B_1 + B_2}{2 \cdot H_1 - S_{is} - S_{pe}} \quad (\text{II-33})$$

34- La section occupé, par les conducteurs :

Pour H_r entre 180 et 225 :

$$S_{pe} = 0.46 \cdot B_1 + 0.9 \cdot B_2 \quad \text{(II-34)}$$

Pour $H_r < 180$:

35- Valeur de bis (encoche statorique) b_{is}

$$S_{pe} = 0.6 \cdot (B_1 + B_2) \quad \text{(II-35)}$$

36- Section de l'isolent S_{is} :

$$S_{is} = b_{is} \cdot (2 \cdot H_{en} + B_1 + B_2) \quad \text{(II-36)}$$

37- Le facteur de remplissage : kk_r

Pour le bobinage automatique on ... kk_r [0.69÷0.72]

Pour le bobinage manuel on ... kk_r [0.7÷0.75]

38- Calcul du diamètre d'isolation D_{is} :

$$n_{el} = I$$

$$D_{is} = \sqrt{\left(\frac{K_{kr} \cdot S_{en}}{n_{el} \cdot U_{en}} \right)} \quad \text{(II-37)}$$

39- Calcul du volume K_{rvo} , est donné par la formule suivante

$$K_{rvo} = \frac{D_{is}^2 \cdot U_{en} \cdot n_{el}}{S_{en}} \quad \text{(II-38)}$$

40- Le nombre de voix (a)

$$a = \frac{P}{2} \quad \text{(II-39)}$$

41- Calcul de la densité du courant J_d :

$$J_d = \frac{I_{1nom}}{n_{el} \cdot q(tt) \cdot 100 \cdot 0,00000001 \cdot a} \quad \text{(II-40)}$$

42- Le diamètre normalisé du fil nu D_{nu}

43- Le diamètre du fil isolé normalisé d_{isnor} (d_{pi})

44- La section du fil normalisé $S_{nor}(q(t))$

II-5) conclusion

Dans ce chapitre, on présentera la procédure de calcul et de dimensionnement d'une machine asynchrone, ainsi que l'étude en vue de la vérification et de la validation de l'approche adoptée.

Car on a précisé l'étude sur les dimensions statoriques ou on a trouvé une très large zone (zone statorique) pour la calculer

CHAPITRE III :

LES DIMENSIONS ROTORIQUES

Chapitre III

Les Dimensions Rotoriques

III-1) Introduction

III - 2) Calcul des dimensions principales du rotor

III - 3) Calcul des dimensions de l'encoche rotorique

III-3-1 Encoche en forme bouteille

III-3-2 Encoche en forme profonde

III-3-3 Encoche en forme rectangulaire

III-3-4 Encoche en forme ovale

III - 4) Conclusion

III-1) Introduction :

Dans cette partie, nous sommes intéressés de déterminer les dimensions de l'encoche, et de la dent, et aussi les paramètres de l'enroulement de la zone dentaire rotorique. L'état magnétique de la zone dentaire détermine la forme de la distribution du champ magnétique dans l'entrefer et par conséquent la qualité de fonctionnement de la machine.

En vue de l'amélioration des caractéristiques de démarrage des moteurs asynchrones à cages, nous effectuerons le calcul des dimensions des dents du rotor avec des encoches de différentes configurations.

La valeur de l'entrefer doit être choisit convenablement dans les limites préconisées car ce paramètre à une grande influence sans les caractéristiques de la machine les grandes valeurs de l'entrefer peuvent entraîner le facteur de puissance de la machine et les pertes augmentent.

Dans ce chapitre, on va calculer les dimensions rotoriques à compagnie ces calculs de chaque type d'encoche

III – 2) Calcul des dimensions principales du rotor:

1. La valeur de l'entrefer $\delta=f(\mathbf{H}, \mathbf{2p})$
2. Le nombre d'encoches rotoriques (\mathbf{Z}_2) en fonction de ($\mathbf{Z}_1, \mathbf{H}, \mathbf{2p}$)
3. Diamètre extérieur du rotor D_2 :

$$D_2 = D_{\text{int}} - 2\delta \quad \text{(III-1)}$$

D_{int} : Le diamètre intérieur du stator

4. Longueur du noyau rotorique $I_2 = I_{\delta c}$
5. Le pas dentaire du rotor :

$$T_2 = \pi \cdot D_2 / Z_2 \quad \text{(III-2)}$$

6. Diamètre préalable de l'arbre :

$$D_{ar} = K_{ar} \cdot D_a \quad \text{(III-3)}$$

K_{ar}, D_a sont en fonction de ($\mathbf{H}, \mathbf{2p}$)

7. Facteur de réduction du courant rotorique :

$$K_i = (2 \cdot m_1 \cdot W_{1C} \cdot K_{W1C}) / Z \quad \text{(III-4)}$$

8. Le courant rotorique

$$I_2 = K_i \cdot \delta_1 \cdot I_{1h} \quad \text{(III-5)}$$

δ_I en fonction de ($\cos \varphi$)

III-3) Calcul des dimensions de l'encoche rotorique:

III-3-1) Encoche en forme bouteille:

On détermine l' hauteur préalable de l'encoche $-H_{\text{én}2}$ - en fonction de ($D_a, \mathbf{2p}$)

1. Hauteur de la culasse :

$$H_J = \left(\left(D_2 - \frac{D_J}{2} \right) - H_{\text{én}2} - \frac{2 \cdot dv_2}{3} \right) \quad \text{(III-6)}$$

$$D_J = D_{ar}$$

2. L'induction dans la culasse :

$$B_J = \frac{\Phi \cdot 10^6}{2 \cdot K_{fer} \cdot I_2 \cdot H_J} \quad \text{(III-7)}$$

3. Largeur de la dent rotorique :

$$b_{z2} = \frac{B_C \cdot T_2}{B_{z2} \cdot K_{fer}} \quad \text{(III-8)}$$

$B_{z2} = [1,7...2] T$, B_{z2} : induction dans la dent

4. Rayon de la partie supérieur :

$$r_1 = \frac{(\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_2 - 2 \cdot h) - Z_2 \cdot b_{z2})}{2(Z_2 + \pi)} \quad \text{(III-9)}$$

5. Rayon de la partie inférieure :

$$r_2 = \left(\frac{(\pi \cdot (D_2 - (2 \cdot H_{\acute{e}n2}) - (Z_2 \cdot b_{z2})))}{2} \right) - (Z_2 - \pi) \quad \text{(III-10)}$$

6. Hauteur de la tige inférieure

$$h_t = H_{\acute{e}n2} - h_2 - h - r_1 - r_2 \quad \text{(III-11)}$$

7. Largeur de la tige supérieure :

$$b = 1 \cdot r_1$$

$$b = (1 \div 1,25)$$

8. Section de la tige inférieure :

$$S_{\text{inf}} = \frac{\pi}{2 \cdot (r_1^2 + r_2^2)} + (r_1 + r_2) \cdot h \quad \text{(III-12)}$$

9. Section de la tige supérieure :

$$S_{\text{sup}} = b(h - 0.11 \cdot b) \quad \text{(III-13)}$$

10. Section de la tige :

$$S_t = S_{\text{inf}} + S_{\text{sup}} \quad \text{(III-14)}$$

11. Section de l'anneau :

$$S_{an} = ((0.35 \div 0.45) Z_2 \cdot S) / 2p \quad \text{(III-15)}$$

12. Hauteur de l'anneau :

$$H_{an} = (1.1 \div 1.25) \cdot H_{\acute{e}n2} \quad \text{(III-16)}$$

13. Largeur de l'anneau:

$$b_{an} = S_{an} / H_{an} \quad \text{(III-17)}$$

14. Diamètre moyen de l'anneau :

$$D_{amoy} = D_2 - H_{an} \quad \text{(III-18)}$$

III-3-2) Encoche en forme profonde

1– On détermine la hauteur préalable de l'encoche – $H_{én2}$ – en fonction de **(D_a, 2P)** voir tableau (12).

2– Hauteur de la culasse :

$$H_j = [(D_2 - D_j) / 2] - H_{én2} - (2 \times dv_2 / 3) \quad \text{(III-19)}$$

3– L'induction dans la culasse rotorique :

$$B_j = (\Phi \times 10^6) / (2 \times I_{\delta c} \times K_{fer} \times H_j) \quad \text{(III-20)}$$

4– Largeur de la tige :

$$b_t = b_{én2} - \Delta b \quad \text{(III-21)}$$

5– Hauteur de l'encoche rectifiée :

$$H_{en2r} = h_1 - \Delta h - h_2 \quad \text{(III-22)}$$

6– Largeur de l'encoche rectifiée :

$$b_{en2r} = b_t + \Delta h \quad \text{(III-23)}$$

7– Section de la tige réctifiée :

$$S_{tr} = H_{en2r} \times b_{en2r} \quad \text{(III-24)}$$

8– Hauteur de la culasse rotorique rectifiée :

$$H_{jr} = [(D_2 - D_j) / 2] - H_{en2r} - 2 \times dv_2 / 3 \quad \text{(III-25)}$$

9– Induction de la culasse rectifiée :

$$B_{jr} = \Phi \times 10^6 / (2 \times I_{sc} \times K_{fer} \times H_{jr}) \quad \text{(III-26)}$$

10– Section de la tige :

$$S_t = I_2 / J_2 \quad \text{(III-27)}$$

11– Largeur préalable de l'encoche :

$$b_{én} = S_t / H_{én2} \quad \text{(III-28)}$$

12– Largeur de la dent

$$b_Z = (\pi (D_2 - (2 \times H_{én2})) / Z_2) - b_{en} \quad \text{(III-29)}$$

13– L'induction maximale dans la dent rotorique :

$$B_{Z2max} = (T_2 \times B_{sc}) / (b_Z \times K_{fer}) \quad \text{(III-30)}$$

14– Hauteur de la tige :

$$h_t = H_{\text{én}2} - \Delta h - h_0 \quad \text{(III-31)}$$

h_0 : hauteur init

15– Le courant dans les anneaux :

$$I_{\text{an}} = I_2 / [2 \times \sin (\pi \times p / Z_2)] \quad \text{(III-32)}$$

16– Section de l’anneau :

$$S_{\text{an}} = I_{\text{an}} / J_{\text{an}} \quad \text{(III-33)}$$

17– Hauteur de l’anneau :

$$H_{\text{an}} \approx 1,2 \times H_{\text{én}2} \quad \text{(III-34)}$$

18– Largeur de l’anneau :

$$b_{\text{an}} = S_{\text{an}} / H_{\text{an}} \quad \text{(III-35)}$$

19– Diamètre moyen de l’anneau :

$$D_{\text{an moy}} = D_2 - b_{\text{an}} \quad \text{(III-36)}$$

III-3-3) Encoche en forme rectangulaire

On détermine l’hauteur préalable de l’encoche rotorique – $H_{\text{én}2}$ – en fonction ($D_a, 2p$) voir tableau (12).

1– Hauteur de la culasse :

Pour $2p = [2 ; 4]$

$$H_j = [(2 + p) / (3,2 \times p)] \times [(D_2 / 2) - H_{\text{én}2}] - (2 \times dv_2 \times H_{\text{én}2}) / 3 \times 1,25 \quad \text{(III-37)}$$

Pour $2p \geq 6$

$$H_j = [(D_2 - D_j) / 2] - H_{\text{én}2} - (2 \times dv_2 / 3) \quad \text{(III-38)}$$

2– L’induction de la culasse rotorique :

$$I_2 = I_{\delta c} \quad \text{(III-39)}$$

$$B_j = (\Phi \times 10^6) / (2 \times I_{\delta c} \times K_{\text{fer}} \times H_j)$$

On détermine B_{Z2} à partir tableau (13).

$$b_{Z2 \text{ min}} = T_2 \times B_{\delta c} / (B_{Z2 \text{ max}} \times K_{\text{fer}}) \quad \text{(III-40)}$$

$$b_{\text{én}2} = [(D_2 - (2 \times h_{\text{én}2})) / Z_2] - b_{Z2 \text{ min}}$$

3– Hauteur de la tige :

$$h_t = h_{\text{én}2} - \Delta h - h_0 \quad \text{(III-41)}$$

h_0 : hauteur initial ; $h_0 = hf$

4– Largeur de la tige :

$$b_t = h_{én2} - \Delta b \quad \text{(III-42)}$$

tel que pour $H \geq 400$ $\Delta b = \Delta h$

5– Section de la tige :

$$S_t = I_2 / J_2 \quad \text{(III-43)}$$

6 – Normalisation de la tige :

6.1– Rectification de $h_{én2r}$

$$h_{én2r} = h_t + \Delta h + hf \quad \text{(III-44)}$$

6.2– Rectification de $b_{én2r}$

$$b_{én2r} = b_t + \Delta b \quad \text{(III-45)}$$

7– Section de la tige rectifier :

$$S_{tr} = h_{én2r} \times b_{én2r} \quad \text{(III-46)}$$

8– Section de l’anneau :

$$S_{an} = 0,4 \times Z_2 \times S_t / 2p \quad \text{(III-47)}$$

9– Hauteur de l’anneau :

$$H_{an} = 1,2 \times h_{én2r} \quad \text{(III-48)}$$

10– Le courant de l’anneau :

$$I_{an} = S_{an} / H_{an} \quad \text{(III-49)}$$

11–Diamètre de l’anneau :

$$D_{an} = D_2 - 2 \times hf - 0,5 \times h_t \quad \text{(III-50)}$$

III-3-4) Encoche en forme ovale

On détermine les valeur de H_r en fonction de $(P_u, 2p)$ voir tableau (1).

Les formes de l’encoche rotorique à partir du tableau (12).

On détermine les valeurs de l’induction magnétique B_{z2} dans la zone dentaire rotorique à partir du tableau (13).

1– La longueur de l’entrefer :

$$\delta = (3 + 0.002 \times D) \times T_2 \quad \text{(III-51)}$$

2– Le diamètre extérieur de rotor :

$$D_2 = D - 2 \times \delta \quad \text{(III-52)}$$

3– La longueur de noyau :

$$L_2 = L_c \quad \text{(III-53)}$$

4– Le pas dentaire :

$$T_2 = (\pi \times D_2) / Z_2 \quad \text{(III-54)}$$

5– Le diamètre intérieur de rotor :

Pour $H_r \geq 50$ et pour $H_r \leq 63$; $K_{ar} = [0,19, 0,23]$

$$D_{ar} = K_{ar} \times D_a \quad \text{(III-55)}$$

6– Le courant rotorique :

$$I_2 = (2 \times m \times W_c \times K B_{1c} \times I_{1 \text{ nom}} \times (0.2 + 0.8 \times \cos \varphi)) / Z_2 \quad \text{(III-56)}$$

7– La largeur de la dent rotorique :

$$b_{z2ro} = (B_{\delta c} \times T_2) / (B_{Z22} \times k_{rr}) \quad \text{(III-57)}$$

8– La section de la barre :

$$S_B = I_2 / J_2 \quad \text{(III-58)}$$

9– Le grand rayon:

$$R_1 = (\pi \times (D_2 - 2 \times h_w - 2 \times h_2) - (Z_2 \times b_{z2ro})) / (2 \times (Z_2 + \pi)) \quad \text{(III-59)}$$

10– Le petit rayon :

$$R_2 = (\pi \times (D_2 - 2 \times h_{m2}) - Z_2 \times b_{z2ro}) / (2 \times (Z_2 - \pi)) \quad \text{(III-60)}$$

11– La distance entre les rayons :

$$h_{1 \text{ pri}} = h_{m2} - h_w - h_2 - R_1 - R_2 \quad \text{(III-61)}$$

12– La section de la barre corrigée :

$$S_{Bc} = (\pi / 2) \times (R_1^2 + R_2^2) + (R_1 + R_2) \times h_{1 \text{ pri}} \quad \text{(III-62)}$$

13– La densité dans la barre corrigée :

$$J_{2c} = I_2 / S_{Bc} \quad \text{(III-63)}$$

14– La hauteur de dos rotorique :

pour $2p = 2$ et pour $2p = 4$

$$h_{c2} = (2 + p / 2) \times (D_2 / 2 - h_{m2}) / (3.2 \times p / 2) - 2 / 3 \times dv_2 \quad \text{(III-64)}$$

pour $2p = 6$

$$h_{c2} = (D_2 - D_{ar}) / 2 - h_{m2} - 2 / 3 \times dv_2 \quad \text{(III-65)}$$

15– La largeur de dent de coté culasse :

$$b_{zlcu} = (\pi \times (D_2 - 2 \times (h_2 + h_w) - 2 \times R_1) / Z_2) - 2 \times R_1 \quad \text{(III-66)}$$

16– La largeur de dent de cote entrefer :

$$b_{zlfcr} = (\pi \times (D_2 - 2 \times h_{m2} + 2 \times R_2)) / Z_2 - 2 \times R_2 \quad \text{(III-67)}$$

17– L'induction dans la culasse :

$$B_j = \Phi / (2 \times L_2 \times h_{c2} \times k_{rr}) \times 1000000 \quad \text{(III-68)}$$

18– La densité du courant dans les anneaux :

pre = 17

$$J_{an} = J_{2c} - (pre / 100) \times J_{2c} \quad \text{(III-69)}$$

19– Le courant dans les anneaux :

$$I_{an} = I_2 / (2 \times \text{Sin} (P \times \pi / (2 \times Z_2))) \quad \text{(III-70)}$$

20– La section de l'anneau :

$$S_{an} = I_{an} / J_{an} \quad \text{(III-71)}$$

21– La hauteur de l'anneau :

$$H_{an} = 1.25 \times h_{m2} \quad \text{(III-72)}$$

22– La largeur de l'anneau :

$$A_{an} = S_{an} / H_{an} \quad \text{(III-73)}$$

23– Le diamètre de l'anneau :

$$D_{an} = D_2 - H_{an} \quad \text{(III-74)}$$

III - 4) Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié les dimensions rotoriques ou ce partie est très compliquer par rapport à la zone statorique

car on peut déterminée plusieurs éléments de ce partie.

CHAPITRE IV :

RESULTATS OBTENUES

Chapitre IV

Résultats obtenus

IV-1 POUR UNE PUISSANCE UTILE $P_u=20KW$

IV-1-1-a Les dimensions statoriques.

IV-1-1-a-1 Les dimensions principales.

IV-1-1-a-2 Les dimensions de la zone dentaire

IV-1-1-b Les dimensions rotoriques

IV-2 POUR UNE PUISSANCE UTILE $P_u= 4.75KW$:

IV-2-1-a Les dimensions statoriques

IV-2-1-a-1 Les dimensions principales

IV-2-1-a-2 Les dimensions de la zone dentaire

IV-2-1-b Les dimensions rotoriques

IV-3 Deux exemples de comparaisons

IV-3-1 exemple 1

IV-3-2 exemple 2

IV-3-3 comparaison

IV-4 Conclusion

IV-1 INTRODUCTION:

Dans ce chapitre, on va utiliser les équations que on a trouvé dans les deux chapitres (II – III) et les mettre dans notre programme appliquer dans le logiciel de visuel basic

Où on prend deux exemples sur les puissances (20-4.75Kw), et les résultats que on a obtenus est sur les tableaux suivants

Sans oublier que on a mit deux exemples sur deux graphes pour nous aider de faire une comparaison

IV-1 POUR UNE PUISSANCE UTILE $P_u=20KW$

Des résultats obtenus par le logiciel (CAO) pour des différentes valeurs de puissance et de vitesse.

IV-1-1-a-Les dimensions statoriques:

IV-1-1-a-1 Les dimensions principales:

$$U=220V$$

| | | 2P=2 | 2P=4 | 2P=6 | 2P=8 |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Le diamètre extérieur du stator | Da (mm) | 321.70 | 284.55 | 321.70 | 359.32 |
| Le diamètre intérieur du stator | D (mm) | 167.28 | 193.50 | 321.62 | 265.89 |
| La longueur de l'entrefer | L (mm) | 95.58 | 155.62 | 362.47 | 169.00 |
| Le pas polaire | T | 262.77 | 151.97 | 121.28 | 104.42 |
| La puissance transmise | Pi (Kw) | 24.16 | 24.32 | 25.10 | 26.14 |
| Le rendement | $\eta(\%)$ | 0.90 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| Le facteur de puissance | $\cos\phi$ | 0.61 | 0.90 | 0.87 | 0.82 |
| La hauteur de l'axe de rotation | H (mm) | 180.00 | 160.00 | 180.00 | 200.00 |

IV-1-1-a-2 Les dimensions de la zone dentaire

| | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Nombre d'encoche statorique Z_1 | 36 | 48 | 72 | 72 |
| Le nombre d'encoche par pôle et par phase q_1 | 6 | 4 | 4 | 3 |
| Le pas dentaire cas des encoches monte fil t_z | 0.0161 | 0.0131 | 0.0119 | 0.0112 |
| Le courant statorique I_{nom} (A) | 37.08 | 37.76 | 39.23 | 41.42 |
| Le coefficient de chute de tension K_e | 0.99 | 0.68 | 0.97 | 0.96 |
| Le nombre préliminaire de spires W | 314.00 | 157.00 | 105.00 | 79.00 |
| Nombre des conducteurs (l'encoche) U_{en} | 15.00 | 22.00 | 26.00 | 38.00 |
| Le pas dentaire t_1 (mm) | 14.60 | 12.66 | 10.11 | 11.60 |
| Le pas d'encoche Y_z | 14.994 | 12.00 | 9.996 | 7.002 |
| L'induction magnétique dans la culasse B_a (T) | 1.50 | 1.50 | 1.40 | 1.15 |

| | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| L'induction magnétique dans la dent B_{z1} (T) | 1.80 | 1.75 | 1.75 | 1.75 |
| Largeur de la dent bb_{z1} (mm) | 6.27 | 5.70 | 4.74 | 5.97 |
| La hauteur de la culasse H_a (mm) | 42.33 | 26.24 | 22.63 | 24.44 |
| La hauteur de l'encoche H_{en} (mm) | 34.88 | 19.29 | 22.41 | 22.21 |
| La petite largeur de l'encoche B_2 (mm) | 9.21 | 7.50 | 5.64 | 6.44 |
| La grande largeur de l'encoche B_1 (mm) | 14.74 | 9.49 | 7.32 | 8.08 |
| Largeur de l'ouverture de l'encoche BF (mm) | 1.77 | 1.32 | 1.42 | 1.42 |
| Largeur de la dent coté entrefer $B_{z1_{2pri}}$ (mm) | 6.21 | 5.70 | 4.74 | 5.47 |
| Largeur de la dent cotée culasse $B_{z1_{pri}}$ (mm) | 1.80 | 1.75 | 1.75 | 1.75 |

| | | | | |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Le flux magnétique $\Phi(wb)$ | 11 | 10 | 11 | 12 |
| Le nombre de voix a | 1 | 2 | 3 | 4 |
| La charge linéaire corrigé Ac | 38099.99 | 32799.74 | 33638.08 | 33914.78 |
| Nombre de spire corrigée W_c | 90.00 | 88.00 | 104.00 | 114.00 |

| | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|
| La section de l'encoche réservée Sen (mm ²) | 304.75 | 96.64 | 93.48 | 103.05 |
| La section d'isolation de l'encoche Sis (mm ²) | 37.37 | 22.22 | 23.11 | 23.63 |
| Le facteur de remplissage kkr | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| Nombre de conducteur élémentaire nel | 5 | 2 | 1 | 1 |
| Le diamètre du fil isolé normalisé disnor (mm) | 1.75 | 1.24 | 1.65 | 1.39 |
| La section du fil normalisé qtt (mm ²) | 2.06 | 1.06 | 1.91 | 1.33 |
| Le diamètre normalisé du fil Dnutt (mm) | 1.6 | 1.2 | 1.6 | 1.3 |
| La densité du courant Jd (A/m ²) | 3599957.45 | 8931523.16 | 6842226.16 | 7802990.97 |

| | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| La charge thermique Aj | 185500675768.21 | 182170842734.64 | 199209469219.53 | 214233583343.74 |
| La charge linéaire A | 48373.69 | 33688.97 | 33132.97 | 343317.04 |
| Le coefficient de bobinage KB1 | 0.91 | 0.95 | 0.92 | 0.92 |
| L'induction magnétique du stator Bs (T) | 0.74 | 0.76 | 0.80 | 0.80 |
| La longueur de l'entrefer Ls (mm) | 95.52 | 155.62 | 162.47 | 169.00 |
| Le rapport | 0.36 | 1 | 1.36 | 1.60 |

| | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| dimensionnel λ | | | | |
| Le rapport de diamètre KD | 0.52 | 0.62 | 0.72 | 0.74 |
| Le pas d'encoche β | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.78 |
| Le facteur de distribution kkd | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| Le facteur de raccourcissement kr | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.94 |
| Le facteur de bobinage corrigé KB1c | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.90 |

Tableau (4-2)

IV-1-1-b Les dimensions rotoriques:

| | | | | | |
|---|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| La largeur de l'entrefer (mm) | SiG | 0.88 | 0.51 | 0.42 | 0.37 |
| Le nombre d'encoche rotorique | Z2 | 28.00 | 38.00 | 58.00 | 58.00 |
| Le diamètre extérieur du rotor (mm) | D2 | 165.53 | 192.47 | 230.78 | 265.16 |
| La longueur du noyau (mm) | L2 | 95.58 | 155.62 | 162.47 | 169.00 |
| Le pas dentaire T2 | | 18.57 | 15.91 | 12.50 | 14.36 |
| Le diamètre intérieur du rotor (mm) | Dar | 73.99 | 65.45 | 73.99 | 82.64 |
| Le courant rotorique | I2 (A) | 613.64 | 445.78 | 349.46 | 378.25 |
| La section de la barre (mm ²) | SB | 30697 | 222.89 | 174.73 | 189.13 |
| La densité du courant rotorique | J2 (A/m ²) | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Largeur de la dent rotorique (mm) | bz2ro | 7.82 | 5.60 | 3.64 | 5.15 |

| | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|--------|
| L'induction dans la dent (T) | Bz22 | 1.82 | 2.24 | 2.82 | 2.30 |
| Grande rayon (mm) | R1 | 4.70 | 4.66 | 4.16 | 4.30 |
| Petite rayon (mm) | R2 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 |
| Hauteur de l'encoche (mm) | hc2 | 47.56 | 35.10 | 31.59 | 41.31 |
| L'induction dans le dos rotorique | Bj (T) | 1.34 | 1.12 | 1.00 | 0.68 |
| Distance entre les centres des rayons h_{1pri} (mm) | | 24.03 | 32.09 | 39.37 | 42.33 |
| Surface de la section transversale (mm ²) | SBC | 202.30 | 254.73 | 247.93 | 302.65 |
| La densité du courant dans les anneaux Jan (A/m ²) | | 0.52 | 1.45 | 1.05 | 1.04 |
| Le courant dans les anneaux | Ian (A) | 2741.68 | 1354.19 | 1080.04 | 879.78 |
| Hauteur de l'encoche (mm) | hm2 | 32.04 | 40.07 | 64.81 | 49.94 |
| Largeur de dent cotée culasse (mm) | bz1cu | 7.82 | 5.60 | 3.64 | 5.15 |
| Largeur de la dent coté entrefer (mm) | bz1fer | 7.82 | 5.60 | 3.64 | 5.15 |
| La section de l'anneau (mm ²) | San | 1088.47 | 932.31 | 1023.74 | 848.13 |
| Largeur de l'anneau (mm) | Aan | 27.18 | 18.62 | 17.50 | 13.59 |
| Le diamètre de l'anneau (mm) | Dan | 125.48 | 142.38 | 172.27 | 202.73 |
| La hauteur de l'anneau (mm) | Ban | 40.05 | 50.08 | 58.51 | 62.41 |

Tableau (4-3)

IV-2 POUR UNE PUISSANCE UTILE $P_u = 4.75\text{KW}$:

Des résultats obtenus par le logiciel pour des différentes valeurs de puissance et de vitesse.

IV-2-1-a Les dimensions statoriques:

IV--2-a-1 Les dimensions principales:

$$U = 220 \text{ V}$$

| | | 2P=2 | 2P=4 | 2P=6 | 2P=8 |
|---------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Le diamètre extérieur du stator | D_a (mm) | 175.27 | 196.95 | 169.95 | 233.24 |
| Le diamètre intérieur du stator | D (mm) | 99.90 | 133.93 | 141.80 | 179.24 |
| La longueur de l'entrefer | L (mm) | 107.01 | 92.63 | 129.37 | 109.14 |
| Le pas polaire | T | 156.93 | 105.19 | 74.25 | 70.53 |
| La puissance transmise | P_i (Kw) | 5.99 | 6.39 | 6.77 | 7.54 |
| Le rendement | η (%) | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.83 |
| Le facteur de puissance | $\cos\phi$ | 0.90 | 0.85 | 0.81 | 0.73 |
| La hauteur de l'axe de rotation | H (mm) | 100.00 | 112.00 | 112.00 | 132.70 |

Tableau (4-4)

IV-2-2-a-2 Les dimensions de la zone dentaire:

| | | | | |
|--|--------|---------|--------|--------|
| Nombre d'encoche statorique Z_1 | 24 | 36 | 54 | 48 |
| Le nombre d'encoche par pôle et par phase q_1 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Le pas dentaire cas des encoches monte fil t_z | 0.0133 | 0.00112 | 0.0098 | 0.0096 |
| Le courant statorique I_{nom} (A) | 9.25 | 9.99 | 10.37 | 11.86 |
| Le coefficient de chute de tension K_e | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.94 |
| Le nombre préliminaire de spires W | 314.00 | 157.00 | 105.00 | 79.00 |
| Nombre des conducteurs (l'encoche) U_{en} | 33 | 61 | 61 | 111 |
| Le pas dentaire t_1 (mm) | 13.09 | 11.69 | 8.25 | 11.75 |
| Le pas d'encoche Y_z | 12 | 9 | 9 | 6 |
| L'induction magnétique dans la culasse B_a (T) | 1.55 | 1.55 | 1.50 | 1.30 |
| L'induction magnétique dans la dent B_{z1} (T) | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.71 |
| Largeur de la dent bb_{z1} (mm) | 5.41 | 5.93 | 4.19 | 6.34 |
| La hauteur de la culasse H_a (mm) | 24.76 | 20.89 | 15.24 | 16.30 |
| La hauteur de l'encoche H_{en} (mm) | 12.92 | 10.62 | 12.33 | 10.52 |
| La petite largeur de l'encoche B_2 (mm) | 8.82 | 6.31 | 4.31 | 5.80 |
| La grande largeur de l'encoche B_1 (mm) | 11.05 | 7.61 | 5.50 | 6.79 |
| Largeur de l'ouverture de l'encoche BF (mm) | 1.08 | 0.98 | 1.05 | 0.79 |
| Largeur de la dent cotée entrefer $B_{z12\text{pri}}$ (mm) | 5.41 | 5.93 | 4.19 | 6.43 |
| Largeur de la dent cotée culasse $B_{z1\text{pri}}$ (mm) | 5.41 | 5.93 | 4.19 | 6.43 |

| | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Le flux magnétique Φ (Wb) | 7 | 7 | 8 | 9 |
| Le nombre de voix a | 1 | 2 | 3 | 4 |
| La charge linéaire corrigé A_c | 23347.17 | 26072.36 | 26443.04 | 27990.66 |
| Nombre de spire corrigée W_c | 132.00 | 183.00 | 183.00 | 222.00 |
| La section de l'encoche réservée S_{en} (mm ²) | 61.64 | 34.37 | 35.54 | 31.96 |
| La section d'isolation de l'encoche S_{is} (mm ²) | 11.34 | 8.79 | 8.62 | 8.41 |
| Le facteur de remplissage k_{kr} | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| Nombre de conducteur élémentaire n_{el} | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Le diamètre du fil isolé normalisé d_{isnor} (mm) | 1.16 | 0.65 | 0.65 | 0.45 |
| La section du fil normalisé q_{tt} (mm ²) | 0.92 | 0.27 | 0.27 | 0.13 |
| Le diamètre normalisé du fil D_{nutt} (mm) | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.4 |
| La densité du courant J_d (A/m ²) | 10100389.90 | 18297912.30 | 13099803.81 | 22455080.45 |

| | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| La charge thermique A_j | 138005469169.41 | 185563253790.71 | 185563253790.71 | 1904504131.53 |
| La charge linéaire A | 23408.46 | 26395.56 | 26395.56 | 27496.33 |

| | | | | |
|--|--------|-------|--------|--------|
| Le coefficient de bobinage $KB1$ | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| L'induction magnétique du stator B_s (T) | 0.72 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| La longueur de l'entrefer L_s (mm) | 107.01 | 92.36 | 129.37 | 119.14 |
| Le rapport dimensionnel λ | 0.68 | 0.87 | 1.75 | 1.55 |
| Le rapport de diamètre KD | 0.57 | 0.86 | 0.72 | 0.77 |
| Le pas d'encoche β | 0.83 | 0.87 | 0.78 | 0.83 |
| Le facteur de distribution k_{kd} | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.97 |
| Le facteur de raccourcissement k_r | 0.97 | 0.94 | 0.94 | 0.97 |
| Le facteur de bobinage corrigé $KB1c$ | 0.92 | 0.90 | 0.90 | 0.93 |

Tableau (4-5)

IV-2-2-b Les dimensions rotoriques:

| | | | | | |
|---|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| La largeur de l'entrefer | SiG (mm) | 0.5 | 0.34 | 0.24 | 0.24 |
| Le nombre d'encoche rotorique | Z2 | 19 | 34 | 51 | 44 |
| Le diamètre extérieur du rotor | D2 (mm) | 98.90 | 133.24 | 141.32 | 179.12 |
| La longueur du noyau | L2 (mm) | 107.01 | 92.21 | 129.32 | 109.14 |
| Le pas dentaire | T2 | 16.35 | 12.31 | 8.71 | 12.79 |
| Le diamètre intérieur du rotor | Dar (mm) | 40.41 | 45.30 | 45.30 | 53.64 |
| Le courant rotorique | I2 (A) | 326.82 | 255.16 | 176.27 | 162.71 |
| La section de la barre | SB (mm ²) | 163.41 | 127.58 | 88.14 | 131.35 |
| La densité du courant rotorique | J2 (A/m ²) | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Largeur de la dent rotorique | bz2ro (mm) | 6.95 | 6.28 | 4.02 | 6.94 |
| L'induction dans la dent | Bz22 (mm) | 1.75 | 1.79 | 1.98 | 1.70 |
| Grande rayon | R1 (mm) | 3.96 | 2.72 | 2.18 | 2.70 |
| Petite rayon | R2 (mm) | 1.96 | 1 | 1 | 1.08 |
| Hauteur de l'encoche | hc2 (mm) | 28.99 | 27.39 | 25.21 | 35.79 |
| L'induction dans le dos rotorique | Bj (T) | 1.32 | 1.18 | 0.91 | 0.59 |
| Distance entre les centres des rayons h1 _{pri} (mm) | | 12.10 | 18.58 | 19.11 | 22.66 |
| Surface de la section transversale | SBC (mm ²) | 102.39 | 82.28 | 69.84 | 98.91 |
| La densité du courant dans les anneaux Jan (A/m ²) | | 2.65 | 2.58 | 2.09 | 2.20 |
| Le courant dans les anneaux | Ian (A) | 992.81 | 694.32 | 479.66 | 466.23 |
| Hauteur de l'encoche | hm2 (mm) | 18.53 | 22.80 | 22.80 | 26.94 |
| Largeur de dent cotée culasse | bz1cu (mm) | 6.95 | 6.28 | 4.02 | 6.94 |
| Largeur de la dent coté entrefer | bz1fer (mm) | 6.65 | 6.28 | 4.02 | 6.94 |
| La section de l'anneau | San (mm ²) | 374.74 | 269.56 | 228.98 | 211.49 |
| Largeur de l'anneau | Aan (mm) | 16.18 | 9.96 | 8.04 | 6.28 |
| Le diamètre de l'anneau | Dan (mm) | 75.74 | 104.74 | 112.82 | 145.44 |
| La hauteur de l'anneau | Ban (mm) | 23.16 | 28.49 | 28.49 | 33.68 |

Tableau (4-6)

IV-3 Deux exemples de comparaisons:

On a mis ses deux exemples sous forme de graphe qui présenter ci dessous:

IV-3-1 exemple 1:

La figure ci-dessous présente l'évolution de l'entrefer en fonction de la puissance utile et pour différentes vitesses de rotation, on voit bien l'augmentation de l'entrefer en fonction de la puissance utile.

On voit aussi que l'entrefer est plus petit pour des machines de faible vitesse de rotation.

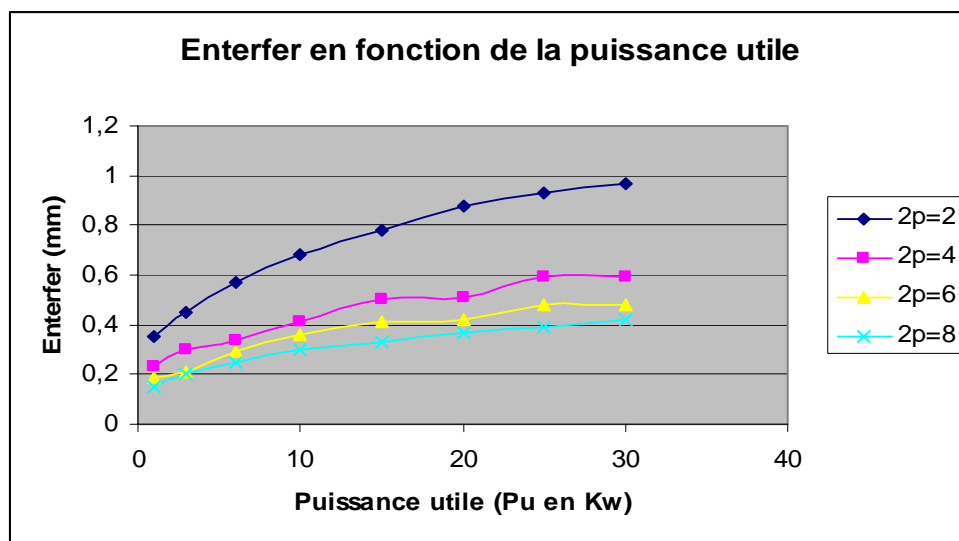


Fig 4-1

IV-3-2 exemple 2:

Le pas polaire des machines asynchrones est aussi fonction de puissance utile et la vitesse de rotation, la figure ci-dessous montre que le pas polaire est plus grand pour les machines de grande vitesse.

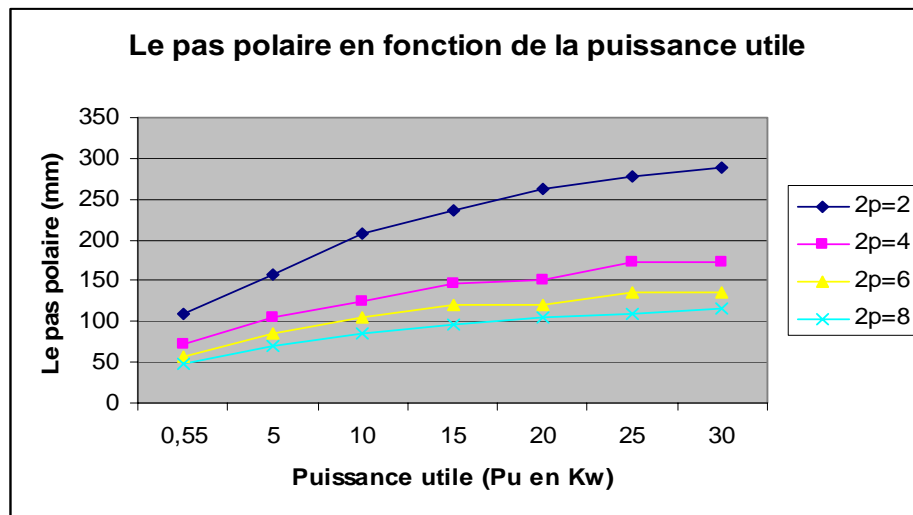


Fig 4-2

IV-3-3 comparaison:

On voit que dans les deux exemples, que l'enterfer et le pas polaire en fonction de la puissance utile sont proportionnelle avec le nombre de paire de pôles car ils ont gardées

IV-4 Conclusion:

On peut dire comme une conclusion que la CAO est capable de changer chaque fois, Et dans notre chapitre on a trouvées que le visuel basic a nous aidé de faire une complet étude d'importe machine , même qu'il est capable de changer et donner des autre paramètres pour une machine plus développé

CONCLUSION GENERALE:

L'objectif de ce travail est de définir et de présenter une nouvelle technique de la conception assistée par ordinateur des machines asynchrones. Celle-ci permet aux électrotechniciens d'utiliser l'ordinateur non pas seulement comme un outil d'analyse mais aussi comme un outil ayant de réelles facultés de dimensionnement automatique. Cette approche offre de grands avantages comme: la gestion des contraintes d'un cahier des charges, la gestion de l'interdépendance des phénomènes physiques intervenant dans une machine, ou encore l'optimisation des solutions trouvées. Cette technique est notamment utilisée, dans ce mémoire, au dimensionnement de machines asynchrones

La (CAO) est une technique dans laquelle, on associe l'homme et la machine pour former une équipe capable de résoudre des problèmes de conception nouveaux exige des solutions originales.

D'après les résultats obtenus, cette technique a montrée son efficacité dans le calcul de dimensionnement des machines électriques.

Ce programme est réalisé avec **Visual basic** de manière à accepter une éventuelle extension telle que :

L'augmentation de la gamme de puissance ;

L'augmentation de la gamme de vitesse ;

L'utilisation d'autres types d'aciers (courbe d'induction en fonction du champ magnétique).

Dans notre calcul on a considéré que le facteur de distribution du champ égal à 0.7 et le facteur de forme égal à 1.09, ce qui correspond à un facteur de saturation égal à 1.25 c'est-à-dire que la machine est fonctionne loin de saturation.

Ce logiciel de conception est conçu pour saisir le minimum nécessaire de donné d'une machine asynchrone, pour avoir comme résultat toutes les dimensions de cette machine.

Ces résultats facilitent par la suite le calcul électrique tel que le diagramme circulaire, le schéma équivalent...etc.

ANNEXES

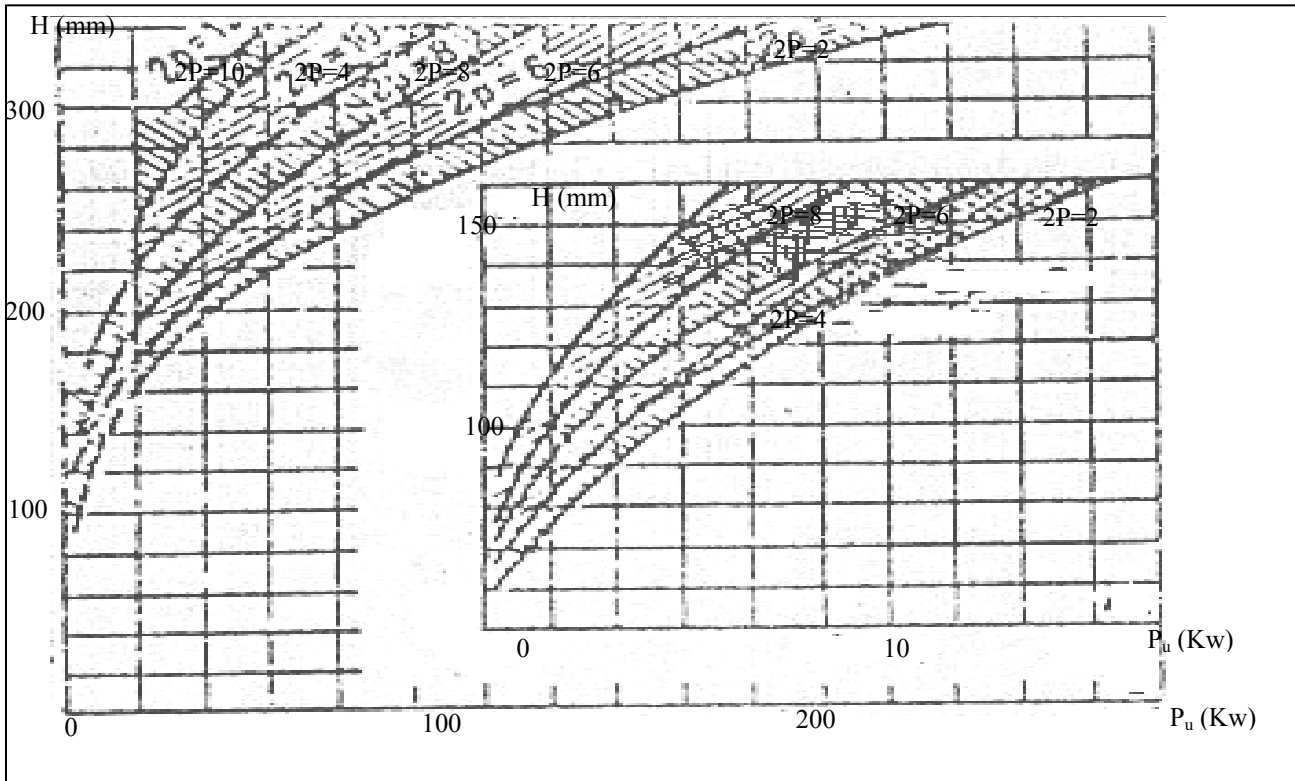


Fig.1 La hauteur de l'axe de rotation $H = f(P_u, 2P)$

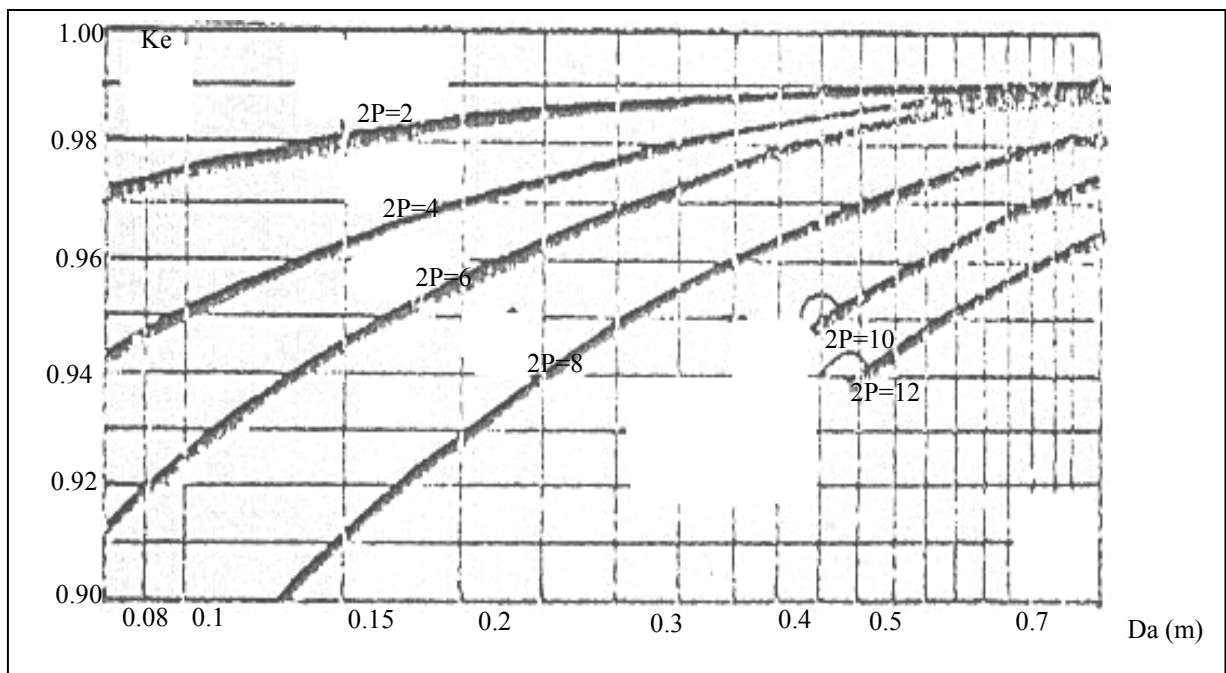


Fig.2 Le coefficient de chute de tension $K_e = f(Da)$

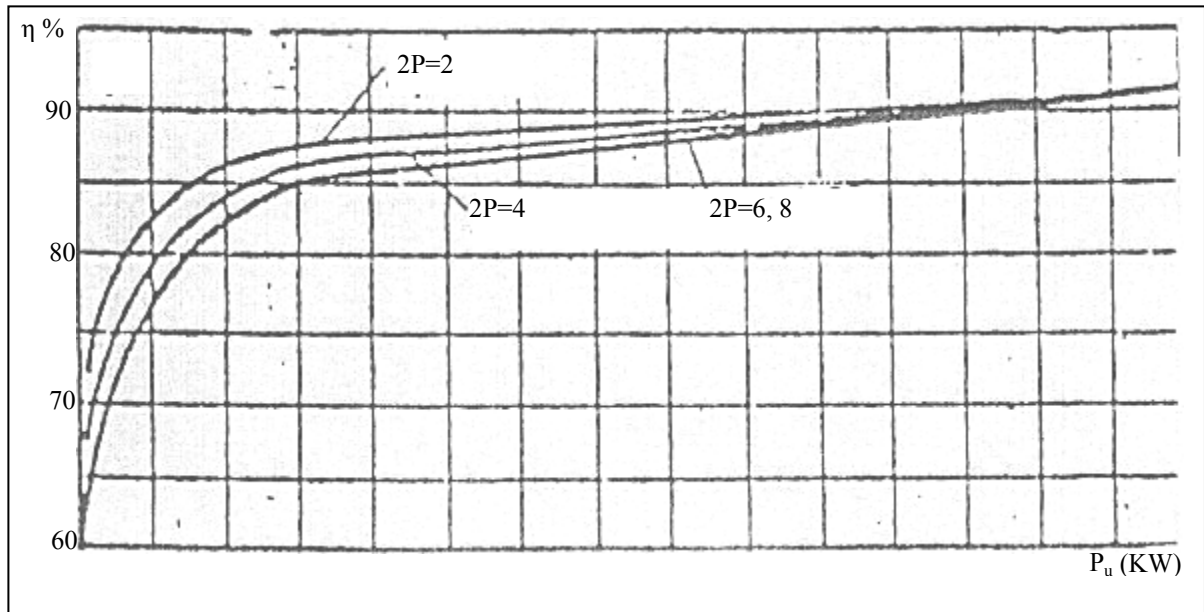


Fig.3 Le rendement $\eta = f(P_u, 2P)$

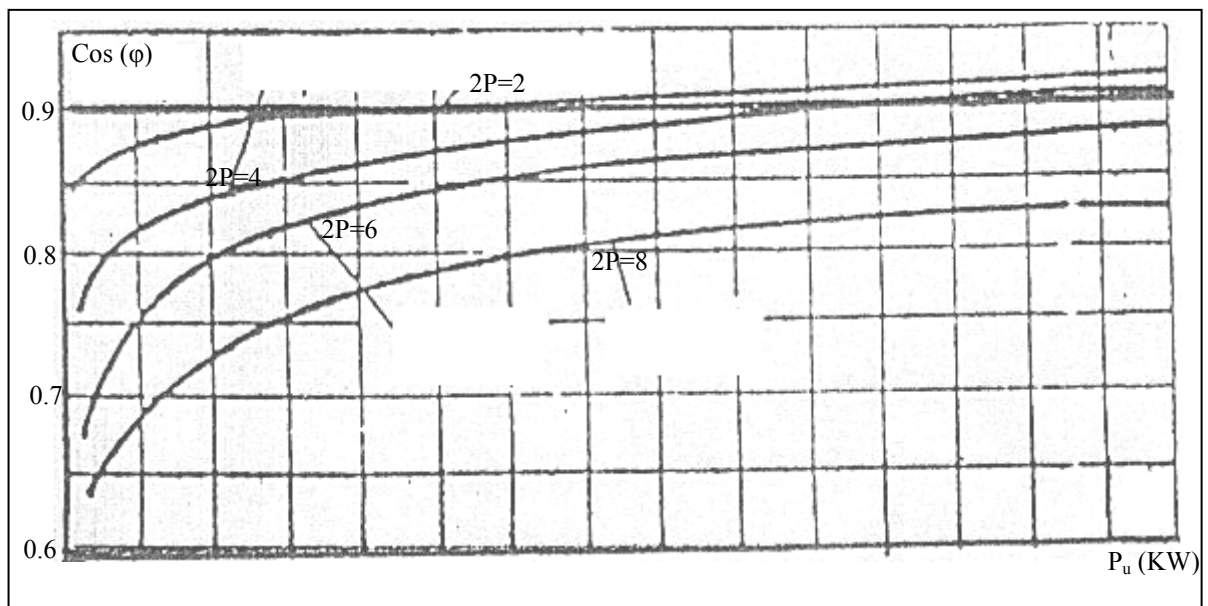
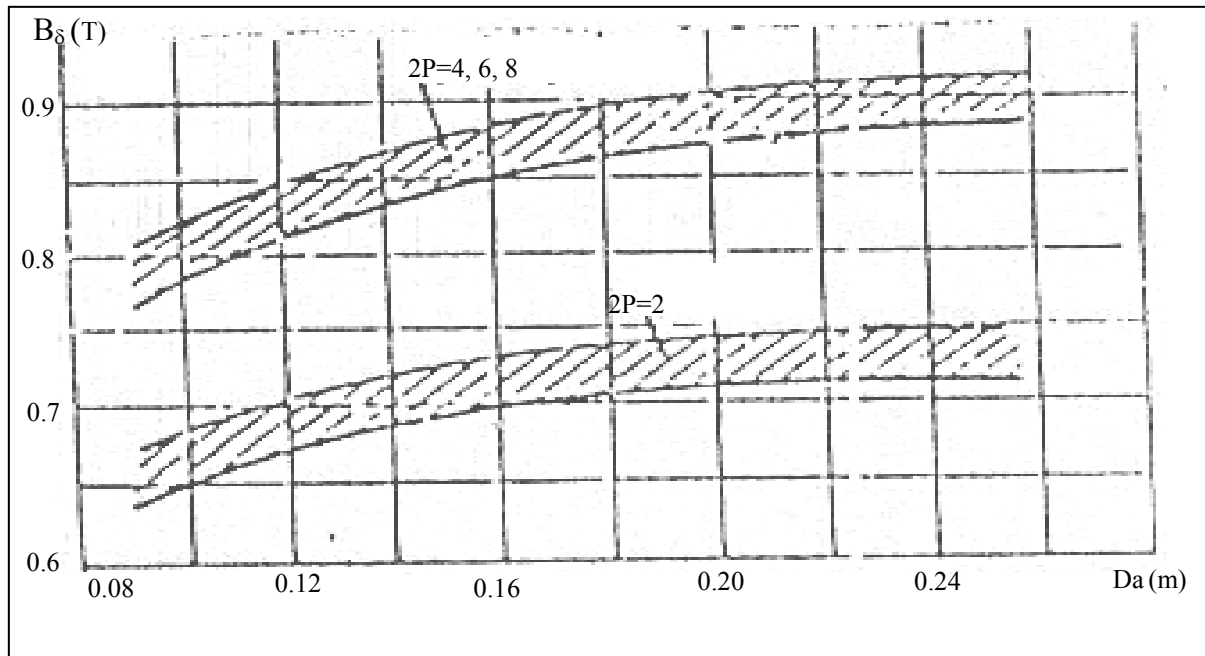
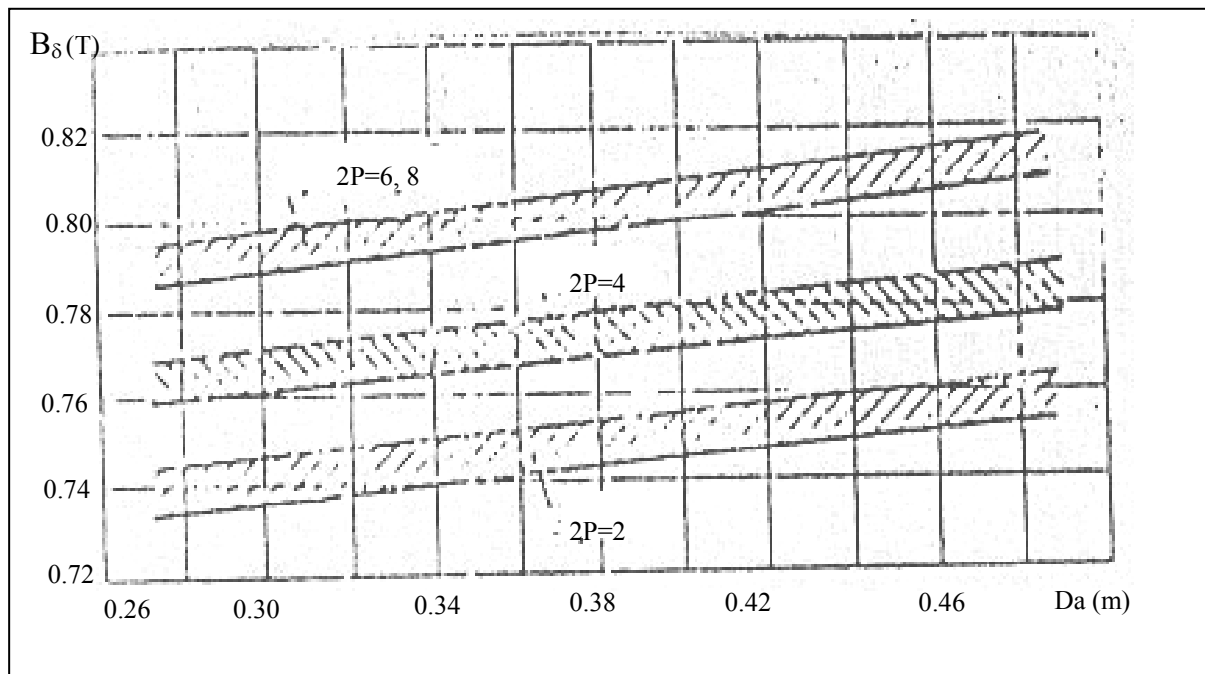


Fig.4 Le facteur de puissance $\text{Cos}(\varphi) = f(P_u, 2P)$

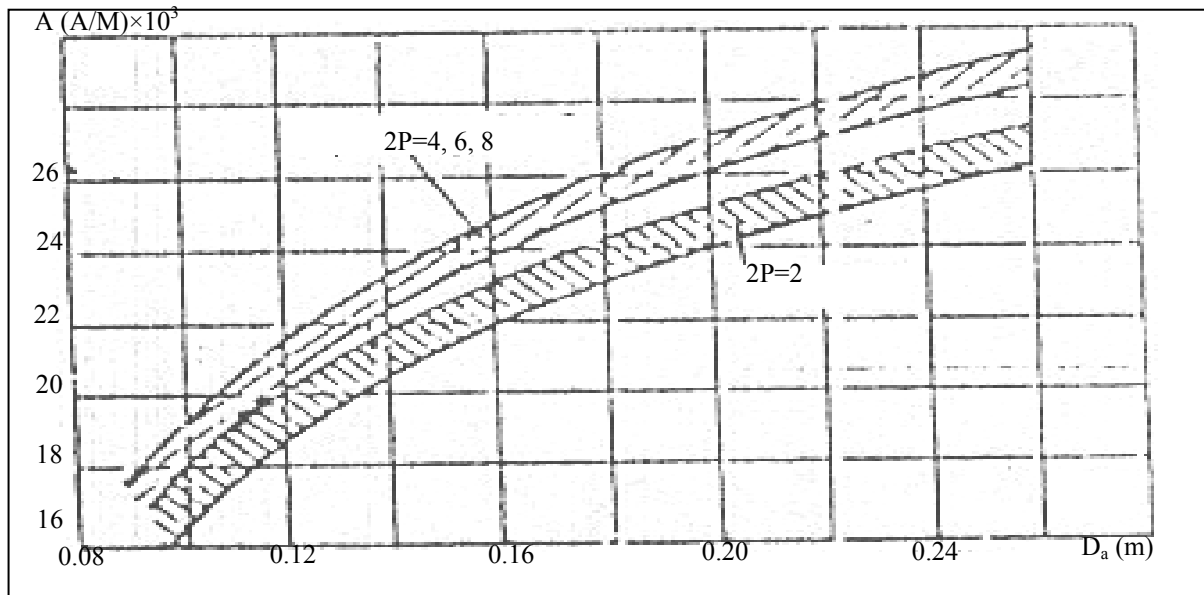


$h \leq 132$

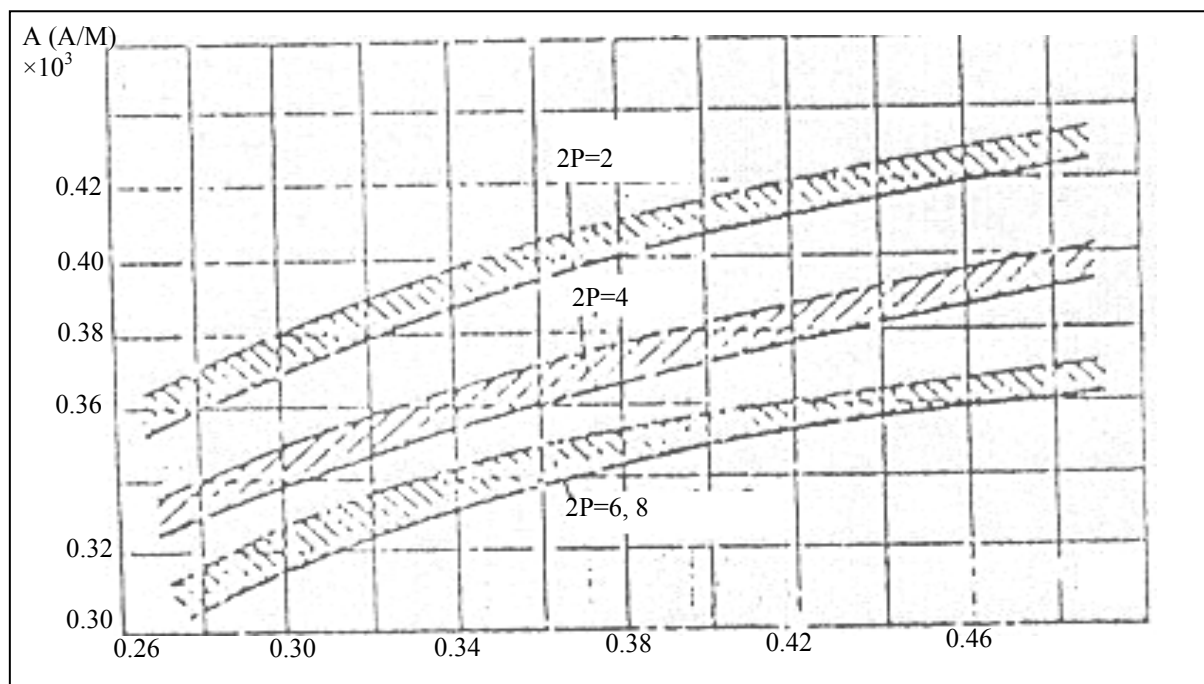


$h = 160 \div 250$

Fig5.1 L'induction magnétique B_δ (T)



$h \leq 132$



$h = 160 \div 250$

Fig5.2 La charge électromagnétique A (A/M)

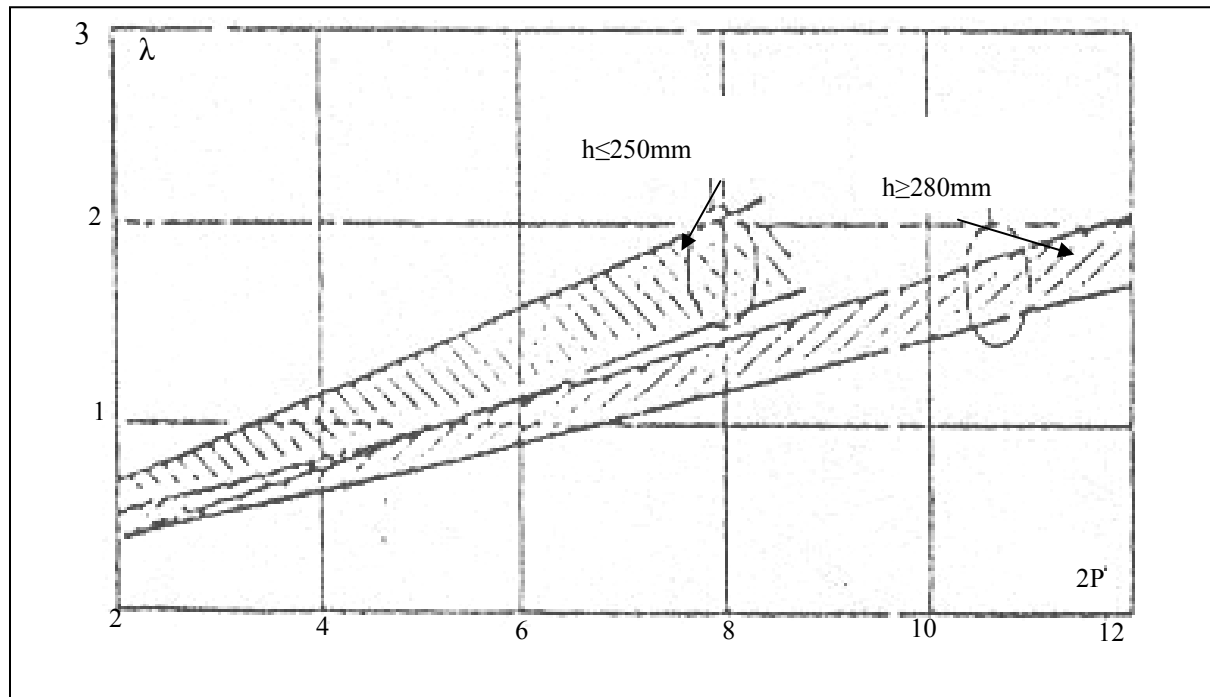


Fig.6 Le rapport $\lambda = L/\tau$ $\lambda = f(2P', h)$

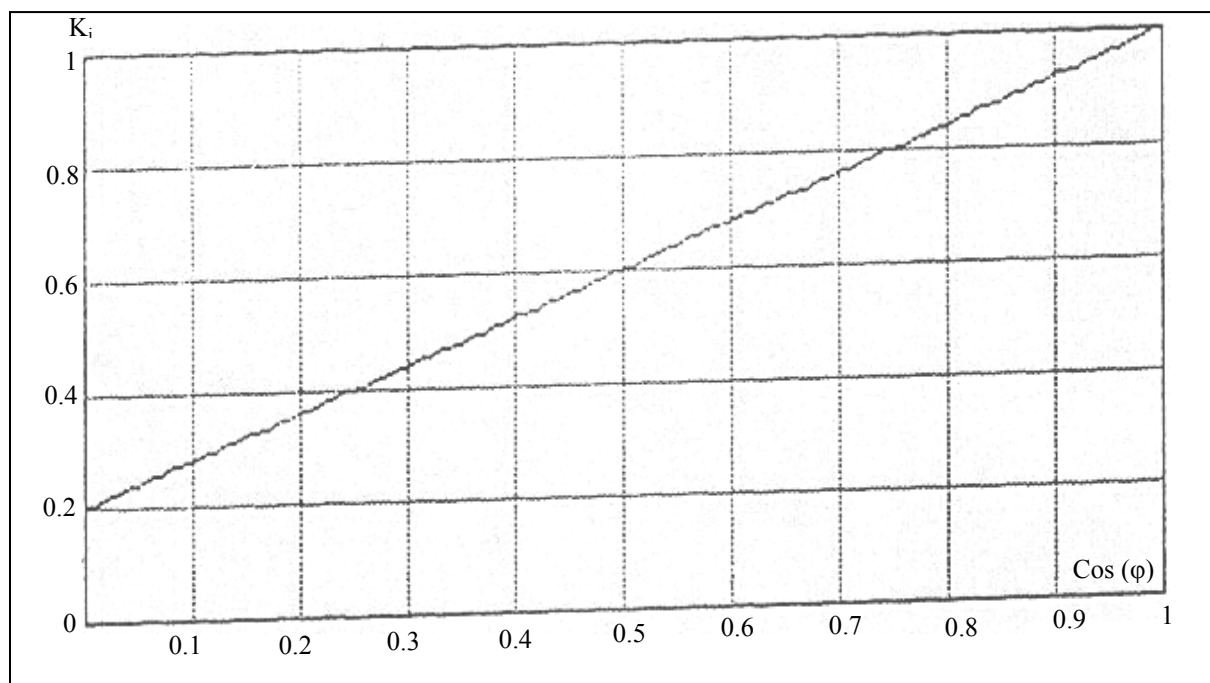


Fig.7 K_i en fonction de $\text{Cos}(\varphi)$

| La hauteur de l'axe de rotation H (mm) | La puissance P2 (KW) pour 2P | | | |
|---|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 56 | rotor en court-circuit, IP44, IC0141 | | | |
| | 0.18 0.25 | 0.12 0.18 | / / | / / |
| 63 | 0.37 0.55 | 0.25 0.37 | 0.18 0.25 | / / |
| | 71 | 0.75 1.10 | 0.55 0.75 | 0.37 0.55 |
| 80 | | 1.50 2.20 | 1.10 1.5 | 0.75 1.1 |
| | 90 | 3.00 / | 2.2 / | 1.5 / |
| 100 | | 4.00 5.50 | 3.00 4.00 | 2.20 / |
| | 112 | 7.50 / | 5.5 / | 3.00 4.00 |
| 132 | | 11.0 / | 7.5 11.0 | 5.5 7.5 |
| | 160 | 15 18.5 | 15 18.5 | 11 15 |
| 180 | | 22 30 | 22 30 | 18.5 / |
| | 200 | 37 45 | 37 45 | 22 30 |
| 225 | | 55 / | 55 / | 37 / |

Tableau (1) : La hauteur de l'axe de rotation H =f(2P, P_u)

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| H (mm) | 50 | 56 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 132 | 160 | 180 | 200 | 225 |
| Da (mm) | 86 | 96 | 108 | 122 | 139 | 157 | 175 | 197 | 233 | 285 | 322 | 359 | 406 |

Tableau (2) : Diamètre extérieur du stator en fonction de l'axe de rotation.

| | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2P | 2 | 4 | 6 | 8 |
| KD | 0.52-0.57 | 0.64-0.68 | 0.70-0.72 | 0.74-0.77 |

Tableau (3) : Rapport entre les diamètres intérieurs D et extérieurs Da.

| q | $\beta : 2P=2$ | $\beta : 2P \geq 4$ |
|-----|----------------|---------------------|
| 1.5 | / | 0.890 |
| 2 | / | 0.833 |
| 2.5 | / | 0.800 |
| 3 | / | 0.778 |
| 4 | / | 0.833 |
| 5 | / | 0.800 |
| 6 | 0.610 | 0.833 |
| 8 | 0.625 | 0.792 |

Tableau (4) : Le pas relatif en fonction du nombre d'encoches par pôle et par phase.

| H (mm) | Z1/Z2 pour 2P | | | |
|---------|---------------|-------|-------|-------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 50÷63 | 24/19 | 24/18 | 36/28 | / |
| 71 | 24/19 | 24/18 | 36/28 | 36/28 |
| 80÷100 | 24/19 | 36/28 | 36/28 | 36/28 |
| 112÷132 | 24/19 | 36/34 | 54/51 | 48/44 |
| 160 | 36/28 | 48/38 | 54/51 | 48/44 |
| 180÷200 | 36/28 | 48/38 | 72/58 | 72/58 |
| 225 | 36/28 | 48/38 | 72/56 | 72/56 |

Tableau (5) : Nombre d'encoches du stator et du rotor.

| H (mm) | q pour 2P | | | |
|---------|-----------|---|---|-----|
| | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 50÷63 | 4 | 2 | 2 | / |
| 71 | 4 | 2 | 2 | 1.5 |
| 80÷100 | 4 | 3 | 2 | 1.5 |
| 112÷132 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| 160 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| 180÷225 | 6 | 4 | 4 | 3 |

Tableau (6) : Valeurs recommandées de q.

| H (mm) | 2P | Type d'enroulement | Forme de l'encoche |
|---------|---------------|----------------------------------|----------------------------|
| 50÷63 | 2 ; 4 ; 6 | Une couche concentrique | Trapézoïdale à demi-fermée |
| 71÷160 | 2 ; 4 ; 6 ; 8 | Une couche concentrique | Trapézoïdale à demi-fermée |
| 180÷225 | 2 ; 4 ; 6 ; 8 | Deux couche ou une –deux couches | Trapézoïdale à demi-fermée |

Tableau (7) : Type d'enroulement et forme l'encoche statorique.

| H (mm) | 2P | BA (tesla) |
|---------|-------|------------|
| 50÷132 | 2 ; 4 | 1.5 ÷1.65 |
| 50÷132 | 6 | 1.45 ÷1.6 |
| 50÷132 | 8 | 1.2÷1.35 |
| 160÷225 | 2 ; 4 | 1.45÷1.6 |
| 160÷225 | 6 | 1.35÷1.5 |
| 160÷225 | 8 | 1.1÷1.2 |

Tableau (8) : Induction magnétique dans le dos statorique.

| H (mm) | 2P | BZ1 (tesla) |
|---------|-----------|-------------|
| 50÷132 | 2 ; 4 ; 6 | 1.75÷1.95 |
| 50÷132 | 8 | 1.7÷1.90 |
| 160÷225 | 2 | 1.75÷1.95 |
| 160÷225 | 4 ; 6 ; 8 | 1.7÷1.85 |

Tableau (9) : Induction magnétique dans les dents du stator.

| H (mm) | bf pour 2P | | | |
|---------|------------|-----|-----|-----|
| | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 50÷63 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| 71 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 80÷90 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.7 |
| 100÷112 | 3.5 | 3.5 | 3.0 | 3.0 |
| 132 | 4.0 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| 160÷225 | 4.0 | 3.7 | 3.7 | 3.7 |

Tableau (10) : Largeur d'entrée de l'encoche statorique.

| H (mm) | bis pour 2P | | |
|---------|-------------|------------|------------|
| | classe : B | classe : F | Classe : H |
| 50÷80 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 90÷132 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 160÷225 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |

Tableau (11) : Valeur de bis (encoche statorique).

| H (mm) | 2P | Forme de l'encoche |
|---------|---------------|---------------------|
| 50÷132 | 2 ; 4 ; 6 ; 8 | Ovale à demi-fermée |
| 160÷225 | 2 ; 4 ; 6 ; 8 | Ovale fermé |

Tableau (12) : Forme de l'encoche rotorique à cage d'écureuil

| | | |
|---------|----------------|-------------------------|
| H (mm) | 2P | Bz2 (tesla) |
| 50÷132 | 2 ; 4 ; 6 8 | 1.75÷1.95 1.70÷1.90 |
| 160÷225 | 2 4 ; 6 ; 8 | 1.70÷1.95 1.65÷ 1.90 |

Tableau (13) : L'induction magnétique dans la zone dentaire rotorique.

| B (T) | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | H (A/cm) | | | | | | | | | |
| 0.4 | 0.52 | 0.53 | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 0.58 | 0.59 | 0.60 | 0.61 | 0.62 |
| 0.5 | 0.64 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.69 | 0.71 | 0.72 | 0.74 | 0.76 | 0.78 |
| 0.6 | 0.80 | 0.81 | 0.83 | 0.85 | 0.87 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.95 | 0.97 |
| 0.7 | 1.00 | 1.02 | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.11 | 1.13 | 1.15 | 1.18 | 1.21 |
| 0.8 | 1.24 | 1.26 | 1.29 | 1.32 | 1.35 | 1.38 | 1.40 | 1.43 | 1.46 | 1.49 |
| 0.9 | 1.52 | 1.55 | 1.58 | 1.61 | 1.64 | 1.68 | 1.71 | 1.74 | 1.77 | 1.81 |
| 1.0 | 1.85 | 1.88 | 1.91 | 1.95 | 1.99 | 2.03 | 2.06 | 2.09 | 2.13 | 2.17 |
| 1.1 | 2.21 | 2.25 | 2.29 | 2.33 | 2.37 | 2.41 | 2.45 | 2.49 | 2.53 | 2.57 |
| 1.2 | 2.62 | 2.67 | 2.72 | 2.77 | 2.83 | 2.89 | 2.95 | 3.01 | 3.07 | 3.13 |
| 1.3 | 3.20 | 3.27 | 3.34 | 3.41 | 3.49 | 3.57 | 3.65 | 3.73 | 3.82 | 3.91 |
| 1.4 | 4.00 | 4.10 | 4.20 | 4.30 | 4.40 | 4.50 | 4.64 | 4.78 | 4.92 | 5.06 |
| 1.5 | 5.20 | 5.42 | 5.64 | 5.86 | 6.08 | 6.30 | 6.54 | 6.78 | 7.02 | 7.26 |
| 1.6 | 7.50 | 7.88 | 8.26 | 8.64 | 9.02 | 9.40 | 9.82 | 10.2 | 10.7 | 11.1 |
| 1.7 | 11.5 | 12.2 | 12.9 | 13.6 | 14.3 | 15.0 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 19.0 |
| 1.8 | 20.0 | 21.6 | 23.2 | 24.9 | 26.5 | 28.1 | 29.6 | 31.1 | 32.7 | 34.3 |
| 1.9 | 35.7 | 38.0 | 40.3 | 42.6 | 44.9 | 47.2 | 49.3 | 51.4 | 53.5 | 55.6 |
| 2.0 | 57.7 | 60.0 | 63.0 | 66.0 | 70.0 | 74.0 | 79.0 | 84.0 | 90.0 | 97.0 |

Tableau (14) : Intensité de champ pour le dos des moteurs asynchrones : acier 2013

| B (T) | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | H (A/cm) | | | | | | | | | |
| 0.40 | 1.24 | 1.27 | 1.3 | 1.33 | 1.36 | 1.38 | 1.41 | 1.47 | 1.47 | 1.5 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 0.5 | 1.54 | 1.57 | 1.6 | 1.64 | 1.67 | 1.71 | 1.74 | 1.77 | 1.8 | 1.84 |
| 0.6 | 1.88 | 1.91 | 1.94 | 1.98 | 2.01 | 2.05 | 2.08 | 2.12 | 2.16 | 2.2 |
| 0.7 | 2.23 | 2.26 | 2.29 | 2.33 | 2.36 | 2.4 | 2.43 | 2.47 | 2.50 | 2.58 |
| 0.8 | 2.56 | 1.59 | 2.62 | 2.65 | 2.68 | 2.71 | 2.74 | 2.77 | 2.80 | 2.83 |
| 0.9 | 2.86 | 2.90 | 2.93 | 2.97 | 3.01 | 3.04 | 3.08 | 3.12 | 3.16 | 3.20 |
| 1.0 | 3.24 | 3.29 | 3.33 | 3.38 | 3.42 | 3.46 | 3.50 | 3.55 | 3.60 | 3.65 |
| 1.1 | 3.70 | 3.75 | 3.80 | 3.85 | 3.91 | 3.96 | 4.01 | 4.06 | 4.11 | 4.17 |
| 1.2 | 4.24 | 4.30 | 4.36 | 4.42 | 4.48 | 4.55 | 4.61 | 4.67 | 1.73 | 4.79 |
| 1.3 | 4.86 | 4.95 | 5.04 | 5.14 | 5.24 | 5.33 | 5.63 | 5.74 | 5.84 | 5.85 |
| 1.4 | 5.86 | 5.98 | 6.10 | 6.22 | 6.34 | 6.46 | 6.58 | 6.70 | 6.83 | 6.96 |
| 1.5 | 7.09 | 7.22 | 7.35 | 7.49 | 7.64 | 7.77 | 7.91 | 8.05 | 8.20 | 8.35 |
| 1.6 | 8.5 | 8.78 | 9.06 | 9.34 | 9.62 | 9.90 | 10.2 | 10.5 | 10.8 | 11.1 |
| 1.7 | 11.5 | 11.8 | 12.2 | 12.5 | 12.9 | 13.3 | 13.6 | 14.0 | 14.4 | 14.8 |
| 1.8 | 15.2 | 15.7 | 16.2 | 16.7 | 17.2 | 17.7 | 18.3 | 18.9 | 19.5 | 20.1 |
| 1.9 | 20.7 | 21.6 | 22.5 | 23.4 | 24.3 | 25.2 | 26.4 | 27.6 | 28.9 | 30.2 |
| 2.0 | 31.5 | 33.2 | 35.0 | 36.8 | 38.6 | 40.4 | 42.6 | 44.8 | 47.0 | 49.2 |
| 2.1 | 51.4 | 54.4 | 57.4 | 60.5 | 63.6 | 66.7 | 71.2 | 75.7 | 80.2 | 84.7 |
| 2.2 | 89.2 | 94.3 | 99.4 | 104.6 | 109.8 | 115 | 120 | 126 | 132 | 138 |
| 2.3 | 144 | 151 | 158 | 165 | 172 | 180 | 188 | 196 | 205 | 214 |

Tableau (15) : Intensité de champ pour les dents des moteurs asynchrones : acier 2013

| B (T) | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | H (A/cm) | | | | | | | | | |
| 0.40 | 0.56 | 0.56 | 0.57 | 0.58 | 0.59 | 0.60 | 0.60 | 0.61 | 0.61 | 0.62 |
| 0.5 | 0.63 | 0.63 | 0.64 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.67 | 0.68 | 0.68 | 0.69 |
| 0.6 | 0.70 | 0.70 | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.74 | 0.74 | 0.75 | 0.76 | 0.77 |
| 0.7 | 0.78 | 0.79 | 0.80 | 0.81 | 0.82 | 0.83 | 0.84 | 0.85 | 0.86 | 0.87 |
| 0.8 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 |
| 0.9 | 0.99 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.07 | 1.08 |
| 1.0 | 1.10 | 1.11 | 1.13 | 1.14 | 1.15 | 1.17 | 1.18 | 1.20 | 1.21 | 1.23 |
| 1.1 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.29 | 1.32 | 1.33 | 1.34 | 1.36 | 1.38 |
| 1.2 | 1.41 | 1.46 | 1.52 | 1.58 | 1.64 | 1.70 | 1.76 | 1.82 | 1.88 | 1.94 |
| 1.3 | 2.00 | 2.10 | 2.20 | 2.30 | 2.40 | 2.50 | 2.60 | 2.70 | 2.80 | 2.90 |
| 1.4 | 3.00 | 3.20 | 3.50 | 3.80 | 4.10 | 4.30 | 4.60 | 5.00 | 5.40 | 5.80 |
| 1.5 | 6.20 | 6.70 | 4.80 | 8.90 | 10.0 | 11.3 | 12.4 | 13.5 | 14.6 | 15.8 |
| 1.6 | 17.0 | 18.6 | 20.2 | 21.8 | 23.4 | 25.0 | 27.0 | 28.0 | 30.0 | 32.0 |
| 1.7 | 34.0 | 37.0 | 40.0 | 43.0 | 47.0 | 50.0 | 54.0 | 58.0 | 62.0 | 66.0 |
| 1.8 | 70.0 | 75.0 | 80.0 | 85.0 | 92.0 | 100 | 106 | 112 | 118 | 124 |
| 1.9 | 130 | 136 | 142 | 148 | 156 | 165 | 173 | 181 | 189 | 198 |
| 2.0 | 207 | 226 | 244 | 263 | 281 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 |
| 2.1 | 600 | 670 | 740 | 810 | 880 | 950 | 1020 | 1090 | 1160 | 1230 |
| 2.2 | 1300 | 1380 | 1460 | 1540 | 1620 | 1700 | 1780 | 1860 | 1940 | 2020 |
| 2.3 | 2100 | 2180 | 2260 | 2340 | 2420 | 2500 | 2580 | 2660 | 2740 | 2820 |
| 2.4 | 2900 | 2980 | 3060 | 3140 | 3220 | 3300 | 3380 | 3460 | 3540 | 3620 |

Tableau (16) : Intensité de champ pour l'acier 2013

| | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Dnu(tt) | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.31 | 0.33 | 0.35 | 0.38 | 0.4 | 0.41 |
| | 0.44 | 0.45 | 0.47 | 0.49 | 0.5 | 0.51 | 0.53 | 0.55 | 0.56 |
| | 0.57 | 0.59 | 0.62 | 0.63 | 0.64 | 0.67 | 0.69 | 0.71 | 0.72 |
| | 0.74 | 0.75 | 0.77 | 0.8 | 0.83 | 0.85 | 0.86 | 0.9 | 0.93 |
| | 0.95 | 0.96 | 1 | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.12 | 1.16 | 1.18 |
| | 1.2 | 1.25 | 1.3 | 1.32 | 1.35 | 1.4 | 1.45 | 1.5 | 1.56 |
| | 1.6 | 1.62 | 1.68 | 1.7 | 1.74 | 1.8 | 1.81 | 1.88 | 1.9 |
| | 1.95 | 2 | 2.02 | 2.1 | 2.12 | 2.24 | 2.26 | 2.36 | 2.44 |

Tableau (17) : Le diamètre normalisé du fil nu D_{nu}

| | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.305 | 0.315 | 0.325 | 0.345 | 0.365 | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.45 |
| | 0.48 | 0.49 | 0.51 | 0.53 | 0.545 | 0.565 | 0.585 | 0.605 | 0.615 |
| | 0.625 | 0.645 | 0.675 | 0.69 | 0.7 | 0.73 | 0.75 | 0.77 | 0.78 |
| | 0.805 | 0.815 | 0.835 | 0.865 | 0.895 | 0.915 | 0.925 | 0.965 | 0.995 |

| | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| dpi (jj) | 1.015 | 1.025 | 1.08 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.2 | 1.24 | 1.26 |
| | 1.28 | 1.33 | 1.385 | 1.405 | 1.435 | 1.485 | 1.535 | 1.585 | 1.645 |
| | 1.685 | 1.75 | 1.765 | 1.785 | 1.825 | 1.895 | 1.905 | 1.975 | 1.995 |
| | 2.045 | 2.095 | 2.115 | 2.2 | 2.22 | 2.34 | 2.36 | 2.46 | 2.54 |

Tableau (18) : Le diamètre du fil isolé normalisé d_{isnor} (dpi)

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| q (tt) | 0.0573 | 0.0676 | 0.0661 | 0.0755 | 0.0855 | 0.0962 | 0.1134 | 0.1257 | 0.132 |
| | 0.1521 | 0.159 | 0.1735 | 0.1886 | 0.1963 | 0.204 | 0.221 | 0.238 | 0.246 |
| | 0.255 | 0.273 | 0.302 | 0.312 | 0.322 | 0.353 | 0.374 | 0.396 | 0.407 |
| | 0.43 | 0.442 | 0.466 | 0.503 | 0.541 | 0.567 | 0.581 | 0.636 | 0.989 |
| | 0.709 | 0.724 | 0.785 | 0.849 | 0.883 | 0.916 | 0.985 | 1.057 | 1.094 |
| | 1.131 | 1.227 | 1.327 | 1.368 | 1.431 | 1.539 | 1.651 | 1.767 | 1.911 |
| | 2.011 | 2.06 | 2.22 | 2.27 | 2.38 | 2.54 | 2.57 | 2.78 | 2.83 |
| | 2.99 | 3.14 | 3.2 | 3.46 | 3.53 | 3.94 | 4.01 | 4.36 | 4.68 |

Tableau (19) : La section du fil normalisé S_{nor} (q (tt))

BIBLIOGRAPHIE

Livres:

- [4] "ELECTROTECHNIQUE", **Théodore wildi** (3^o édition)
- [5] "calcul des machines électriques", **M.LIWSCHITZ** (tome II)
- [7] "L'Electronique de Puissance, Direct des Tensions et Courants Alternatifs **A.Belot**,
Contacteur Electronique, Gradateurs", *D469 Technique de l'ingénieur .9-1984.*
- [9] "machines électriques,"**M .KOSTENKO ET L.PIOTROVSKI** (tome II)
3^o édition
- [11] "cours d'électrotechnique 1.machines tournantes à courants alternatifs ", **Jeon –louis**
Dalmasso (nouvelle édition)
- [12] " machines électriques " **J.NIARD**
- [14] " ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE ", **Guy Segulier**
- [15] " machines électriques ", **M .KOSTENKO ET L.PIOTROVSKI** (tomeII)
2^o édition
- [16] " calcul des machines électriques," **M .LIWSCHITZ** (tome I)
- [17] " machines électriques ", **M .KOSTENKO ET L.PIOTROVSKI** (tome I)

Mémoires:

- [1] " **contribution a l'étude du comportement de la machine asynchrone double**
alimentation " mada " commandée par un onduleur de tension mli", **Azzouz Khatir**
et
Chemouri Salah "Melle : Benalia leila et Mme : Akkari nadia M'SILA (2004/2005)
- [2] " **Réglage par mode glissant d'une machine asynchrone** ", **Achour Abdelmalak et**
Aichouche Azedine M^{me} BAKHOUCHE Fatiha M'SILA (2004/2005)
- [3] " **contrôle directe du couple de la machine asynchrone à double alimentation** ", **S.Ishak**
Et C. Nour Eddine Dr. CHAUCHE Souade M'SILA (2005/2006)
- [6] " **contribution a l'étude des moteurs asynchrones a haut rendement (TYPE E.F.T**
D'AZAZGA), MESSAOUDI Ramdane et HEMIL Zohire M. S.CHKROUN M'SILA
(2004/2005)

- [8] " *Amélioration des circuits magnétique des machines asynchrones à rotor en court circuit en tenant compte de la saturation*", **SERGUINE Norddine et BENAHMED Adel Mr.HAMIMIDE Mourad M'SILA (2005/2006)**
- [10] "*Modélisation et identification des machines asynchrones haut rendement parl. Exploitation des algorithmes génétiques* " **ZIANE Fateh et ZOUAOU Farid Ms. S.CHKROUN M'SILA (2005/2006)**
- [18] " *Conception assistée par ordinateur des machines asynchrones a rotor en court circuit* " **SEHILI Miloud et GUEDDOUDJ Ettaye Ms.M. HAMIMID M'SILA (2005/2006)**
- [19] "*conception assistée par ordinateur (C.A.O) des machines asynchrones par l'application des algorithmes génétiques* " **SAYOUDI Bouzid et BENGUEDDOUDJ Foudil et SAYOUDI Tahar M.CHEKROUN M'SILA (2005 / 2006)**
- [13] " *modélisation des machines asynchrones et synchrones a aimants avec prise en compte des harmoniques d'espace et de temps : application a la propulsion marine par pod* " **Ramdane LATEB MAGISTER en Génie Electrique (E.M.P d'ALGER)**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE**

OPTION: COMMANDE ELECTRIQUE

Proposé et dirigé par :

Messieurs : **Mr. M. HAMIMID
Mr. S.CHEKROUN**

Présenté par :

**- BADREDDINE Roza
- MAHMOUDI Nassira**

Thème :

**Contribution à la réalisation d'un logiciel de
Conception des machines asynchrones
À flux radial**

Résumé :

Avant l'apparition de l'ordinateur, les calculs manuels des circuits magnétiques des machines électriques étaient fastidieux, surtout en présence de la saturation. Celle-ci est modélisée par des équations non linéaire qui nécessitent un calcul itératif laborieux et, par conséquent, un temps de calcul très grand.

La naissance du calculateur numérique, a permis aux ingénieurs, chargés de la conception, plus de rapidité et de précision nécessitées par la technologie de pointe.

Dans ce logiciel on a introduit toutes les équations et les tableaux nécessaires pour le calcul (acier 2013), ces tableaux sont de référence et des normes industrielles prouvées expérimentalement et analytiquement.

Notre logiciel est conçu pour saisir le minimum nécessaire de données : la tension d'alimentation, la puissance utile et la vitesse de rotation désirée.

Mots Clés :

Machines asynchrones, conception, rotor en court circuit, dos, dent, puissance, tension, vitesse, distribution