



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machine Electrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Saada Rimi, Hamidani Loubna

Le : jeudi 29 juin 2022

Optimisation des circuits électromagnétique d'une MAS =7.5KW

Jury :

| | | | | |
|-----|---------------------|-----|----------------------|------------|
| Dr. | Titaouine Abdnacer | Pr | Université de Biskra | Rapporteur |
| Dr. | MESSAOUD MOHAMMEDI | MCB | Université de Biskra | Examineur |
| Dr. | Dendouga Abdelhakim | Pr | Université de Biskra | Président |

Année universitaire : 2021-2022



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Machine Electrique

Réf. :

Optimisation des circuits électromagnétique d'une MAS =7.5KW

Le: jeudi 29 juin 2022

Présenté par :

Hamidani Loubna
Saada Rimi

Avis favorable de l'encadreur :

Pr: Titaouine Abd Ennacer

Signature Avis favorable du Président du Jury

Dendouga Abdelhakim

Cachet et signature

Remerciements

Tout d'abord, nous voulons remercier Dieu d'avoir atteint ce niveau.

Et nous voulons nous remercier de croire en nous et de faire tout ce travail acharné, et nous voulons nous remercier de ne pas avoir de jours de repos.

Nous voulons nous remercier d'essayer de faire le bien plus que le mal

Nous remercions le professeur Mr. **Tataouine Abdel Nasser** pour son encadrement

Mes remerciements aux membres du jury qui me font l'honneur de lire et de discuter ce travail :

Mr. **Dendouga abdelhakim**, d'avoir accepté la présidence de jury de soutenance.

Mr. **Messaoud Mohammedi**, pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du jury.

Dédicaces

En signe de respect et de gratitude, nous me dédions ce travail

Chers parents qui ont fait de leur mieux pour nous voir heureux

je vous aime beaucoup;

Je dédie ce travail.

Pour mes frères et sœurs.

A tous ceux qui me sont chers.

Hamidani Loubna

Dédicace

Je Dédie ce travail à ma source de bonheur et mon inspiration de joie, ceux qui se sont toujours sacrifiés pour me voire réussir : mes chers parents.

Je le dédie aussi à toutes ces personnes qui me sont très chères Ma Sœurs-Mes frères et toute la famille: Saada et ben bouras

Et Je salue mes proches de Illizi et El-Batwar

Je remercie également tous mes amis

Rimi Saada

Liste des Symboles

| | |
|-------------|--|
| A | Densité (charge) linéique (A /m) |
| a | Nombre de branches couplées en parallèle de l'enroulement de phase |
| a_{An} | Longueur de l'anneau de la cage d'écureuil (m) |
| b_l | Largeur maximale de l'encoche trapézoïdale statorique (m) |
| b_2 | Largeur minimale de l'encoche trapézoïdale statorique (m) |
| b_{lr} | Largeur maximale de l'encoche rotorique (m) |
| b_{2r} | Largeur minimale de l'encoche rotorique (m) |
| b_{is} | Épaisseur unilatérale de l'isolant dans une encoche statorique (m) |
| b_{An} | Largeur de l'anneau de la cage d'écureuil (m) |
| b_B | Largeur de la barre l'encoche rotorique |
| b_{el2} | Hauteur de clavette de l'encoche trapézoïdale du stator (m) |
| b_f | Ouverture de l'isthme des dents de l'encoche du rotor (m) |
| b_{z1} | largeur du dent statorique (m) |
| b_{z2} | largeur du dent rotorique (m) |
| b_{z1moy} | Largeur moyenne de la dent statorique (m) |
| b_{z2} | Largeur de la dent rotorique (m) |
| b_{z1} | Largeur de la dent statorique (m) |
| B_a | Valeur de l'induction dans la culasse (T) |
| B_j | Valeur de l'induction dans le dos (T) |
| B_{zmax} | Valeur maximale de l'induction dans les dents du stator (T) |

Liste des symboles

| | |
|------------------|--|
| B_{zmin} | Valeur minimale de l'induction dans les dents du stator (T) |
| B_{δ} | Induction dans l'entrefer (T) |
| C_n | Couple nominal (N .m) |
| $\cos \varphi$ | Facteur de puissance |
| $\cos \varphi_0$ | Facteur de puissance à vide |
| D | Diamètre intérieur du stator (diamètre d'alésage) (m) |
| D_2 | Diamètre extérieur du rotor (m) |
| D_a | Diamètre extérieur du stator (m) |
| $D_{an moy}$ | Diamètre moyen des anneaux (m) |
| D_{ar} | Diamètre intérieur du rotor (m) |
| dis | Valeur moyenne du diamètre du conducteur effectif avec isolation (m) |
| D_j | Diamètre noyau du rotor (m) |
| f | Fréquence du courant (Hz) |
| F_a | Force magnétomotrice de la culasse (At) |
| F_j | Force magnétomotrice du noyau (At) |
| F_{z1} | Force magnétomotrice pour les dents du stator (At) |
| F_{z2} | Force magnétisante pour les dents du rotor (At) |
| F_{δ} | Force magnétisante dans l'entrefer (At) |
| F_{ϵ} | Force magnétisante totale du circuit magnétique (At) |
| g | Glissement |
| h | Hauteur de l'axe de rotation (m) |
| h'_1 | Hauteur réelle de l'encoche trapézoïdale du stator (m) |
| h_a | Hauteur du culasse (m) |

Liste des symboles

| | |
|------------|--|
| H_a | Champs magnétiques dans la culasse (A /m) |
| h_{en} | Hauteur de l'encoche statorique (m) |
| h_f | Epaisseur de l'isthme des dents de l'encoche du rotor (m) |
| H_j | Champs magnétiques dans le dos (A /m) |
| h'_j | Hauteur de la culasse (m) |
| h_r | Hauteur de la barre rotorique (m) |
| H_{z1} | Champ magnétique dans la dent statorique (A /m) |
| h_{z1} | Hauteur de la dent statorique (m) |
| h_{z2} | Hauteur de la dent rotorique (m) |
| H_{z2} | Champ magnétique dans la dent rotorique (A /m) |
| I_1 | Courant du stator (A) |
| I_{1nom} | Courant nominal du stator (A) |
| I_2 | Courant dans les barres de la cage du rotor (A) |
| I_{an} | Courant dans les anneaux de la cage d'écureuil (A) |
| IP | Degré de protection |
| I_μ | Courant d'aimntation ((A) |
| I_μ^* | Valeur relative du courant d'aimntation |
| J_1 | Densité du courant dans l'enroulement statorique (A/m ²) |
| J_2 | Densité du courant dans une barre (A/m ²) |
| J_{an} | Densité du courant dans l'anneau de la cage d'écureuil (A/m ²) |
| k_{ar} | Rapport entre D_{ar} et D_a |
| K_{B1} | Facteur d'enroulement |
| k_{b1} | Facteur d'enroulement statorique |

Liste des symboles

| | |
|--------------|--|
| K_{b2} | Facteur d'enroulement rotorique |
| K_d | Facteur de distribution de l'enroulement |
| kd_a, kd_z | Coefficients tenant compte de l'influence de la répartition du flux dans le circuit magnétique |
| K_e | Rapport de la F.E.M de l'enroulement et la tension nominale ($E1/ V1$) |
| k_f | Coefficient de remplissage du circuit magnétique du stator en acier |
| k_{fr} | Coefficient de la partie frontale de la bobine |
| k_i | Rapport de transformation du courant |
| K_{scm} | Coefficient de saturation du circuit magnétique |
| k_x | Coefficient de diminution de l'inductance rotorique |
| k_δ | Facteur de Carter |
| l_1 | Longueur du circuit magnétique du stator (m) |
| L_1 | longeur totale des conducteurs (m) |
| l_2 | Longueur du circuit magnétique du rotor (m) |
| L_a | Longueur du culasse (m) |
| l_{ac2} | Longueur du circuit magnétique du rotor (m) |
| l_{fr1} | Longueur de la partie frontale (m) |
| L_j | Longueur du noyau (m) |
| l_{moy1} | Longueur d'une spire (m) |
| l_{s1} | Longueur de la sortie des parties frontales de la bobine (m) |
| l_δ | Longueur virtuelle de l'induit (m) |
| m_1 | Nombre de phase statorique |
| m_2 | Nombre de phase rotorique |

Liste des symboles

| | |
|-------------------|---|
| n_{el} | Nombre de conducteurs effectifs en parallèle |
| N | Vitesse de rotation synchrone (tr / min) |
| p | Nombre de paire de pôles |
| P' | Puissance apparente théorique (VA) |
| $P_{1,0/50}$ | Pertes spécifiques selon le type d'acier (W/kg) |
| P_2 | Puissance sur l'arbre (W) |
| q_1 | Nombre d'encoches par pôle et par phase statorique |
| q_2 | Nombre d'encoches par pôle et par phase rotorique |
| S_{an} | Section d'anneau (m^2) |
| S_{b} | Section de barre (m^2) |
| S_{ef} | Section du conducteur effective (m^2) |
| S_{el} | Surface de la section transversale du conducteur effectif sans isolation (m^2) |
| S'_{en} | Surface d'une coupe transversale d'une encoche trapézoïdale (m^2) |
| S_{is} | Section de l'isolant dans une encoche statorique (m^2) |
| t_1 | Pas dentaire du stator (m) |
| $t_{1\text{max}}$ | Pas dentaire maximal du stator (m) |
| $t_{1\text{min}}$ | Pas dentaire minimal du stator (m) |
| t_2 | Pas dentaire du rotor (m) |
| U | Tension nominale (Volt) |
| $U_{1\text{nom}}$ | Tension nominale (Volt) |
| U_{cc} | Tension court-circuit (volt) |
| U_{en} | Nombre de conducteurs effectifs dans l'encoche |
| W_1 | Nombre de spire statorique |

Liste des symboles

| | |
|-------------------|---|
| W_2 | Nombre de spire rotorique |
| Z_1 | Nombre d'encoche statorique |
| $Z_{1\max}$ | Nombre maximal d'encoche du stator |
| $Z_{1\min}$ | Nombre minimal d'encoche du stator |
| Z_2 | Nombre d'encoche rotorique |
| α_i | Coefficient de recouvrement polaire |
| β_1 | Coefficient déterminé selon le type d'acier |
| δ | Longueur de l'entrefer (m) |
| λ | Rapport du raccourcissement |
| μ_0 | Perméabilité du l'air considéré (H /m) |
| α | Coefficient de recouvrement polaire |
| ρ | Résistivité du matériau considéré (Ohm.m) |
| $\rho_{an\theta}$ | Résistivité spécifique du matériau de l'anneau |
| $\rho_{b\theta}$ | Résistivité spécifique du matériau des barres (Ohm.m) |
| σ_1 | Coefficient de correction (de Blondel) |
| α_i | Facteur d'inclinaison |
| η | Rendement |
| Φ | Flux sous un pôle (Wb) |
| τ | Pas polaire (m) |

Liste des Figures

Généralité sur des moteurs asynchrones

| | | |
|----------------|--|----|
| Fig. 1 | Moteur asynchrone | 1 |
| Fig. 2 | Constitution générale d'une machine asynchrone | 2 |
| Fig. 3 | Tôle de stator | 3 |
| Fig. 4 | Stator d'un moteur asynchrone | 3 |
| Fig. 5 | Stator d'un moteur asynchrone | 4 |
| Fig. 6 | Les Encoches d'une machine asynchrone | 4 |
| Fig. 7 | Tôles découpées par sections | 5 |
| Fig. 8 | Rotor bobiné | 6 |
| Fig. 9 | Vue schématique en perspective du rotor | 7 |
| Fig. 10 | Différentes formes d'encoche profondes | 7 |
| Fig. 11 | Création d'un champ magnétique. | 9 |
| Fig. 12 | Champ résultant crée par deux bobines. | 9 |
| Fig. 13 | Champ résultant crée par trois bobines | 10 |
| Fig. 14 | Les différents types d'encoches. | 11 |
| Fig. 15 | Courbes couple/vitesse | 11 |
| Fig. 16 | Plaque signalétique sur un moteur | 12 |

Chapitre I :

| | | |
|-----------------|---|----|
| Fig. I.1 | Paramètres géométriques du stator | 18 |
| Fig. I.2 | Hauteur de l'axe et diamètre extérieur du stator | 20 |
| Fig. I.3 | variation de la courbe du champ provoqué par la denture | 22 |

Chapitre II :

| | | |
|-------------------|-------------------------------------|----|
| Fig. II .1 | Le type de l'enroulement statorique | 25 |
|-------------------|-------------------------------------|----|

Chapitre IV :

| | | |
|-----------------|---------------------------------------|----|
| Fig.IV.1 | Les encoches piriformes (semi-fermée) | 40 |
| Fig.IV.2 | Dimension des anneaux | 43 |

Chapitre V :

| | | |
|-----------------|---|----|
| Fig.V.1 | un encoche | 51 |
| Fig.V. 2 | Algorithme de calcul des induction et intensités réelles dans les dents | 53 |
| Fig.V. 3 | Algorithme de programme principal de calcul itératif des circuits électromagnétiques. | 55 |

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....1

Généralité sur des moteurs asynchrones

| | |
|---|----|
| A. Introduction | 4 |
| B. Constitution: | 5 |
| B.1 Stator: | 6 |
| B.2 Rotor: | 8 |
| B.2.1. Le rotor bobiné: | 8 |
| B.2.2. Le rotor à cage: | 9 |
| B.2.3. Moteur à rotor encoches profondes: | 10 |
| C. Influence de l'ouverture et du pont d'encoche sur les caractéristiques de la machine : | 10 |
| D. Enroulements : | 11 |
| E. Principe de fonctionnement : | 11 |
| F. Classification des moteurs à cage d'écureuil : | 13 |
| G. Bobinage: | 14 |
| H. Plaques signalétiques : | 14 |
| I. METHODES DE DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES MACHINES ELECTRIQUES : | 15 |
| I.1. Première Méthode : | 15 |
| I.2. Deuxième Méthode : | 16 |
| I.3. Troisième Méthode : | 16 |
| J. Conclusion : | 16 |

Chapitre I: Dimensions principales du noyau du stator

| | |
|---|----|
| I.1. Introduction : | 18 |
| I.2. Dimensions principales du noyau du stator: | 18 |
| I.3. Les données techniques de la machine : | 19 |
| I.4. Choix des dimensions principales: | 20 |
| I.4.1. Le nombre de pôles : | 20 |

| | | |
|--------|---|----|
| I.4.2. | La hauteur préalable de l'axe de rotation : | 20 |
| I.4.3. | Le diamètre intérieur : | 20 |
| I.4.4. | Le pas polaire : | 21 |
| I.4.5. | Puissance apparente théorique : | 21 |
| I.4.6. | Coefficient de recouvrement polaire : | 21 |
| I.4.7. | Coefficient géométrique de la machine : | 22 |

Chapitre II: Paramètres de L'enroulement statorique et de L'entrefer

| | | |
|--------|--|----|
| II.1. | Introduction | 24 |
| II.2. | Le pas dentaire statorique : | 24 |
| II.3. | Les nombres d'encoche possibles : | 24 |
| II.4. | Le pas dentaire : | 26 |
| II.5. | Calcul de l'enroulement statorique : | 26 |
| II.6. | Le nombre des spires d'une phase du stator : | 27 |
| II.7. | Valeur exacte de la charge linéaire : | 28 |
| II.8. | Le flux magnétique dans l'entrefer : | 28 |
| II.9. | L'induction du champ magnétique dans l'entrefer : | 28 |
| II.10. | Densité du courant dans l'enroulement statorique : | 28 |
| II.11. | La section du fil efficace : | 29 |
| II.12. | Conclusion | 30 |

Chapitre III : Calcul de La Zone de Denture Statorique

| | | |
|--------|---|----|
| III.1 | Introduction: | 31 |
| III.2 | Valeurs de l'induction: | 31 |
| III.3 | Largeur de la dent statorique : | 31 |
| III.4 | Hauteur de la culasse du stator : | 31 |
| III.5 | Dimensionnement de l'encoche statorique : | 32 |
| III.6 | On calcule les dimensions de l'encoche réelle | 33 |
| III.7 | Surface d'une coupe transversale d'une encoche trapézoïdale : | 33 |
| III.8 | La section de l'isolant par rapport à la masse | 34 |
| III.9 | Le coefficient de remplissage de l'encoche : | 34 |
| III.10 | On calcule la largeur et la hauteur de calcul de dent : | 35 |

Chapitre IV : Calcul de la Zone de Denture Rotorique et de L'entrefer

| | | |
|-------|---|----|
| IV.1 | Introduction : | 37 |
| IV.2 | Entrefer : | 37 |
| IV.3 | Le nombre des encoches du rotor : | 37 |
| IV.4 | Le diameter extérieure : | 38 |
| IV.5 | La longueur du noyau : | 38 |
| IV.6 | Le pas dentaire rotorique : | 38 |
| IV.7 | Le diamètre de l'arbre préalable : | 38 |
| IV.8 | Le courant dans la barre : | 39 |
| IV.9 | La section de la barre : | 39 |
| IV.10 | Les encoches rotoriques : | 39 |
| IV.11 | Largeur admissible de la dent rotorique : | 40 |
| IV.12 | Le diamètre extérieur : | 41 |
| IV.13 | La hauteur totale de l'encoche : | 41 |
| IV.14 | La section de la barre(valeur exacte) : | 42 |
| IV.15 | densité du courant dans une barre : | 42 |
| IV.16 | La section des anneaux circuitage : | 42 |

Chapitre V : Calcul du courant d'aimantation (calcul du circuit magnétique)

| | | |
|-------|---|----|
| V.1. | Introduction: | 45 |
| V.2. | Les valeurs d'induction dans les dents : | 45 |
| V.2.1 | L'induction dans les dents statoriques : | 45 |
| V.2.2 | L'induction dans les dents rotoriques : | 45 |
| V.3. | L'induction dans les dos du stator et du rotor : | 45 |
| V.3.1 | La hauteur de calcul du dos du stator | 46 |
| V.3.2 | La hauteur de calcul du dos du rotor | 46 |
| V.4. | La FMM dans l'entrefer : | 46 |
| V.4.1 | Le coefficient de l'entrefer | 47 |
| V.5. | La FMM dans la zone dentaire du stator et rotor : | 47 |
| V.5.1 | Force magnétisante de la zone dentaire du stator | 47 |
| V.5.2 | Force magnétisante de la zone dentaire du rotor | 47 |
| V.6. | Le coefficient de saturation de la zone dentaire | 48 |
| V.7. | Force magnétomotrice de la culasse et du noyau | 48 |
| V.8. | La longueur de la ligne moyenne magnétique du dos | 48 |

| | | |
|-------|---|----|
| V.9. | Force magnétisante totale du circuit magnétique | 49 |
| V.10. | Coefficient de saturation du circuit magnétique | 49 |
| V.11. | Le courant d'aimantation | 49 |
| V.12. | La valeur relative du courant..... | 49 |
| V.13. | Algorithme de calcul des induction et intensités réelles dans les dents : | 50 |

Chapitre VI : les Résultats

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| VI.1. | Introduction..... | 57 |
| VI.2. | Résultats de dimensionnement | 57 |
| VI.3. | Le choix des dimensions principe..... | 57 |
| VI.4. | Le calcul des dimensions de la zone de dents du stator et de l'entrefer..... | 59 |
| VI.5. | Calcul du rotor en court-circuit : | 59 |
| VI.6. | Calcul du circuit magnétique: | 61 |
| CONCLUSION GENERALE | | 63 |
| Bibliographie | | 64 |
| Résumé..... | | 79 |

INTRODUCTION GENERALE

Notre mémoire traite de la mise à l'échelle des moteurs asynchrones à cage - les thèses à ce sujet sont abondantes et de grande qualité, il peut sembler a priori qu'il n'y a pratiquement rien à en dire, si ce n'est que la construction des premières machines électriques en général est le travail de chercheurs contraint par un grand manque de connaissances. Très vite, ils ont essayé de prédire les caractéristiques de leurs produits. Ils ont eu recours à des méthodes éprouvées en similitudes qui conduisent à des procédures expérimentales encore largement en vigueur aujourd'hui : cela est attesté par le grand nombre de courbes et de graphiques auxquels se réfèrent la plupart des spécialistes. Parallèlement, les physiciens ont développé des modèles basés sur des équations généralisées pour simuler correctement les phénomènes électromagnétiques. Cependant, leurs fonctions dans les moteurs électriques nécessitaient encore beaucoup d'arithmétique malgré l'avènement d'ordinateurs puissants. Cette évolution a conduit les concepteurs à introduire des modèles de plus en plus élaborés pour consolider certaines théories qui conservaient un caractère disparate lié à l'intense spécialisation du domaine. Désormais, le domaine de la création de machines électriques est l'une des découvertes les plus célèbres et reste à ce jour un sujet de recherche très prisé dans les laboratoires de recherche. L'objectif d'échelle respectueuse de l'environnement est le suivant : "Comment déterminer l'ingénierie des machines électriques qui optimise le compromis coût, volume et performances".

- Les moteurs électriques sont une partie importante de tout système électrique. Ils ont été utilisés dans chaque usine, bureau et maison consommant environ 64% de l'électricité totale produite.

- La conception et le dimensionnement des machines électriques est un domaine très important dans l'industrie électrique, en particulier pour la construction et la fabrication d'appareils en un temps court et rapide. Elles sont applicables dans différents types de machines. Le développement des machines électriques dépend bien des caractéristiques, le travail présenté dans cette thèse contribue à la réalisation de la construction d'un moteur asynchrone en fonction de (guide de construction (TROCHINE, GRASSEVITER, TRAIAlA).

Cette thèse est centrée sur les chapitres suivants :

Dans un premier temps, nous avons parlé du moteur asynchrone en général et de ses composants les plus importants que sont le stator et le rotor.

Puis, dans le premier chapitre, nous avons abordé les dimensions principales du stator du moteur.

Le deuxième chapitre sera consacré au Paramètres de L'enroulement statorique et de L'entrefer.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons Calcul de La Zone de Denture Statorique

Nous présenterons dans le quatrième Calcul de la Zone de Denture Rotorique et de L'entrefer

Dans les derniers chapitres 5 et 6, nous avons présenté : Calcul du courant d'aimantation (calcul du circuit magnétique), Puis Les résultats qu'il a obtenus qui suivent guide de (TROCHINE, GRASSEVITER, TRAIAlA).

Généralité

sur les moteurs asynchrones

A. Introduction

La machine asynchrone connue également sous le terme (Anglo-saxon) de Machine à induction, est une machine à courant alternatif sans connexion entre le Stator et le rotor.

Le terme (asynchrone) provient de la faite que la vitesse de ces machines n'est pas proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent.

Le rotor de cette machine peut se retrouver sous deux formes :

- Le rotor bobiné ;
- Le rotor à cage d'écureuil (simple cage ou double cage). [1]

Les machines asynchrones sont surtout utilisées comme moteurs.80% des moteurs électriques sont des moteurs asynchrones Les moteurs asynchrones sont très robustes Leur gamme de puissance s'étale de quelques watts à une dizaine de mégawatts. [2]

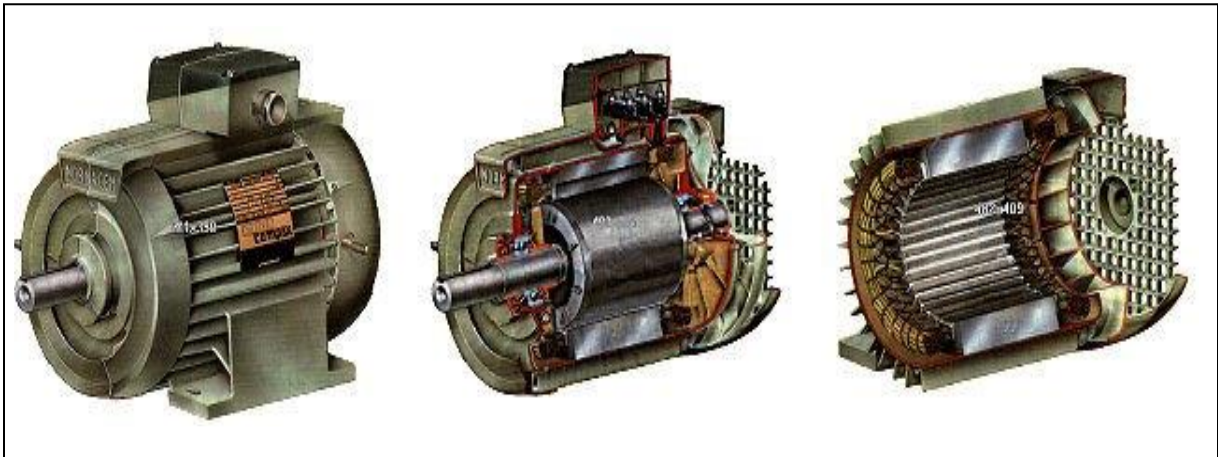


Fig.1: Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'industrie. Il s'agit d'un moteur robuste, éprouvé, fiable, doté d'un bon rendement.

Il nécessite un réseau triphasé pour fonctionner, et il est nécessaire de magnétiser les pôles de son stator, ce qui en fait malheureusement un gros consommateur de puissance réactive.

B. Constitution:

La machine asynchrone, communément appelée moteur à induction, se compose de deux parties pièces principales, un stator et un rotor, (Fig.2), Le rotor est installé sur un axe de rotation. Représente tous les facteurs constitutifs de la machine asynchrone, l'endroit où nous distingue clairement les deux parties fondamentales. [3]

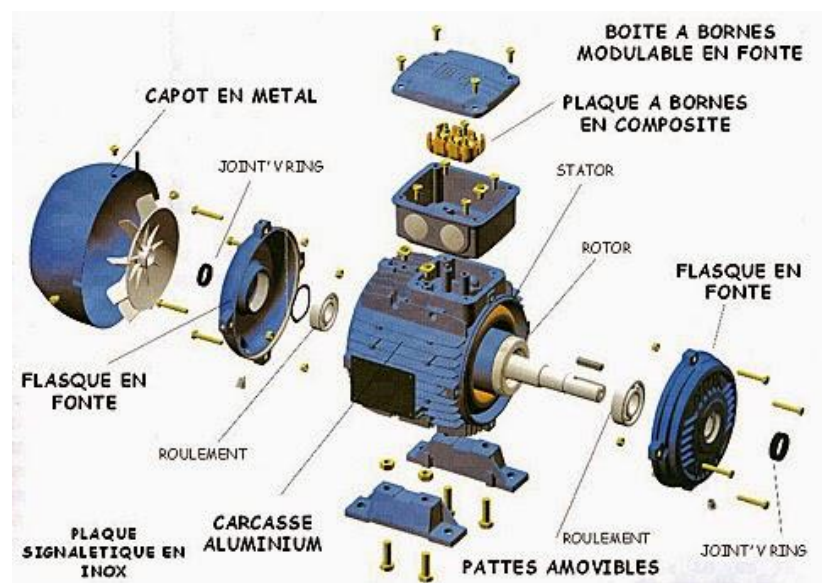


Fig.2: Constitution générale d'une machine asynchrone

On classe les différentes pièces rencontrées dans toute machine tournante selon les trois grandes fonctions réalisées :

- **PARTIES ELECTRIQUE**
 - Enroulements statoriques.
 - Conducteurs rotoriques.
- **PARTIES MAGNETIQUES**
 - Circuit magnétique fixe
 - Circuit magnétique mobile

▪ PARTIES MECANIQUES

- Carcasse avec fixation ou stator
- Ventilateur
- Rotor avec l'arbre
- Capot de ventilateur
- Tiges de montage
- Plaque à bornes
- Roulements à billes
- Flasques

B.1 Stator:

Son circuit magnétique est un empilement de tôles minces (Fig. 3), révélant les nombreuses fentes du stator. Nous utilisons des tôles fines dont l'épaisseur varie entre 0,35 et 0,50 mm pour diminuer les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'impact des courants de Foucault, les tôles sont couramment isolées avec une fine couche de vernis ou de silicate de sodium. L'enroulement du stator est constitué de deux composants (Fig. 4) : les conducteurs encochés et les extrémités des bobines. Les conducteurs à encoche permettent de créer dans le trou d'air la discipline magnétique au point de départ de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent le retour des courants en organisant leur circulation, le but étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et le flux le plus sinusoïdal possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique. [4]

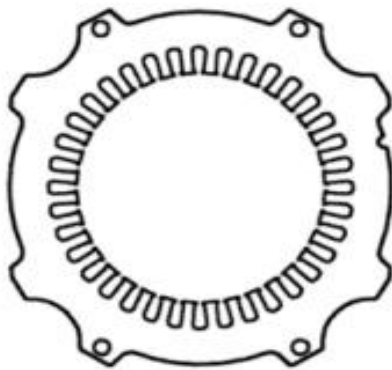


Fig. 3: Tôle de stator

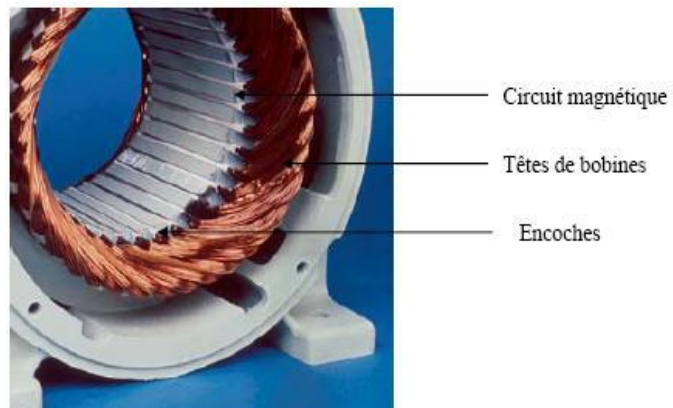


Fig. 4: Stator d'un moteur asynchrone

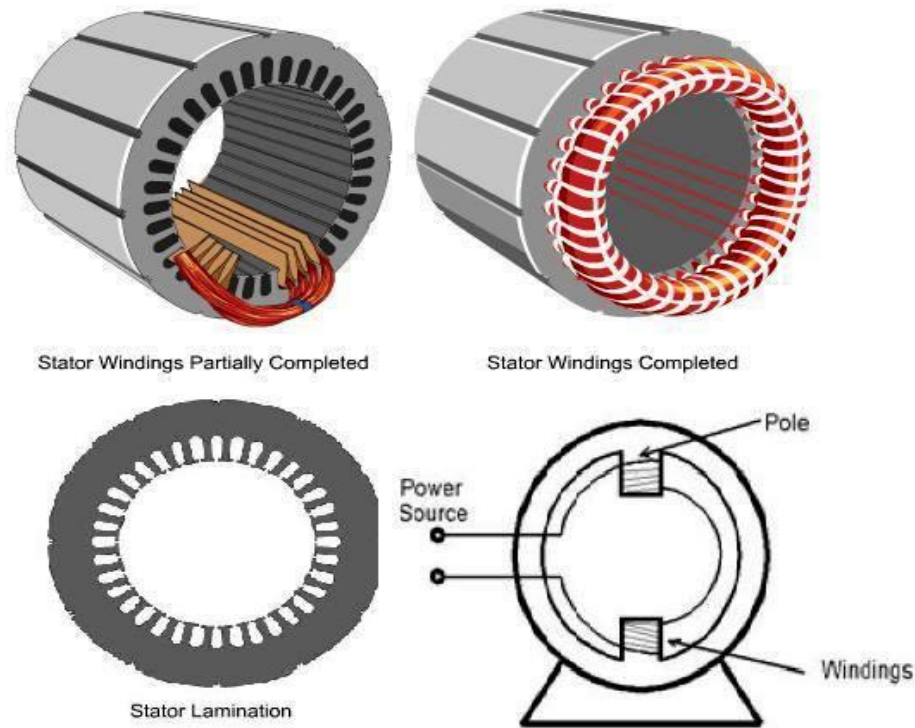


Fig. 5 : Stator d'un moteur asynchrone

Pour utiliser le moteur sous un certain nombre de tensions uniques, les bobines peuvent être divisées en une grande variété de groupes qui peuvent être reliés en séquence ou en parallèle. Dans ce dernier cas, ils sont appelés chemins parallèles. [4]

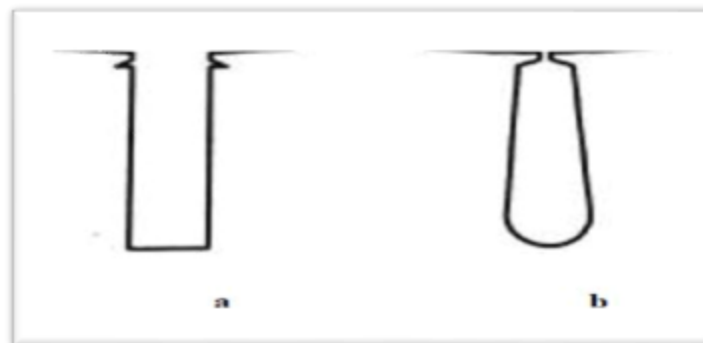


Fig. 6 : Les Encoches d'une machine asynchrone

De cette classification, nous pouvons déduire que la préférence d'une encoche fantastique nous aide à fournir au moteur les caractéristiques préférées. Cependant, il existe des configurations plus compliquées que celles que nous venons de voir. [4]

Les nombreuses variétés d'encoches sont de deux types prédominants : ouvertes et semi-ouvertes (Fig. 6). Les encoches de type ouvert ont normalement la même largeur pendant leur profondeur ; par conséquent, les dents sont de forme trapézoïdale avec un étranglement près du trou d'air pour insérer une clé. Les encoches de type semi-ouvertes sont généralement de forme trapézoïdale, permettant d'usiner des émaux à cloisons parallèles.

L'ouverture laissée à l'aide de ce 2ème type d'encoche est réduite à une largeur minimale mais laisse cependant passer des conducteurs de petit diamètre pour y être insérés. Pour des longueurs de stator (et de rotor) très inférieures à 200 mm, l'empilement de tôles n'est plus subdivisé. Au-delà de 200 ou 250 mm. [3]

B.2 Rotor:

Le rotor est constitué, comme le stator, de tôles empilées et généralement du même matériau. Dans les petits moteurs, les tôles sont réduites d'une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans les gros moteurs, chaque tôle est composée de plusieurs sections et installée sur un noyau (Fig. 7). [3]



Fig. 7 Tôles découpées par sections

B.2.1. Le rotor bobiné:

Les encoches existant à la périphérie du rotor comportent un bobinage comparable à celui du stator. Souvent le bobinage du rotor est couplé en étoile, il est disponible de l'arrière-cour grâce à une machine d'anneaux de cuivre isolés reliés au rotor sur lesquels frottent des balais en graphite. Ce gadget permet de régler les logements électromécaniques du moteur asynchrone.

Ce type de moteur peut garantir un couple de démarrage jusqu'à 2,5 fois supérieur au couple nominal et peut tirer jusqu'à 2,5 fois plus que le courant nominal.

Comparés aux moteurs à bagues collectrices, les moteurs à cage d'écureuil sont faciles à construire, robustes, fiables, moins chers et plus efficaces. [3]

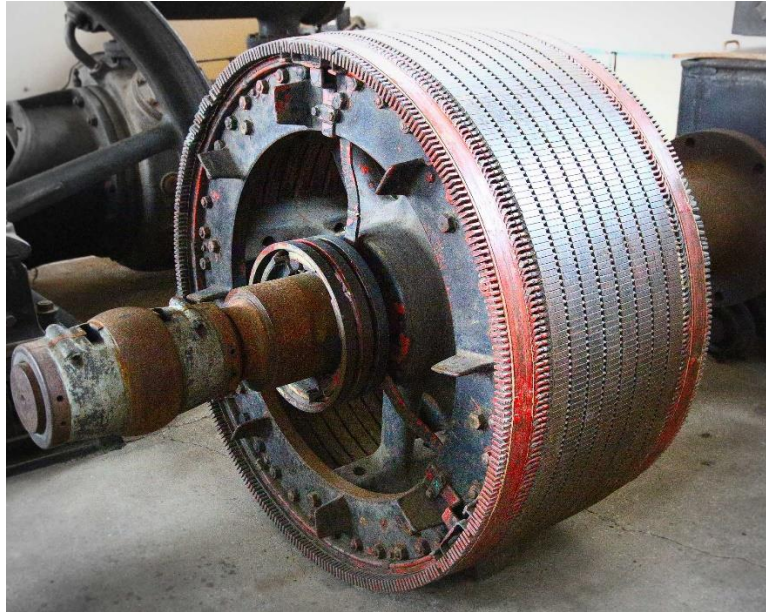


Fig. 8 Rotor bobiné

B.2.2. Le rotor à cage:

Dans la cage du rotor, dans chaque encoche du rotor est positionnée une barre. Ces barres sont en cuivre pour les moteurs à haute puissance ou en bronze ou en aluminium, selon les caractéristiques mécaniques et électriques exigées par le constructeur. Ces barres conductrices sont souvent réparties, et représentent le circuit du rotor (fig. 9). Et en alliage d'aluminium pour les machines à basse et moyenne énergie. Ils sont réunis à chaque abandon du rotor à l'aide d'anneaux réalisant le circuit rapide. L'enroulement rotorique produit pour cette raison n'est plus maniable depuis le stator.

Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les conducteurs sont fabriqués par coulée d'un alliage d'aluminium ou par des barres de cuivre solides préformées laminées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas ou très peu d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, cependant leur résistance est faible au point que les courants de fuite dans les tôles sont négligeables, sans qu'il y ait rupture barre [7].

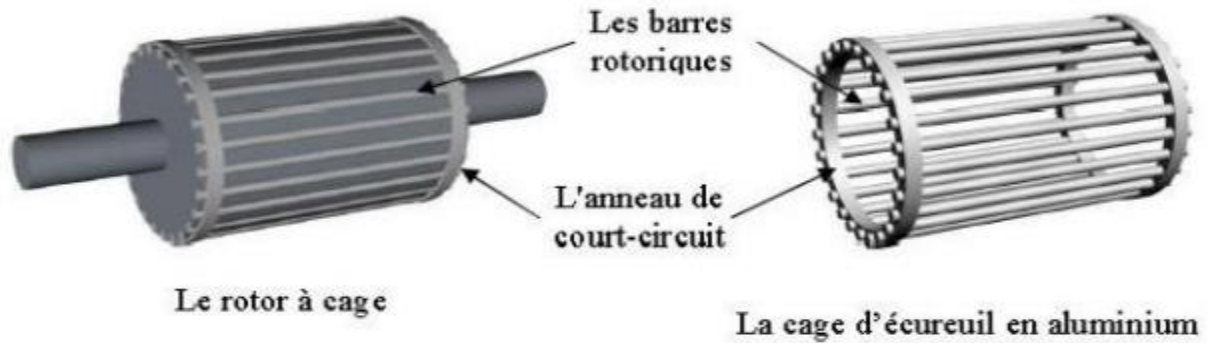


Fig. 9 Vue schématique en perspective du rotor

B.2.3. Moteur à rotor encoches profondes:

Le principe de fonctionnement des moteurs à fentes profondes repose principalement sur un phénomène électromagnétique, notamment l'effet pelliculaire. A fréquence variable, cet impact a tendance à laisser dériver le moderne uniquement sur le plancher des conducteurs. Pour que cet impact soit perceptible, le moteur doit avoir des encoches suffisamment profondes. [3]

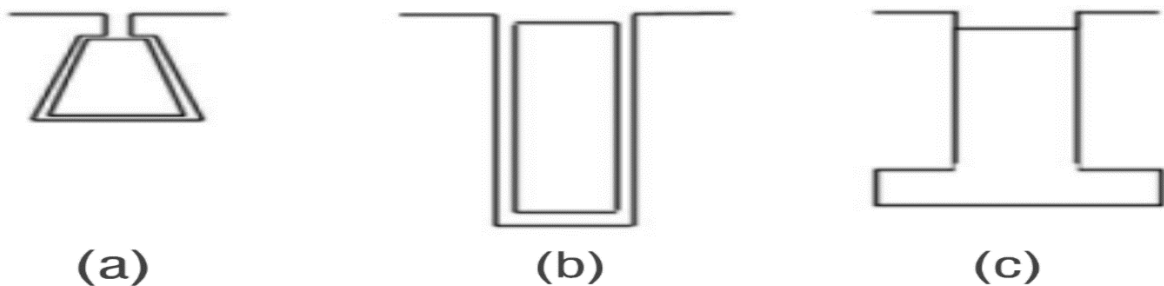


Fig. 10 Différentes formes d'encoche profondes

C. Influence de l'ouverture et du pont d'encoche sur les caractéristiques de la machine :

L'ouverture de la fente a un effet impressionnant sur les caractéristiques de la machine, elle augmentera le coefficient du boîtier, par conséquent augmentera le courant magnétisant, ce qui réduit la composante énergétique et produit des pertes de pulsation de flux dans les dents, ce qui entraîne une réduction des performances. L'inconvénient du pont d'encoche réside dans le fait

qu'il permet le passage du flux de fuite supplémentaire, ce qui génère une réactance appelée réactance du pont d'encoche [3].

D. Enroulements :

On peut effectuer le bobinage d'une machine tournante de plusieurs façons, mais on utilise habituellement trois types d'enroulements : l'enroulement imbriqué, l'enroulement concentrique et l'enroulement ondulé. Les trois bobines (un enroulement par phase) sont identiques, elles produisent un champ magnétique tournant à la fréquence de rotation.

La vitesse de synchronisme s'exprime : $N_s = 60 * (f / P)$

N_s : Vitesse synchronisme (*tr / min*) ;

P : Nombre de paires de pôles ;

f : Fréquence de réseaux (*Hz*) ;

E. Principe de fonctionnement :

Le principe des moteurs à courants alternatifs est basé sur l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant I . Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence du courant.

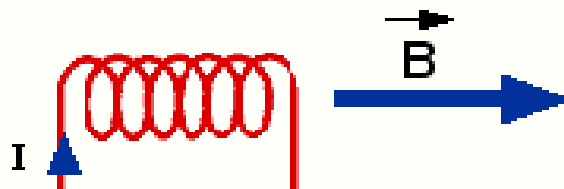


Fig. 11: Création d'un champ magnétique.

Dans le cas de deux bobines placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux champs dus aux deux bobines.

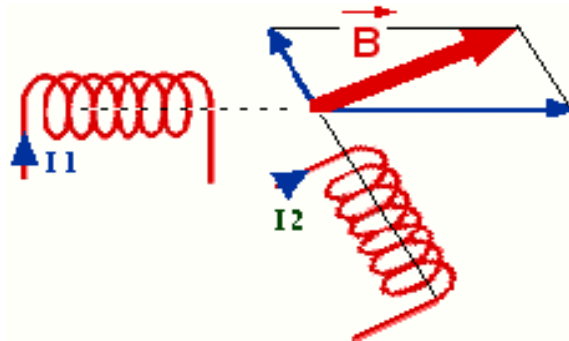


Fig. 12: Champ résultant créé par deux bobines.

Dans le cas du moteur triphasé, les trois Bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres. Trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que celle du courant.

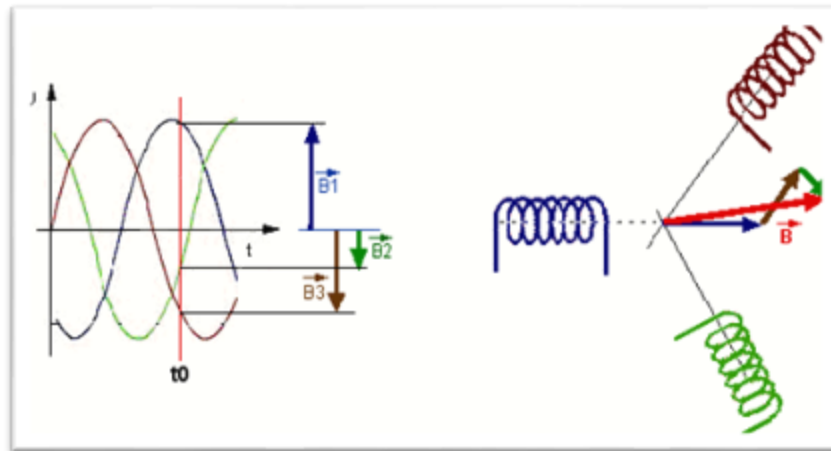


Fig. 13: Champ résultant créé par trois bobines

Les trois enroulements statorique créent donc un champ magnétique tournant. Sa fréquence de rotation est dite fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme.

F. Classification des moteurs à cage d'écureuil :

Selon le critère NEMA (www.nema.org), les moteurs à cage d'écureuil peuvent être classés en fonction de la variante de résistance et de réactance des enroulements du rotor. Au démarrage, la réactance d'un conducteur est d'autant plus grande que ce dernier est éloigné de l'entrefer. La résistance dépend de la taille du rotor, de la surface des conducteurs et du matériau utilisé. Plus cette résistance est élevée, plus le courant de démarrage est élevé.[5]

Selon NEMA, on peut classifier le moteur asynchrone comme suit :

- **Classe A** : Moteurs à couple normal et à faible courant de démarrage.
- **Classe B** : Moteurs à couple considérable et à faible courant de démarrage.
- **Classe C** : Moteurs à fort couple et à faible courant de démarrage.
- **Classe D** : Moteurs à fort glissement
- **Classe F** : Moteurs à faible couple et à faible courant de démarrage.

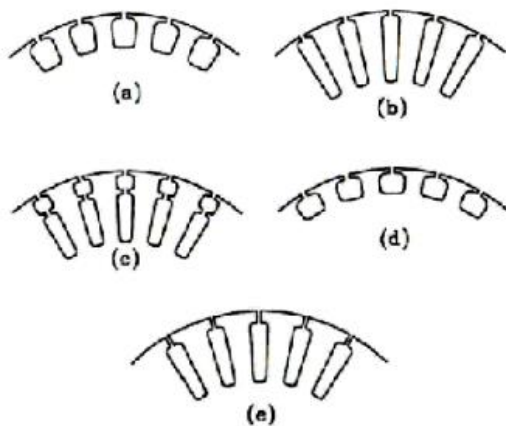


Fig. 14 : Les différents types d'encoches.

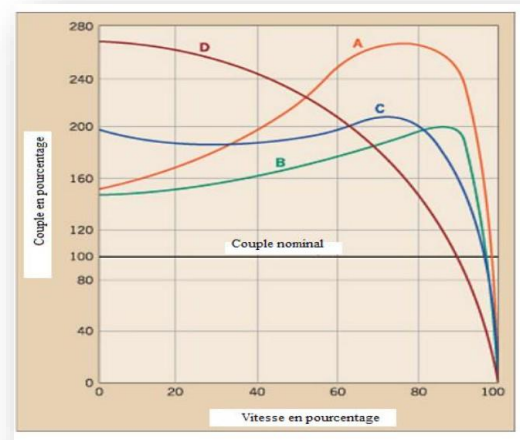


Fig. 15 : Courbes couple/vitesse

G. Bobinage:

Trois types d'enroulements de stator sont fréquemment utilisés : l'imbriqué, concentriques et ondulés, chacun ayant ses avantages personnels.

Le bobinage imbriqué est utilisé pour bobiner des moteurs à partir de quelques dizaines de kW. Dans les petits moteurs asynchrones, l'enroulement concentrique est généralement utilisé, en particulier lorsque l'enroulement est mécanisé. Le bobinage ondulé est indiqué pour les moteurs à bagues collectrices. Les enroulements imbriqués et ondulés sont le plus souvent à double couche, de sorte que chaque fente intègre deux aspects de bobine et que la gamme de conducteurs par fente doit être uniforme.

H. Plaques signalétiques :

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone (moteur électrique) est la carte d'identité du moteur délivrée et certifiée par le constructeur. Les caractéristiques nominales électriques d'un moteur sont présentées comme suivant: [9]

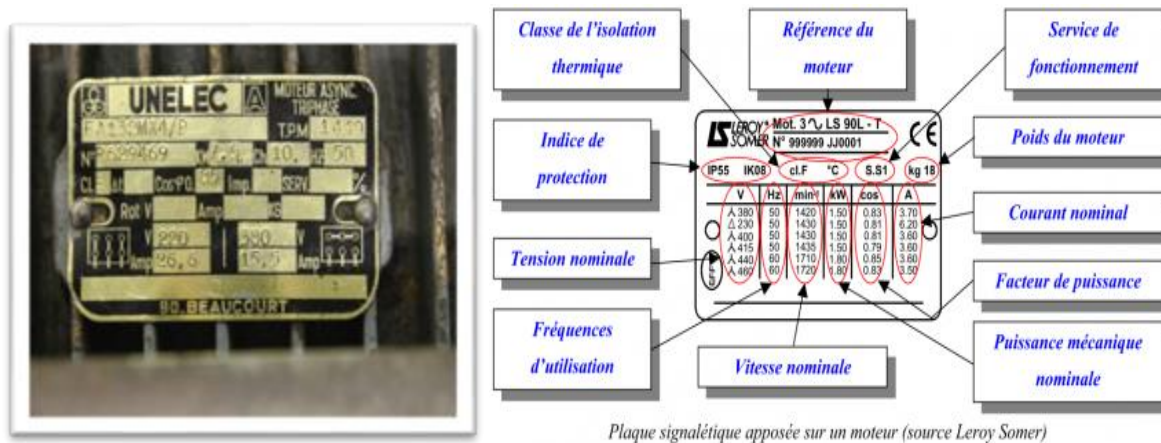


Fig. 16 : Plaque signalétique sur un moteur

- **Puissance** : (7,5Kw) puissance utile délivrée sur l'arbre du moteur.
- **Facteur de puissance** ou $\cos \phi$: (0.83) permet le calcul de la puissance réactive consommée.
- **rendement** (84%) : permet de connaître la puissance électrique consommée ou **absorbée**.

- **Tensions** : (220v/380v) la première indique la valeur nominale de la tension aux bornes d'un enroulement. Elle détermine le couplage (étoile ou triangle) à effectuer en fonction de la tension du réseau d'alimentation.
- **vitesse** : (1000 Tr/min). La vitesse de synchronisme n_s du moteur.
- **classe d'isolement** : (F).
- **Fréquence** : (50Hz) fréquence du réseau d'alimentation.
- **Nombre de phases** : (Ph 3) moteur triphasé.
- **Indice de protection IP** : (044) défini par trois chiffres le degré de protection du moteur à la poussière, à l'eau et aux chocs mécaniques.

I. METHODES DE DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES MACHINES ELECTRIQUES :

Il existe de nombreuses techniques de dimensionnement des machines électriques, c'est un sujet très vaste dont la stratégie fait appel à de nombreuses hypothèses.

Tout au long de notre recherche, nous nous sommes vus confrontés à d'innombrables types de procédures propres à chacun des concepteurs, l'approche en fréquence ne s'échange plus car nous énonçons constamment le même chemin qui autorise le dimensionnement du stator observé à travers un calcul du rotor.

Les traits statiques et dynamiques sont calculés conformément aux diagrammes égaux de la machine.

Nous donnons ensuite une liste non exhaustive de 4 techniques de calcul rencontrées dans nos recherches bibliographiques. [6]

I.1. Première Méthode :

Cette technique proposée par Marcel JUFER et Jean-Claude SABONNADIÈRE, repose totalement sur le calcul l'utilisation de commencer par la formulation du dimensionnement du fer stator puis ils commencent le calcul du rotor : Le dimensionnement du circuit magnétique est principalement basé sur les éléments suivants contraintes:

Imposer un degré d'induction correspondant à la courbe de saturation afin de limiter les chutes et les pertes de fer réalisables, tout en abaissant la quantité et la masse de fer ; esquisser ensuite cette étape d'induction à l'aide de la géométrie et du précepte de conservation du flux magnétique.

Le diamètre d'alésage et la taille de travail sont les dimensions d'attribut du processus de dimensionnement. Mais l'élément clé connexe est l'induction radiale dans l'entrefer, sa distribution sera admise comme sinusoïdale. [6]

I.2. Deuxième Méthode :

Cette 2ème approche à caractère pédagogique utilisée au lycée polytechnique de MONREAL est une approche à visée didactique. La technique prudente présente une marge de manœuvre sûre, des compromis doivent être faits pour la préférence de paramètres positifs tels que le diamètre d'alésage du moteur. Par exemple, le résultat final reçu doit parfois être mis au défi d'alterner afin de répondre aux exigences centrées. Cette technique comprend en outre les dispersions dues à l'association indirecte des fentes du rotor. [4]

I.3. Troisième Méthode :

Cette procédure réunit le calcul et la conception assistée par ordinateur d'une machine à induction, et emprunte différentes phases de calcul suivant un ordre chronologique. Cette approche est basée sur le principe de conception de G. KOUSKOFF et LIWSCHITZ. Sauf qu'on impose les données géométriques d'une machine industrielle déjà existante, comme contraintes auxquelles nous devons nous soumettre. Les résultats numériques du calcul sont comparés avec ceux donnés par la méthode des essais classiques puis traités par une analyse dynamique simulée du comportement de la machine en vue de mettre au point la corrélation et la concordance de ces résultats de conception avec ceux délivrés par le constructeur du moteur à induction étudié. [6]

J. Conclusion :

Les machines en général et les moteurs asynchrones en particulier ont été présentés, allant de la Constitution à la définition des problèmes de conception, en passant par les phénomènes électromagnétiques régissant la machine asynchrone en détaillant la structure de ces composants principaux, c'est-à-dire le rotor et la partie fixe. Les chapitres suivants montreront toutes les différentes expressions qui nous aideront à déterminer le dimensionnement du moteur.

Chapitre I:
Dimensions principales du
noyau du stator

I.1. Introduction :

Lorsque nous voulons fabriquer un moteur, nous devons non seulement considérer ses propriétés électromagnétiques, mais assurer sa construction et son fonctionnement est économique et rentable.

De nombreux facteurs affectent la taille du moteur et diffèrent selon le type de machine de construction pour les machines asynchrones.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le processus de calcul analytique et les principales dimensions de la machine asynchrone. [9]

I.2. Dimensions principales du noyau du stator:

(Fig. I.1) représente les détails de la structure du faisceau de position ou divers paramètres géométriques.

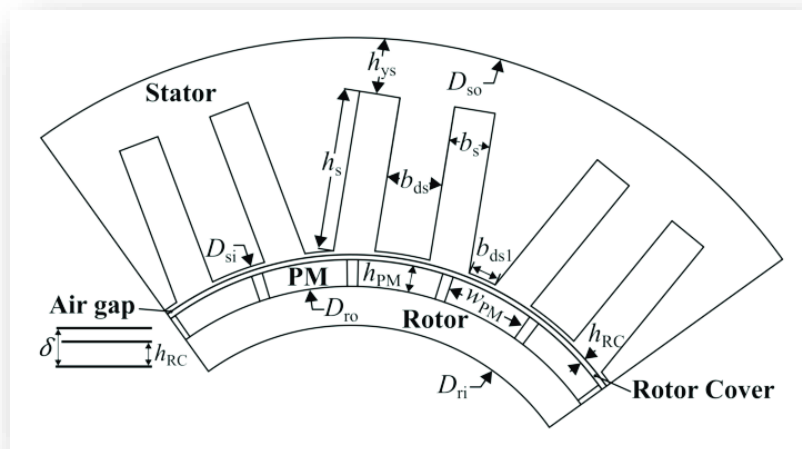


Fig.I.1: Paramètres géométriques du stator

Paramètres :

- Puissance nominale P_N (W)
- Couple nominal T_N (Nm)
- Frequencies nominal f_n (Hz)
- Courant nominal du stator I_{sn} (Arms)
- Vitesse mécanique nominale n_y (rpm)
- Nombre d'encoches du stator Q_s
- Number de poles $2p$

- Diamètre extérieur du stator D_{so} (mm)
- Diamètre intérieur du stator D_{si} (mm)
- Profondeur de la culasse du stator h_{ys} (mm)
- Largeur de la fente du stator b_s (mm)
- Largeur de dent intérieure du stator ¹ b_{ds} (mm)
- Largeur de dent intérieure du stator ² b_{dst} (mm)
- Longueur de l'entrefer physique (mm)
- Diamètre extérieur du rotor D_{ro} (mm)
- Diamètre intérieur du rotor D_{ri} (mm)
- Épaisseur du couvercle du rotor h_{rc} (mm)
- Largeur de l'aimant permanent w_{PM} (mm)
- Hauteur de l'aimant permanent h_{PM} (mm)
- Nombre de tours par phase N_{ph}
- Résistance bobbing stator R_{ph} (Ω)
- Inductance asynchrone L_s (H)

I.3. Les données techniques de la machine :

Données techniques nécessaires pour la conception :

- Le nombre de phase : $m_1=3$
- La puissance: $P_2=7.5Kw$
- Le nombre de pair de pôles $2P : 6$
- La tension : $U=220/380$ V
- La fréquence : $f = 50$ Hz
- La vitesse : $N = 1000$ tr/min
- Le mode de refroidissement : Ic 0141
- Le type de protection : IP = 44
- Classe d'isolation : F
- Type d'acier : 2013
- Mode de montage : IM1001

La machine est fixée à l'arbre avec une protection auto-ventilée ou un ventilateur, la machine est protégée contre la pénétration de solides supérieurs à 12 mm et contre la pluie.

Pour construire une machine, il faut d'abord calculer les dimensions principales, puis les enroulements du circuit magnétique, en commençant par le modèle de base qui guide tous les calculs.

I.4. Choix des dimensions principales:

D'un point de vue magnétique et électrique, le choix d'un moteur dépend d'une série de facteurs liés. Pour tous les moteurs asynchrones, les facteurs affectant le choix ne sont pas les mêmes, ce sont la surcharge de capacité, le facteur de puissance et les conditions de démarrage qui deviennent déterminants. Facteur, il est recommandé des de se baser sur la puissance apparente.

I.4.1. Le nombre de pôles :

$$p = \frac{60f}{N} \quad \text{I-1}$$

$$p = \frac{60 \cdot 50}{1000} = 3, 2P = 6 \Rightarrow p=3$$

I.4.2. La hauteur préalable de l'axe de rotation :

Cette hauteur est tirée de la Fig. 1 (voir l'annexe A). On prend du Tableau.1(voir l'annexe B) h standardisée la plus proche valeur inférieure par rapport à la hauteur préalable.

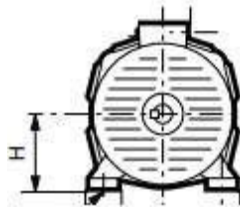


Fig. I.2 : Hauteur de l'axe et diamètre extérieur du stator

I.4.3. Le diamètre intérieur :

Le diamètre extérieur Da du stator est trouvé du Tableau. 2 (voir l'annexe B)

$$H = 132[\text{mm}] \quad \Rightarrow \quad Da = 232[\text{mm}].$$

$$D = K_D \cdot Da \quad \text{I-2}$$

$$D = 0.7 \times 233$$

$$D = 167.294[mm]$$

$$K_D[0.7 \div 0.72], D = [0.7 \div 0.72] * 132$$

$$D = [162.4 \div 167.04]$$

- On choisit $K_D = 0.71 \Rightarrow D = 164.72$

Où K_D est le rapport entre D et D_e qui se détermine en fonction de nombre de pôles ($2p$)

suivant le Tableau. 3 (voir l'annexe B)

I.4.4. Le pas polaire :

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \quad \text{I-3}$$

- Selon la figure 9.2 page 38 : $K_e = 0.955$
- Selon la figure 9.3(a) page 38 : $(\varphi) = 0.83$ et $\eta = 0.84 = 84\%$
- $\tau = \frac{\pi * 164.72}{6} \Rightarrow \tau = 87.5949$

I.4.5. La Puissance du calcul :

$$p' = m.I.E = P_2 \frac{K_e}{\eta \cos \varphi} \quad \text{I-4}$$

$$p' = 7.5 * \frac{0.955}{0.84 * 0.83} \Rightarrow p' = 10.273 \text{ [KW]} .$$

Avec $K_e = E/V$: Le rapport de la F.E.M de l'enroulement et la tension nominale qui est approximativement déterminé suivant les courbes de k_e en fonction de D_a la Fig. 2 (voire l'annexe A).

Les valeurs approximatives du rendement η et du facteur $\cos \varphi$ de puissance sont consultées à partir des graphiques des Fig. 3 (voire l'annexe A)

I.4.6. Coefficient de recouvrement polaire :

Pour la forme sinusoïdale, le coefficient de recouvrement polaire α_i vaut $2/\pi$, mais l'augmentation de la saturation dans le fer provoque l'augmentation de ce coefficient. Il est donné par la formule suivante :

$$K_{S_{\text{supposé}}} = 1.25 \quad \alpha_i = \frac{2}{\pi} + 1.58(K_S - 1)^{2/3} = 0.7 \quad \text{I-5}$$

$$K_B = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} * 0.058(K_S - 1)^{2/3} \Rightarrow K_B = 1.09$$

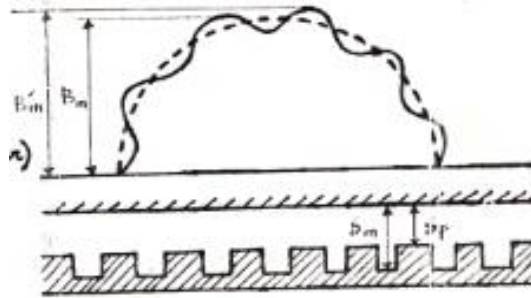


Fig. I.3 : variation de la courbe du champ provoqué par la denture

I.4.1. La longueur de calcul de l'entrefer :

$$l_{\delta} = \frac{2,02.p.P1.10^9}{\alpha i.K_B.D^2.K_{B1}.A.B_{\delta}} \quad \text{I-6}$$

Ou Les charges électromagnétiques préalables A (A /m) et B δ (T) selon la Fig. 4 (voire l'annexe A)

$$A=28.2 \times 10^3 [A/m] \quad .$$

$$B_{\delta} = 0.87 [T].$$

Les coefficients des enroulements préalables :

- Selon le Tableau. 5 (voire l'annexe B) : Le type de l'enroulement est concentrique à une couche monté fil à fil, alors $K_{B1} = 0.95$.

$$l_{\delta} = \frac{2,02 * 3 * 10.273 * 10^9}{0.7 * 1.09 * (164.72)^2 * 0.95 * 28.2 * 10^3 * 0.87} \Rightarrow l_{\delta} = 123.7813 [mm].$$

I.4.7. Coefficient géométrique de la machine :

Les valeurs obtenues des dimensions principales D et li doivent être vérifiées d'après le rapport

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} \quad \text{I-7}$$

$$\lambda = \frac{123.7813}{87.5949}$$

$$\Rightarrow \lambda = 1.413$$

- Selon la Fig .5 (voire l'annexe A) on obtient [1.1~1.6], alors la valeur $\lambda = 1.413$ est acceptable.

Chapitre II:

Paramètres de l'enroulement
statorique et de l'entrefer

II.1. Introduction

Les stators des petites et moyennes machines fonctionnant à basse tension utilisent généralement des encoches semi-fermes. Les encoches du noyau du stator sont remplies de conducteurs électriques, isolés, être liés entre ensemble d'une manière ou d'une autre manière. Cet ensemble le constitue les enroulements.

Les encoches du stator contiennent un enroulement alternatif triphasé. Concevoir le bobinage revient en fait à affecter les bobines aux encoches des différentes phases, à déterminer le sens du courant de part et d'autre de la bobine et les liaisons entre chaque phase et entre phases, et enfin à calculer le nombre de spires des différentes phases. Dimensions bobine et conducteur.

Dans l'étape de calcul préliminaire, un autre problème à considérer est le problème de la détermination du nombre d'encoches statoriques Z_1 et du nombre de spires N_1 des enroulements de phase statoriques pour que la densité de courant linéaire A et l'induction B_δ dans l'entrefer soient plus proches des valeurs présélectionnées au début du calcul, et Le nombre de rainures assure une répartition régulière des spires d'enroulement.

II.2. Le pas dentaire statorique :

Les valeurs de t_1 pour les moteurs asynchrones à enroulements simples sont données dans (Fig. 6) (voir annexe B) pour l'installation d'enroulement fil à fil.

II.3. Les nombres d'encoche possibles :

En augmentant le nombre des encoches, on réduit la réactance de fuite du stator. Le nombre admissible est néanmoins limité par l'emplacement disponible et celui que doivent occuper les isolants des encoches [11].

$$Z_{1\min} = \frac{\pi D}{t_{1\max}} \div Z_{1\max} = \frac{\pi D}{t_{1\min}} \quad \text{II -1}$$

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \times 167.294}{12} \div Z_{1\max} = \frac{\pi \times 167.294}{9.7}$$

$$Z_{1\min} = 43.797 \div Z_{1\max} = 54.1$$

- Selon le Tableau. 4 (voir l'annexe B) on choisit $Z_1 = 54$;

$$\text{On a } Z_1 = 2P \times q \times m \Rightarrow q = \frac{Z_1}{2Pm} = \frac{54}{2 \times 3 \times 3} \Rightarrow q = 3.$$

- D'une autre manière on peut déterminer q selon le Tableau. 4 (voir l'annexe B) :
 - on trouve que $q = 3 \Rightarrow Z = 2P \times q \times m = 6 \times 3 \times 3 = 54$

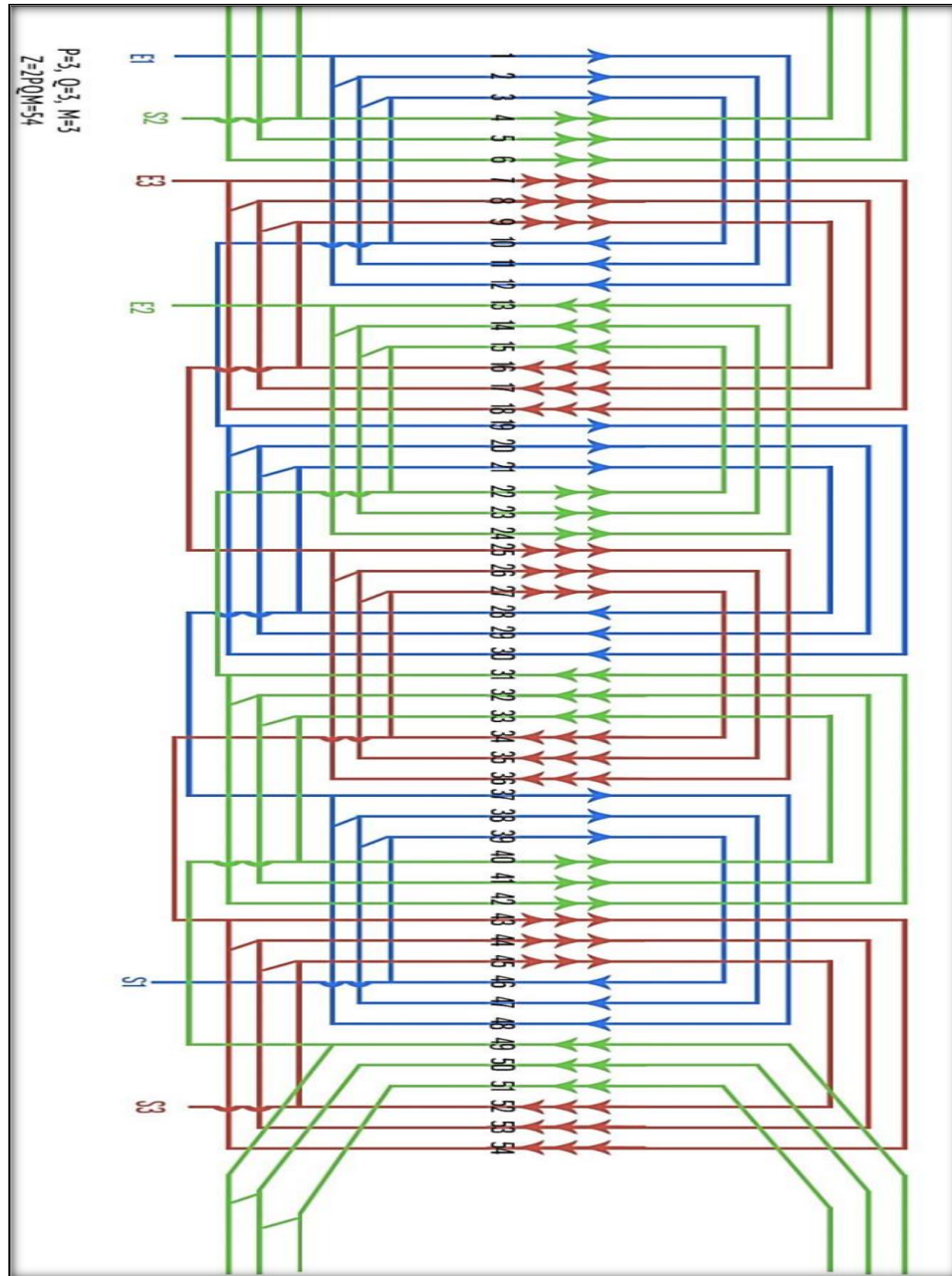


Fig II.1 : Le type de l'enroulement statorique est concentrique à une couche

- **Remarquer**

L'enroulement du moteur électrique asynchrone est une procédure très précise et comporte plusieurs détails qui diffèrent selon plusieurs facteurs tels que le type d'enroulement (ondulé, imbriqué, diamétral), l'outillage (gabarit a une dimension, gabarit étagé ...) et le type de moteur (asynchrone, multi-vitesse, courant continu, etc.) [1]

II.4. Le pas dentaire :

Le pas est la distance entre les axes de deux encoches adjacentes et est donné par:

$$t_1 = \frac{\pi D}{2p m_1 q_1} \quad \text{II -2}$$

$$t_1 = \frac{\pi * 167.294}{54}$$

$$\Rightarrow t_1 = 9.7328[\text{mm}].$$

- Votre pas dentaire doit être dans des limites admissibles et supérieur est $t_1 > 6$ alors cette valeur est acceptable à 6 mm.

On peut déterminer le chiffre d'encoches par post et par période q_1 d'après votre Tableau. 4 (voir l'annexe B) et puis on calcule le nombre d'encoches du stator

$$Z_1 = 2p \cdot q_1 \cdot m_1 \quad \text{II -3}$$

II.5. Calcul de l'enroulement statorique :

La sélection de l'espèce conductrice favorable dans la fente U_{en} est la suivante : U_{en} doit être un nombre entier, et pour un enroulement à deux couches, U_{en} est un nombre pair. Au montage, on choisit la plage de conducteurs dans la fente, à condition que les pattes de l'enroulement segmenté ne soient plus couplées en parallèle ($a = 1$) et qu'on ait :

$$U'_{en} = \frac{\pi D A}{I_{1nom} Z_1} \quad \text{II -4}$$

$$I_{1nom} = \frac{P_2}{m_1 U_{1nom} \eta \cos \varphi} \quad \text{II -5}$$

I_{1nom} : courant nominal du stator donné par :

$$I_{1nom} = \frac{P_2}{m \times V \times \eta \times \cos(\varphi)}$$

$$= \frac{7.5 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0.84 \times 0.83} = 16.299 [A]$$

$$U'_{en} = \frac{\pi D A}{I_{1nom} Z_1}$$

$$= \frac{\pi \times 167.294 \times 28.2 \times 10^3}{16.299 \times 54} = 16.839$$

$$\Rightarrow U'_{en} \approx 17$$

Si le nombre de branches de l'enroulement en parallèle est "a" (le courant circulant dans chaque branche sera doublé pour maintenir un courant nominal constant). Le nombre de conducteurs actifs sera augmenté pour assurer une masse linéique A constante, à savoir :

$$U_{en} = a_1 \cdot U'_{en} \quad \text{II -6}$$

La valeur U_{en} obtenue est arrondie à un nombre entier ou pair selon le type d'enroulement. Les enroulements utilisés dans les moteurs asynchrones sont indiqués dans le tableau. 5 (voir annexe B) .

II.6. Le nombre des spires d'une phase du stator :

$$W_1 = \frac{U_{en} \cdot Z_1}{2 a_1 m_1} \text{ ou } W_1 = U_{en}' \times P \times q \quad \text{II -7}$$

$$W_1 = U_{en}' \times P \times q$$

$$\Rightarrow 17 \times 3 \times 3 = 153 [\text{spires}].$$

Ou

$$W_1 = \frac{17 \cdot 54}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 153 [\text{spires}].$$

II.7. Valeur exacte de la charge linéaire :

$$A = \frac{2I_{1nom} W_1 m_1}{\pi D} \quad \text{II -8}$$

$$A = \frac{2 * 16.299 * 153 * 3}{\pi * 167.294}$$

$$\Rightarrow A = 28.469 \times 10^3 [A/m]$$

Qui ne doit pas être différente de A préalable tenant compte des limites admissibles.

II.8. Le flux magnétique dans l'entrefer :

La densité de flux dans l'entrefer est donnée par la relation suivante :

$$\phi = \frac{k_e \cdot V}{4K_b \cdot f \cdot W_1} \quad \text{II -9}$$

$$\phi = \frac{0.955 * 220}{4 * 1.09 * 50 * 153}$$

$$\phi = 6.299 \times 10^{-3} [Wb]$$

$$\Rightarrow \phi \approx 6.3 * 10^3 [Wb]$$

II.9. L'induction du champ magnétique dans l'entrefer :

La valeur exacte de l'induction dans l'entrefer est donnée comme suit :

$$B_\delta = \frac{\phi}{\alpha_i \tau_\delta} \quad \text{II -10}$$

$$B_\delta = \frac{6.3 \times 10^{-3}}{0.7 * 86.247 * 10^{-3} * 129.0211 * 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow B_\delta = 0.8087 [T]$$

Si B_δ est hors des limites admissibles ($B_\delta > B_{max}$ ou $B_\delta < B_{min}$) plus que de 5% il faut changer U_{en} et répéter le calcul.

II.10. Densité du courant dans l'enroulement statorique :

$$J_1 = \frac{AJ_1}{A} \quad \text{II -11}$$

$$J_1 = \frac{191 * 10^9}{28.2 * 10^3}$$

$$J_1 = 6.7090[A/mm^2]$$

- On remarque que $j_1 [3 \div 9]$ alors la valeur de j_1 est acceptable.
- Selon la Fig. 7 (voir l'annexe A) on trouve $Aj = 191 \times 10^9 [A^2/m]$

II.11. La section du fil efficace :

$$S_{1ef} = \frac{I_{nom}}{\alpha_1 J_1} \quad \text{II -12}$$

$$S_{1ef} = \frac{16.299}{1 * 6.7090}$$

$$\Rightarrow S_{1ef} = 2.4294[mm^2] .$$

- Selon le tableau. 6 (voir l'annexe B) on choisit $S_{1ef} \text{ normalisée} = 2.51 [mm^2] \Rightarrow$
 $dis = 1.895[mm] > 1.71$ alors cette valeur est inadmissible on doit prendre des sections
 élémentaires $S_{ef} = n_{él} \times S_{él}$, On choisit $n_{él} = 2 \Rightarrow S_{ef} = 2 \times S_{él}$
 $\Rightarrow S_{él} = \frac{2.494}{2} = 1.27$, selon le tableau on choisit $S_{él} \text{ normalisée} = 1.227[mm^2]$ et
 $dis \text{ normalisée} = 1.33[mm]$.

$$S_{ef} = S_{él} . n_{él} \quad \text{II -13}$$

Pour le remontage automatique, on peut prendre $n_{él} = 2 \div 3$, et $n_{él} \leq 10$ pour les autres.

La section du fil rectangulaire doit être inférieure à 20 mm^2 Sinon, prendre plusieurs fils de base pour que $S_{ef} \approx S_{él} . n_{él}$. Si le segment de calcul est grand, augmenter le nombre de branches parallèles. Après avoir sélectionné le fil, nous calculons la densité de courant.

$$J_1 = \frac{I_{nom}}{\alpha_1 S_{él} n_{él}} \quad \text{II -14}$$

$$J_1 = \frac{16.299}{1 * 2 * 1 * 1.227}$$

$$\Rightarrow J_1 = 6.6418[A/mm^2]$$

II.12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons explicité la méthodologie de dimensionnement adoptée en mettant en avant toutes les expressions Paramètres de L'enroulement statorique et de L'entrefer.

Chapitre III :
Calcul de la zone de
denture statorique

III.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons déterminer les dimensions géométriques Les différentes parties du moteur répondent aux normes techniques, et prise en compte des limitations électromagnétiques.

III.2 Valeurs de l'induction:

On trouve préalablement Dans les dents du stator B_{z1} et Dans la culasse du stator B_a (Tableau. 7) (voir l'annexe B)

III.3 Largeur de la dent statorique :

Calcul de la largeur de la dent statorique se base sur la loi de conservation du flux à travers le pas dentaire. Elle est donnée par la relation suivante :

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{B_{z1} l_1 k_r} \quad \text{III-1}$$

$$b_{z1} = \frac{0.8299 \times 9.7328 \times 10^{-3} \times 123.7813 \times 10^{-3}}{1.9 \times 123.7813 \times 10^{-3} \times 0.97}$$

$$\Rightarrow b_{z1} = 4.3829 \text{ [mm]}$$

Où

$$l_l = l_{\delta} - l_c = 123.7813 \quad \text{III-2}$$

l_l : la longueur du noyau du stator

l_c : la longueur sommaire des canaux de ventilation radiales

k_r : le coefficient de remplissage du paquet du fer (Tableau. 8) (voir l'annexe B)

III.4 Hauteur de la culasse du stator :

La hauteur de la culasse est donnée comme suit :

$$h_a = \frac{\phi}{2B_a l_1 k_r} \quad \text{III-3}$$

$$h_a = \frac{6.3 \times 10^{-3}}{2 \times 1.9 \times 123.7813 \times 10^{-3} \times 0.97}$$

$$\Rightarrow ha = 16.3946$$

Pour $h = 90 \div 132 \text{ mm}$, $U \leq 600$ acier 2013 $k_r = 0.97$

III.5 Dimensionnement de l'encoche statorique :

On trouve $hf = 0.5 \div 1 \text{ mm}$ en fonction de la puissance, Pour les moteurs ayant $h \geq 132 \text{ mm}$

$0.5 \leq hf \leq 1 \text{ mm}$.

- On suppose

$$b_f = \text{dis} + (1.5 \div 2) \quad \text{III-4}$$

- On trouve aussi selon le guide que : $bf = \text{dis} + [1.5 \sim 2] = 1.405 + [1.5 \sim 2] =$

$$2.83 \sim 3.33 \Rightarrow \text{on choisit : } bf = 3.4 \text{ mm}$$

Ou dis : le diamètre d'un fils isolé. On calcule :

$$h_{en} = \frac{Da - D}{2} - h_a \quad \text{III-5}$$

$$h_{en} = \frac{233 - 167}{2} - 16.52$$

$$\Rightarrow h_{en} = 16.4584 \text{ mm}$$

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_{en})}{Z_1} - b_{z1} \quad \text{III-6}$$

$$b_1 = \frac{\pi(167 + 2 \times 16.48)}{54} - 4.41$$

$$\Rightarrow b_1 = 7.2649 \text{ mm}$$

$$b_2 = \frac{\pi(D + 2hf - bf) - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} \quad \text{III-7}$$

$$b_2 = \frac{\pi(167 + 2 \times 0.5 - 3.405) - 54 \times 4.41}{54 - \pi}$$

$$\Rightarrow b_2 = 5.5318 \text{ mm}$$

$$h_1 = h_{en} - \left(h_f + \frac{b_2 - b_f}{2} \right) \quad \text{III-8}$$

$$h_1 = 16.48 - \left(0.5 + \frac{5.485 - 3.405}{2} \right)$$

$$\Rightarrow h_1 = 15.8950 \text{ mm}$$

III.6 On calcule les dimensions de l'encoche réelle

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{en} \quad \text{III-9}$$

$$b'_1 = 7.21 - 0.1$$

$$\Rightarrow b'_1 = 7.123 \text{ mm}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{en} \quad \text{III-10}$$

$$b'_2 = 5.5 - 0.1$$

$$\Rightarrow b'_2 = 5.4318 \text{ mm}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_{en} \quad \text{III-11}$$

$$h'_1 = 14.73 - 0.1$$

$$\Rightarrow h'_1 = 14.4950 \text{ mm}$$

Ou

| $\Delta b_{en}, (\text{mm})$ | $\Delta h_{en}, (\text{mm})$ | Pour $h, (\text{mm})$ |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 0.1 | 0.1 | 50-132 |

III.7 Surface d'une coupe transversale d'une encoche trapézoïdale :

La section transversale de l'encoche trapézoïdale est donnée ci-dessous:

$$S'_{en} = \frac{b'_1 + b'_2}{2} h'_1 - S_{is} - S_{pe} \quad \text{III-12}$$

$$S'_{en} = \frac{7.11 + 5.4}{2} \times 14.63 - 11.4175 - 0$$

$$\Rightarrow S'_{en} = 81.7559$$

III.8 La section de l'isolant par rapport à la masse

$$S_{is} = b_{is} (2h_{en} + b_1 + b_2) \quad \text{III-13}$$

Ou Selon le (Tableau. 9) (voir l'annexe B) on choisit : $b_{is} = 0.25$

$$S_{is} = 0.25 * (2 * 16.48 + 7.223 + 5.485) \\ \Rightarrow S_{is} = 11.4284$$

pour $h=50 \div 132\text{mm}$

$$S_{pe} = 0,46b_1 + 0,9b_2 \quad \text{III-14}$$

Pour l'enroulement à une couche $S_{pe}=0$.

III.9 Le coefficient de remplissage de l'encoche :

$$k_r = \frac{d_{is}^2 U'_{en} \cdot n_{él}}{S_{en}} \quad \text{III-15}$$

$$k_r = \frac{1.405^2 \times 17 \times 2}{80.09}$$

$$\Rightarrow k_r = 0.7356$$

$Kr [0.7 \sim 0.75]$, alors la valeur $Kr = 0.7356$ est acceptable

Si la valeur calculée de k_r est inférieure à la valeur indiquée, la surface d'entaille est augmentée, soit de h_a , soit de b_z , soit à la fois de h_a et de b_z selon l'induction admissible.

Si la valeur d'induction est inférieure à la valeur autorisée, les dimensions du moteur est exagérée et il est nécessaire de réduire la longueur du noyau du stator ou la hauteur de l'arbre rotatif. Nous comptons à nouveau.

Si le k_r obtenu est supérieur aux valeurs acceptables, il faut augmenter la taille de la rainure en calculant h_a et b_z pour obtenir les valeurs maximales admissibles des inductifs B_a et B_z , le nombre de conducteurs élémentaires peut être réduit n'él augmenter si k_r est toujours élevé dans la limite de la valeur autorisée, les dimensions principales du moteur doivent être modifiées et le calcul répété.

III.10 On calcule la largeur et la hauteur de calcul de dent :

$$b'_z = \pi \frac{D+2h_{en}}{Z} - b_1 \quad \text{III-16}$$

$$b'_z = \pi \times \frac{167.2948 + 2 \times 16.4584}{54} - 7.2649$$

$$\Rightarrow b_z' = 4.382$$

$$b''_z = \pi \frac{D+2(h_{en}-h_1)}{Z} - b_2 \quad \text{III-17}$$

$$b''_z = \pi \times \frac{167.29 + 2 \times (16.4584 - 14.8950)}{54} - 5.5318$$

$$\Rightarrow b''_z = 4.3828$$

$$h_z = h_{en} \quad \text{III-18}$$

$$\text{Si } b'_z \approx b''_z ;$$

On prend

$$b_z = \frac{b'_z + b''_z}{2} \quad \text{III-19}$$

$$b_z = \frac{4.382 + 4.3828}{2}$$

$$\Rightarrow b_z = 4.3824$$

Si $b'_z \neq b''_z$, la longueur calculée de la dent nécessite de changer la taille de la rainure ou de calculer la densité de champ magnétique de la dent pour une rainure rectangulaire.

Chapitre IV :

Calcul de la zone de
denture rotorique et de
l'entrefer

IV.1 Introduction :

Le rotor a une cage d'écuréuil, qui se compose de barres ajustées dans des fentes ovales semi-ouvertes, court-circuitées à leurs extrémités. Une cage d'écuréuil peut être représentée comme un enroulement polyphasé dont le nombre de paires de pôles est égal au nombre de paires de pôles du champ magnétique tournant.

IV.2 Entrefer :

Pour des raisons mécaniques, l'entrefer est choisi le plus grand possible. Un entrefer suffisamment grand est également avantageux pour les pertes supplémentaires dans le fer causé par la pulsation du champ et la dispersion causée par les champs harmoniques supérieurs. Par contre, concernant le courant d'excitation (facteur de puissance), l'entrefer doit être maintenu le plus bas possible. Par conséquent, l'entrefer nécessite la majeure partie du courant magnétisant. Pour de bonnes performances, le courant magnétisant doit être le plus faible possible, ce qui nécessite un entrefer aussi étroit que le permettent les contraintes mécaniques. En revanche, un entrefer trop étroit favorise les harmoniques, ce qui peut nuire au fonctionnement du moteur.

- Selon la figure 9.10 page 44 : $\delta (D, 2p, h) = 0.29 \text{ mm}$ [11]
- Ou bien d'une autre manier :

$$\delta = \frac{3 + 0,002 \times D \times \tau}{1000} \quad \text{IV-1}$$

$$\delta = \frac{3 + 0,002 \times 167.294 \times 87.5949}{1000}$$

$$\Rightarrow \delta = 0.29 \text{ mm}$$

IV.3 Le nombre des encoches du rotor :

Pour les moteurs asynchrones, il est important de sélectionner avec soin le nombre d'encoches du rotor pour éviter les vibrations, le bruit magnétique, le couple d'à-coup et la plage synchrone. Le nombre de fentes dans le rotor ne doit jamais être égal au nombre de fentes dans le stator ; il peut être plus grand, mais il est généralement plus petit dans les rotors à cage d'écuréuil.

Habituellement, une différence entre 15% et 30% donne de bons résultats. $Z_2 > Z_1$ pour les moteurs de forte puissance, $Z_2 < Z_1$ pour les moteurs de faible puissance. Le nombre d'encoches au rotor (Z_2) recommandé en fonction du nombre de pôles ($2p$) et du (Tableau. 10) (voir l'annexe B).

IV.4 Le diamètre extérieure :

Le diamètre extérieur du rotor est donné par l'expression suivante :

$$D_2 = D - 2\delta \quad \text{IV-2}$$

$$D_2 = 167.2940 - 2 \times 0.29$$

$$\Rightarrow D_2 = 166.714 \text{ mm}$$

IV.5 La longueur du noyau :

La longueur réelle du rotor s'exprime comme suit :

$$l_2 = l_1 = l_3 = 123.7813 \text{ mm} \quad \text{IV-3}$$

IV.6 Le pas dentaire rotorique :

Le pas dentaire du rotor représente la distance séparant les axes de deux encoches voisines.

Il est donné par la formule suivante :

$$t_2 = \frac{\pi D_2}{Z_2} \quad \text{IV-4}$$

$$t_2 = \frac{\pi \times 166.714}{44}$$

$$t_2 = 11.90335 \text{ mm}$$

IV.7 Le diamètre de l'arbre préalable :

$$D_{ar} \approx k_{ar} D_a \quad \text{IV-5}$$

Où :

$$k_{ar} = 0.23$$

$$D_{ar} = 0.23 \times 233$$

$$\Rightarrow D_{ar} = 53.59 \text{ mm}$$

Avec : k_{ar} : Rapport entre D_{ar} et D_a , qui se détermine selon le Tableau. 11 (voir l'annexe B)

Le diamètre intérieur du rotor est donné par la relation suivante :

$$D_j = D_{ar} \quad \text{IV-6}$$

$$D_j = 53.59 \text{ mm}$$

IV.8 Le courant dans la barre :

Le Courant dans les barres de la cage du rotor s'exprime comme suit :

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot \alpha_i \quad \text{IV-7}$$

$$I_2 = 20.29 \times 16.299 \times 0.88$$

$$I_2 = 287.2883 \text{ A}$$

Avec α_i : Coefficient tenant compte de l'influence du courant magnétisant et les résistances des bobines sur le rapport I_1/I_2 , on le choisit d'après la Fig. 8 (voir l'annexe A)

k_i : Rapport de transformation du courant, Pour le moteur à cage d'écureuil

$$k_i = \frac{2 m_1 \omega_1 k_{B1}}{Z_2} \quad \text{IV-8}$$

$$k_i = \frac{2 \times 3 \times 153 \times 0.96}{44}$$

$$\Rightarrow k_i = 20.029$$

IV.9 La section de la barre :

$$S_b = \frac{I_2}{J_2} \quad \text{IV-9}$$

$$S_b = \frac{287.2783}{3}$$

$$\Rightarrow S_b = 95.7594 \text{ mm}^2$$

Avec : $J_2 = (2.5 \div 3.5) \text{ A/mm}^2$ pour les barres en aluminium

$J_2 \in [2.5 \sim 3.5]$: Alors la valeur $J_2 = 3.1804$ est acceptable

IV.10 Les encoches rotoriques :

Pour les moteurs dont $h = 132 \div 160 \text{ mm}$, On utilise des encoches piriformes semi fermée, (Fig. V.1.b).

On prend :

$$b_f = 1.5 \text{ mm} \quad h_f = 0.7 \text{ mm} \quad h'_f = 0.3 \text{ mm à } 2p=6$$

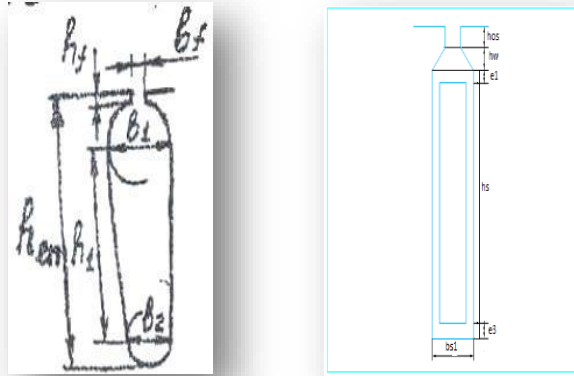


Fig.IV.1. Les encoches piriformes (semi-fermée)

IV.11 Largeur admissible de la dent rotorique :

La largeur de la dent rotorique s'exprime comme suit :

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_2}{B_{z2} \cdot l_{ac2} \cdot k_f} \quad \text{IV-10}$$

$$b_{z2} = \frac{0.8299 \times 11.96335}{1.6 \times 0.97}$$

$$b_{z2} = 6.3971 \text{ mm}$$

- Selon le Tableau. 7 (voir l'annexe B) : $B_{z2} \in [1.45 \sim 1.6] \Rightarrow B_{z2} = 1.6$
- Selon le guide on a $k_f \in [0.95 \sim 0.97] \Rightarrow k_f = 0.97$

$$l_{ac2} = l_2 \quad \text{IV-11}$$

l_{ac2} : Longueur du circuit magnétique du rotor

l_2 : Longueur réelle de l'induit

B_{z2} : Induction dans les dents du rotor.

$$k_f = 0.95 \div 0.97$$

IV.12 Le diamètre extérieur :

$$b_{1r} = \frac{\pi(D_2 + 2h_f - 2h'_f) - Z_2 b_{z2}}{\pi + Z_2} \quad \text{IV-12}$$

$$b_{1r} = \frac{\pi \times (166.714 - 2 \times 0.75 - 2 \times 0) - 44 \times 6.3971}{\pi + 44}$$

$$\Rightarrow b_1 = 5.0393 \text{ mm}$$

$$b_{2r} = \frac{\sqrt{b_1^2 \left(\frac{Z_2 + \pi}{2} \right) - S_b / 4}}{\frac{Z_2}{\pi} - \pi / 2} \quad \text{IV-13}$$

$$b_{2r} = \frac{\sqrt{5.0393^2 \left(\frac{44 + \pi}{2} \right) - \frac{95.7594}{4}}}{\frac{44}{\pi} - \frac{\pi}{2}}$$

$$\Rightarrow b_{2r} = 1.5502 \text{ mm}$$

$$h_{1r} = \frac{(b_1 - b_2) Z_2}{2\pi} \quad \text{IV-14}$$

$$h_{1r} = \frac{(5.0393 - 1.5502) 44}{2\pi}$$

$$\Rightarrow h_{1r} = 24.4335 \text{ mm}$$

Avec :

b_{1r} : Diamètre supérieur de l'encoche ;

b_{2r} : Diamètre inférieur de l'encoche.

Il faut arrondir les dimensions de l'encoche jusqu'aux fractions décimales de mm

IV.13 La hauteur totale de l'encoche :

La hauteur totale de l'encoche est donnée par :

$$h_{en2} = h'_f + h_f + h_1 + \frac{(b_{1r} + b_{2r})}{2} \quad \text{IV-15}$$

Où $h'_f = 0$

$$h_{en2} = 0 + 0.75 + 24.4335 + \frac{(5.0393 + 1.5502)}{2}$$

$$\Rightarrow h_{en2} = 28.4782 \text{ mm}$$

IV.14 La section de la barre(valeur exacte) :

La valeur exacte de la section de la barre est donnée par :

$$S_b = \frac{\pi}{8} (b_{1r}^2 + b_{2r}^2) + \frac{1}{2} (b_{1r} + b_{2r}) h_1 \quad \text{IV-16}$$

$$S_b = \frac{\pi}{8} (5.0393^2 + 1.5502^2) + \frac{1}{2} (5.0393 + 1.5502) 24.4335$$

$$\Rightarrow S_b = 90.3260 \text{ mm}^2$$

IV.15 densité du courant dans une barre :

La densité du courant dans une barre s'exprime comme suit :

$$J_2 = \frac{I_2}{S_b} \quad \text{IV-17}$$

$$J_2 = \frac{287.2783}{90.3260}$$

$$J_2 = 3.1804 \text{ [A/mm}^2\text{]}$$

La densité du courant dans les anneaux circuitages J_{an} est inférieure à celle dans les barres de (15 % ÷ 20 %) $J_{an} = (0,80 \div 0,85) \cdot J_2$

IV.16 La section des anneaux circuitage :

$$S_{an} = \frac{I_{an}}{J_{an}} \quad \text{IV-18}$$

$$S_{an} = \frac{675.7413}{2.55}$$

$$S_{an} = 264.9965 \text{ mm}^2$$

Ou

$$I_{an} = \frac{I_2}{2 \sin p\pi/Z_2} \quad \text{IV-19}$$

$$I_{an} = \frac{287.2783}{2 \sin 2\pi/44}$$

$$\Rightarrow I_{an} = 675.7413 \text{ A}$$

$$J_{an} = J_2 \times [0.85 \sim 0.80]$$

$$J_{an} = 3.1804 \times [0.85 \sim 0.80]$$

$$J_{an} = [2.70334 \sim 2.54408]$$

Les dimensions des anneaux circuitage d'un cage d'écureuil simple sont suivantes :

$$b_{An} \approx 1.25 h_{en2} \quad \text{IV-20}$$

$$a_{An} = \frac{S_{an}}{b_{An}} \quad \text{IV-21}$$

$$a_{An} = \frac{264.9965}{35.3125}$$

$$\Rightarrow a_{An} = 7.5043$$

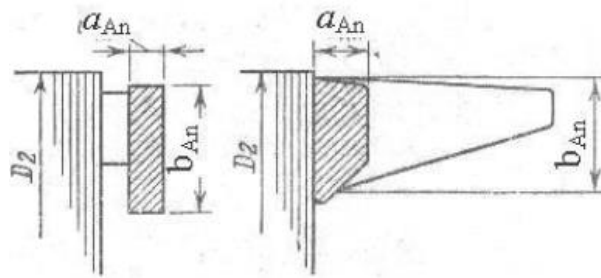


Fig. IV.2 Dimension des anneaux

Les anneaux sont dotés des deux côtés par des ailettes de ventilation. Le nombre d'ailettes de ventilateur est égale au nombre premier qui est 2-3 fois plus petit que celui des encoches.

Chapitre V :

Calcul du courant
d'aimantation (calcul du
circuit magnétique)

V.1. Introduction:

On calcule le circuit magnétique à vide, dans ce cas la courbe de répartition du flux magnétique est non sinusoïdale du fait de la saturation des dents du rotor et du stator, on détermine la densité du champ magnétique en fonction de la courbe d'aimantation compte tenu de la saturation du circuit magnétique.

V.2. Les valeurs d'induction dans les dents :

V.2.1 L'induction dans les dents statoriques :

L'induction dans les dents statoriques est déduite à partir de la conservation du flux à travers le pas dentaire comme suit:

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{b_{z1} \cdot l_{ac1} \cdot k_f} \quad V-1$$

$$B_{z1} = \frac{0.8299 \times 9.7328}{4.3829 \times 0.97}$$

$$\Rightarrow B_{z1} = 1.89 \text{ T}$$

V.2.2 L'induction dans les dents rotoriques :

L'induction dans les dents rotoriques est donnée par l'expression suivante :

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} t_2 l_{\delta}}{b_{z2} \cdot l_{ac2} \cdot k_f} \quad V-2$$

$$B_{z2} = \frac{0.8299 \times 11.90335}{6.3971 \times 0.97}$$

$$\Rightarrow B_{z2} = 1.59 \text{ T}$$

V.3. L'induction dans les dos du stator et du rotor :

Si la section des dents est variable suivant la hauteur on calcule les inductions $B_{z_{\max}}$; $B_{z_{\min}}$ et $B_{z_{\text{moy}}}$ ou bien $B_{z1}/3$ L'induction dans la culasse et dans le noyau s'exprime successivement par les deux relations suivantes :

$$B_a = \frac{\phi}{2h'_a \cdot l_{ac1} \cdot k_f} \quad V-3$$

$$B_a = \frac{6.33 \times 10^{-3}}{2 \times 16.3946 \times 123.7813 \times 0.97 \times 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow B_a = 1.607$$

$$B_j = \frac{\phi}{2h'_j \cdot l_{ac2} \cdot kf} \quad V-4$$

$$B_j = \frac{6.33 \times 10^{-3}}{2 \times 28.312 \times 123.7813 \times 0.97 \times 10^{-3}}$$

$$B_j = 0.931T$$

Avec :

V.3.1 La hauteur de calcul du dos du stator

$$h'_a = \frac{D_a - D}{2} - h_{en1} \quad V-5$$

$$h'_a = \frac{233 - 167.2940}{2} - 16.4584$$

$$\Rightarrow h'_a = 16.3946$$

V.3.2 La hauteur de calcul du dos du rotor

$$h'_j = \left(\frac{D_2 - D_j}{2} - h_{en2} \right) - \frac{2}{3} d_{c2} m_{c2} \quad V-6$$

$$h'_j = \frac{166.714 - 53.59}{2} - 28.25$$

$$h'_j = 28.312 \text{ mm}$$

m_{c2} , d_{c2} : le nombre des rangs et de diamètre des canaux axiaux de ventilation.

Pour la hauteur de l'axe de rotation $h \leq 250 \text{ mm}$: $m_{c2} = 0$ $d_{c2} = 0$

Force magnétisante Chaque pôle d'un moteur asynchrone doit fournir suffisamment de force magnétisante pour faire passer le flux à travers l'entrefer, les dents du stator et du rotor ainsi que la culasse du stator et celle du rotor.

V.4. La FMM dans l'entrefer :

Force magnétisante de l'entrefer On obtient la force magnétisante requise par pôle pour faire passer le flux à travers l'entrefer à l'aide de la relation:

$$F_\delta = H \cdot L = \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot 2\delta \cdot k_\delta \quad V-7$$

$$F_{\delta} = \frac{0.8299}{4\pi \times 10^{-7}} \times (2 \times 0.29 \times 10^{-3}) \times 1.085$$

$$F_{\delta} = 415.598At$$

V.4.1 Le coefficient de l'entrefer

$$k_{\delta} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \delta} \quad V-8$$

$$k_{\delta} = \frac{9.7328}{9.7328 - 2.63 \times 0.29}$$

$$k_{\delta} = 1.085$$

$$\text{et } \gamma = \frac{(b_{f1}/\delta)^2}{5 + b_{f1}/\delta} \quad V-9$$

$$\gamma = \frac{(1.5/0.29)^2}{5 + 1.5/0.29}$$

$$\gamma = 2.63$$

V.5. La FMM dans la zone dentaire du stator et rotor :

V.5.1 Force magnétisante de la zone dentaire du stator

La force magnétisante dans les dents du rotor est donnée comme suit :

$$F_{z1} = 2 h_{z1} \cdot H_{z1} \quad V-10$$

$$F_{z1} = 2 \times 20.1 \times 16.4584 \times 10^{-1}$$

$$F_{z1} = 66.16At$$

Avec H_{z1} : Le champ magnétique dans la dent statorique

$h_{z1} = h_{en1}$: Hauteur de la dent statorique.

V.5.2 Force magnétisante de la zone dentaire du rotor

La force magnétisante dans les dents du rotor est donnée comme suit :

$$F_{z2} = 2 h_{z2} \cdot H_{z2} \quad V-11$$

$$F_{z2} = 2 \times 8.35 \times 28.25 \times 10^{-1}$$

$$F_{z2} = 47.1775At$$

Les valeurs des densités du champ magnétique dans les dents sont déterminées d'après les courbes d'aimantation. H_{z1} et H_{z2} selon Tableau. 12 (voir l'annexe B)

V.6. Le coefficient de saturation de la zone dentaire

Le coefficient de saturation est donné par la relation suivante :

$$K_{\mu d} = \frac{F_{z1} + F_{z2} + F_{\delta}}{F_{\delta}} \quad \text{V-12}$$

$$K_{\mu d} = \frac{415.598 + 66.16 + 47.1775}{415.598}$$

$$K_{\mu d} = 1.2727$$

On compare $K_{\mu d}$ obtenu avec celui-ci a dévissable $K_{\mu dad} = 1,2 \div 1,6$.

Si $K_{\mu d} \neq K_{\mu dad}$ il faut corriger les dimensions du circuit magnétique .

$$\alpha_{ical} = \frac{2}{\pi} + 0.156 \times (K_{\mu d} - 1)^{\frac{2}{3}} \quad \text{V-13}$$

$$\alpha_{ical} = \frac{2}{\pi} + 0.156 \times (1.2727 - 1)^{\frac{2}{3}} = 0.7022$$

$$\left| \frac{\alpha_i - \alpha_{ical}}{\alpha_i} \right| \times 100 = 0.314\% < 5\% \text{ la valeur calculée } \alpha_{ical} \text{ est acceptable}$$

V.7. Force magnétomotrice de la culasse et du noyau

- Les forces magnétomotrices de la culasse et du noyau sont données par les deux expressions suivantes :

$$F_a = L_a H_a \quad \text{V-14}$$

$$F_a = 113.414 \times 7.5 \times 10^{-1}$$

$$F_a = 85.0605 \text{At}$$

$$F_j = L_j H_j \quad \text{V-15}$$

$$F_j = 42.8837 \times 1.61 \times 10^{-1}$$

$$F_j = 6.9042 \text{at}$$

Avec H_a et H_j champs magnétiques dans la culasse et dans le noyau d'après les courbes d'aimantation Tableau. 13 (voir l'annexe B)

V.8. La longueur de la ligne moyenne magnétique du dos

- du stator

$$L_a = \frac{\pi(D_a - h_a)}{2p} \quad \text{V-16}$$

$$L_a = \frac{\pi \times (233 - 16.3946)}{6}$$

$$\Rightarrow L_a = 113.414\text{mm}$$

- **Et du rotor :**

$$L_j = \frac{\pi(D_{ar} - h_j)}{2p} \quad \text{V-17}$$

$$L_j = \frac{\pi(53.59 - 28.312)}{6}$$

$$\Rightarrow L_j = 42.8837\text{mm}$$

- **La hauteur du dos du rotor :**

$$H_j = \frac{\pi(D_2 - D_j)}{2} - h_{en2} \quad \text{V-18}$$

V.9. Force magnétisante totale du circuit magnétique

$$F_\epsilon = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j \quad \text{V-19}$$

$$F_\epsilon = 415.598 + 66.16 + 47.1775 + 85.0605 + 6.9042$$

$$\Rightarrow F_\epsilon = 620.9002\text{At}$$

V.10. Coefficient de saturation du circuit magnétique

Le Coefficient de saturation du circuit magnétique est donné par la relation suivante :

$$K_{scm} = k_\mu = \frac{F_\epsilon}{F_\delta} \quad \text{V-20}$$

$$K_{scm} = \frac{620.9002}{415.598}$$

$$\Rightarrow K_{scm} = 1.493$$

V.11. Le courant d'aimantation

Le courant magnétisant représente la partie réactive du courant à vide. Il est donné par la relation suivante :

$$I_\mu = \frac{pF_\epsilon}{0.9m\omega_1 k_{b1}} \quad \text{V-21}$$

$$I_\mu = \frac{3 \times 620.9002}{0.9 \times 3 \times 153 \times 0.96}$$

$$\Rightarrow I_\mu = 4.6969 \text{ A}$$

V.12. La valeur relative du courant

$$I_\mu^* = I_\mu / I_{1nom} \times 100 \quad \text{V-22}$$

$$I_\mu^* = \frac{4.6969}{16.299} \times 100$$

$$I_{\mu}^* = 28.817\%$$

La valeur de I_{μ}^* permet de juger de la bonne sélection et du calcul de la taille et du bobinage du moteur. En effet, la mauvaise sélection de ces tailles I_{μ}^* (dépassant la limite) conduit à : soit la partie activée (le modèle de limite) est de taille trop petite, donc l'efficacité (facteur de puissance faible et élevé, mais faible utilisation de matériau par unité de puissance).

V.13. Algorithme de calcul des inductions et intensités réelles dans les dents :

Les inductions que l'on vient de trouver ne sont que des inductions idéales ou apparentes . Lorsque le fer n'est pas saturé , c'est à dire l'induction en Lorsque magnétique de la dent inférieure à 1,8 T , la perméance de la dent est tellement grande à celle de l'air que l'on puisse négliger la partie de flux qui passe dans l'encoche.

Donc si

$$B_{zi} \leq 1,8 \text{ T on a } B_z = B_{zi} \quad \text{V-23}$$

Où B_z : induction magnétique réelle dans la dent .

Mais lorsque le fer est saturé c'est à dire dans le cas type où $B_{zi} > 1,8 \text{ T}$, il faut tenir compte du flux qui passe dans l'encoche. On procède de la façon classique suivante :

On suppose que le flux dans l'encoche passe parallèlement aux parois de l'encoche et que par conséquent, les surfaces équipotentielles leur sont perpendiculaires.

En appelant :

B_e : Induction dans l'encoche

S_e : Surface de passage dans l'air

S_z : Surface de passage dans la dent

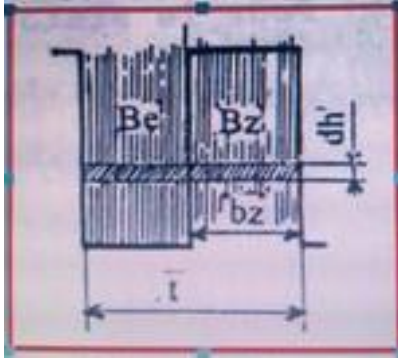


Fig V.1 : un encoche

$$\emptyset = B_{zi} \times S_z$$

$$\emptyset = B_z \times S_z + B_e \times S_e$$

$$\text{D'où} \quad B_{zi} = B_z + \frac{B_e \times S_e}{S_z} \quad \text{V- 24}$$

lors du calcul des la circuits magnétiques des machines , on utilise un système mixte à la base duquel se trouve le système cgsipo avec traduction des unités :

soit : $K_z = \frac{S_e}{S_z}$; le coefficient de denture déterminé seulement par les dimensions géométriques de la dent et de l'encoche .

$$K_z = \frac{S_t - S_z}{S_z} - 1$$

$$K_z = \frac{S_{total}}{S_z} - 1$$

$$K_z = t \frac{t \times L_i}{L_{fe} \times K_c \times b_z} - 1 \quad \text{V-25}$$

L'équation (V- 24) devient :

$$B_{zi} = B_z + 0.4\pi \times K_z \times H_z \quad \text{V-26}$$

Reprenons

Avec B_{zi} et B_z en [Gauss], H_z en [A / cm]

Finalement :

$$B_z = B_{zi} - 4\pi \times 10^{-5} \times K_z \times H_z \quad \text{V-27}$$

et $d = 10^{-5}$ donc $B_z = B_{zi} - 4\pi \times d \times K_z \times H_z$

avec B_{zi} et B_z en [T], H_z en [A / cm]

Reprenons la relation (V-27) avec $K_x = 4\pi \times 10^{-5} \times K_z$

$$B_{zi} = B_z + K_z \times H_z$$

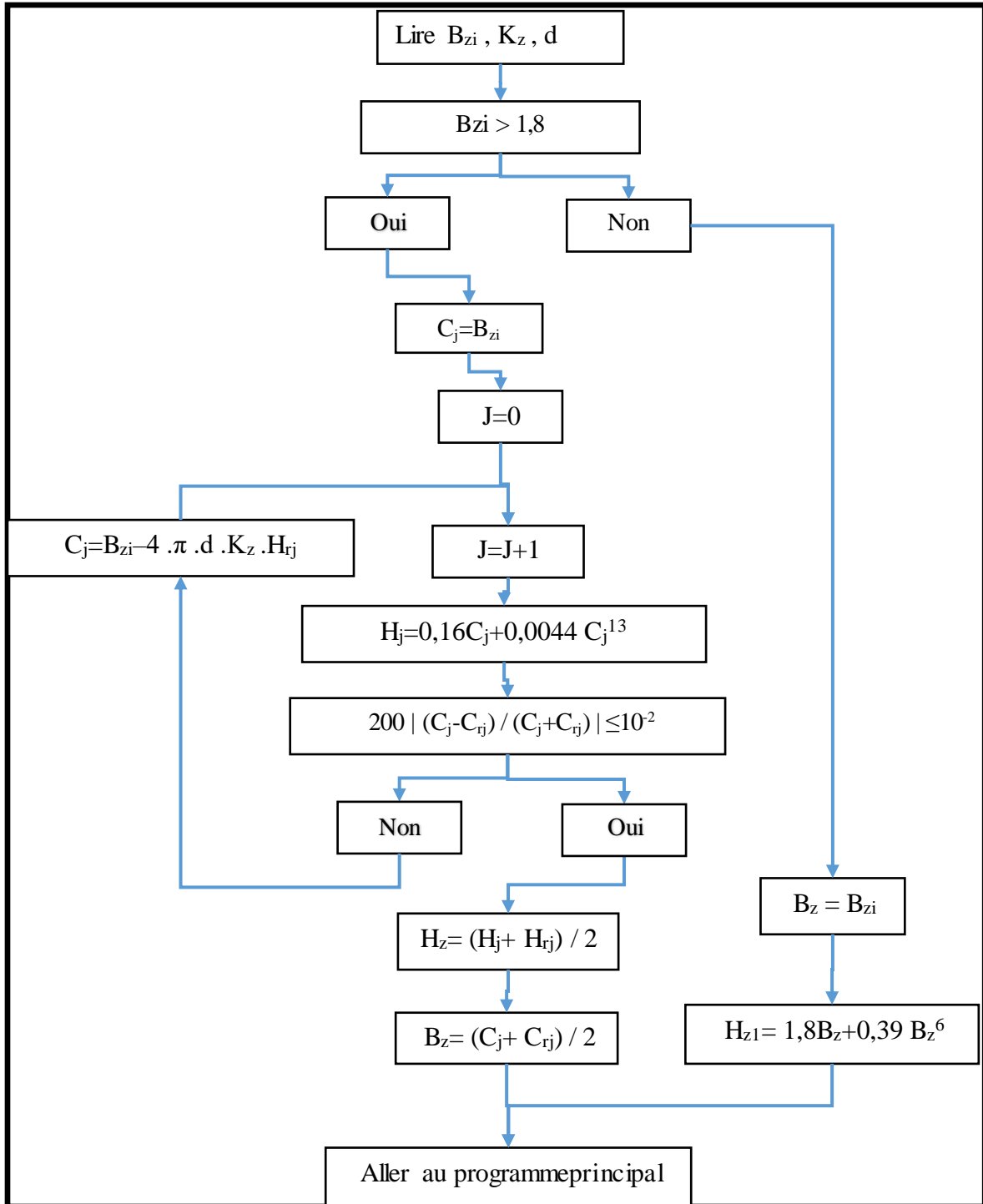
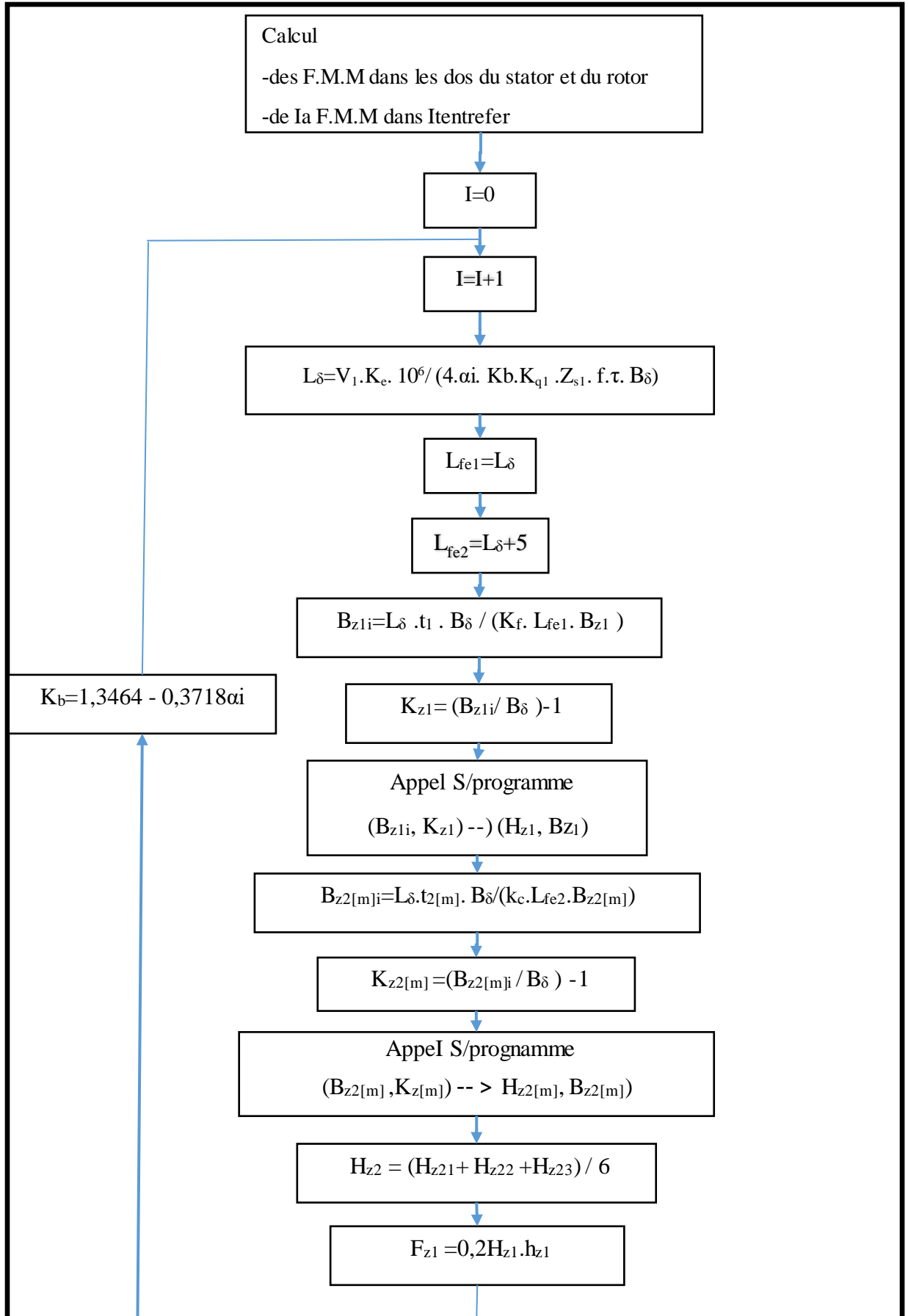


Fig V.2 : Algorithme de calcul des induction et intensités réelles dans les dents



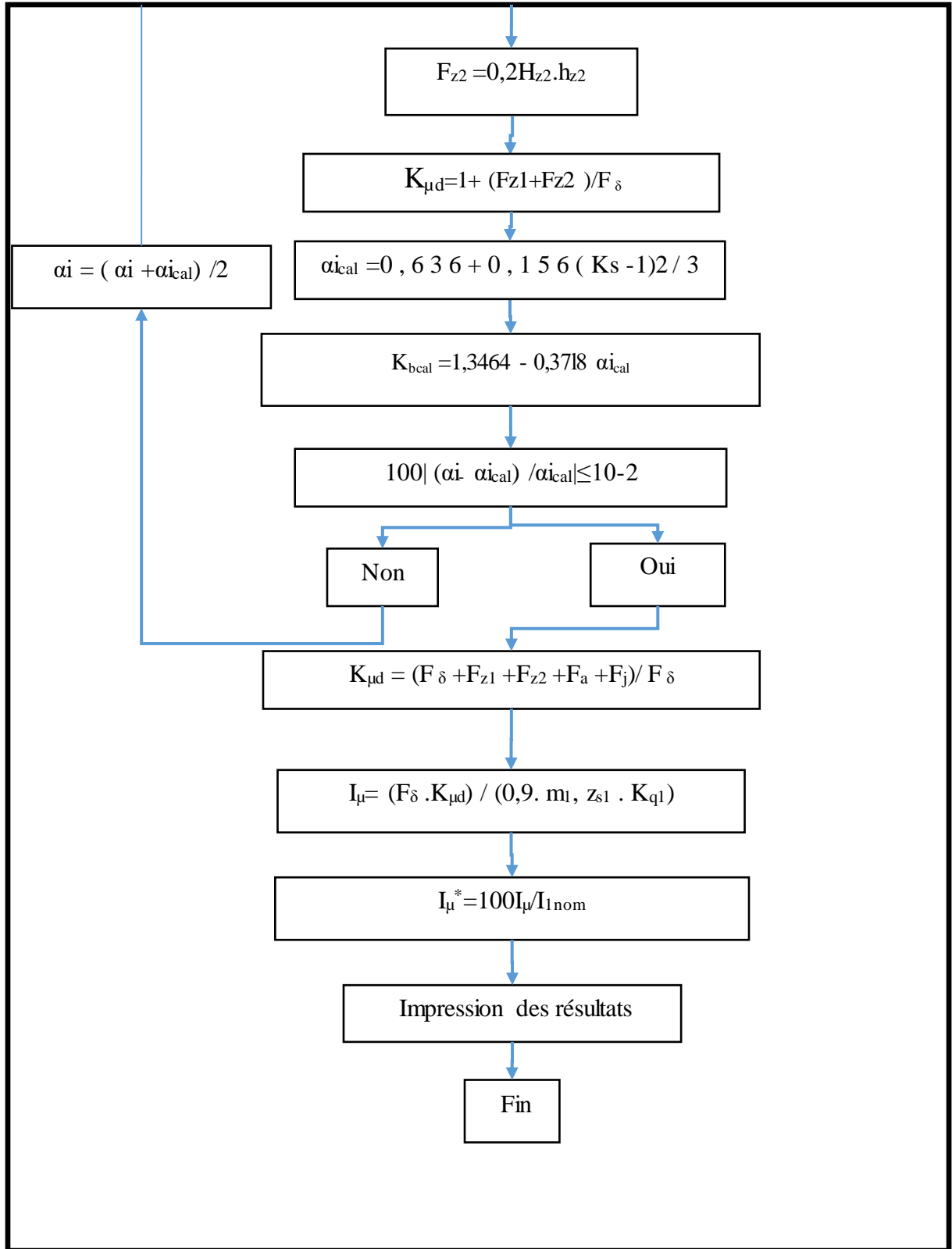


Fig V.3 : Algorithme de programme principal de calcul itératif des circuits électromagnétiques.

Chapitre VI :

Les résultats

VI.1. Introduction

La première étape du processus de dimensionnement consiste à définir le cahier des charges en identifiant différents points de fonctionnement. Le choix de la configuration de la machine dépend de la taille et de l'application de la machine.

Les dimensions principales et géométriques de la machine sont calculées à l'aide d'équations analytiques utilisant les lois de conservation des flux pour différentes parties de la machine.

Typiquement, la méthode de dimensionnement est un processus itératif pour comparer différentes solutions possibles. Dans la deuxième étape, le degré de saturation du circuit magnétique du moteur et l'induction des différentes pièces sont estimés.

VI.2. Résultats de dimensionnement

Après le calcul de la procédure de dimensionnement développée, on obtient les résultats sous la forme suivante :

VI.3. Le choix des dimensions principe

| | | valeurs | Unite |
|--|----------------|---------|----------|
| La vitesse du synchronisme | N | 1500 | [tr/min] |
| La fréquence du réseau est | f | 50 | [Hz] |
| Le Nombre des poles | p | 6 | |
| La hauteur préalable de l'axe de rotation | H | 132 | [mm] |
| Le diamètre extérieur du stator | Da | 233 | [mm] |
| Le rapport (Diametre interieur/Diametre exterieur) | K_D | 0.7 | |
| Le diamètre intérieur | D | 167.294 | [mm] |
| Le pas polaire | τ | 87.59 | |
| La puissance utile de la machine | P_2 | 7.5 | [KW] |
| Le facteur de chute de tension | k_e | 0.955 | |
| Le rendement de la machine | η | 0.84 | |
| Le facteur de puissance | $\cos \varphi$ | 0.83 | |
| La puissance de calcul | P' | 10.27 | [KVA] |

| | | | |
|---|-------------------|---------------------|------------------------------------|
| Les charges électromagnétiques préalables | A | 28.10 ³ | [A/m] |
| | B _δ | 0.87 | [T] |
| Le facteur de distribution du champs dans l'entrefer suppose | α _i | 0,7 | |
| Le facteur de forme | K _b | 1,09 | |
| Le facteur de l'enroulement du stator | K _{b1} | 0.96 | |
| La longueur de calcul de l'entrefer | l _δ | 123.781 | [mm] |
| Le rapport de la longueur sur le pas polaire | λ | 1.413 | |
| Les nombres d'encoches possible | Z _{lmax} | 54.18 | |
| | Z _{lmin} | 43.797 | |
| Le nombre de phases du stator | m ₁ | 3 | |
| Le nombre d'encoche /pole/phase du stator | q ₁ | 3 | |
| Les nombres d'encoches | Z ₁ | 54 | |
| Le pas dentaire | t ₁ | 9.7328 | [mm] |
| Le courant nominal d'une phase statorique | I _{1nom} | 16.299 | [A] |
| Tension d'alimentation | U _{1nom} | 220 | [V] |
| Le nombre de voies en parallele de l'enrlt statorique | a ₁ | 2 | |
| Le nombre des conducteurs efficaces préalables | U _{en} | 17 | |
| Nombre de spires d'une phase du stator | W ₁ | 153 | |
| La charge linéaire | A | 28469 | [A/m] |
| Le flux magnétique dans l'entrefer | θ | 0.0063 | [Wb] |
| L'induction du champ magnétique dans l'entrefer | B _δ | 0.83 | [T] |
| La caractéristique de la charge thermique | AJ ₁ | 191.10 ³ | [A ² /mm ²] |
| La densité du courant préalable | J ₁ | 6.7 | [A/mm ²] |
| La section du fil efficace préalable | S _{ef} | 2.4294 | [mm ²] |
| Le nombre de conducteurs élémentaire au stator | N _{el} | 2 | |
| La section d'un conducteur élémentaire | S _{el} | 1.27 | [mm ²] |
| La section des fils | S _{ef} | 6,84 | [mm ²] |
| La densité du courant | J ₁ | 6.6418 | [A/mm ²] |

VI.4. Le calcul des dimensions de la zone de dents du stator et de l'entrefer

| | valeurs | unite |
|--|---------|-------|
| Le coefficient de remplissage du paquet du fer k_r | 0.97 | |
| l'induction B_{z1} | 1.9 | [T] |
| L'épaisseur de la dent du stator b_{z1} | 4.3829 | [mm] |
| B_a | 1.6 | [T] |
| La hauteur du dos du stator h_a | 16.3946 | [mm] |
| La hauteur de l'encoche h_{en} | 16.4584 | [mm] |
| La largeur de l'encoche b_1 | 7.2649 | [mm] |
| b_f | 3.4 | [mm] |
| h_f | 0.5 | [mm] |
| La largeur de l'encoche b_2 | 5.5318 | [mm] |
| La hauteur de la dent h_1 | 15.895 | [mm] |
| La section de l'isolant dans l'encoche S_{is} | 11.4284 | [mm] |
| Section de l'encoche occupée par les conducteurs S'_{en} | 81.7559 | [mm] |
| Largeur de la dent b'_z | 4.382 | [mm] |
| Largeur de la dent b''_z | 4.3828 | [mm] |
| Le coefficient de remplissage de l'encoche | 0.7356 | |

VI.5. Calcul du rotor en court-circuit :

| | cage | unite |
|---|----------|-------|
| Entrefer | 0.29 | [mm] |
| Le nombre des encoches du rotor | 44 | |
| Diamètre extérieur du rotor | 166.714 | [mm] |
| La largeur du noyau | 123.7813 | [mm] |
| Le pas dentaire | 11.9033 | [mm] |
| k_{ar} | 0.23 | |
| Le diamètre de l'arbre préalable D_{ar} | 53.59 | [mm] |

| | | |
|---|----------|---------------------|
| Le diamètre intérieur du noyau D_j | 53.59 | [mm] |
| k_{b2} | ////// | |
| k_{b1} | 0.96 | |
| D_i | 0.88 | |
| Le nombre de phase de L'enroulement du rotor m_2 | ////// | |
| Le nombre de conducteurs efficaces dans l'encoche rotorique | ////// | |
| Le nombre de spires d'une phase rotorique | ////// | |
| La section d'un conducteur elementaire | ////// | [mm ²] |
| La section d'un conducteur efficace | ////// | [mm ²] |
| La section du cuivre dans l'encoche | ////// | [mm ²] |
| La section de l'encoche rotorique | ////// | [mm ²] |
| Le coefficient D'utilisation de l'encoche rotorique | ////// | |
| le facteur de courant k_i | 20.029 | |
| Le courant rotorique I_2 | 287.2883 | [A] |
| La densité du courant J_2 | 3 | [A/m ²] |
| La section de la barre | 95.7594 | [mm ²] |
| b_f | 1.5 | [mm] |
| h_f | 0.75 | [mm] |
| h'_f | 0 | [mm] |
| k_f | 0.97 | |
| B_{z2} | 1.6 | [T] |
| la largeur admissible des dents b_{z2} : | 6.3971 | [mm] |
| Les dimensions de l'encoche b_1 | 5.0393 | [mm] |
| b_2 | 1.5502 | [mm] |
| h_1 | 24.4335 | [mm] |
| La hauteur de la barre | ////// | [mm] |
| La hauteur totale de l'encoche | 28.4782 | [mm] |
| La section de la barre | 90.3260 | [mm ²] |
| La densité du courant de la barre | 3.1804 | [A/m ²] |
| La densité du courant dans les anneaux circuitages | 2.55 | [A/m ²] |
| Le courant des anneaux circuitages | 675.7413 | [A] |

| | | |
|--|----------|--------------------|
| La section des anneaux circuitages | 264.9965 | [mm ²] |
| Les dimensions des anneaux ban circuitages | 35.3125 | [mm] |
| Aan | 7.5043 | [mm] |

VI.6. Calcul du circuit magnétique:

| | value | unite |
|--|----------|--------|
| l'induction dents statorique au prés B_{z1} | 1.89 | [T] |
| l'induction dents rotorique au prés de l'entrefer B_{z2} | 1.59 | [T] |
| hauteur du dos du stator h'_a | 16.3946 | [mm] |
| l'induction dos du stator B_a | 1.607 | [T] |
| hauteur du dos du rotor h'_j | 28.312 | [mm] |
| l'induction dos du rotor B_j | 0.931 | [T] |
| Facteur de carter k_δ | 1.085 | |
| FMM dans l'entrefer F_δ | 415.598 | [At] |
| champ magnétique H_{z1} | 2010 | [A /m] |
| FMM de la zone dentaire du stator F_{z1} | 66.16 | [At] |
| champ magnétique H_{z2} | 835 | [A /m] |
| FMM de la zone dentaire du rotor F_{z2} | 47.1775 | [At] |
| Le coefficient de saturation $K_{\mu d}$ | 1.2727 | |
| densités du champ magnétique H_a | 7.5 | [A /m] |
| La longueur de la ligne moyenne magnétique du dos statorique L_a | 113.414 | [mm] |
| FMM de la dos du stator F_a | 85.0605 | [At] |
| densités du champ magnétique H_j | 1.61 | [A /m] |
| La longueur de la ligne moyenne magnétique du dos rotorique L_j | 42.8837 | [mm] |
| FMM de la dos du rotor F_j | 6.9042 | [At] |
| FMM par deux poles F_e | 620.9002 | [At] |

| | | |
|---|--------|-----|
| Coefficient de saturation du circuit magnétique K_{scm} | 1.493 | |
| Le courant d'aimantation I_{μ} | 4.6969 | [A] |
| La valeur relative I_{μ}^* | 28.817 | |

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce travail est de savoir comment concevoir et construire des machines asynchrones, suivant le (guide de construction (TROCHINE, GRASSEVITER, TRAIAlA)). La conception et l'amélioration des machines électriques asynchrones nécessitent une étude approfondie et des recherches approfondies, ainsi que des moyens.. Compte tenu des résultats obtenus dans nos travaux.

La conception optimale des machines électriques réside dans une parfaite compatibilité

Parmi les trois éléments :

- a) Modèles capables de fournir des informations ou des normes sur les machines électricité :
- b) Formules mathématiques pour la conception d'une machine électrique asynchrone
- c) optimisation des circuits électromagnétiques

Nous avons obtenu des résultats satisfaisants dans le cadre du mandat. La méthode de calcul et le manuel utilisés apportent une contribution importante à notre calcul optimal de la puissance et du résultat du moteur à induction en termes de synchronisation.

Enfin, le but de la sélection du moteur à induction est de déterminer les paramètres du circuit magnétique, des encoches du stator, des barres du rotor et des caractéristiques d'enroulement pour améliorer les performances électromagnétiques du moteur, et de concevoir selon les étapes ci-dessus. dans le chapitre précédent. Il faut beaucoup de temps pour optimiser la mise à l'échelle des racks à partir de (guides de construction (TROCHINE, GRASSEVITER, TRAIAlA)). En effet, les modifications qui améliorent la structure, les tests qui doivent d'abord être effectués puis calculés par les opérandes du générateur deviennent très fastidieux. Nous utilisons des modèles analytiques (Chapitre V.3-4 et V.3-5) pour déterminer les paramètres d'équipement pour le système optimal et faciliter le processus de conception en moins de temps

Bibliographie

- [1].BoukhariBylia_AminiTaou " Mémoire de fin d'études Présenté en vue de l'obtention Du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique", Thème: Optimisation d'une série de moteurs asynchrones triphasés a cage d'écureuil 2008.
- [2] . <https://slideplayer.fr/slide/3880707>
- [3] A.BOUTCHICHA et A.LACHACHE " Etude de la conception d'une machine asynchrone a encoches rotoriques ouvertes", Mémoire master académique, université Mohamed Boudiaf - Msila.
- [4]. R.P.BOUCARDE et G.OLIVIER : Conception de moteurs asynchrones triphasés, édition L'Ecole Polytechnique, Montréal, 1997.
- [5]. M. BENSMINE, T. MEBAREK, "Dimensionnement et Simulation d'un Moteur Asynchrone à Cage d'Ecureuil", Mémoire master académique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016
- [6]. R. REDJEM, "Calcul et Conception Assistée par Ordinateur des Machines Electriques", Mémoire de magister en Electrotechnique, Université Mentouri Constantine, 2006.
- [7]. Chahmi A., "Identification paramétrique de la machine asynchrone dédiée au diagnostic", Thèse doctorate, University of Sciences and Technology of Oran, Alegria Mohamed Boudiaf, 2007.
- [8]. Maintenance des Equipements Industriel du Lycée Latécoère d'ISTRES
www.meilatecoere.com
- [9]. <https://electrobon.monsite-orange.fr/page-59d8de13e9544.html>
- [10] . MELLE Abdeslam Djamil, « Analyse et construction d'un Moteur
- [11] guide de construction (TROCHINE , GRASSEVITER , TRAIAlA).

Annexe

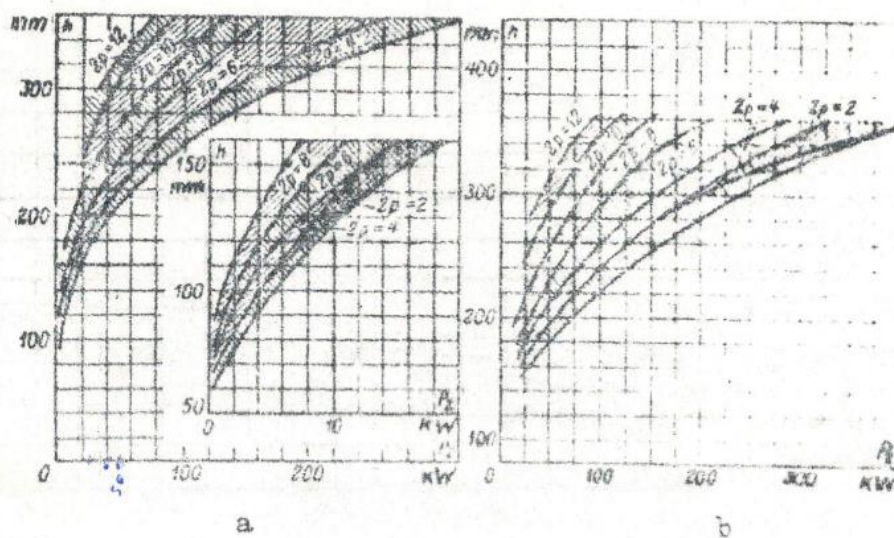


Fig. 1 La hauteur de L'axe de rotation des moteurs asynchrones

$$H=f(P_2, 2p) : a- \text{ pour IP 44 ; b- pour IP23}$$

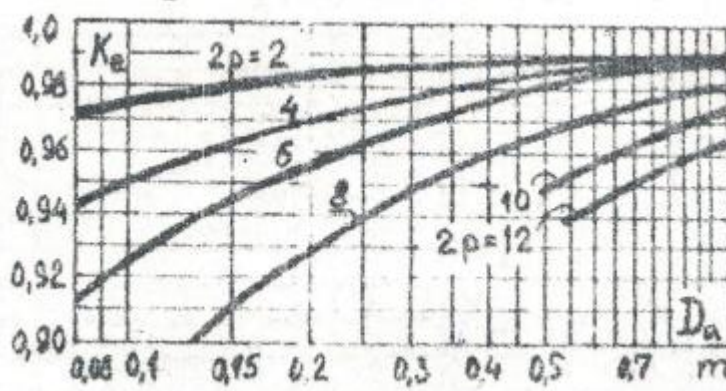


Fig. 2 Coefficient $K_e = f(D_a)$

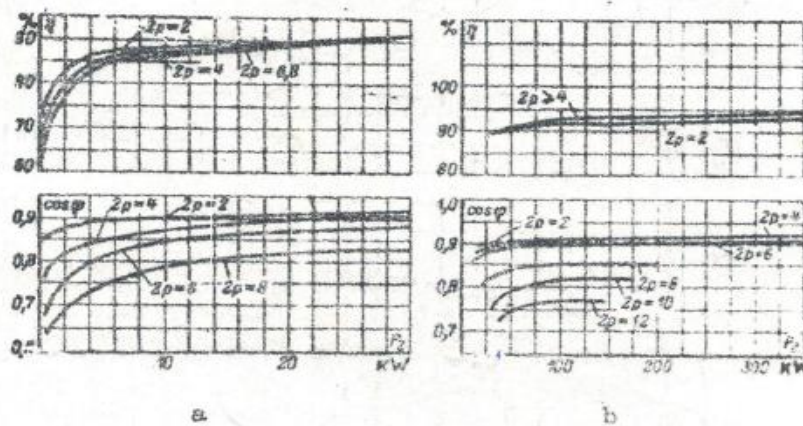


Fig. 3 Dépendance $\eta, \cos \varphi = f(P_2)$ des moteurs asynchrones
pour $P_2 < 30$ KW ; b- pour $P_2 < 400$ KW

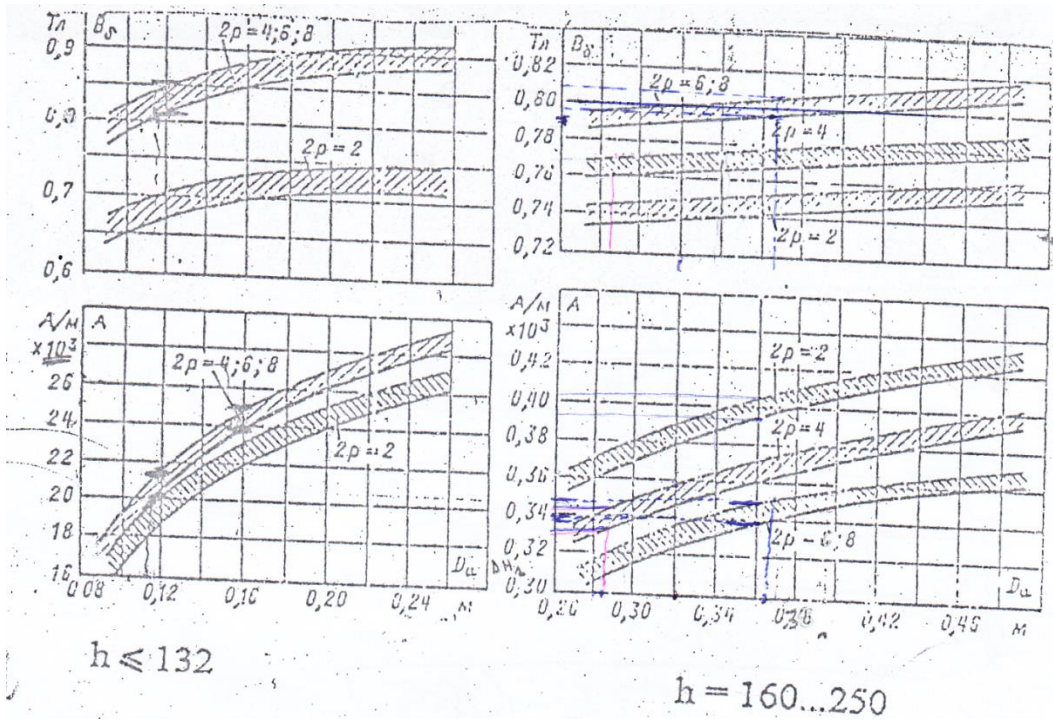


Fig. 4 Les charges électromagnétique A (A/m) et B_δ (T)

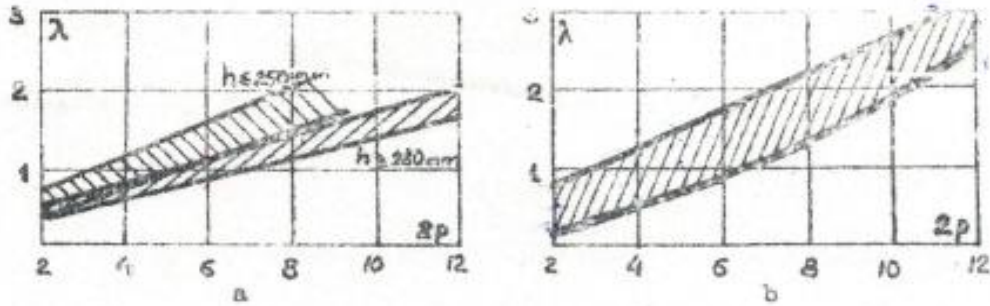


Fig. 5 Rapport λ pour des moteurs asynchrones

a- pour IP 44 ; b- pour IP 23

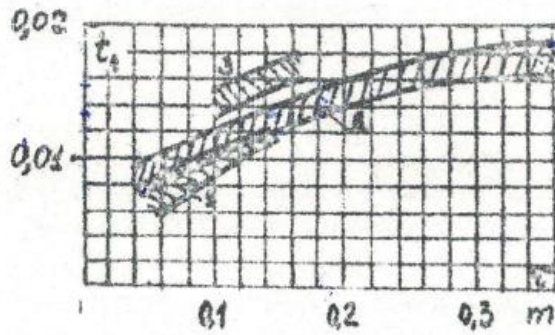


Fig. 6 Le pas dentaire du stator des moteurs asynchrone à enroulement monté fil à fil - pour $h \leq 90$ mm ; 2- pour $h=100 \div 250$ mm ; 3- pour $h \geq 280$ mm, $2p \geq 10$

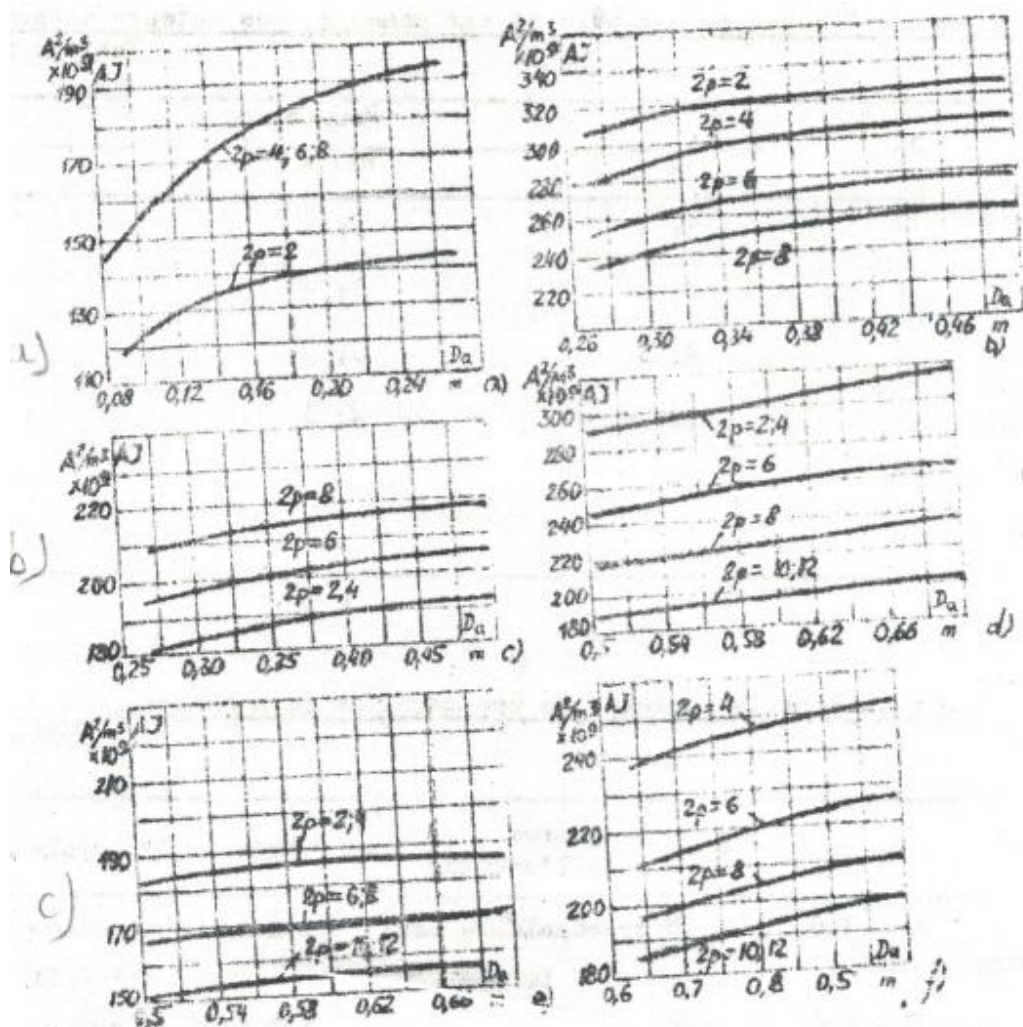


Fig. 7 Valeurs moyennes du produit AJ des moteurs asynchrones:

- a - pour IP 44, $h = 132$ mm ; b - pour IP 44, $h = 160 - 250$ mm ;
- c - pour IP 44, $h = 280 - 355$ mm ; d - pour IP 23, $h = 160 - 250$ mm
- e - pour IP 23, $h = 280 - 355$ mm ; f - pour IP 23, $U = 6000$ V

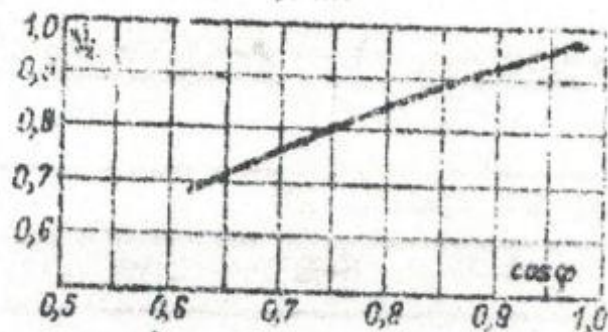


Fig. 8 Coefficient a_i en fonction du $\cos \varphi$

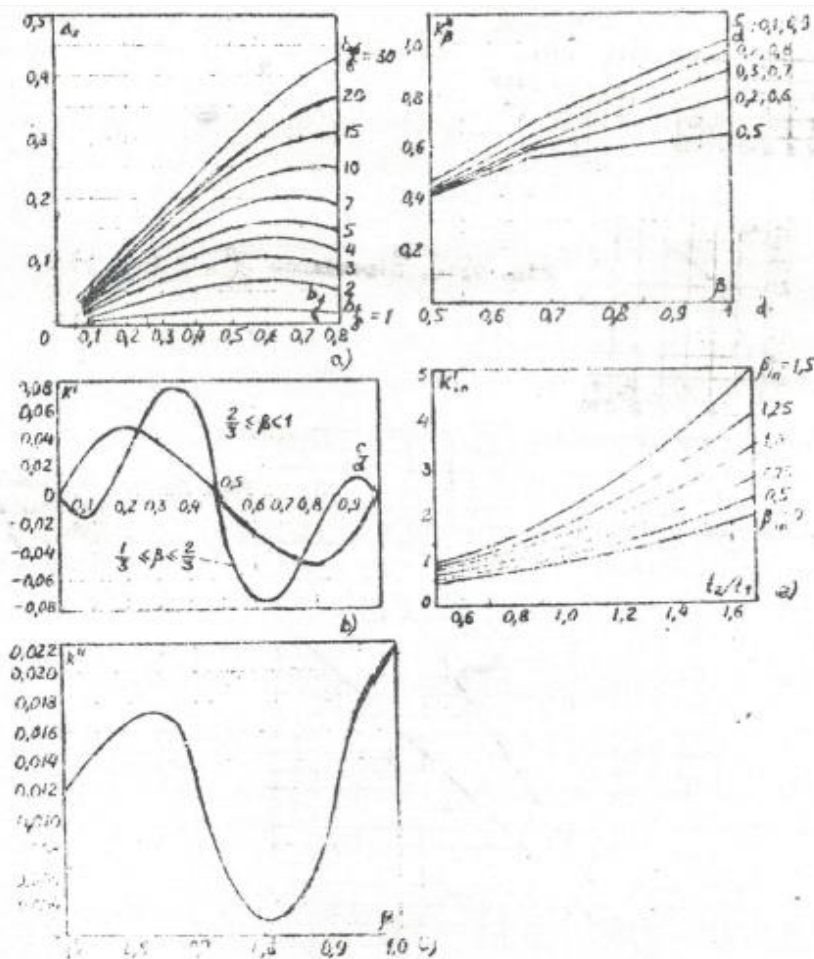


Fig. 9 Coefficient pour le calcul de la perméance différentielle

- a- $\Delta Z = f(b/t, b/t/\delta)$; b- k' en fonction de la partie fractionnaire du nombre d'encoches par pôle et par phase q ($q = b \div c/d$) ; c- k'' En fonction du racourcissement du pas β ;
- d- k'_β en fonction de β et de c/d ; e- k'_{in} en fonction du rapport t_2/t_1 et β_{in}

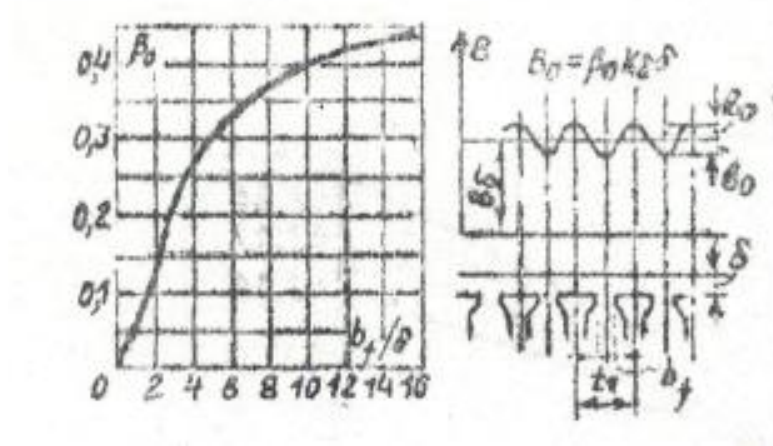


Fig. 10 Dépendance $\beta_0=f(b_f/\delta)$

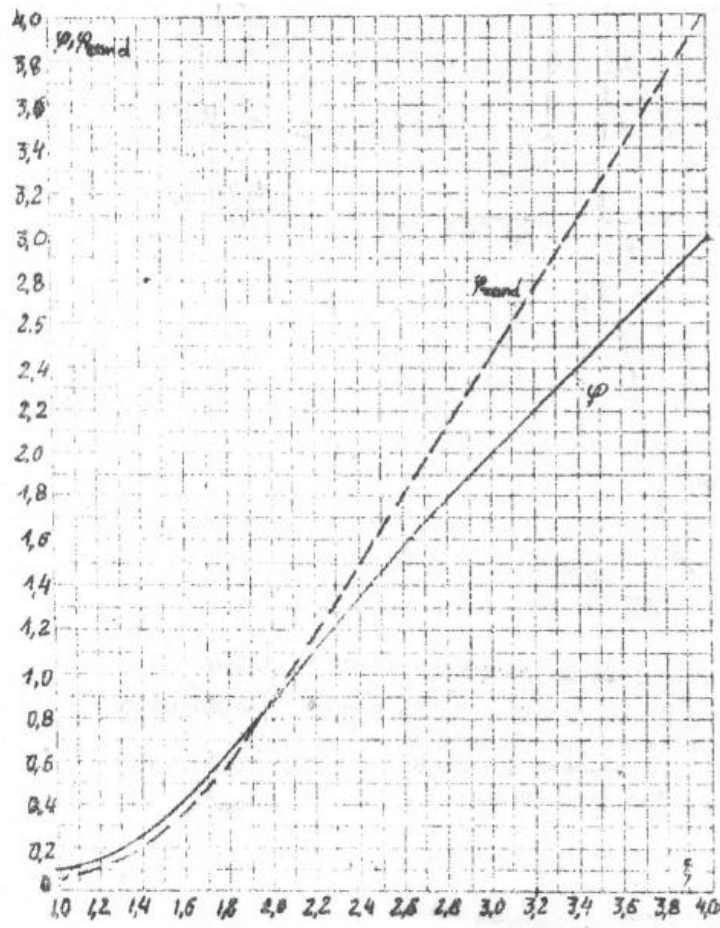


Fig. 11 Coefficients φ et φ_{ron} en fonction de ξ ($\varphi \approx \xi - 1$ pour $\xi > 4$ et $\varphi \approx 4 \xi^{1/45}$ pour $\xi < 1$)

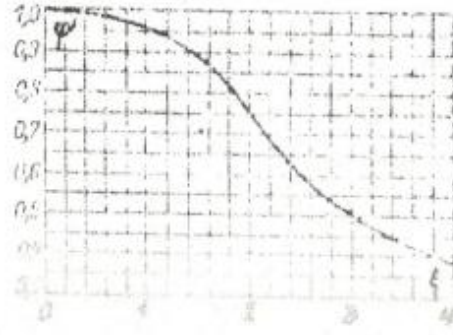


Fig. 12 Coefficient φ' en fonction de ξ ($\varphi' = 3/2 \xi$ pour $\xi > 1$)

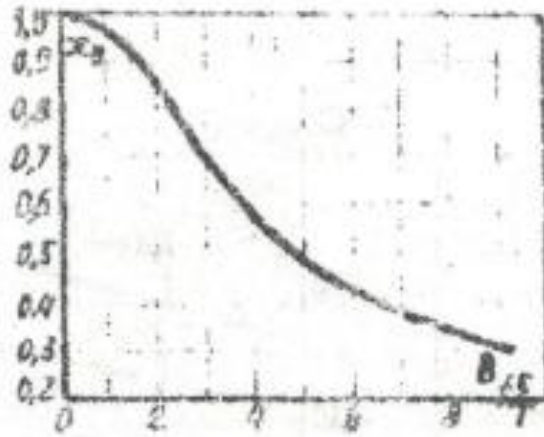


Fig. 13 Dépendance $\mu_\delta = F(B_{f\delta})$

Annexe B

| La hauteur de L'axe de rotation h, mm | Puissance P ₂ KW, pour 2p | | | | | | C ₂ , Nm Pour n=1500tr/ min |
|---|--------------------------------------|------|------|------|-----|-----|---|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | |
| à rotor on court-circuit, IP 44, IC 0141 | | | | | | | |
| 56 | 0.18 | 0.12 | - | - | - | - | 0.77 |
| | 0.25 | 0.18 | - | - | - | - | 1.15 |
| 63 | 0.37 | 0.25 | 0.18 | - | - | - | 1.59 |
| | 0.55 | 0.37 | 0.25 | - | - | - | 2.35 |
| 71 | 0.75 | 0.55 | 0.37 | 0.25 | - | - | 3.5 |
| | 1.1 | 0.75 | 0.55 | - | - | - | 4.75 |
| 80 | 1.5 | 1.1 | 0.75 | 0.37 | - | - | 7.0 |
| | 2.2 | 1.5 | 1.1 | 0.55 | - | - | 9.5 |
| 90 | 3.0 | 2.2 | 1.5 | 0.75 | - | - | 14 |
| 100 | 4 | 3.0 | 2.2 | 1.5 | - | - | 19 |
| | 5.5 | 4 | - | - | - | - | 25.4 |
| 112 | 7.5 | 5.5 | 3.0 | 2.2 | - | - | 35 |
| | - | - | 4 | 3.0 | - | - | |
| 132 | 11 | 7.5 | 5.5 | 4 | - | - | 47.4 |
| | - | 11 | 7.5 | 5.5 | - | - | 70 |
| 160 | 15 | 15 | 11 | 7.5 | - | - | 95.3 |
| | 18.5 | 18.5 | 15 | 11 | - | - | 118 |
| 180 | 22 | 22 | 18.5 | 15 | - | - | 140 |
| | 30 | 30 | - | - | - | - | 190 |
| 200 | 37 | 37 | 22 | 18.5 | - | - | 234.5 |
| | 45 | 45 | 30 | 22 | - | - | 284 |
| 225 | 55 | 55 | 37 | 30 | - | - | 349 |
| 250 | 75 | 75 | 45 | 37 | - | - | 474 |
| | 90 | 90 | 55 | 45 | - | - | 574 |
| 280 | 110 | 110 | 75 | 55 | - | - | 699 |
| | 132 | 132 | 90 | 75 | - | - | 838 |
| 315 | 160 | 160 | 110 | 90 | 55 | 45 | 1018 |
| | 200 | 200 | 132 | 110 | 75 | 55 | 1267 |
| 355 | 250 | 250 | 160 | 132 | 90 | 75 | 1592 |
| | 315 | 315 | 200 | 160 | 110 | 90 | 2006 |
| 400 | - | 315 | 250 | 200 | - | - | 2006 |
| | - | 400 | 315 | 250 | 200 | - | 2545 |
| | - | 500 | 400 | - | - | - | 3183 |
| 450 | - | 630 | 500 | 315 | 250 | 200 | 4012 |
| | - | 800 | 630 | 400 | 315 | 250 | 5094 |
| | - | - | - | 500 | - | - | - |

Tableau. 1 La hauteur de l'axe de rotation du moteur asynchrone $H=(P_2, 2p)$

| H[mm] | DH₁ [mm] |
|--------------|----------------------------|
| 50 | 86 |
| 56 | 96 |
| 63 | 108 |
| 71 | 122 |
| 80 | 139 |
| 90 | 157 |
| 100 | 175 |
| 112 | 197 |
| 132 | 232 |
| 160 | 285 |
| 180 | 322 |
| 200 | 359 |
| 225 | 406 |
| 250 | 452 |
| 280 | 520 |
| 315 | 590 |
| 355 | 660 |
| 400 | 740 |
| 450 | 850 |
| 560 | 990 |

Tableau. 2 Diamètre extérieur du stator du station (Da) $DH_1=f(H)$

| 2p | 2 | 4 | 6 | 8-12 |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| K_D | 0.25 - 0.57 | 0.64 - 0.68 | 0.70 - 0.72 | 0.74 - 0.77 |

Tableau. 3 Rapport entre les diamètres D et extérieur Da $K_D=D/ Da$

| 2p | Pour h, mm | | |
|-----------|-------------------|----------------|----------------|
| | 50-132 | 160-225 | 250-450 |
| 2 | 3 ; 4 | 5 ; 6 | 7 ; 8 |
| 4 | 2 ; 3 | 3 ; 4 | 4 ; 5 |
| 6 | 2 ; 3 | 3 ; 4 | 4 ; 5 |
| 8 | 1,5 ; 2 | 2 ; 3 | 3 ; 4 |
| 10 | ---- | ---- | 2 ; 3 |

| | | | |
|-----------|-------------|-------------|----------------|
| 12 | ---- | ---- | 2 ; 2,5 |
|-----------|-------------|-------------|----------------|

Tableau. 4 Le nombre d'encoches par pole et par phase q_1 des moteurs asynchrones

| H [mm] | 2p | Forme de l'encoche | Type de l'enroulement |
|----------------|--------------|-----------------------------------|--|
| 50-160 | 2-8 | Trapézoïdale demi-fermée | Concentrique à une couche monté fil à fil |
| 180-250 | 2-12 | // | Imbriqué à deux couches monté fil à fil |
| 280-315 | 10-12 | // | // |
| 280-355 | 2-8 | Rectangulaire demi-ouverte | à deux couches en barre |
| 400-450 | 2-12 | Rectangulaire ouverte | à deux couches en barre |

Tableau. 5 Le enroulements statoriques des machines asynchrones

Annexe B

| Le diamètre du conducteur sans isolation, mm | La valeur moyenne du diamètre du conducteur avec isolation, mm | La surface de la section transversale du conducteur sans isolation, mm ² | Le diamètre nominal du conducteur sans isolation, mm | La valeur moyenne du diamètre du conducteur avec isolation, mm | La surface de la section transversale du conducteur sans isolation, mm ² |
|--|--|---|--|--|---|
| 0.09 | 0.11 | 0.00636 | 0.53 | 0.585 | 0.221 |
| 0.10 | 0.122 | 0.00785 | 0.56 | 0.615 | 0.246 |
| 0.112 | 0.134 | 0.00985 | 0.60 | 0.655 | 0.283 |
| 0.125 | 0.147 | 0.01227 | 0.63 | 0.69 | 0.312 |
| 0.132 | 0.154 | 0.01368 | 0.67 | 0.73 | 0.353 |
| 0.14 | 0.162 | 0.01539 | 0.71 | 0.77 | 0.396 |
| 0.15 | 0.18 | 0.01767 | 0.75 | 0.815 | 0.442 |
| 0.16 | 0.19 | 0.0201 | 0.80 | 0.865 | 0.503 |
| 0.17 | 0.20 | 0.0227 | 0.85 | 0.915 | 0.567 |
| 0.18 | 0.21 | 0.0255 | 0.90 | 0.965 | 0.636 |
| 0.19 | 0.22 | 0.0284 | 0.95 | 1.015 | 0.709 |
| 0.20 | 0.23 | 0.0314 | 1.00 | 1.08 | 0.785 |
| 0.212 | 0.242 | 0.0353 | 1.06 | 1.14 | 0.883 |
| 0.224 | 0.259 | 0.0394 | 1.12 | 1.20 | 0.985 |
| 0.236 | 0.271 | 0.0437 | 1.18 | 1.26 | 1.094 |
| 0.25 | 0.285 | 0.0491 | 1.25 | 1.33 | 1.227 |
| 0.265 | 0.300 | 0.0552 | 1.32 | 1.405 | 1.368 |
| 0.28 | 0.315 | 0.0616 | 1.40 | 1.485 | 1.539 |
| 0.30 | 0.335 | 0.0707 | 1.50 | 1.585 | 1.767 |
| 0.315 | 0.350 | 0.0779 | 1.60 | 1.685 | 2.011 |
| 0.335 | 0.370 | 0.0881 | 1.70 | 1.785 | 2.27 |
| 0.355 | 0.395 | 0.099 | 1.80 | 1.895 | 2.54 |
| 0.375 | 0.415 | 0.1104 | 1.90 | 1.995 | 2.83 |
| 0.40 | 0.44 | 0.1257 | 2.00 | 2.095 | 3.14 |
| 0.425 | 0.465 | 0.1419 | 2.12 | 2.22 | 3.53 |
| 0.45 | 0.49 | 0.1590 | 2.24 | 2.34 | 3.94 |
| 0.475 | 0.515 | 0.1772 | 2.36 | 2.46 | 4.36 |
| 0.50 | 0.545 | 0.1963 | 2.50 | 2.60 | 4.91 |

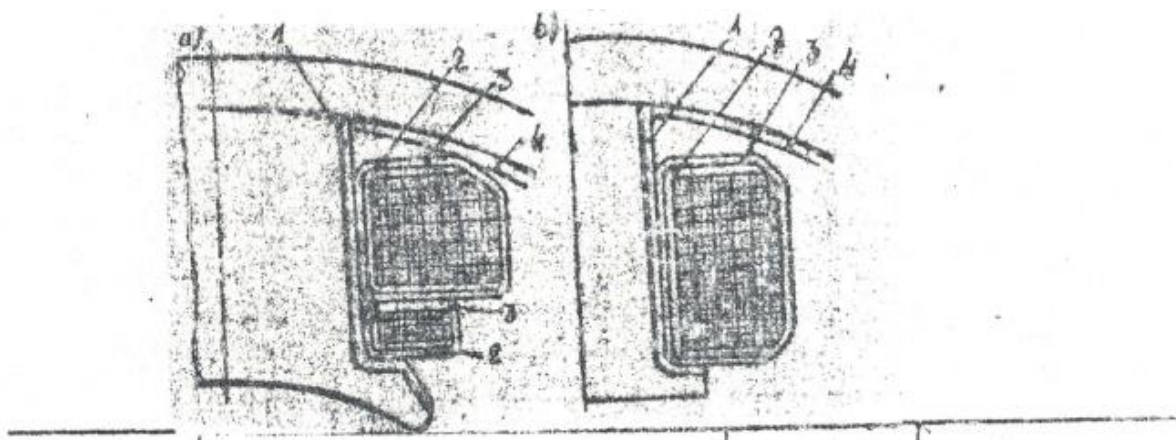
Tableau. 6 Fils ronds émaillés

| Tronçons du circuit magnétique | Symboles | IP44 | | | | | IP23 | | | | | |
|--|--------------------|--------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|
| | | 2p=2 | 4 | 6 | 8 | 10,12 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Culass. du stat. | B _a | | 1,4-1,6 | | 1,8-1,95 | 1,9-1,2 | | 1,45-1,6 | | 1,3-1,4 | | 1,1-1,3 |
| Dents du stat. section const. enr. fil à fil | B _{st} | | | 1,7-1,9 | | | 1,9-2,1 | | 1,8-2,0 | | 1,7-1,9 | |
| Dans la section la plus étroite | | | | | 1,75-1,95 | | | | | 1,8-2,0 | | |
| encoche d-fermée | B _{stmax} | | | | | | | | 1,7-1,9 | | | |
| encoche ouverte | B _{stmax} | | | 1,6-1,8 | | | | | | | | |
| Culass. du rotor | B _r | ≤ 1,45 | ≤ 1,25 | ≤ 1,15 | | ≤ 0,85 | ≤ 0,85 | ≤ 1,35 | ≤ 1,25 | | ≤ 0,85 | |
| à onglet | D _r | - | ≤ 1,25 | ≤ 1,05 | | ≤ 0,75 | - | ≤ 1,35 | ≤ 1,15 | | ≤ 0,85 | |
| à bague | B _r | - | ≤ 1,35 | ≤ 1,20 | | ≤ 0,10 | - | ≤ 1,45 | ≤ 1,20 | | ≤ 1,0 | |
| Dents du rotor section const. | | | | | 1,75-1,85 | | | | | 1,8-1,95 | | |
| (encoche ovale) | | | | | | | | | | 1,3-1,4 | | |
| à onglet | | | 1,2-1,3 | | 1,15-1,6 | | | 1,4-1,8 | | 1,3-1,4 | | |
| à bague | | | 1,3-1,4 | | 1,7-1,9 | | | 1,4-1,8 | | 1,3-1,4 | | |

Tableau. 7 L'induction magnétique admissible dans les tronçons du circuit magnétique

| Epaisseur d'une Tôle, mm | Isolation des tôles | | |
|--------------------------|---------------------|--------|--------|
| | non isolées oxydées | vernis | papier |
| 1,0 | 0,98 | 0,97 | 0,95 |
| 0,5 | 0,97 | 0,95 | 0,90 |
| 0,35 | 0,95 | 0,93 | 0,87 |

Tableau. 8 Coefficients de remplissage de paquet on l'acier



| Position | Matériaux | Epaisseur [mm] | Nombre de couches |
|----------|---|----------------|-------------------------------|
| 1 | Resine epoxyde | 1,00 | 1 |
| 2 | Isolation à base de tissu et de Mica verni | 0,25 | 1 |
| 3 | Ruban en verre | 0,10 | 1 en demire couverture |
| 4 | Stratifié en pabre de verre | 0,50 | 1 |

Tableau. 9 Isolation d'enroulement d'excitation

| 2p | Nombre d'encoche du stator | Nombre d'encoche rotor | |
|----|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | | sans inclinaison | avec inclinaison |
| 4 | 12 | 9 ; | 15; |
| | 18 | 10; 14 ; | 18; 22 |
| | 24 | 15; 16; 17; 32 | 16; 18; 20; 30; 33; 34; 35; 36 |
| | 36 | 26; 44; 46 | 24; 27; 29; 30; 32; 34; 45; 48 |
| | 42 | 34; 50; 52; 54 | 33; 34; 38; 51; 53 |
| | 48 | 34; 38; 56; 58; 62; 64 | 36; 38; 39; 40; 44; 57; 59 |
| | 60 | 50; 52; 68; 70; 74 | 48; 49; 51; 56; 64; 69; 71 |
| | 72 | 62; 64; 80; 82; 86 | 61; 63; 68; 76; 81; 83 |

Tableau. 10 Le nombre d'encoche préférable des moteurs asynchrone en cage

| k_{ar} | h |
|----------|--------------|
| 0.19 | 50-63 |
| 0.23 | 71-250 |
| 0.22 | 280-355 2p=2 |
| 0.23 | 280-355 2p=4 |
| 0.23 | 400-500 |

Tableau. 11 Rapport k_{ar} entre D_{ar} et D_a

Annexe B

| B, T | H, A/m | | | | | | | | | |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| 0,4 | 124 | 127 | 130 | 133 | 136 | 138 | 141 | 144 | 147 | 150 |
| 0,5 | 154 | 157 | 160 | 164 | 167 | 171 | 174 | 177 | 180 | 184 |
| 0,6 | 188 | 191 | 194 | 198 | 201 | 205 | 208 | 212 | 216 | 220 |
| 0,7 | 223 | 226 | 229 | 233 | 236 | 240 | 243 | 247 | 250 | 253 |
| 0,8 | 256 | 259 | 262 | 265 | 268 | 271 | 274 | 277 | 280 | 283 |
| 0,9 | 286 | 290 | 293 | 297 | 301 | 304 | 308 | 312 | 316 | 320 |
| 1,0 | 324 | 329 | 333 | 338 | 342 | 346 | 350 | 355 | 360 | 365 |
| 1,1 | 370 | 375 | 380 | 385 | 391 | 396 | 401 | 406 | 411 | 417 |
| 1,2 | 424 | 430 | 436 | 442 | 448 | 455 | 461 | 467 | 473 | 479 |
| 1,3 | 486 | 495 | 504 | 514 | 524 | 533 | 543 | 554 | 564 | 585 |
| 1,4 | 586 | 598 | 610 | 622 | 634 | 646 | 658 | 670 | 683 | 696 |
| 1,5 | 709 | 722 | 735 | 749 | 763 | 777 | 791 | 805 | 820 | 835 |
| 1,6 | 850 | 878 | 906 | 934 | 962 | 990 | 1020 | 1050 | 1080 | 1110 |
| 1,7 | 1150 | 1180 | 1220 | 1250 | 1290 | 1330 | 1360 | 1400 | 1440 | 1480 |
| 1,8 | 1520 | 1570 | 1620 | 1670 | 1720 | 1770 | 1830 | 1890 | 1950 | 2010 |
| 1,9 | 2070 | 2160 | 2250 | 2340 | 2430 | 2520 | 2610 | 2700 | 2800 | 3020 |
| 2,0 | 3150 | 3320 | 3500 | 3680 | 3860 | 4040 | 4200 | 4480 | 4760 | 4920 |
| 2,1 | 5110 | 5440 | 5740 | 6050 | 6360 | 6670 | 7120 | 7570 | 8020 | 8470 |
| 2,2 | 8920 | 9430 | 9940 | 10460 | 10980 | 11500 | 12000 | 12600 | 13200 | 13800 |
| 2,3 | 14400 | 15100 | 15800 | 16500 | 17200 | 18000 | 18800 | 19600 | 20500 | 21400 |

Tableau. 12 Toles d'acier magnétique 2013 (Courbe d'aimantation des dents d'un moteur asynchrone

| B, T | H, A/m | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| 0,4 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |
| 0,5 | 64 | 65 | 66 | 67 | 69 | 71 | 72 | 74 | 75 | 78 |
| 0,6 | 80 | 81 | 83 | 85 | 87 | 89 | 91 | 93 | 95 | 97 |
| 0,7 | 100 | 102 | 104 | 106 | 108 | 111 | 113 | 115 | 118 | 121 |
| 0,8 | 124 | 126 | 129 | 132 | 135 | 138 | 140 | 143 | 146 | 149 |
| 0,9 | 152 | 155 | 158 | 161 | 164 | 168 | 171 | 174 | 177 | 181 |
| 1,0 | 185 | 188 | 191 | 195 | 199 | 203 | 206 | 209 | 213 | 217 |
| 1,1 | 221 | 225 | 229 | 233 | 237 | 241 | 245 | 249 | 253 | 257 |
| 1,2 | 262 | 267 | 272 | 277 | 283 | 289 | 295 | 301 | 307 | 313 |
| 1,3 | 320 | 327 | 334 | 341 | 349 | 357 | 365 | 373 | 382 | 391 |
| 1,4 | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | 450 | 464 | 478 | 492 | 506 |
| 1,5 | 520 | 542 | 564 | 586 | 608 | 630 | 654 | 678 | 702 | 726 |
| 1,6 | 750 | 788 | 826 | 864 | 902 | 940 | 982 | 1020 | 1070 | 1110 |
| 1,7 | 1150 | 1220 | 1290 | 1360 | 1430 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 |
| 1,8 | 2000 | 2160 | 2320 | 2480 | 2650 | 2810 | 2960 | 3110 | 3270 | 3420 |
| 1,9 | 3570 | 3800 | 4030 | 4260 | 4490 | 4720 | 4930 | 5140 | 5350 | 5560 |
| 2,0 | 5770 | 6000 | 6300 | 6600 | 7000 | 7400 | 7900 | 8400 | 9000 | 9700 |

Tableau. 13 Toles d'acier magnétique 2013 (Courbe d'aimantation de la culasse d'un moteur asynchrone)

Annexe B

| a , mm | b , mm | S , mm ² | a , mm | b , mm | S , mm ² |
|----------|----------|-----------------------|----------|----------|-----------------------|
| 4 | 30 | 120 | 5 | 50 | 250 |
| 4 | 40 | 160 | 5 | 60 | 300 |
| 4 | 50 | 200 | 6 | 30 | 180 |
| 4 | 60 | 240 | 6 | 40 | 240 |
| 5 | 30 | 150 | 6 | 50 | 300 |
| 6 | 40 | 200 | 6 | 60 | 360 |

Tableau. 14 Barres en aluminium à section rectangulaire

| La dimension b , mm | La dimension a , mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,50 | 1,60 | 1,70 | 1,80 | 1,90 | 2,00 | 2,10 |
| | Section théorique du fil, mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,00 | 1,463 | 1,545 | 1,626 | 1,706 | 1,785 | 1,905 | 2,025 | 2,145 | 2,265 | 2,425 | 2,585 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,12 | 1,559 | — | 1,734 | — | 1,905 | — | 2,160 | — | 2,435 | — | 2,753 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,24 | 1,655 | 1,749 | 1,842 | 1,934 | 2,025 | 2,160 | 2,294 | 2,429 | 2,565 | 2,742 | 2,921 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,36 | 1,751 | — | 1,950 | — | 2,145 | — | 2,429 | — | 2,735 | — | 3,080 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,50 | 1,863 | 1,970 | 2,076 | 2,181 | 2,285 | 2,435 | 2,585 | 2,736 | 2,910 | 3,085 | 3,285 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,65 | 1,983 | — | 2,211 | — | 2,435 | — | 2,753 | — | 3,098 | — | 3,495 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,80 | 2,103 | 2,225 | 2,346 | 2,466 | 2,585 | 2,753 | 2,921 | 3,089 | 3,285 | 3,481 | 3,705 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,00 | 2,263 | — | 2,526 | — | 2,785 | — | 3,145 | — | 3,535 | — | 3,985 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,15 | 2,383 | 2,522 | 2,661 | 2,799 | 2,935 | 3,124 | 3,313 | 3,502 | 3,723 | 3,943 | 4,195 | 4,510 | 4,825 | 4,992 | 5,307 | 5,622 | 5,937 | — | — | — |
| 3,35 | 2,543 | — | 2,841 | — | 3,135 | — | 3,537 | — | 3,973 | — | 4,475 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3,55 | 2,703 | 2,862 | 3,021 | 3,179 | 3,335 | 3,548 | 3,761 | 3,974 | 4,223 | 4,471 | 4,755 | 5,110 | 5,465 | 5,672 | 6,027 | 6,382 | 6,737 | 7,163 | — | — |
| 3,75 | 2,863 | — | 3,201 | — | 3,535 | — | 3,985 | — | 4,473 | — | 5,035 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4,00 | 3,063 | 3,245 | 3,426 | 3,606 | 3,785 | 4,025 | 4,265 | 4,505 | 4,785 | 5,065 | 5,385 | 5,785 | 6,185 | 6,437 | 6,837 | 7,237 | 7,637 | 8,117 | — | — |
| 4,25 | 3,263 | — | 3,651 | — | 4,035 | — | 4,545 | — | 5,098 | — | 5,735 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4,50 | 3,463 | 3,670 | 3,876 | 4,081 | 4,285 | 4,555 | 4,825 | 5,096 | 5,410 | 5,725 | 6,085 | 6,535 | 6,985 | 7,287 | 7,737 | 8,187 | 8,637 | 9,177 | — | — |
| 4,75 | 3,663 | — | 4,101 | — | 4,535 | — | 5,105 | — | 5,723 | — | 6,435 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5,00 | 3,863 | 4,095 | 4,326 | 4,556 | 4,785 | 5,085 | 5,385 | 5,685 | 6,035 | 6,385 | 6,785 | 7,285 | 7,785 | 8,137 | 8,637 | 9,137 | 9,637 | 10,24 | — | — |
| 5,30 | 4,103 | — | 4,596 | — | 5,085 | — | 5,721 | — | 6,410 | — | 7,205 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5,60 | 4,343 | 4,605 | 4,866 | 5,126 | 5,385 | 5,721 | 6,057 | 6,393 | 6,785 | 7,177 | 7,625 | 8,185 | 8,745 | 9,157 | 9,717 | 10,28 | 10,84 | 11,51 | — | — |
| 6,00 | 4,663 | — | 5,226 | — | 5,785 | — | 6,505 | — | 7,285 | — | 8,185 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6,30 | 4,903 | 5,200 | 5,496 | 5,791 | 6,085 | 6,463 | 6,841 | 7,219 | 7,560 | 8,101 | 8,605 | 9,235 | 9,865 | 10,35 | 10,98 | 11,61 | 12,24 | 12,99 | — | — |
| 6,70 | — | — | 5,856 | — | 6,485 | — | 7,289 | — | 8,160 | — | 9,165 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7,10 | — | — | 6,216 | 6,551 | 6,885 | 7,311 | 7,737 | 8,163 | 8,660 | 9,157 | 9,725 | 10,44 | 11,15 | 11,71 | 12,42 | 13,13 | 13,84 | 14,69 | — | — |
| 7,50 | — | — | — | — | 7,285 | — | 8,185 | — | 9,160 | — | 10,29 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8,00 | — | — | — | — | 7,785 | 8,265 | 8,745 | 9,225 | 9,785 | 10,35 | 10,99 | 11,79 | 12,69 | 13,24 | 14,04 | 14,84 | 15,64 | 16,60 | — | — |
| 8,50 | — | — | — | — | — | — | 9,305 | — | 10,41 | — | 11,69 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Tableau. 15 Fils à section rectangulaire

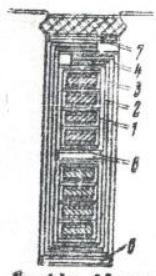
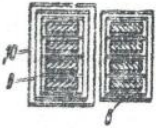
| Position | Matériaux Type | Épais- seur | Nombre de couches | | Épaisseur bilatérale, mm | |
|---|---|----------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | | suivant le large | suivant la hauteur | suivant le large | suivant la hauteur |
| Partie d'encoche  | Deformation de l'isol. lotion à cause d'imp. régulation | | | | 0,1 | 0,1 |
| | bande en verre | 0,1 | 1 couche à l'état | | 0,2 | 0,2 |
| | épaisseur total | | | | 0,3 | 0,3 |
| | tissu de verre verni | 0,2 | 2 | 3 | 0,4 | 0,6 |
| | micanite souple | 0,2 | 2 | 3 | 0,4 | 0,6 |
| | tissu de verre verni | 0,2 | 2 | 3 | 0,4 | 0,6 |
| | stratifié à fibres de verre | 0,5 | | 1 | | 0,5 |
| Tolérance de montage | 0,5 | | 1 | | 0,5 | |
| Épaisseur total sans câble | | | | | 2,0 | 4,7 |
| Partie frontale  | bande en verre | 0,2 | 1 couche en deux recouvrements | | 0,8 | 0,8 |
| | tissu de verre verni | 0,2 | | | 0,8 | 0,8 |
| | bande en verre | 0,2 | | | 0,8 | 0,8 |
| | Épaisseur total | | | | 1,6 | 1,6 |

Tableau. 16 Isolation des enroulements rotatifs des machines
asynchrones à rotor bobiné, $P \leq 100$ KW

Résumé

Les travaux de cet mémoire reposent sur l'utilisation de méthodes de calcul et d'analyse pour concevoir des dispositifs asynchrones .Le logiciel peut déterminer les dimensions de différentes parties de la machine, telles que le stator, le rotor, les pièces électriques et magnétiques. Il est basé sur des formules empiriques et des graphiques. De l'étude des résultats de la procédure de conception, c'est-à-dire courant nominal, couple nominal, couple, etc., la méthode (guide de construction (TROCHINE, GRASSEVITER, TRAIAlA)) et Algorithme de programme principal des circuits électromagnétiques peut être déduite. Ils donnent des valeurs proches de celles calculées, bien qu'elles soient conditionnées par les courbes et les équations empiriques.

الملخص

يعتمد العمل في هذه الرسالة على استخدام طرق الحساب والتحليل لتصميم الأجهزة غير المتزامنة ، حيث يمكن للبرنامج تحديد يعتمد على الصيغ .أبعاد الأجزاء المختلفة من الجهاز ، مثل الجزء الثابت ، والدوار ، والأجزاء الكهربائية والمغناطيسية من دراسة نتائج إجراءات التصميم ، أي التيار المقنن ، والعزم المقنن ، وعزم الدوران ، وما إلى .التجريبية والرسوم البيانية وخوارزمية البرنامج ((TROCHINE ،GRASSEVITER ،TRAIAlA))دليل البناء)ذلك ، يمكن استنتاج الطريقة يعطون قيمًا قريبة من تلك المحسوبة ، على الرغم من أنها مشروطة بالمنحنيات والمعادلات .الرئيسية للدوائر الكهرومغناطيسية التجريبية

..

Abstract

The work in this dissertation is based on the use of calculation and analysis methods to design asynchronous devices. The software can determine the dimensions of different parts of the machine, such as the stator, the rotor, the electrical and magnetic parts. . It is based on empirical formulas and graphs. From the study of the results of the design procedure, i.e. rated current, rated torque, torque, etc., the method (construction guide (TROCHINE, GRASSEVITER, TRAIAlA)) and main program algorithm of electromagnetic circuits can be deduced. They give values close to those calculated, although they are conditioned by the curves and the empirical equations.