



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : machine électrique

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

*Etude en vue de la rénovation d'une
machine asynchrone MT.*

Présenté par :
LABED Med Lamine
Soutenu le : 05 Juin 2012

Devant le jury composé de :

Dr BEN MEDDOUR Mostefa

Dr TITAOUINE Abdenacer

Mr MOHAMMEDI Messaoud

MCB

MCA

MAA

President

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2011 / 2012

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : machine électrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

*Etude en vue de la rénovation d'une
machine asynchrone MT.*

Présenté par :

Mr.LABED Med Lamine

Avis favorable de l'encadreur :

Dr. TITAOUINE Abdenacer

Avis favorable du Président du Jury

Dr.BEN MEDDOUR Mostefa

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : machine électrique

Thème :

*Etude en vue de la rénovation d'une
machine asynchrone MT.*

Proposé par : Dr. TITAOUINE Abdenacer

Dirigé par : Dr. TITAOUINE Abdenacer

RESUMES (Français et Arabe)

La conception et le dimensionnement des machines électriques sont des axes très importants dans l'industrie électrique surtout pour la construction et la fabrication des matériels dans une durée limitée et rapide. Elle est applicable dans les différents types de machines électriques.

انجاز و بناء و إنشاء الماكينات الكهربائية يعتبر من أهم المحاور في الصناعة الكهربائية خاصة في بناء و إنشاء العتاد الكهربائي في مدة قصيرة و بطريقة سريعة

REMERCIEMENT

Tout d'abord je tien remercier le bon dieu tout puissant, qui nous a donner une force d'accomplir ce modeste travail.

*J'exprime notre profonde gratitude à monsieur **Titaouine Abdenacer** pour avoir assumé la responsabilité de nous encadrer, nous orienter et de nous conseiller tout au long de la réalisation de ce travail ainsi pour la confiance qu'il nous a accordée.*

Je remercié à tous les ingénieurs et les techniciens électromécaniques : Ben Khata Dj mouai, Najib, Abd elhafid, Abd elhamid, Nabil, Fateh et toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin, pour les conseils prodigués tout au long de ce stage.

Je remercié très chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être rapporteurs de notre mémoire.

*Je vif remerciement à tous nos enseignants du département **Génie électrique** qui n'ont préservé aucun effort pour nous encourager.*

Je tiens à remercier toutes personnes qui nous ont aidé à réalisé ce modeste travail.

Mohamed Lamine Labed

DEDICACE

Je dédie se travail :

- *A mes chers parents, que dieu me les garde*
- *A mes chers frères :Issam, Mebarek et Hicham*
- *A mes sœurs : Zahra et sana et ses enfant Malak et Mariame*
- *A ma très chère fiancé Chorfi Samia, son frère Saif, ses sœurs Ahlam et Amira et ses parent*
- *A tous mes fideles amis :Labed Iness, Dadi mohamed , Ben djaballah toufick, , Atig Ahmed*
- *A toute la promotion 2012.*

Et toute ma famille et les proches

Mohamed Lamine Labed

Liste des Figures

<i>I.1. Enroulement de principe d'un stator bipolaire monophasé à pôles alternés (imbriqué).....</i>	<i>07</i>
<i>I.2. Enroulement de principe d'un stator tétra polaire monophasé à pôles conséquents (ondulé)</i>	<i>08</i>
<i>I.3. Enroulement d'un stator monophasé à pôles alternés et bobines concentriques</i>	<i>08</i>
<i>I.4. Enroulement d'un stator monophasé a pôles alternés comportant 4 pôles 24 encoches</i>	<i>09</i>
<i>I.5. Schéma d'enroulement monophasé ondulé (a pole conséquents).....</i>	<i>09</i>
<i>I.6. Schéma de degré géométrique et électrique.....</i>	<i>10</i>
<i>I.7. Représentation panoramique du bobinage monophasé d'un stator comportant 8 pôles et 2 encoches par pole.....</i>	<i>11</i>
<i>I.8. Enroulement statorique.....</i>	<i>12</i>
<i>I.9. Schéma de principe d'une cage d'écureuil.....</i>	<i>12</i>
<i>I.10. Un enroulement diphasé a bobines concentrique.....</i>	<i>13</i>
<i>I.11. Encoche d'un enroulement à deux couches.....</i>	<i>14</i>
<i>I.12. Encoche d'un enroulement à une couche.....</i>	<i>14</i>
<i>I.13. Le schéma simplifié d'un couplage en série des bobines.....</i>	<i>15</i>
<i>I.14. Schéma de principe de bobinage d'un stator.....</i>	<i>15</i>
<i>II.1. (a) court-circuit entre spires</i>	<i>19</i>
<i>II.1.(b) le courant de circulation.....</i>	<i>19</i>
<i>II.1.(c) court-circuit entre deux faisceaux.....</i>	<i>19</i>
<i>II.2. Défaut d'une barre cassée.....</i>	<i>20</i>
<i>II. 3. Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.</i>	<i>21</i>
<i>II. 4. Déséquilibre statique.....</i>	<i>22</i>
<i>II. 5. Déséquilibre dynamique.....</i>	<i>22</i>
<i>II. 6. Désalignement angulaire.....</i>	<i>22</i>
<i>II.7. décalage d'axe.....</i>	<i>23</i>
<i>II.8. Fléchissement d'arbre.....</i>	<i>23</i>
<i>III.1. Le pas dentaire du stator.....</i>	<i>31</i>
<i>III.2. Configuration statorique pour un pas dentaire.....</i>	<i>35</i>
<i>III.3. les encoches du rotor sont le plus ovales.....</i>	<i>39</i>
<i>IV.1. Repérage du flasque.....</i>	<i>49</i>
<i>IV.2. Nettoyage les encoche de stator.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.3. Essai de fer.....</i>	<i>50</i>
<i>IV.4. photo de thermomètre infrarouge (avant réparation).....</i>	<i>51</i>
<i>IV.5. photo de thermomètre infrarouge (Après réparation).....</i>	<i>52</i>
<i>IV.6. Diagramme de bobinage.....</i>	<i>53</i>

<i>IV.7.Montage de bobinage.....</i>	<i>54</i>
<i>IV.8.Couplage des moteurs asynchrones triphasés.....</i>	<i>54</i>
<i>IV.9.Micro ohmmètre CA10, CHAUVIN ARNOUX.....</i>	<i>55</i>
<i>IV.10.Test Isolation entre les bobines.....</i>	<i>56</i>
<i>IV.11.Mégohmmètre ISOL 5003.....</i>	<i>56</i>
<i>IV.12.Test Isolement entre chaque bobine et la terre.....</i>	<i>57</i>

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	01
------------------------------------	----

Chapitre I

Construction des machines asynchrones

<i>I.1. Introduction</i>	02
<i>I.2 Constitution de la machine asynchrone MT à cage d'écureuil</i>	02
<i>I.2.1 Stator</i>	03
<i>I.2.2 Rotor (rotor à cage)</i>	04
<i>I.2.3 Carcasse</i>	05
<i>I-2.4Ventilation</i>	05
<i>I.3.Enroulements des machines à courant alternatif</i>	06
<i>I.3.1 Rappel sur les paramètres des enroulements des machines à courant alternatif</i>	06
<i>I.3.2 Etude des enroulements a courant alternatif</i>	07
<i>I.3.3Coefficient de bobinage K1</i>	10
<i>I.3.4 Le couplage des bobines</i>	11
<i>I.3.5 Les enroulement des moteurs asynchrones triphasés</i>	11
<i>I.3.6 Enroulements triphasés</i>	13
<i>I.3.6.1 Enroulements triphasés à deux couches</i>	13
<i>I.3.6.2 Enroulements triphasés à une couche</i>	14
<i>I.3.7 Bobinage des stators à deux polarités :</i>	14
<i>I-4-Conclusion</i>	16

Chapitre II

Classification des défauts au niveau de la MAS

<i>II.1.Introduction</i>	17
<i>II.2Classification des défauts au niveau de la MAS</i>	17
<i>II.2.1. Les défaillances de la machine asynchrone</i>	17
<i>II.2.1.1. Défaillances d'ordre électriques</i>	17

<i>II.2.1.1.1. Défaux des circuits électriques statoriques</i>	17
<i>II.2.1.1.1.1. Les courts circuits internes</i>	18
<i>a- Court-circuit spire neutre</i>	18
<i>b- Court-circuit au milieu de la phase</i>	18
<i>c- Court-circuit entre phases différentes</i>	18
<i>II.2.1.1.1.2. Les isolations électriques</i>	19
<i>II.2.1.1.1.3. Décharges partiels</i>	19
<i>II.2.1.1.2. Défaux des circuits électriques rotoriques</i>	19
<i>II.2.1.1.2.1. Les cassures des barres</i>	20
<i>II.2.1.1.2.2 Cassure d'une portion d'anneau de court-circuit</i>	20
<i>II.2.1.2.défaillances d'ordre mécanique</i>	21
<i>II.2.1.2.1.Déséquilibre : défauts de balourd</i>	21
<i>II.2.1.2.2. Défaut d'alignement ou de flexion du rotor</i>	22
<i>II.2.1.2.3. Défaux induits par un frottement rotor/stator</i>	23
<i>II.2.1.2.4 Défaux spécifiques aux roulements</i>	24
<i>II.2.1.2.5 Défaillance du flasque</i>	24
<i>II.3 Origines des défauts</i>	24
<i>II.4 Causes des défaillances</i>	24
<i>II.4.1. Causes des défauts statoriques</i>	25
<i>II.4.2.Causes des défauts rotorique</i>	25
<i>II.4.3. Causes des défauts de roulement à billes</i>	25
<i>II.5 Conclusion</i>	26

Chapitre III

Calcul de moteur asynchrone.

<i>III.1Introduction</i>	27
<i>III.2Données nécessaires pour la conception des machines électriques</i>	27
<i>III.3 Ordre de choix des dimensions principales</i>	27
<i>III.3.1Le nombre de pôles</i>	28

III.3.2	La hauteur préalable de l'axe de rotation.....	28
III.3.3	Le diamètre extérieur du stator	28
III.3.4	Le pas polaire	28
III.3.5	la puissance apparente.....	28
III.3.6	les charges électromagnétiques préalables et l'induction magnétiques.....	29
III.3.7	le coefficient d'enroulement.....	29
III.3.8	La longueur de l'entrefer	29
III-3-9	détermination du rapport λ	29
III.3.10	Organigramme pour la détermination des dimensions principale.....	30
III.4.	calcul de l'enroulement statorique	30
III.4.1	Ordre de calcul de l'enroulement statorique.....	30
III.4.2.	Les nombres d'encoche par pôle et par phases	31
III.4.3	Le pas dentaire du stator	31
III.4.4.	Le nombre d'encoche statorique.....	31
III.4.5.	Le courant nominale d'une phase statorique.....	31
III.4.6.	Le nombre de conducteur efficaces dans une encoche du stator.....	31
III.4.7.	Le nombre de vois $a1$	32
III.4.8.	Le nombre de spires d'une phase du stator.....	32
III.4.9	La charge linéaire statorique corrigée	32
III.4.10	Le flux magnétique dans l'entrefer	32
III.4.12	La section du fil efficace	32
III.4.15	Diamètre du conducteur	33
III.4.16	la densité du courant	33
III.4.17	Organigramme pour le calcul de l'enroulement statorique.....	33
III.5.	Les dimension de la zone des dentaire et de l'entrefer.....	35
III.5.1.	Ordre de calcul des dimensions de la zone dentaire statorique et l'entrefer.....	35
III.5.2	La largeur de la dent	35
III.5.3	L' hauteur de la culasse	36
III.5.4	Les dimension de l'encoche.....	36
III.5.5	Largeur de l'ouverture de l'encoche.....	36

III.5.6 Calcul des dimensions de l'encoche réel.....	36
III.5.8 La section de la partie de l'encoche occupée par les conducteurs.....	37
III.5.9.Le coefficient de remplissage de l'encoche	37
III.5.10.Organigramme de calcul de la zone de denture du stator.....	37
III.6 Calcul du rotor à cage et circuit magnétique	38
III.6.1Ordre de calcul du rotor à cage	38
III.6.1.1La valeur de l'entrefer	38
III.6.1.2 Le nombre d'encoche du rotor.....	38
III.6.1.3 Le diamètre extérieur	38
III.6.1.4 La longueur noyau	38
III.6.1.5 Le diamètre de l'arbre	38
III.6.1.6 Le pas dentaire	38
III.6.1.7 Le diamètre intérieur du noyau.....	38
III.6.1.8 Le courant dans la barre	39
III.6.1.9 La section de la barre.....	39
III.6.1.10 La longueur admissible des dents.....	39
III.6.1.11 les dimensions de l'encoche	40
III.6.1.12-la hauteur totale de l'encoche	40
III.6.1.13-la section de la barre	40
III.6.1.14-La densité du courant dans la barre.....	40
III.6.1.15-La section de l'anneau circuitâge.....	40
III.6.1.16.Organigramme pour le calcul du rotor.....	41
III.6.2.Calcul du courant d'aimantation (circuit magnétique)	42
III.6.2.1.L'induction magnétique dans la dent de stator	42
III.6.2.2.L'induction magnétique dans la dent de rotor	42
III.6.2.3.L'induction dans les dos de stator	42
III.6.2.4.L'induction dans les dos de rotor	42
III.6.2.5.Coefficient de l'entrefer.....	43
III.6.2.6.calcul de la FMM dans l'entrefer.....	43
III.6.2.7.La FMM dans la zone dentaire de stator.....	43

III.6.2.8.la FMM de la zone dentaire du rotor	43
III.6.2.9.Le coefficient de saturation de la zone dentaire.....	43
III.6.2.10.La FMM des dos du stator et du rotor.....	44
III.6.2.11.La FMM par deux pole	44
III.6.2.12.le coefficient de saturation	44
III.6.2.13.Le courant d'aimantation.....	44
III.6.2.14.La valeur relative	44
III.6.2.15.Organigramme principale de calcul itératif des circuits magnétiques	45
III.7.Conclusion	47

Chapitre IV

Bobinage d'un moteur asynchrone MT

IV.1 Introduction	48
IV.2 Matériel utilisé	48
IV.3 Caractéristiques techniques du moteur.....	48
IV.4 Bobinage d'une machine asynchrone	48
IV.4.1 Démontage du moteur	48
IV.4.2Nettoyage les encoche de stator.....	50
IV.4.3Essai de fer	50
IV.4.3.1Matériel utilisé.....	51
IV.4.3.2 Critères d'acceptation.....	51
IV.4.3.3 Résulte d'essai.....	51
a)Constatations	52
b) Recommandation.....	52
IV.4.3.4 Après réparation.....	52
IV.4.4 bobinage	52
IV.5Essais en fin de réparation.....	54
IV.5.1Test de bobinage.....	54
IV.5.1.1Continuité des bobines	55

IV.5.1.1.1 Matériel utilisé55

IV.5.1.2 Mesure des résistances ohmiques pour le bobinage statorique.....55

IV.5.3 Test Isolation entre les bobines.....56

IV.5.4 Test Isolement entre chaque bobine et la terre.....57

IV.6 Conclusion.....57

Conclusion générale.....58

Bibliographie

Annexe

Notation

A	La charge électromagnétique préalable [A/m].
Ac	La charge linéaire statorique corrigée [A/m].
Aj1	La charge thermique [$A^2/m \cdot mm^2$].
a ₁	Le nombre de voix d'enroulements.
Ba	Induction dans le dos du stator [T].
Bc	L'induction du champ magnétique corrigée [T].
bf	Largeur de l'ouverture de l'encoche [mm].
Bj	Induction dans le dos du rotor [T].
bis	L'épaisseur de l'isolation [mm].
bz	La largeur de la dent [mm].
Bz	L'induction maximale dans la dent [T].
B δ	L'induction dans l'entrefer [T].
b1	Largeur de base de l'encoche [mm].
b2	Largeur près de l'entrefer [mm].
cos φ	Le facteur de puissance.
Da	Le diamètre extérieur [mm].
D	Le diamètre intérieur du stator [mm].
Dj	Le diamètre intérieur du noyau [mm].
ds1	Diamètre de conducteur [mm].
f	la fréquence [Hz].
Fa	FMM dans le dos du stator [A].
Fj	FMM dans le dos du rotor [A].
Fz	FMM dans les dents [A].
F δ	FMM dans l'entrefer [A].
H	La hauteur préalable de l'axe de rotation [mm].
Ha	l'intensité du champ dans les dos de stator [A/m].
ha	La hauteur de la culasse [mm].
hc	La hauteur du dos [mm].
hen	La hauteur de l'encoche [mm].
Hj	l'intensité du champ dans les dos de rotor [A/m].
H _z	l'intensité du champ dans les dents [A/m].
h1	La distance entre largeur de l'encoche [mm].

I_m	Le courant d'aimantation [A].
I_{1n}	Le courant nominal d'une phase statorique [A].
I_2	Le courant dans la barre [A].
J_1	La densité du courant [A/ mm ²].
kar	Rapport des diamètres D_2/D_{a1} .
K_b	Facteur de forme.
KB_1	Le coefficient d'enroulement.
K_d	Le rapport des diamètres D/D_{a1} .
K_r	Le coefficient de remplissage.
K_S	facteur de saturation.
K_s	Le coefficient de saturation de la zone dentaire.
K_{scm}	Le coefficient de saturation du circuit magnétique.
$K\delta$	Le coefficient total de correction pour la longueur d'entrefer.
l	La longueur de l'entrefer [mm].
L_a	Les longueurs théoriques des lignes de champ magnétique du stator [mm].
L_{en}	La largeur de l'encoche [mm].
L_j	Les longueurs théoriques des lignes de champ magnétique du rotor [mm].
L_1	pas des canaux de ventilation [mm].
m	nombre de phase.
n	La vitesse de synchronisme [tr/min].
nel	nombre des fils élémentaires.
P_i	La puissance apparente [kvA].
P_2	Puissance utile sur l'arbre [kw].
Q_i	Facteur du courant.
q_1	Le nombre d'encoche par pôle et par phase.
S_{an}	La section de l'anneau circuitage [mm ²].
S_B	La section de la barre [mm ²].
S_{ep}	La section des paquets dans l'encoche [mm ²].
S'_{en}	La section de la partie de l'encoche occupée par les conducteurs [mm ²].
S_{is}	La section de l'isolant [mm ²].
S_{1ef}	La section du fil efficace [mm ²].
t	Le pas dentaire [mm].
U_{en}	Le nombre de conducteurs efficaces dans une encoche de stator.
V	Tension nominale [v].
W_1	Le nombre de spires d'une phase du stator.

z	Le nombre d'encoches.
α_i	Facteur de distribution du champ.
δ	valeur de l'entrefer [mm].
τ	Le pas polaire [mm].
η	Le rendement.
λ	rapport l/τ .
Φ	Le flux magnétique dans l'entrefer [wb].
$2p$	Le nombre de pôles.

Introduction

Le moteur asynchrone est le moteur électrique le plus important dans l'industrie, parce qu'il représente au moins 80% des moteurs électriques utilisés couramment.

Les statistiques menées par plusieurs firmes sur l'amélioration de la fiabilité des machines électriques ont montré que 70% à 90% des défauts ou des arrêts de ces dernières sont dues aux enroulements.

Dans ce mémoire ont consacré à l'étude des machines asynchrones et ses enroulements et comprend quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, on présente : des généralités des constructions et des enroulements des machines asynchrone.

Dans le deuxième chapitre, on va présenter des défauts au niveau de la machine asynchrone

Dans le troisième chapitre on va présenter le calcul de moteur asynchrone (calcul des démentions principaux, calcul des enroulements statoriquesetc).

En fin, dans le quatrième chapitre on va présenter la réalisation pratique de bobinage.

I.1. Introduction

L'objectif de ce premier chapitre est d'effectuer quelques rappels élémentaires sur des notions de base de la machine asynchrone.

Cette présentation débute par un rappel sur la constitution des machines électriques, et plus particulièrement sur celle de la machine asynchrone à cage d'écureuil et nous avons fait rappel sur tout l'enroulement à courant alternatif. Le bobinage est destiné à créer lorsqu'on l'alimente par un système de tension ou de courant triphasé, un champ magnétique tournant.

I.2 Constitution de la machine asynchrone MT à cage d'écureuil

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements.

Le stator est fixe : on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence.

I.2.1 Stator :

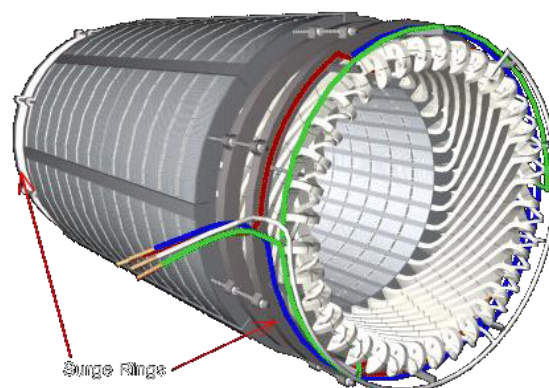
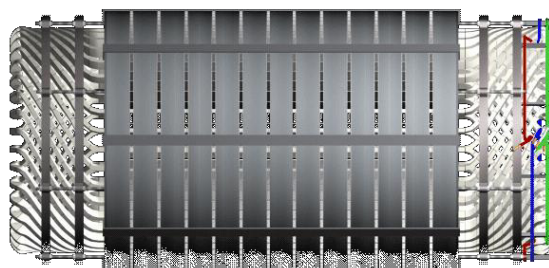
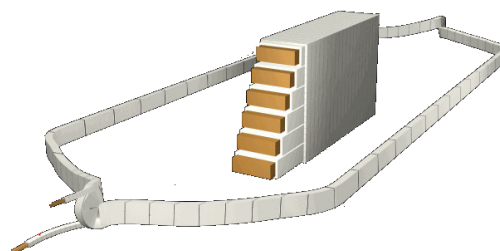
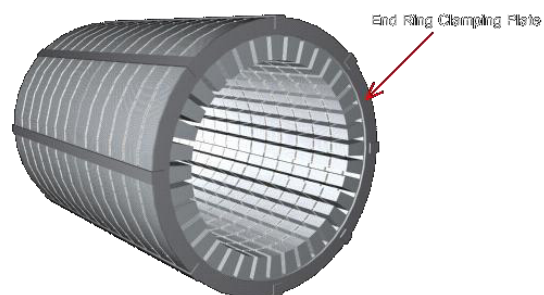
Le circuit magnétique stator est constitué des tôles minces au silicium à faibles pertes, vernies, empilées et séparées par des canaux de refroidissement serrées à la presse et solidement maintenues en place par des plaques de serrage placées à chaque extrémité.

Des encoches régulièrement réparties et s'ouvrant sur l'alésage de la tôle sont destinées à recevoir le bobinage de stator. Après découpage, les tôles sont ébavurées et vernies de façon à éviter tout court-circuitage entre ces tôles et ainsi à réduire les pertes supplémentaires.

Les tôles sont réparties en paquets, séparées par des entretoises, de façon à ménager des canaux de ventilation suffisamment nombreux pour éviter la création des points chauds. L'ensemble de paquets et entretoise de tôle est serré entre les deux plaques de serrage.

Ces deux plaques sont reliées entre elle par des barreaux répartis à la périphérie et soudés sur les plaques.

Cet ensemble est tourné de façon à venir s'emboîter dans les anneaux de centrages de la carcasse.



Le montage est effectuée à chaud après bobinage. Le positionnement définitif est assuré en rotation par clavetage et axialement par vissage.

L'enroulement de stator est en cuivre à haute conductibilité, divisé en conducteurs élémentaires dans les dimensions sont aussi réduite que possible, de sorte que les pertes supplémentaires dans les encoches soient négligeables.

L'enroulement est de type réparti à deux section par encoches et à pas raccourci, de façon à réduire les harmoniques et pertes superficielles qui en résultent.

L'isolation des bobines est faite au moyen d'un enrubannage en ruban. Puis l'enroulement stator reçoit une protection anti-effluves.

Après mise en place des bobines l'ensemble circuit magnétique et enroulement stator est traité sous vide puis imprégné de vernis.

Peu après on procède à une mise sous pression d'azote pour améliorer la pénétration du vernis dans les enroulements.

Après imprégnation et polymérisation, l'enroulement stator reçoit un vernis de finition.

Les entrées des différentes phases sont ramenées dans une boîte à bornes.

Le neutre peut soit être forme à intérieur du moteur, soit être ramené dans une boîte à bornes.

La machine comporte des sondes de mesure de la température qui se substituent localement au séparateur d'encoche.

Les sondes sont réparties sur les 3 phases et les encoches où elles se situent sont repérées [1].

I.2.2 Rotor (rotor à cage)

Le circuit magnétique rotor est constitué de tôles minces au silicium à faibles pertes, vernies, empilées et séparées par des canaux de refroidissement, serrées à la presse et solidement maintenues en place par des plaques de serrage placées à chaque extrémité.

Des encoches régulièrement réparties et s'ouvrant sur la périphérie de la tôle sont destinées à recevoir les conducteurs du circuit induit.

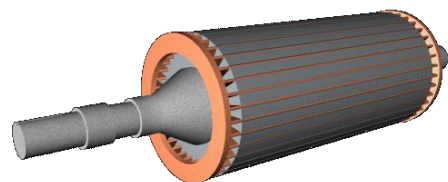
Après découpage les tôles sont ébavurées et vernies de façon à éviter tout court-circuitage entre ces tôles.

Les tôles sont réparties en paquets, séparés par des entretoises, de façon à ménager des canaux de ventilation suffisamment nombreux pour éviter la création de points chauds.

L'ensemble des paquets et entretoises de tôles est :

*centré sur l'arbre au niveau du noyau.

*serré axialement par les plaques de serrage, elle-même centrées sur l'arbre et bloquées en position par des segments d'arrêt.



*Immobilisé en rotation par clavetage.

Le circuit est une cage d'écureuil constituée de barreaux conducteurs en cuivre allié ou non directement logés dans les encoches et reliés à leurs extrémités par des anneaux de court-circuit.

La forme et le nombre des barreaux dans les encoches ainsi que les anneaux de court-circuit ont été spécialement étudiés de façon à garantir une parfaite résistance aux contraintes mécaniques et thermique.

La transmission de puissance est assurée par l'arbre. Il est réalisé en acier à haute résistance mécanique [1].

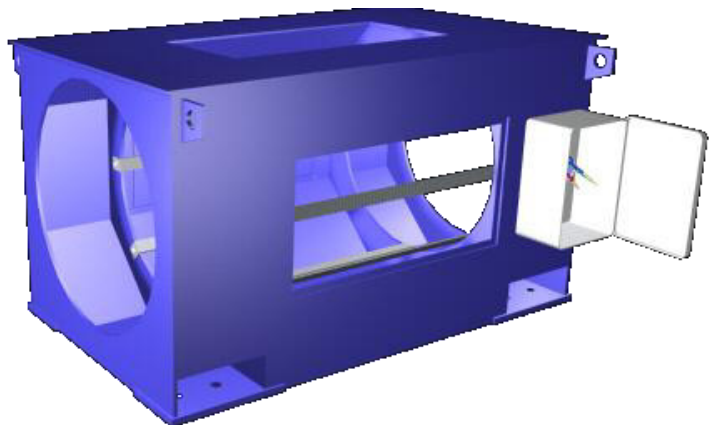
I.2.3 Carcasse

La carcasse est un ensemble mécano-soudé rigide qui assure le positionnement et la tôlerie et du bobinage stator ainsi que le centrage et la fixation des flasques paliers.

La carcasse comporte une armature constituée de tôles planes épaisses disposées perpendiculairement à l'axe, les tôles d'extrémités étant découpées et usinées pour permettre l'emboîtement des flasques paliers et d'entretoises reliant ces tôles de guidage d'air.

Des cloisonnages en tôle mince délimitent les chambres de ventilation de part et l'autre du stator.

Une enveloppe extérieure contribue à la rigide et assurer la protection de l'ensemble. Elle comporte les ouvertures nécessaires pour les passages de câblé, les bossages de fixation des boîtes à bornes et des différents accessoires.



De nombreux tubes dudgeonnés dans les tôles d'extrémité de la carcasse assurent les échanges thermiques entre l'air circulant dans le moteur et l'air extérieur [1].

I-2.4 Ventilation

Ventilation intérieure, type bilatérale

Les pertes de la machine (perte joule, fer, mécanique, ...) sont véhiculées vers l'échangeur à tubes de la carcasse par de l'air circulant en circuit fermé à l'intérieur du moteur. La mise en circulation de cet air est assurée par deux ventilateurs hélicoïdes aux montés coté accouplement et côté opposé à l'accouplement, entraînés par l'arbre du moteur et dont les pales sont réparties et orientées de façon à assurer le débit et la pression nécessaires avec un rendement optimum.

L'air est recyclé à l'intérieur de la machine et la refroidit en passant :

- *par les canaux de refroidissement aménagés dans le rotor.
- * par d'entrefer.
- *par les canaux de refroidissement aménagés dans le stator.
- *autour des têtes des bobines.

Cet air est alors refroidi par l'air extérieur dans l'échangeur thermique de la carcasse.

Ventilation extérieure.

La circulation de l'air extérieur au travers de l'échangeur thermique de la carcasse est assurée par un ventilateur centrifuge entraîné par l'arbre du moteur et monté à l'extrémité de l'arbre [1].

I.3.Enroulements des machines à courant alternatif

I.3.1 Rappel sur les paramètres des enroulements des machines à courant alternatif

L'enroulement dans toute les machines électriques est la pièce maitresse nécessaire pour la création de champ électromagnétique.

Tout enroulement électrique est défini par les paramètres suivants.

- Z : nombre d'encoche;
- 2p : nombre de pôles;
- m : nombre de phases;
- q : nombre d'encoches par pôle et par phase .défini par :

$$q = \frac{Z}{2P \times m}. \quad (\text{I-1})$$

La caractéristique essentielle de tout enroulement à courant alternatif est le nombre d'encoches qu'occupe une phase sous chaque pôle, celui-ci détermine le nombre de bobine dans un groupe.

Une autre caractéristique de l'enroulement est le pas polaire τ défini comme étant la distance entre deux lignes neutres consécutives on l'appelle aussi pas d'une section.

$$\tau = \frac{Z}{2P} \quad (\text{I-2})$$

Le périmètre de la circonférence statorique peut êtes déterminé à l'aide des paramètres de L'enroulement, c'est-à-dire :

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

D : Diamètre intérieur du stator

Ceci signifie que la circonférence statorique est composée de 2p pas polaires.[2]

Le pas de l'enroulement y ; c'est le nombre d'encoches par section .il peut être :

- $Y < m \times q = Z / (2 p)$: pour un pas raccourci;
- $Y = m \times q = Z / (2 p)$: pour un pas diamétral;
- $Y > m \times q = Z / (2 p)$: pour un pas allongé;

La vitesse du champ (vitesse synchrone) est liée directement au nombre de pôles de L'enroulement et de la fréquence du réseau c'est-à-dire:

$$N_s = 60f/p \quad (\text{I-4})$$

Avec:

N_s : la vitesse (tr/mn) .

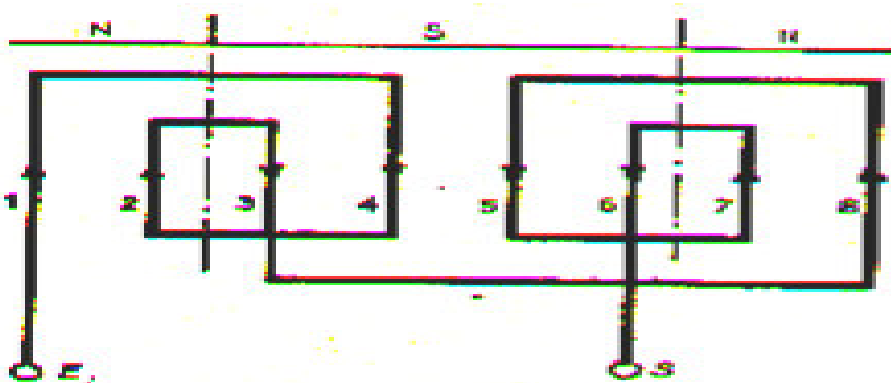
f : la fréquence (Hz) "50Hz".

A partir de l'expression de la vitesse, on distingue :

- Bipolaire $2p = 2$ à $n = 3000$ tr/mn.
- Tétra polaire $2p = 4$ à $n = 1500$ tr/mn.
- Héxapolaire $2p = 6$ à $n = 1000$ tr/mn [2].

I.3.2 Etude des enroulements à courant alternatif

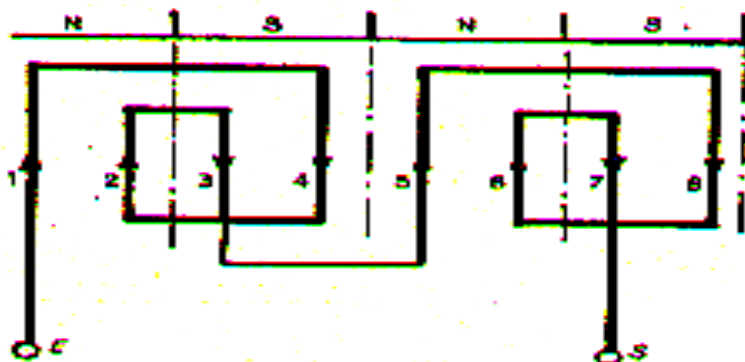
Le bobinage des stators peut être exécuté sous la forme (imbriquée) ou (ondulée).Le bobinage imbriqué, que l'on appelle bobinage à (pôles alternés), nécessite une bobine par pole et par phase, c'est -à-dire autant de bobines que de pôles



(Fig.I.1) Enroulement de principe d'un stator bipolaire monophasé à pôles alternés (imbriqué).

(**Fig-I-1**) enroulement de principe d'un stator bipolaire monophasé à pôles alternés (imbriqué) comporte 8 encoches, 1 bobine par pole, les flèches donnent le sens du courant dans les faisceaux, ce qui permet de situer les pôles, les faisceaux 1, 2, 7,8 forment un pôle (nord) et 3, 4, 5,6 un pôle (sud) [3].

-L'enroulement ondulé, désigné sous le nom de bobinage à (pôles conséquents), comporte une bobine par paire de pôles et par phase, soit une bobine pour deux pôles.



(Fig.I.2) Enroulement de principe d'un stator tétra polaire monophasé à pôles conséquents (ondulé).

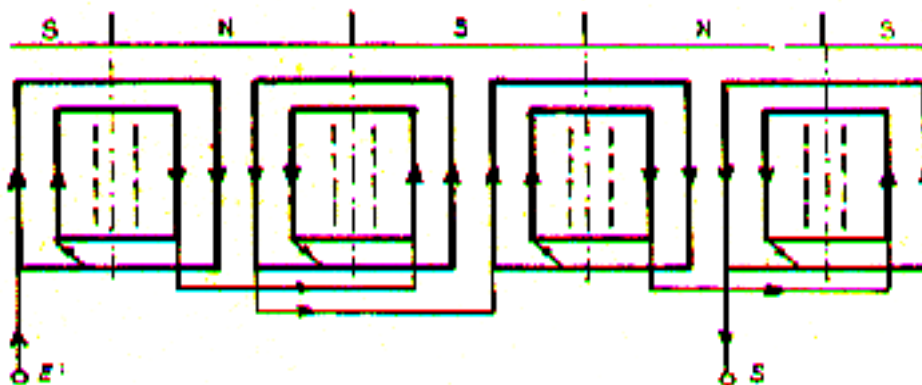
(Fig.I.2):enroulement de principe d'un stator tétra polaire monophasé à pôles conséquents(ondulé), comportant 8 encoches ,1bobine par paire de pôles ,2 ondes en série, les faisceaux 1et2 forment un pôle(nord),3 et 4 un(sud),5 et 6 (nord),et 7 et 8 un (sud)[3].

Un pôle est constitué par une ou plusieurs encoches dont les conducteurs sont parcourus par un courant dirigé dans le même sens.

L'indication des pôles (nord) et (sud) sur un schéma d'initiation à l'étude des enroulements pour courant alternatif est symbolique, elle permet simplement de faire ressortir les lignes neutres et les pôles.

Les schémas d'application ne comportent pas la représentation des pôles, ceux-ci sont déterminés au moyen de flèches qui indiquent le sens du courant, à un instant donné, dans les conducteurs du bobinage.

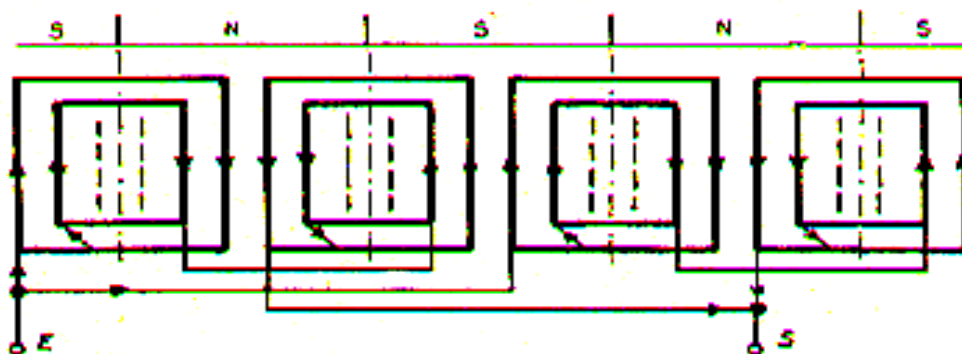
Dans les machines multipolaires, on groupe les enroulements en (ondes), on appelle (onde) la partie de l'enroulement soumise à l'influence d'une paire de pôles (Fig 3) .



(Fig.I.3) Enroulement d'un stator monophasé à pôles alternés et bobines concentriques.

Enroulement d'un stator monophasé à pôles alternés et bobines concentriques comportant 24 encoches, 4poles, 2ondes en série, les deux tiers en seulement des encoches sont bobinées.

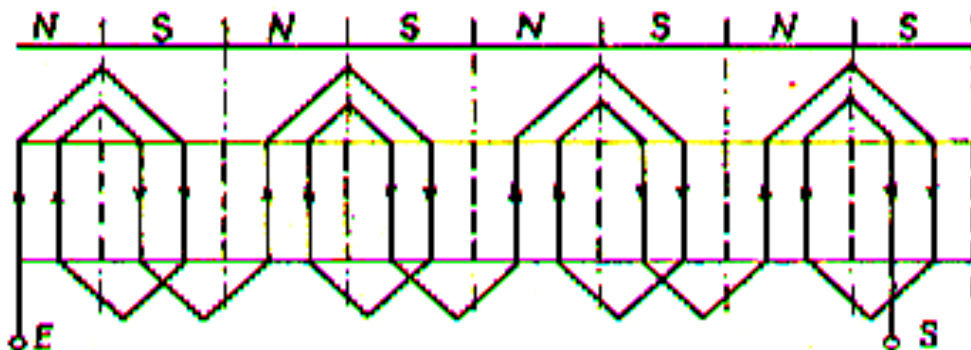
Les flèches indiquent le sens du courant dans les bobines à un instant donné, ce qui permet de déterminer le nombre de pôles qui composent le bobinage[3].



(Fig.1.4) Enroulement d'un stator monophasé a pôles alternés comportant 4 pôles 24 encoches

(Fig.I-4) : Enroulement d'un stator monophasé à pôles alternés comportant 4 pôles, 24 encoches, 1 bobine par pole (imbriqué), 2 ondes en parallèle pour un nombre de spires (N), on a une tension $U/2$ et un courant $2I$, les deux tiers seulement des encoches sont garnis de faisceaux.

Les ondes d'un bobinage peuvent être mises en série, ou groupées en parallèle, on relie les Ondes en série si l'on désire obtenir d'un alternateur une tension élevée, c'est le procédé généralement adopté pour les moteurs [3].



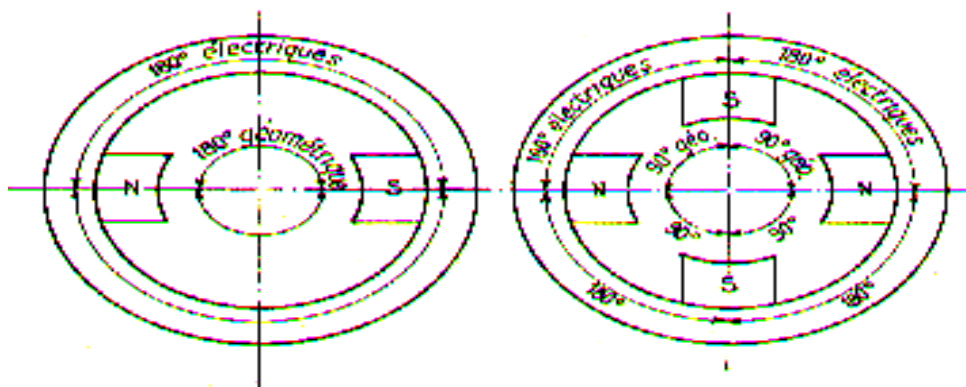
(Fig.1.5) Schéma d'enroulement monophasé ondulé (a pole conséquents).

(Fig.I.5) : Schéma d'enroulement monophasé ondulé (a pole conséquents) comportant 24 encoches, dont 16 seulement ont été bobinées, 8 pôles, 4 ondes en série.

Pour exécuter un enroulement, il faut déterminer le pas des sections ou des bobines.

Les conducteurs soumis à l'influence d'une paire de pôles occupent 360 degrés électrique (Fig.I.6)[3].

La distance angulaire électrique d'un pas polaire est 180° , de telle sorte que dans un bobinage triphasé, par exemple, chaque phase occupe (q) encoches successives sous un angle électrique de 60° [3].



(Fig.I.6) Schéma de degré géométrique et électrique

(Fig.I.6) : Dans une machine bipolaire, 1 degré géométrique = 1 degré électrique.

Dans une machine à 4 pôles, 1 degré géométrique = 2 degrés électriques.

180 degrés électriques correspondent à l'espace compris entre deux lignes neutres ou entre les axes de 2 pôles consécutifs nord et sud, quel que soit le nombre de pôles que possède la machine.

D'où :

180° électriques = pas polaire ; 360° électriques = double pas polaire.

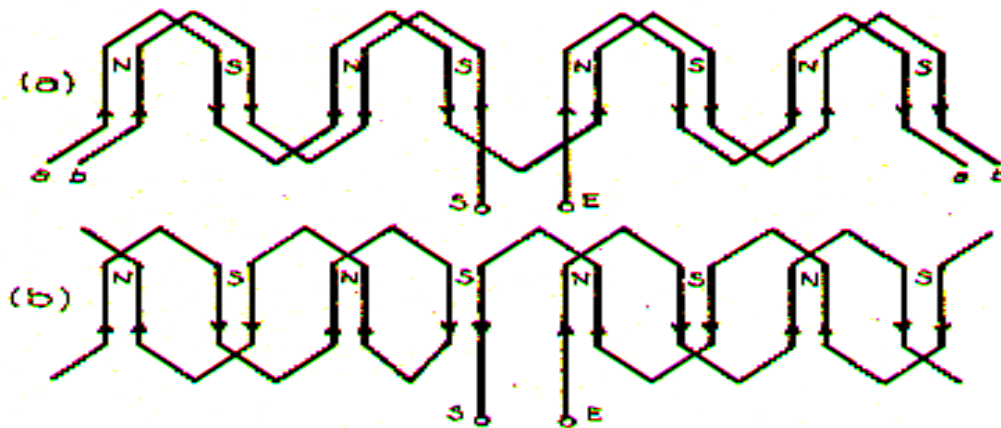
I.3.3 Coefficient de bobinage K_1

Ce coefficient toujours inférieur à 1, est nécessaire pour le calcul du flux inducteur dans les machines à courant alternatif.

Il sera égal à 1 si tous les conducteurs d'un pôle étaient logés dans une seule encoche, il est d'autant plus faible que le nombre d'encoches par pôle et par phase est plus grand.

En pratique, l'enroulement comporte toujours plusieurs encoches par pôle.

C'est dans les moteurs asynchrones monophasés bipolaires que le coefficient de bobinage atteint une valeur minimum (cas où toutes les encoches du stator sont utilisées).



(Fig.I.7) : Représentation panoramique du bobinage monophasé d'un stator comportant 8 pôles et 2 encoches par pôle.

-Le schéma (a) est ondulé progressif.

-Le schéma (b) est ondulé rétrograde et convient pour les stators à grande puissance qui doivent être montés en deux parties, en suivant le conducteur marqué E, on parcourt la moitié du bobinage dans le sens progressif [3].

I.3.4 Le couplage des bobines

Il peut s'effectuer sous la forme imbriquée ou ondulée, dans ce dernier cas on peut avoir un enroulement ondulé progressif, ou un enroulement ondulé rétrograde.

Avec l'enroulement ondulé progressif, toujours dans le même sens, ce qui n'est pas le cas avec l'enroulement ondulé rétrograde, en effet, après avoir parcouru une partie de ce bobinage en progressant dans une série, celui-ci s'inverse pour parcourir la seconde moitié .(voir Fig.I-7)

Un enroulement de machine polyphasée a courant alternatif à autant de circuits distincts qu'il a de phases.

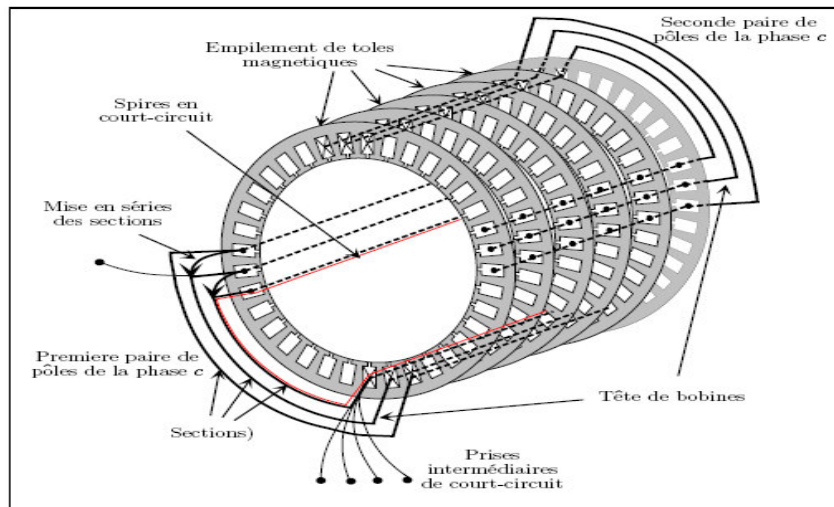
En courant alternatif, les sections prennent le nom de bobines quand il s'agit d'un enroulement à sections concentriques [3].

I.3.5 Les enroulement des moteurs asynchrones triphasés

D'une conception identique aux moteurs monophasés, le stator est composé d'une carcasse en tôle soudée, qui renferme des disques de tôle empilés et préalablement poinçonnés pour former des encoches dans les quelles sera logé l'enroulement.

L'isolement des tôles est rendu nécessaire par la formation de courants induits qui prennent naissance dans toute masse conductrice soumise à une induction variable, ces courants appelés <courant de Foucault> transforment de l'énergie en chaleur, cet isolement est réalisé soit

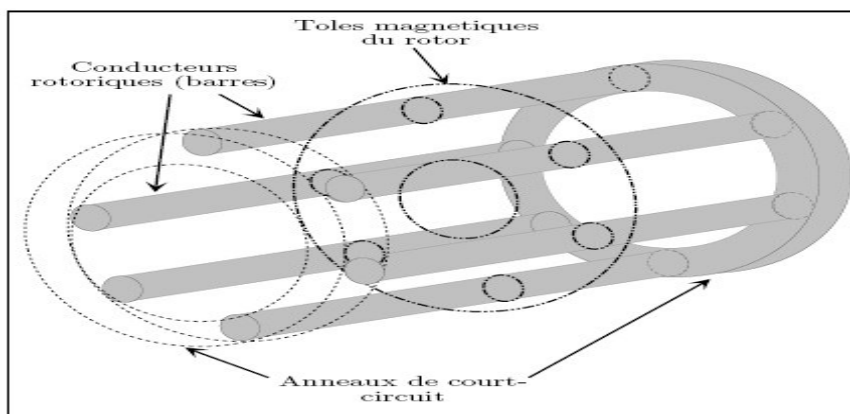
par un vernis, soit par oxydation de la surface des tôles, obtenue en partie au moyen d'un recuit, ce dernier procédé n'est utilisé que pour des moteurs de faible puissance



(figI.8) Enroulement statorique

Le rotor est constitué par un tambour en tôles isolées et poinçonnées afin de former des encoches qui servent à loger le bobinage.

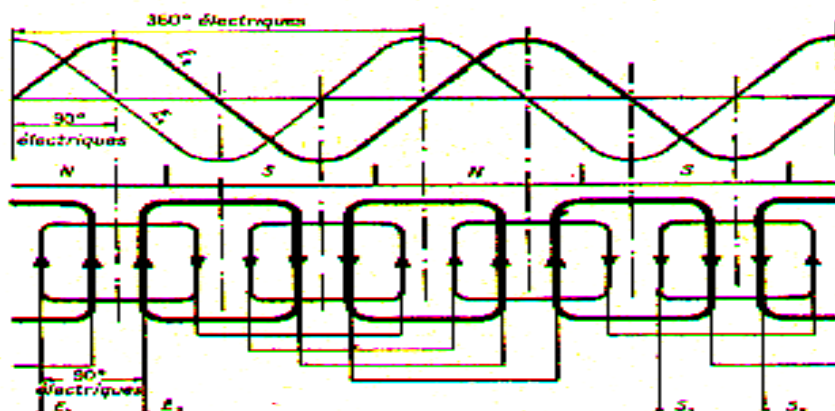
L'enroulement du stator seul est branché sur le réseau, le bobinage du rotor n'est relié à aucune source de courant ; ce qui permet de comparer ce moteur à un transformateur dont le primaire serait constitué par l'enroulement du stator, le bobinage du rotor tenant lieu de secondaire toute fois, le champ n'est pas simplement pulsatoire comme dans un Transformateur ordinaire, il a un mouvement circulaire qui entraîne le rotor[3].



(Fig. I.9) Schéma de principe d'une cage d'écureuil

Les moteurs polyphasés démarrent seuls sans aucun artifice, on les bobine sous la forme Diphasée avec deux enroulements, et plus généralement sous la forme triphasée avec trois Enroulements monophasés.

Le bobinage des stators polyphasés doit comprendre un nombre identique de conducteur par phase, de plus, il convient qu'en deux points diamétralement opposés de l'entrefer, on trouve toujours la même phase (Fig-I-8) [3].



(Fig.I.10)Un enroulement diphasé a bobines concentrique

(**Fig.1.10**) à l'instant considéré sur le schéma, on remarque au départ que (E1) se trouve en position maximum, alors que (E2) est au point zéro, un quart de période plus tard, les positions sont inversées, le schéma représente un enroulement diphasé à bobines concentrique disposées sur 2 plans, d'un stator 4 pôles, 16 encoches, 1 bobine par pôle et par phase (imbriqué), 2 ondes en séries [3].

E2 est séparée de (E1) du quart de la distance qui sépare 2 pôles de même nom, soit 90°électrique, le pas des bobines est déterminé par le nombre d'encoches par pôle et par phase, il est égale à 4 dans le cas présent, ce qui oblige à laisser libres 2 encoches pour la phase suivante.

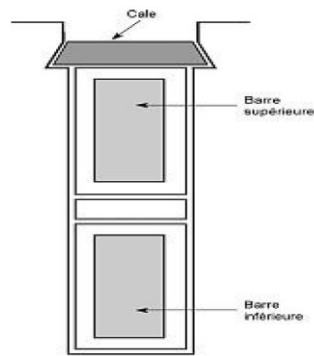
I.3.6 Enroulements triphasés

I.3.6.1 Enroulements triphasés à deux couches

L'enroulement à deux faisceaux par encoche n'est utilisé qu'avec des sections. On trouve donc deux côtes, de sections par encoche comme dans les machines à courant continu.

Le premier avantage est que les têtes des sections forment un ensemble très régulier, il est plus facile à frotter s'il s'agit d'une armature tournante (cas des moteurs asynchrone à rotor bobiné), plus facile à brider (cas du stator de toute les machines de forte ou très forte puissance ou des efforts considérables peuvent s'exercer sur les développantes, en cas de court-circuit notamment).Le second avantage est la possibilité de former des sections à pas.

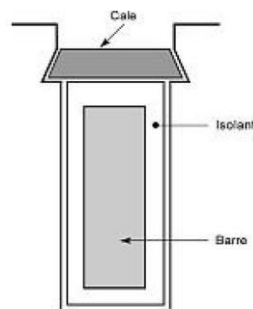
Raccourci et de réduire ainsi certains harmoniques.



(Fig. I.11) Encoche d'un enroulement à deux couches [3].

I.3.6.2 Enroulements triphasés à une couche

Pour les machines de faible ou moyenne puissance et les grosses machines à nombre des pôles élevé. On utilise des enroulements à une seule côte de bobine ou de section par encoche .ce qui caractérise essentiellement un tel bobinage c'est le nombre q d'encoche par pôle et par phase .il permet en effet de placer les cotes des bobines ou des sections en précisant à quelle phase ils appartiennent et dans y passent les courants[3].



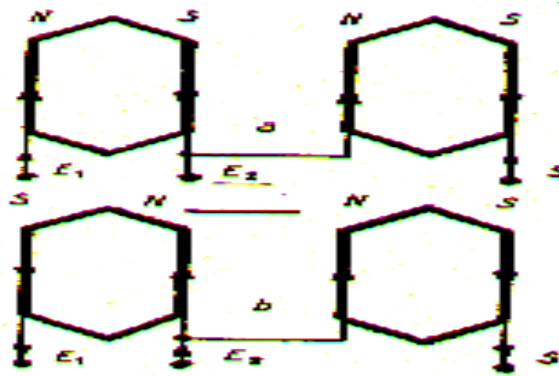
(Fig.I.12) Encoche d'un enroulement à une couche[3].

I.3.7 Bobinage des stators à deux polarités

La vitesse des moteurs asynchrone est fonction de la fréquence du courant du secteur et du nombre de pôles qu'ils possèdent.

Il résulte de ce qui précède qu'il est possible de faire varier la vitesse d'un moteur en modifiant le nombre de ses pôles.

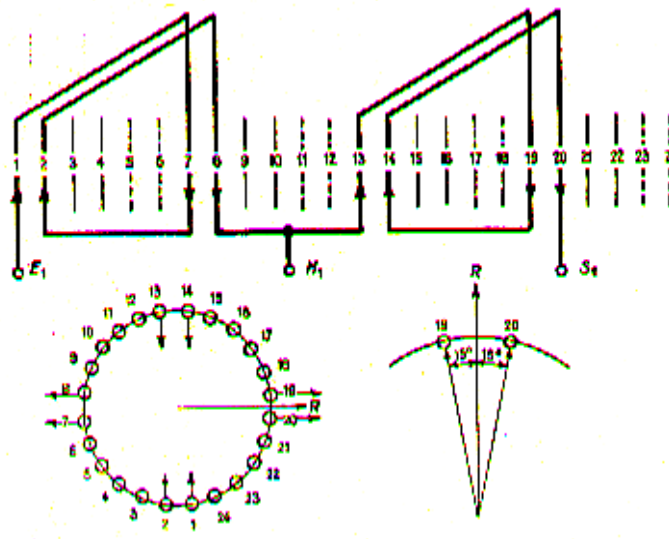
Pour arriver à ce résultat, il suffit de pouvoir changer le couplage des bobines du stator, de façon à diminuer de moitié, par exemple le nombre des pôles, ce qui double la vitesse du moteur.



(Fig.I.13) Le schéma simplifié d'un couplage en série des bobines

(Fig-I-13): Le schéma simplifié montre comment on peut opérer pour passer d'un couplage en série des bobines à un couplage en parallèle qui réduit de quatre à deux le nombre de pôles.

Pour rendre possible ces deux couplages, il est nécessaire de sortir une prise du milieu du bobinage de chaque phase, (Fig.I-14)



(Fig.I-14) Schéma de principe de bobinage d'un stator

(Fig.I.14) : Schéma de principe de bobinage d'un stator (Dalhander et Lundstrom) ,2/4 pôles triphasé, 24 encoches, pas (1 à 7).

I-4-Conclusions

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. Chaque type présente des avantages dans certaines applications.

L'enroulement imbriqué s'emploie généralement pour le bobinage des stators des moteurs de quelques dizaines de kilowatts et plus. Dans le cas de petits moteurs asynchrones, particulièrement lorsque le bobinage est mécanisé, on utilise généralement l'enroulement concentrique. L'enroulement ondulé est idéal pour les rotors des moteurs asynchrones à bagues. Leur disposition dans les encoches différencie ces différents types d'enroulements.

L'enroulement concentrique est un bobinage obligatoirement à couche unique, de telle sorte que chaque encoche contient un seul côté de bobine. L'enroulement imbriqué et l'enroulement ondulé peuvent être des bobinages à simple couche, mais sont plus souvent à double couche. Si tel est le cas, chaque encoche contient deux côtés de bobine et le nombre de conducteurs par encoche doit nécessairement être un nombre pair. Il est possible de relier en série toutes les bobines de l'enroulement pour une même phase; on obtient alors un moteur qui ne peut opérer que sous une seule tension. Par contre, on peut répartir les bobines en un certain nombre de groupes à l'intérieur desquels elles sont connectées en série. Les groupes ainsi formés peuvent se relier en série ou en parallèle et permettre d'utiliser le moteur sous plusieurs tensions. Lorsque les bobines sont faites de fils carrés ou rectangulaires d'assez forte section, elles sont formées sur des gabarits et insérées globalement dans des encoches ouvertes. Dans le cas d'encoches de type semi-ouvert, on utilise habituellement plusieurs fils ronds, vernis et de faible section pour former les conducteurs des bobines. Comme les bobines faites de fils carrés, elles sont généralement formées sur des gabarits, mais introduites fil par fil ou quelques fils à la fois dans les encoches.

Les machines traditionnelles à courant alternatif, qu'elles soient asynchrones ou synchrones, sont toutes constituées d'un bobinage statorique comme décrit dans ce qui précède. L'étude de ces enroulements montre qu'un bobinage réparti avec ou sans raccourcissement de pas permet d'obtenir des ondes très sinusoïdales dans l'entrefer.

II.1.Introduction

Dans ce chapitre on représente les défauts dans les entraînements électriques qui se répartissent en deux catégories : les défauts qui se produisent dans une machine électrique (défauts des enroulements, inclinaison de l'axe...) et ceux qui se produisent dans la chaîne d'entraînement à l'extérieure de la machine électrique (défaut d'alignement.....).

Il sera difficile de prévoir les conséquences sur le rendement de l'installation. Pour cette raison que les méthodes et stratégies de diagnostic et de détection des défauts ont connu un développement spectaculaire au même titre que l'industrie exploitante elle-même.

II.2 Classification des défauts au niveau de la MAS

Les défauts dans les entraînements électriques se répartissent en deux catégories : les défauts qui se produisent dans la machine électrique (défauts des roulements, inclinaison de l'axe) et ceux qui se produisent dans la chaîne d'entraînement à l'extérieur de la machine électrique (défauts d'engrenage, ...).

II.2.1. Les défaillances de la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts. Ces défauts peuvent être soit d'origine électrique, soit d'origine mécanique. Un problème minime à l'étape de fabrication peut être à l'origine d'un défaut tout comme une utilisation non conforme de la machine. Certaines fois, nous pouvons aussi incriminer le milieu dans lequel la machine est utilisée (milieux corrosifs et/ou chimique hostiles).

II.2.1.1. Défaillances d'ordre électriques

Les défaillances d'origine électrique peuvent, dans certain cas, être la cause d'un arrêt de la machine (au même titre que les défaillances d'ordre mécanique). Ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes. Nous pouvons citer les défauts qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celle qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques [4].

II.2.1.1.1. Défauts des circuits électriques statoriques

D'où proviennent les pannes statoriques dans les moteurs asynchrones ?

Même si les vibrations des conducteurs d'encoches et les divers frottements qui en résultent, suite à de grandes sollicitations de la machine, accélèrent l'usure des isolants, il reste que le facteur principal de vieillissement est l'échauffement anormal des bobinages. En effet, pour les machines fonctionnant en milieu hostile, poussière et humidité viennent se déposer : pour les machines fermées entre les ailettes extérieures, et pour les machines ouvertes au niveau des têtes de bobines, affaiblissant ainsi l'isolation électrique et court-circuitant du fait les conducteurs [4].

II.2.1.1.1. Les courts circuits internes

Le court-circuit de spires est le défaut le plus nuisible et le plus fréquemment rencontré au stator. Ce sont des pannes dues à un court-circuit dans une ou plusieurs phases statoriques. Ce type de défaut provoque une détérioration de la machine. Il conduit à un déséquilibre de phases. Un défaut de court-circuit est une connexion directe entre deux points du bobinage. Il peut se manifester soit entre les spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre. On distingue trois types de court-circuit au niveau du stator [4].

a- Court-circuit spire neutre

Le courant dans la phase concernée a une amplitude supérieure par rapport au courant des autres phases. Toutefois, les courants qui parcourent ces phases sont amplifiés par rapport au cas de la machine saine, plus important est le nombre de spires en court-circuit, plus forte est l'augmentation des courants. De plus le facteur de puissance diminue avec l'augmentation de nombre de spires en court-circuit. Ce qui explique la modification des bobinages, qui implique une variation de l'inductance propre de la phase affectée également par le défaut et affecte les autres par couplage magnétique.

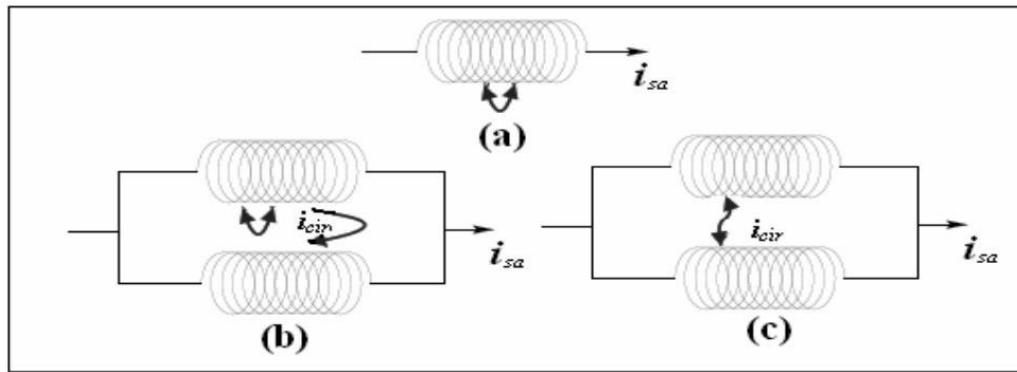
b- Court-circuit au milieu de la phase

Le court-circuit entre spires loin du neutre augmente les courants dans les phases statoriques, dans les barres, et les portions d'anneaux du circuit rotorique.

c- Court-circuit entre phases différentes

L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre deux phases, induit des courants très forts conduisant à la fusion des conducteurs. Cependant, un court-circuit proche du neutre engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs.

De plus, les courants des barres sont amplifiés lors de l'apparition du défaut.



(Figure.II.1) : (a) court-circuit entre spires (b) le courant de circulation

(c) court-circuit entre deux faisceaux

II.2.1.1.1.2. Les isolations électriques

Les défauts d'isolation électrique au niveau du bobinage du stator suite à un vieillissement du au milieu de fonctionnement hostile ou non, et à la façon dont est alimenté le moteur [4].

II.2.1.1.1.3. Décharges partiels

Ce type de défauts est dû aux décharges dans les isolants entre conducteurs ou entre conducteurs et la masse qui simplifie avec l'usure des isolants. Sa présence précède l'apparition de court-circuit entre phases ou entre phases et la masse [4].

II.2.1.1.2. Défauts des circuits électriques rotoriques

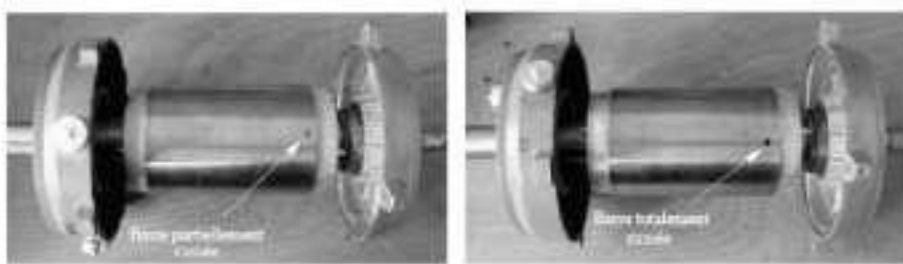
Le problème des ruptures de barres dans les moteurs asynchrones a été à l'origine des premiers travaux de recherche sur le diagnostic des machines tournantes. L'émergence de nombreux travaux de recherche, notamment ceux des mécaniciens par analyse vibratoire, a contribué à une avancée prometteuse du diagnostic des machines tournantes à vitesse constante (machine asynchrone, alternateurs, etc...). Les défauts rotoriques typiques des machines asynchrones sont dus à un défaut de fabrication, ou à un défaut d'utilisation. On peut citer les principaux :

- Une rupture partielle ou totale d'une barre au rotor survenant généralement à cause de l'échauffement dû aux sollicitations.
- Une barre résistive due à la présence de poches d'air dans les encoches rotoriques. Ce défaut se produit lors de la fabrication car la phase du coulage de l'aluminium dans les tôles empilées n'est pas parfaitement maîtrisée (absence d'étanchéité totale).
- Une rupture de soudure au niveau de l'anneau de court-circuit, notamment pour les fortes

puissances.

-Une rupture de portion d'anneau de court-circuit.

Une défaillance au niveau de la cage rotorique se situe généralement à la jointure entre une barre et un anneau de court-circuit. En effet, les barres rotoriques et les anneaux de court-circuit ne pouvant pas être construits d'un seul bloc (sauf pour les machines de petites puissances), une soudure est pratiquée aux extrémités de chaque barre pour relier ces dernières aux deux anneaux de court-circuit. La fragilité de ces soudures, par rapport aux barres et aux anneaux fabriqués d'un seul bloc, provoque, à ces endroits précis, une fragilité de la cage d'écureuil [4].



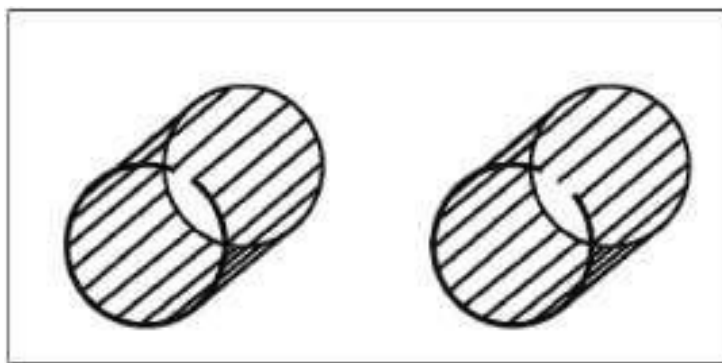
(Figure II.2) : Défaut d'une barre cassée

II.2.1.1.2.1. Les cassures des barres

Ces défauts apparaissent au niveau du rotor .Ce sont les défauts les plus fréquents. Ils se présentent par des ruptures totales ou partielles d'une barre au niveau de la cage d'écureuil. Ils se traduisent par une augmentation de la résistance équivalente d'un enroulement rotorique. Ces pannes rotoriques engendrent malheureusement des ondulations dans le couple électromagnétique qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation de la machine. Ce qui génère des défauts mécaniques en plus dans la machine.

II.2.1.1.2.2 Cassure d'une portion d'anneau de court-circuit

Les cassures de portion d'anneaux sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations entre les barres et les anneaux. Les anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. Un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge du couple et donc de courant peuvent entraîner leur cassure. La cassure d'une portion d'anneau engendre un comportement similaire à celui de la cassure de barres [4].



(Figure II. 3):Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit.

Suite à l'apparition de ces défauts, la machine continue à fonctionner, il est donc très difficile de détecter ces défaillances si la machine est en régime de défauts. Le courant qui conduit une barre cassée se répartit sur les autres barres, ces dernières seront surchargées, ce qui conduit à leurs ruptures, et par la suite la rupture d'un nombre plus important de barres, dans la machine

II.2.1.2.défaillances d'ordre mécanique

II.2.1.2.1.Déséquilibre : défauts de balourd

Pour toute machine, il existe un déséquilibre résiduel (normal ou anormal).

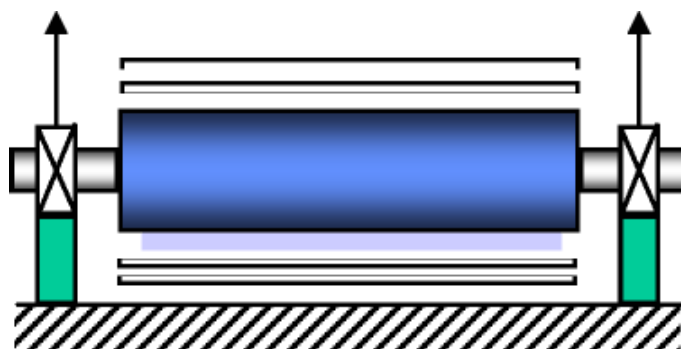
En pratique, il est impossible d'obtenir une concentricité parfaite des centres de gravité de chaque élément constitutif d'un rotor.

De cette « non-concentricité », résulte l'application de forces centrifuges qui déforment le rotor. Ces déséquilibres proviennent généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou sont la conséquence :

- d'une altération mécanique (perte d'ailette, érosion ou encrassement, ...).
- d'une altération thermique (déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de température localisées,...) [5].

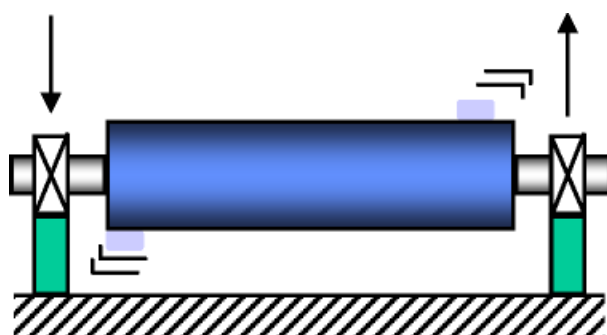
*Distinction entre balourd statistique et dynamique

En cas de balourd statique, les deux paliers supportant le rotor vont subir, en même temps, l'effort centrifuge dû au déséquilibre. Il n'y aura donc aucun déphasage entre les mesures prises au même point sur les deux paliers.



(Figure II. 4): Déséquilibre statique

En cas de balourd dynamique, les deux paliers supportant le rotor vont subir les efforts centrifuges de façon alternée. Le déphasage entre les mesures effectuées au même point sur deux paliers consécutifs est donc révélateur d'un balourd dynamique.



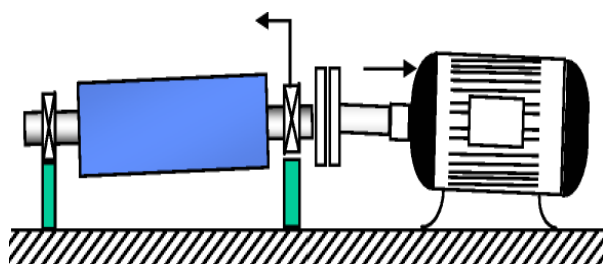
(Figure II. 5): Déséquilibre dynamique

Balourd mixte : est un ensemble de balourd statique et de balourd dynamique.

II.2.1.2.2. Défaut d'alignement ou de flexion du rotor

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements. Il crée des efforts importants qui vont entraîner la dégradation rapide du système d'accouplement, non seulement à son niveau, mais aussi au niveau des paliers. Ces efforts, outre la dégradation de l'accouplement, vont avoir pour effet :

-Dans le cas des paliers à billes ou roulement, de déverser l'une des bagues et de précipiter la dégradation du roulement ;

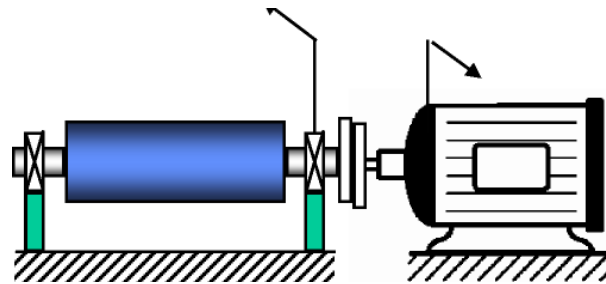


(Figure II. 6): Désalignement angulaire

-Dans le cas des paliers à film d'huile, de décharger l'un des paliers de ligne d'arbres et d'induire des instabilités de paliers mettant très rapidement en péril l'installation.

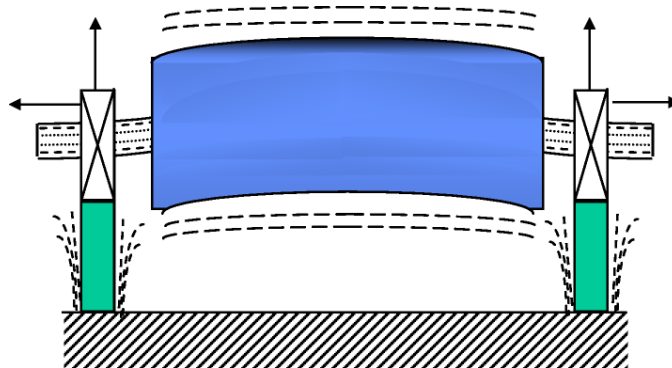
Un défaut d'alignement peut affecter :

1- Deux rotor d'une machine ; les axes des arbres des deux rotors présentent un désalignement angulaire au niveau de l'accouplement ou possèdent un défaut de concentricité (arbre parallèle).



(FigureII.7):désalignement d'axe

2- Deux paliers du même arbre d'une machine : les axes des deux paliers d'un même corps de machine ne sont pas concentriques. Cette anomalie peut être la conséquence d'un défaut de montage d'un palier, mais également d'un mauvais calage des pattes de fixation ou d'une déformation de châssis (par exemple, à la suite de contraintes thermiques), qui se traduit par une flexion de l'arbre du rotor) [5].



(FigureII.7):Fléchissement d'arbre

II.2.1.2.3. Défauts induits par un frottement rotor/stator

Dans le cas d'un frottement rotor/stator, la raideur du système rotor/palier est modifiée lors du contact rotor/stator et devient alors une fonction périodique du temps.

Dans le cas d'un rotor « souple » (dont la fréquence critique est inférieure à la fréquence nominale) reposant sur des paliers à film d'huile, un frottement sur les barrières d'étanchéité, par exemple, peut avoir des conséquences extrêmement graves une composante sous-synchrone (dont la fréquence est inférieure à la fréquence de rotation) peut, en excitant un mode de

résonance du système rotor/palier induire des vibrations d'amplitude très élevée qui vont conduire à la rupture du film d'huile et la dégradation du palier et du rotor.

II.2.1.2.4 Défauts spécifiques aux roulements

Les roulements sont sans doute les organes les plus sensibles d'un parc de machine. Lorsque l'on sait que la plus part des dégradations de roulements sont d'origine des maladroites de montage, on imagine l'intérêt que l'on peut avoir à les remplacer le moins souvent possible, donc à éviter les démontages systématiques en optant pour une stratégie de surveillance appropriée.

Rappelons que, bien qu'il existe des techniques simples dédiées au suivi en mode global des roulements

Dans la plupart des cas, la dégradation se traduit par un écaillage d'une des pistes ou d'un élément roulant du roulement, produisant un choc à chaque passage [5].

II.2.1.2.5 Défaillance du flasque

Les défauts créés par les flasques de la machine asynchrone sont le plus généralement causés à l'étape de fabrication. En effet, un mauvais positionnement des flasques provoque un désalignement. Il est possible de détecter ce type de défaillance par une analyse vibratoire où analyse harmonique des courants absorbés par la machine.

II.3 Origines des défauts

Les origines des défauts sont souvent de nature différente, mais sont généralement fortement liées les unes aux autres. On cite comme causes majeurs :

- a) –causes thermiques : Balourd thermique, points chauds, températures ambiantes élevées...
- b) –entourage du moteur (tensions et transitoires d'alimentation, inverseurs, air de refroidissement, mauvais courant de charge, surcharges, corrosion, humidité ...).
- c) –causes mécaniques et mauvais emploi du moteur, vibration, chocs en service, jeux excessifs, balourds mécanique...).
- d) Fabrication imparfaite.
- e) Erreurs pendant la réparation (taille et type inapproprié d'enroulement, roulements inadéquats...).
- f) Epuisement de la durée de vie du moteur.

II.4 Causes des défaillances

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes les initiateurs de défauts, les amplificateurs de défauts et les défauts de fabrication [5].

La majorité de tous les défauts du rotor et du stator sont provoqués par une combinaison des divers efforts qui agissent sur ces deux composants de la machine.

II.4.1. Causes des défauts statoriques

Les défauts statoriques peuvent être dus à plusieurs raisons, parmi les quelles :

- Un grand noyau du stator ou la température d'enroulements est élevé.
- Attachement lâche à la fin de l'enroulement.
- Contamination due à l'huile, moisissure et saleté.
- Cycle de démarrage fréquent.
- Surtension, décharges électriques, Les fuites dans les systèmes de refroidissement.

11.4.2. Causes des défauts rotorique

Comme pour le stator, les raisons pour les cassures des barres rotoriques et de rupture d'une portion d'anneau de court-circuit sont nombreuses:

- Effort thermique due à l'échauffement de l'anneau du court-circuit et la différence de la température dans la barre pendant le démarrage (effet de peau).
- Effort magnétique causé par les forces électromagnétiques (flux de fuite d'encoche, l'excentricité de l'entrefer), bruits et vibration électromagnétiques.
- Effort dynamique du au couple de charge, aux forces centrifuges ainsi que les efforts cycliques.
- Effort environnementale causées par la contamination, l'abrasion des matériels rotoriques due aux particules chimiques [5].

11.4.3. Causes des défauts de roulement à billes

Souvent mêmes sous des conditions normales de fonctionnement avec équilibre de charge et un bon alignement, les défauts dus à la fatigue peuvent prendre place. Autres les fatigues dues au fonctionnement interne normal inhérentes à l'excentricité.

Autres causes externes peuvent exister, telles que:

- contamination et corrosion causées par l'eau et l'acide...
- lubrification impropre.
- installation impropre de roulement, du au désalignement de la machine.

II.5 Conclusion

Nous avons montré que les principaux éléments de construction d'une machine asynchrone à cage d'écureuil peuvent présenter des défaillances qui induisent, pour la plupart d'entre elles, un arrêt intempestif de la machine. Nous nous sommes volontairement attardés sur les bobinages statoriques en détaillant les différents défauts fréquemment rencontrés, de même, au rotor et les défauts mécaniques (ceux qui se produisent dans la chaîne d'entraînement à l'extérieur de la machine électrique). Nous avons dénombré les principaux défauts qui peuvent survenir soit dans la phase de fabrication, soit dans celle d'utilisation. Nous avons cité les causes de ces défaillances et leurs effets sur le comportement de la machine.

C'est pour pallier ce problème que le diagnostic de défauts a pris une importance de plus en plus grandissante dans les milieux industriels.

III.1 Introduction

La conception et le dimensionnement des machines électriques sont un axe très important dans l'industrie électrique.

Lorsqu'on veut construire une machine électrique, on ne doit pas seulement tenir compte de ce caractéristique électromagnétique la charge électrique et la charge magnétique, mais faire en sont que sa construction et son exploitation soit économique et rentable.

Le dimensionnement (le calcul) d'une machine électrique dépend taux de point de vent électrique que de point magnétique de série de facteur liée en partie thermique qui exige de l'exploitation pour ce qui conserve notamment la capacité de surcharge (le rendement)le facteur de puissance et la condition démarrage.

Nous avons mené une étude du calcul qui a pour objectif de dimensionner des machines asynchrones à rotor en court-circuit et de type de protection IP55.

-le calcul des dimensions principales de la machine.

- le calcul des dimensions et les inductions dans les différentes parties du stator (le dos et la dent).

- le calcul du rotor.

-déterminer les dimensions finales de la machine

Avant le calcul d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil, il convient de passer en revue l'ensemble des caractéristiques nominales de la machine.

Ces chiffres indiqués sur la plaque signalétique constituent la carte d'identité de la machine que tout constructeur applique sur ses machines des caractéristiques principales de fonctionnement dans le cas de notre machine, la plaque indique les valeurs suivantes :

III.2Données nécessaires pour la conception des machines électriques

- La puissance nominale : 250 kW
- Fréquence : 50 Hz
- Tension d'alimentation : 5500 V
- Intensité : 32 A
- Vitesse nominale : 2960 tr/min
- Isolement : classe B
- Degrés de protection : IP 55

III.3 Ordre de choix des dimensions principales

On appelle dimensions principales de la machine asynchrone de base celles fabriquées dans le temps actuel : le diamètre intérieur de stator **D** et la longueur de l'entrefer **L**.

Le choix de dimensions principales d'une machine électrique dépend, tant, du point de vue magnétique que du point de vue électrique, d'une série de facteurs liés aux propriétés thermiques des matériaux isolant ainsi qu'aux exigences, d'exploitation en ce qui concerne la capacité de surcharge, le rendement, facteur de puissance et les conditions de démarrage [6].

III.3.1 Le nombre de pôles

$$p = 60f/n \quad p = 60.50/3000 = 1 \Rightarrow 2P=2 \quad \text{(III-1)}$$

III.3.2 La hauteur préalable de l'axe de rotation

Est en fonction de la puissance utile et du nombre de pair de pôles du moteur :

$$h = f(P_2, 2p) \quad ; \quad [\text{mm}] \text{ Selon (fig.1)}$$

On prend h la valeur plus proche de la valeur inférieure, c'est h standardisée (**tab .1**)

On trouve $h=360$ [mm] h mesuré= 355 [mm]

III.3.3 Le diamètre extérieur du stator

$$D_a = f(H) \quad ; \quad [\text{mm}] \quad \text{on a trouvé } D_a = 660 \text{ [mm]}$$

Le diamètre intérieur **D** du stator

$$D = K_d * D_a \quad ; \quad [\text{mm}] \quad \text{(III-2)}$$

K_d d'après le (**tab.02**)

$$K_D = (0.52 \div 0.57)$$

$$\text{Donc } D = (0.52 \div 0.57) \times 660 = (343.2 \div 376.2)$$

On prend

On mesure le diamètre extérieur on trouve : $D_1 = 344$ mm

III.3.4 Le pas polaire

Il est donné par la formule suivante :

$$\tau = \pi * D / 2 p \quad ; \quad [\text{mm}] \Rightarrow \tau = 3.14 * 344 / 2 = 540 \text{ [mm]} \quad \text{(III-3)}$$

III.3.5-la puissance apparente

Elle est donnée par la formule suivante :

$$P_i = m * E * I = P_2 * \frac{k_e}{\eta \cos \varphi} \quad ; \quad [\text{kVA}] \quad \text{(III-4)}$$

K_e : c'est le coefficient de chute de tension selon (fig.2) $K_e=0.99$

Le rendement et le facteur de puissance

$$\eta = f(P_2, 2p) \quad \text{Selon (fig. 03)} \quad \eta=0.93$$

$$\cos \varphi = f(P2, 2p) \text{ Selon (fig. 04)} \quad \cos \varphi = 0.88$$

Donc :

$$\text{A.N : } P_i = 250 * \frac{0.99}{0.93 * 0.88} = 303 \text{ [kVA]}$$

III.3.6 les charges électromagnétiques préalables et l'induction magnétiques

$$B\delta = f(Da, 2p) ; [T] \text{ Selon (fig. 05)} \quad B\delta = [0.78 \div 0.81] T$$

$$A = f(Da, 2p) ; [A/m] \quad \text{selon (fig.06)} \quad A = [45 \div 46] \times 10^3 A/m$$

$$B\delta = 0.80 T \quad \text{Et } A = 46 \times 10^3 A/m$$

III.3.7 le coefficient d'enroulement

Ce coefficient, toujours inférieur à 1, est nécessaire pour le calcul du flux inducteur dans les machines, Il serait égal à 1 si tous les conducteurs d'un pôle étaient logés dans une seule encoche. Il est par pôle et par phase est plus grand d'autant plus faible que le nombre d'encoches [6].

Pour les enroulements à deux couches est $k_{B1}=0,90 \div 0.91$ On prend $k_{B1}=0.91$

Répartition non sinusoidale $K_s=1.25$

$$\alpha_s = 0.636 + 1.58(K_s - 1)^{2/3} = 0.7$$

$$K_B = 1.09$$

III.3.8 La longueur de l'entrefer

$$l = \pi i / (D^2 * W * B\delta * A * K_{B1} * K_b) ; [mm] \quad \text{(III-5)}$$

$$\text{A.N: } l = 1.11 / (336 * 10^{-3})^2 * 314 * 0.80 * 46 * 1.09 * 0.91 = 217.6 \text{ mm}$$

III-3-9-détermination du rapport λ

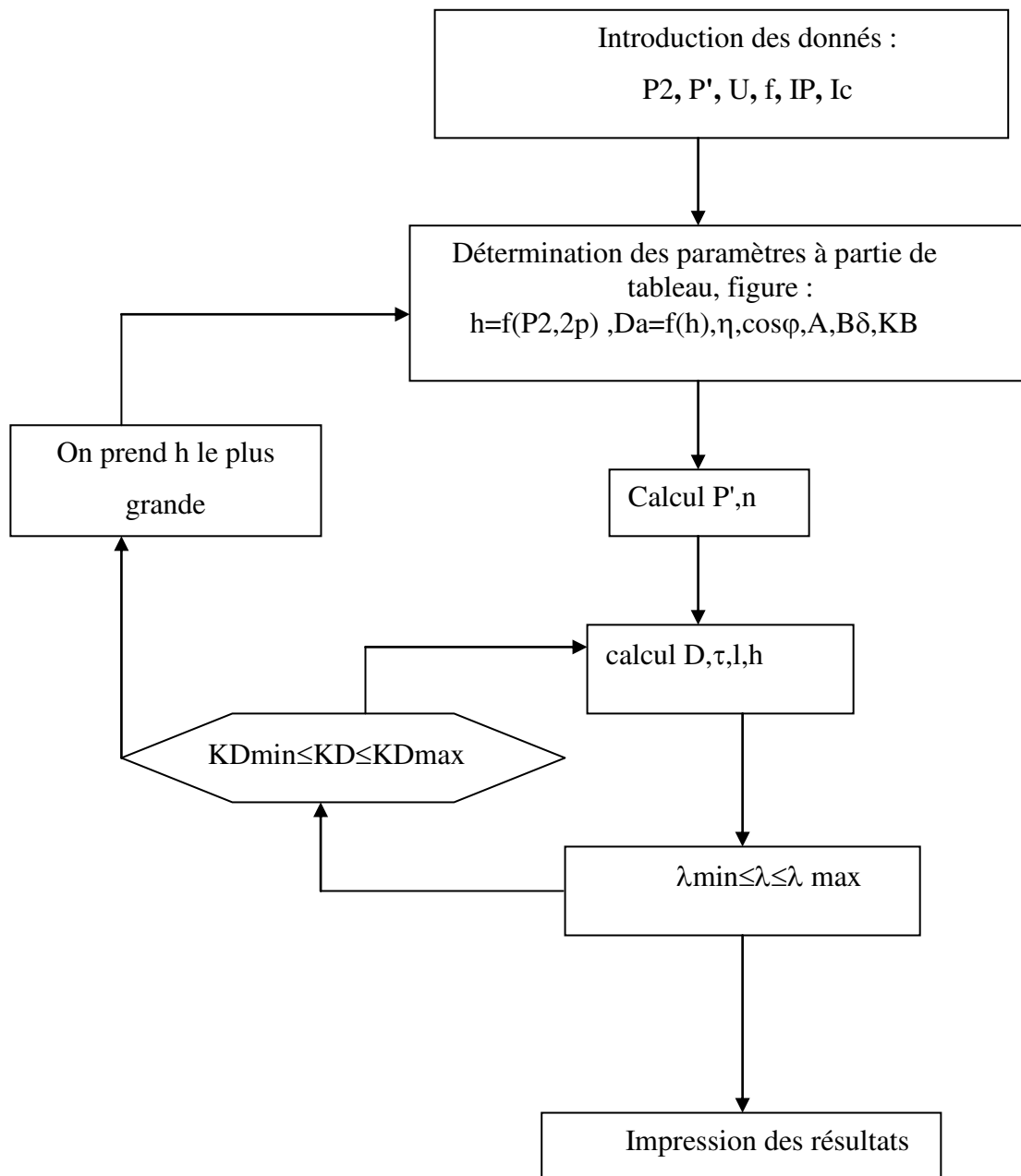
$$\lambda = l / \tau \Rightarrow \lambda = 217.6 / 527.6 = 0.41 \text{ (III-6)}$$

$$\text{A.N : } \lambda = 0.41 \in (0.36 \div 0.52) \rightarrow \text{selon la fig (fig.7)}$$

Si λ est hors des limites admissibles selon (fig.7), il faut diminuer K_d à la valeur minimale ou augmenter K_d à la valeur maximale, selon. Le cas.

Si λ demeure toujours à l'extérieur du domaine admissible il faut augmenter la hauteur de l'axe de rotation et répéter les calculs [6].

III.3.10 Organigramme pour la détermination des dimensions principale



III.4. Calcul de l'enroulement statorique

Le calcul de l'enroulement statorique consiste à la détermination du nombre de spires dans l'encoche et le diamètre du conducteur.

III.4.1 Ordre de calcul de l'enroulement statorique

L'enroulement statorique est l'élément le plus important dans une machine électrique, car c'est avec sa participation qu'a lieu le processus de transformation de l'énergie et de la création du champ statorique tournant, c'est pour quoi il est l'objet de divers exigence

Pour $H=355[\text{mm}]$ et $2p=2$, selon le **tab (4)**

L'encoche est de forme rectangulaire demi-ouvert et l'enroulement est de type imbriqué à deux couches en barre [6].

III.4.2. Les nombres d'encoche par pôle et par phases

est en fonction de la hauteur et du nombre de pôle

$$q_1 = f(H, 2p) \quad q_1 \Rightarrow 9 \quad \text{selon le (tab.5)}$$

III.4.3 Le pas dentaire du stator

Il est calculé par la relation suivante

$$t_1 = \pi * D / (2 * p * m * q_1) \quad \text{(III-7)}$$

$$\text{A.N : } t_1 = 3.14 * 336 / (2 * 1 * 3 * 9) = 19.53; [\text{mm}]$$

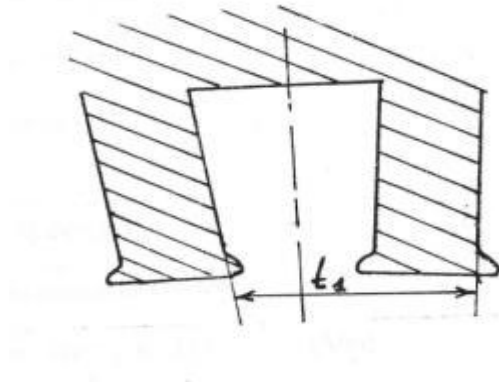


Fig.III.1. Le pas dentaire du stator

III.4.4. Le nombre d'encoche statorique

$$Z_1 = 2 * p * q_1 * m \quad \text{(III-8)}$$

$$\text{A.N : } Z_1 = 2 * 1 * 9 * 3 = 54 \text{ encoches.}$$

III.4.5. Le courant nominale d'une phase statorique

$$I_{n1} = p_2 / m * v * \eta * \cos \varphi ; \quad [\text{A}] \quad \text{(III-9)}$$

$$\text{A.N : } I_{n1} = 250 * 10^3 / 3 * 3175 * 0.93 * 0.88 = 32.07 \text{ A}$$

III.4.6. Le nombre de conducteur efficaces dans une encoche du stator

$$U_{en} = \pi * D_1 * A_2 / I_{n1} * Z_1 \quad \text{(III-10)}$$

$$\text{A.N : } U_{en} = 3.14 * 336 * \frac{46}{32.07} * 54 = 28 \text{ conducteurs en barre}$$

III.4.7. Le nombre de voiles a_1

On prend a_1 égal à un "1" jusqu'à nombre de paires de pôles pour prévenir contre la chute de tension dans l'enroulement et éliminer l'effet pelliculaire [6].

III.4.8. Le nombre de spires d'une phase du stator

$$W_1 = U_{en} * Z_1/2 * a_1 * m$$

$$\text{A.N: } W_1 = 28 * 54 / (2 * 1 * 3) = 252 \text{ spires} \quad (\text{III-11})$$

III.4.9 La charge linéaire statorique corrigée

$$A_c = 2 * I_{n1} * W_1 * m / \pi * D_1 \quad (\text{III-12})$$

$$\text{A.N : } A_c = 2 * 32.07 * 252 * 3 / 3.14 * 336 = 45.96 \times 10^3 \text{ ; [A/m]}$$

Qui ne doit pas être différente de A préalable tenant compte de la limite admissible à 2%

$$[(46-45.96) \times 10^3 / 46 \times 10^3] \times 100 = 0.086\% < 2\% \text{ acceptable}$$

III.4.10 Le flux magnétique dans l'entrefer

$$\Phi = k_e * v / (4 * k_{b1} * W_1 * k_b * f) \text{ ; [wb]} \quad (\text{III-13})$$

$$\text{A.N : } \Phi = 0.99 * 3175 / (4 * 1.09 * 252 * 0.91 * 50) = 6.2810^{-3} \text{ ; [wb]}$$

III.4.11 L'induction du champ magnétique dans l'entrefer

On peut calculer l'induction du champ magnétique corrigée d'après la relation suivante :

$$B_\delta = \Phi / (\alpha_s * \tau * l_\delta) \text{ ; [T]} \quad (\text{III-14})$$

$$\text{A.N : } B_\delta = 0.00628 / (0.7 * 527.5 * 217.6 * 10^{-3}) = 0.78 \text{ ; [T]}$$

$$|\Delta B_\delta| = |0.8 - 0.78 / 0.78| = 2.5\% < 5\% \text{ acceptable}$$

Si « B_δ » est hors des limites admissibles de 5% , il faut changer « a_1 » et répéter le et répéter le calcul [6].

III.4.12 La section du fil efficace

On utilise différents types de fils de bobinage pour les enroulements .Si la section de calcul " S_{1ef} " supérieure aux sections des fils indiqués, on prend plusieurs fils élémentaires nel d'après la condition " $S_{1ef} = nel * S_{el}$."

telle que " nel " toujours inférieur à dix "10"

$$S_{eff} = I_n / (a_1 * j_1) \text{ ; [mm}^2\text{]} \quad (\text{III-15})$$

$$A_{j1} = f(p, Dh1) A_{j1} = 320 \cdot 10^9 \text{ [A}^2/\text{m} \cdot \text{mm}^2] \quad \text{selon (fig. 8)}$$

$$j_1 = A_{j1}/A \quad ; \quad [A/\text{mm}^2] \quad \text{(III-16)}$$

$$\text{A.N. : } J_1 = 320 \cdot 10^9 / 0.46 \cdot 10^3 = 6.95 \cdot 10^8 \text{ ; [A/ mm}^2]$$

$$\text{A.N. : } S_{1\text{eff}} = I_{1n} / (a_1 \cdot j_1) = 32.07 / 1 \cdot 6.95 \cdot 10^8 = 19.84 \text{ [mm}^2]$$

III.4.15 Diamètre du conducteur

$$ds_1 = \sqrt{s_{1\text{eff}} \cdot 4/\pi} \leq 20 \text{ [mm]} \quad \text{(III-17)}$$

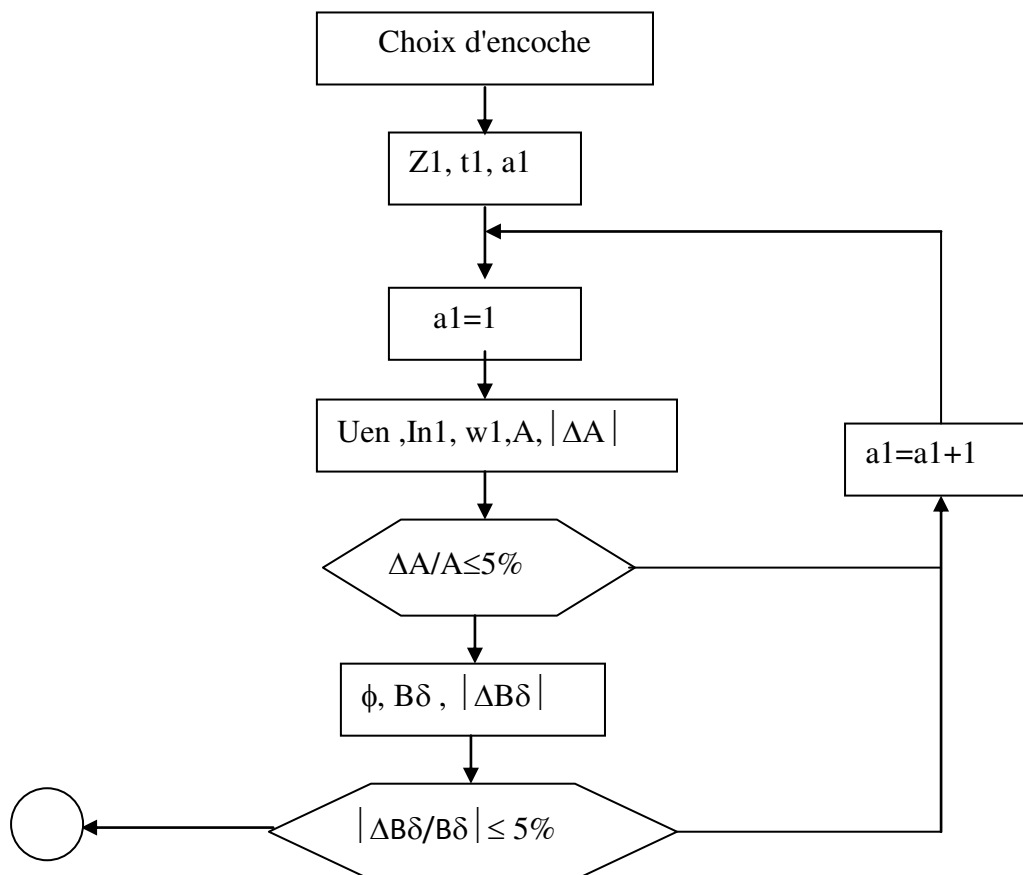
$$\text{A.N. : } ds_1 = \sqrt{50 \cdot 4/\pi} = 7.9 \text{ [mm]}$$

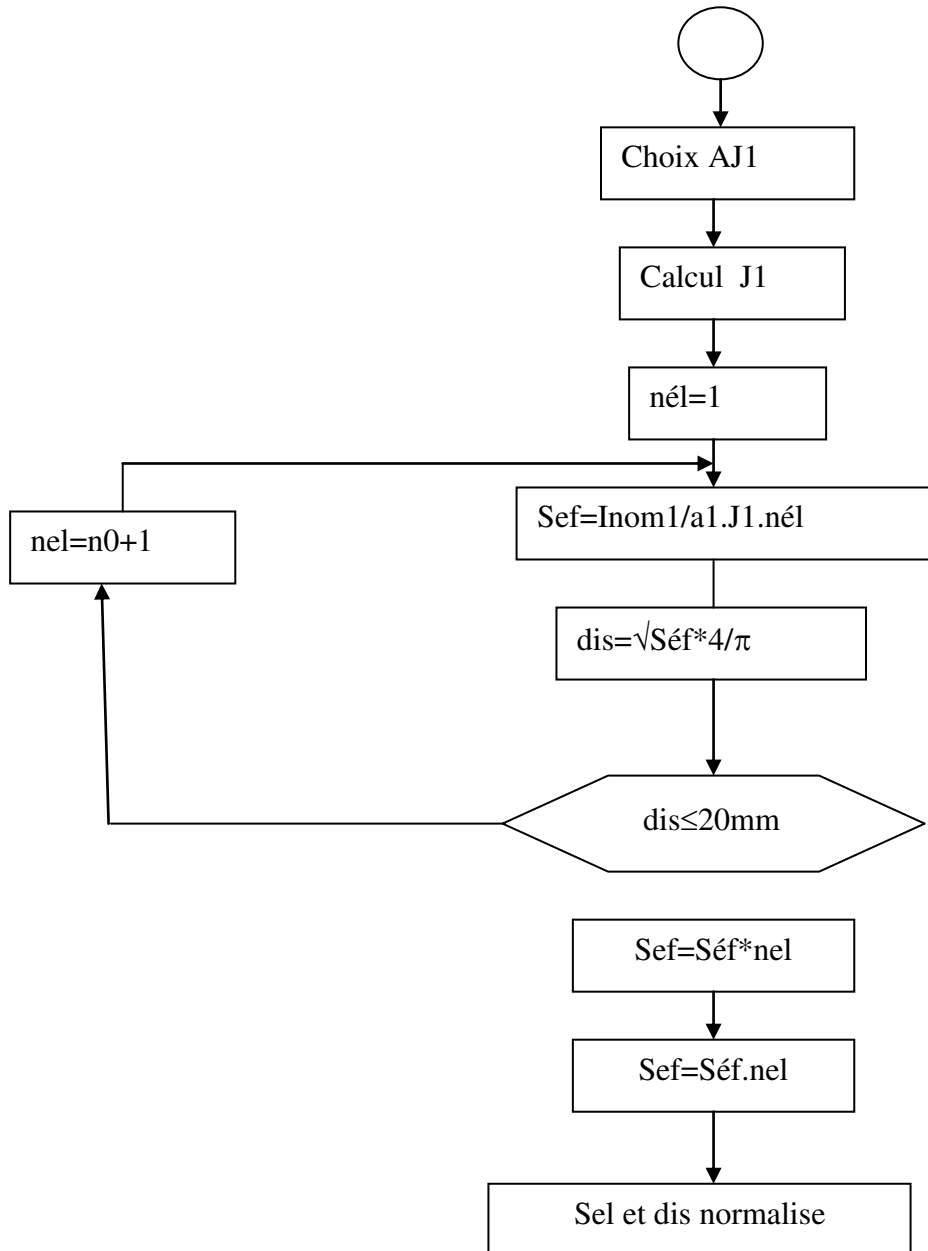
III.4.16 La densité du courant

$$J_1 = I_{\text{nom}} / a_1 \cdot s_{\text{él. né}} l$$

$$\text{A.N. } J_1 = 32.07 / 1 \cdot 19.84 = 1.161 \text{ A/mm}^2$$

III.4.17 Organigramme pour le calcul de l'enroulement statorique





III.5. Les dimensions de la zone dentaire et de l'entrefer

III.5.1. Ordre de calcul des dimensions de la zone dentaire statorique et l'entrefer

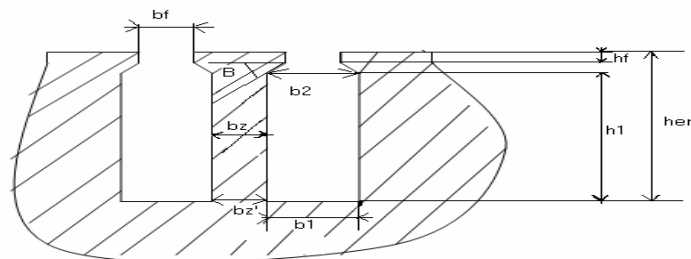
Avant d'entamer la méthode de calcul, on choisit d'abord la forme de l'encoche conformément à la donnée technique.

L'encoche est trapézoïdale, pour une telle configuration des encoches, les dents sont de forme rectangulaire.

La forme, la disposition et les dimensions des dents sont très importantes par ce qu'elles déterminent l'état du circuit magnétique du moteur à sa saturation, ainsi que la forme et la répartition du champ magnétique dans l'entrefer.

En général, la zone dentaire est caractérisé par :

- La largeur des dents.
- La hauteur des dents.
- La hauteur des culasse.
- L'induction magnétique dans les dents.
- L'induction magnétique dans le dos [7].



Fig(III.2) Configuration statorique pour un pas dentaire

III.5.2 La largeur de la dent

On prend $B_{z1} = 1,7$ [T]

$$b_{z1} = B_s * T_1 * l_1 / * l_1 * k_r \text{ [mm]} \quad \text{(III-18)}$$

18)

$$b_{z1} = 0,78 * 19,53 * 217,6 / 1,7 * 217,6 * 0,95 = 12,03 \text{ [mm]}$$

Telle que B_{z1} est l'induction maximale dans la dent : valeur préliminaire de l'induction magnétique dans la section théorique de la dent, elle tient compte des contraintes magnétiques nominales dans le fer des machines asynchrones à 50 Hz.

k_r : C'est le coefficient de remplissage du paquet du fer $k_r = f(H)$

$k_r = 0,95$ pour $U = 6000$ V, Acier 2411

III.5.3L' hauteur de la culasse

$$h_a = \Phi / (2 * B_a * l_1 * k_r) \text{ [mm]} \quad \text{(III -19)}$$

$$\text{A. N: } h_a = \frac{0.0063}{2 * 1.6 * 217.6 * 0.95} = 97 \text{ [mm]}$$

Ba : L'induction de la culasse : selon (tab.07)

III.5.4 Les dimension de l'encoche :

-L'hauteur de l'encoche :

$$h_{en} = ((D_a - D)/2) - h_a \quad ; \quad \text{[mm]} \quad \text{(III -20)}$$

$$\text{AN: } h_{en} = ((660 - 336)/2) - 97 = 65 \text{ mm}$$

- la grand l'largeur de l'encoche :

$$b_1 = \pi(D + 2h_{en}) / z_1 - b_{z1} \quad ; \quad \text{[mm]} \quad \text{(III -21)}$$

$$\text{AN : } b_1 = 3.14(336 + 2 * 97) / 54 - 12.03 = 13.3 \text{ [mm]}$$

-Le petit l'largeur de l'entrefer :

$$b_2 = (\pi(D + 2h_f - b_f) - z_1 * b_{z1}) / (z_1 - \pi) \quad ; \quad \text{[mm]} \quad \text{(III -22)}$$

Pour les moteurs ayant $h=(280 : 355 \text{ mm})$ $h_f = 1 \text{ [mm]}$, b_{z1} selon : (tab.07)

$$\text{AN : } b_2 = (3.14(336 + 2 * 1 - 5) - 54 * 12.03) / (54 - 3.14) = 13.3 \text{ [mm]}$$

III.5.5 Largeur de l'ouverture de l'encoche

$$b_f = D_{is} + (1.5 \div 2) \quad \text{[mm]} \quad \text{(III -23)}$$

$$\text{AN : } b_f = 3 + (1.5 \div 2) = 5 \text{ [mm]}$$

-La distance entre largeur de l'encoche :

$$h_1 = h_{en} - (h_f + (b_2 - b_f)/2) \quad ; \quad \text{[mm]} \quad \text{(III -24)}$$

$$\text{AN : } h_1 = 65 - (1 + (13.3 - 5)/2) = 60.2 \text{ [mm]}$$

III.5.6 Calcul des dimensions de l'encoche réel

$$\Delta b_{en} = 0.3 \text{ (mm)}; \Delta h_{en} = 0.3 \text{ (mm)}; \quad h_{en} = 255 \div 380 \text{ (mm)}$$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{en} \quad \text{(III -25)}$$

$$\text{AN : } b'_1 = 13.3 - 0.3 = 13 \text{ [mm]}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{en} \quad \text{(III -26)}$$

$$\text{AN : } b'_2 = 13.3 - 0.3 = 13 \text{ [mm]}$$

$$h' = h_1 - \Delta h_{en} \quad \text{(III -27)}$$

$$\text{AN: } h' = 60.1 - 0.3 = 59.9 \text{ [mm]}$$

III.5.8 La section de la partie de l'encoche occupée par les conducteurs

$$S'en = [(b'1 + b'2/2)]h'1 - Sis - Spe \quad ; \quad [mm^2] \quad (III -29)$$

$$AN : S'en = (13 + 13/2)59.9 - 18.7 - 15.6 = 760 \text{ mm}^2$$

$$Spe=0.6(b1+b2)=15.6 \text{ mm} \quad : \text{ pour l'enroulement à deux couche}$$

Spe : La section des paquets dans l'encoche

III.5.9.Le coefficient de remplissage de l'encoche

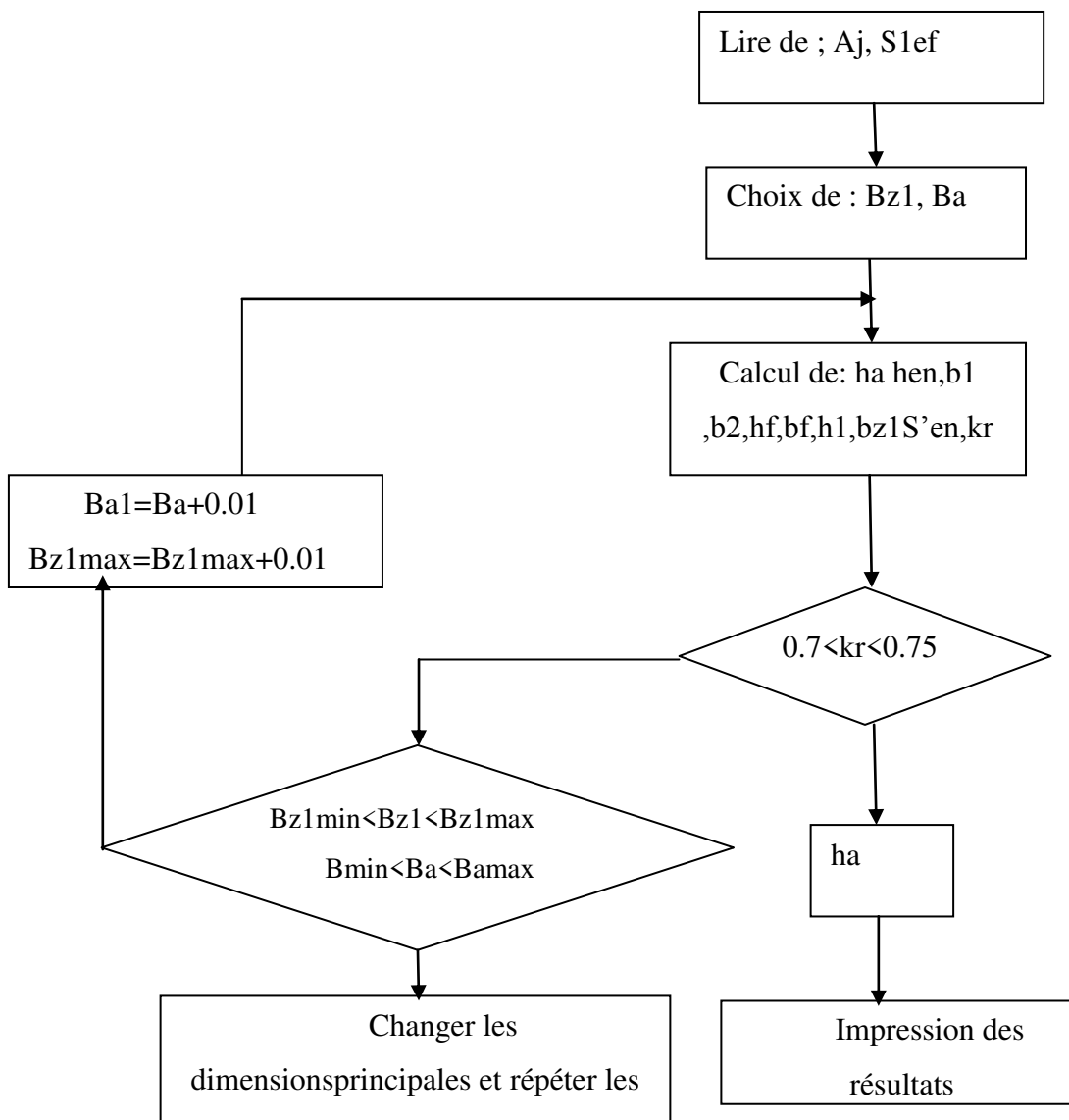
Donc le coefficient de remplissage de l'encoche est le rapport entre la place occupée par conducteur et la surface utile S de l'encoche, il est donné par la formule :

$$Kr = Seff * Uen * nel/S'en \quad ; \quad (III -30)$$

$$\text{Telle que :} \quad 0.7 < Kr < 0.75$$

$$AN : Kr = 19.84 * 28 * 1/760 = 0.73 \text{ pratiquement}[7].$$

III.5.10.Organigramme de calcul de la zone de denture du stator



III.6 Calcul du rotor à cage et circuit magnétique

III.6.1 Ordre de calcul du rotor à cage

III.6.1.1 La valeur de l'entrefer

On peut calculer la valeur de l'entrefer

$$\delta = ((3 + 0.002 * D1) * \tau / 1000) \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-31})$$

$$\delta = (3 + 0.002 * 336) \tau / 1000 = 1.95 \text{ mm}$$

III.6.1.2 Le nombre d'encoche du rotor

Z2 Z1 Pour les moteurs puissants.

Z2 Z1 Pour les moteurs de petites puissances

Z2 = 56 encoches [8].

On détermine le nombre d'encoches rotoriques d'après **tab (08)**

Z2 = 56 encoches

III.6.1.3 Le diamètre extérieur

$$D2 = D - 2\delta \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-32})$$

$$\text{AN: } D2 = 336 - 2(1.95) = 332.1 \text{ mm}$$

III.6.1.4 La longueur noyau

$$L1 = l2 \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-33})$$

III.6.1.5 Le diamètre de l'arbre

$$D_{ar} = k_{ar} * D_a \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-34})$$

On a H=80 mm alors $k_{ar} = 0.22$ selon **tab(10)**

$$D2 = 0.22 * 660 = 145.2 [\text{mm}]$$

III.6.1.6 Le pas dentaire

$$T2 = (\pi * D2) / Z2 \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-35})$$

$$\text{AN: } T2 = (3.14 * 332.1) / 56 = 18.62 \quad ; \quad [\text{mm}]$$

III.6.1.7 Le diamètre intérieur du noyau

$$D_j = D2 = 145.2 \quad ; \quad [\text{mm}]$$

III.6.1.8 Le courant dans la barre

$$I_2 = k_i * i_1 * Q_i; \quad [A] \quad \text{(III-36)}$$

$$Q_i = f(\cos\Phi) \text{ Selon (tab.11)}$$

$$K_i = 2 * m_1 * W_1 * K_b1 / z_2 \quad \text{(III-37)}$$

$$\text{A.N: } K_i = 2 * 3 * 252 * 0.91 / 56 = 23.01$$

$$\text{A.N: } I_2 = 23.01 * 32.07 * 0.9 = 662.68 \text{ A}$$

III.6.1.9 La section de la barre

$$J_2 = 4.0 \div 8.0 \quad (\text{Pour les barres en cuivre})$$

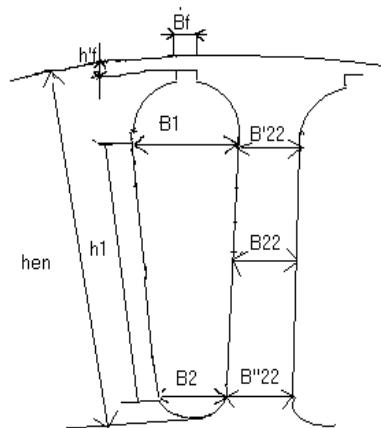
$$S_B = I_2 / J_2 \quad ; \quad [\text{mm}^2] \quad \text{(III-38)}$$

$$\text{A.N } S_B = 662.68 / 5 = 132.5 \quad [\text{mm}^2]$$

-Les encoches du rotor ovales fermées : **tab(12)**

Pour $h > 250$ [mm] $B_f = 1.5$ [mm],

$h_f = 0.7$, $h_f' = 0$, $h_f'' = 1.5$ mm



(Fig .III.3)-les encoches du rotor sont le plus ovales

III.6.1.10 La longueur admissible des dents

$$b_{z2} = B * t_2 * L / B_{z2} * I_2 * k_f \quad ; \quad [\text{mm}] \quad \text{(III-39)}$$

B_{z2} :d'après le **tab (7)** $B_{z2} = 1.8$

$$\text{A .N } b_{z2} = 0.78 * 18.62 * 217.6 / 1.8 * 204.5 * 0.96 = 8.94 \text{ m}$$

III.6.1.11 les dimensions de l'encoche

$$b1 = \pi(D2 - 2hf - 2hf') - z2 * \frac{bz2}{\pi+z2} \quad \text{(III-40)}$$

$$\text{A.N: } b1 = 3.14(332.1 - 2(0.7) - 2(1.5)) - 56 * 8.93 / 3.14 + 56 = 8.93 \text{ mm}$$

$$b2 = \sqrt{b1^2 * \left(\left(\frac{z2}{\pi} \right) + \left(\frac{\pi}{2} \right) \right) - \left(\frac{SB}{4} \right) / (Z2/\pi) - (\pi/2);} \quad \text{(III-41)}$$

$$b2 = \sqrt{8.93^2 * \left(\left(\frac{56}{3.14} \right) + \left(\frac{3.14}{2} \right) \right) - \left(\frac{132.5}{4} \right) / (56/3.14) - (\pi/2)} = 2.4 \text{ [mm]}$$

$$h1 = (b1 - b2) * \frac{Z2}{2\pi} \quad \text{(III-42)}$$

$$\text{A.N } h1 = (8.93 - 2.4) * \frac{56}{2(3.14)} = 58.23 \text{ mm}$$

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

III.6.1.12-la hauteur totale de l'encoche

$$\text{hen2} = hf' + hf + (b1 + b2)/2 + h1 \quad \text{(III-43)}$$

$$\text{A.N } \text{hen2} = 1.5 + 0.7 + (8.93 + 2.4)/2 + 58.23 = 68 \text{ [mm]}$$

III.6.1.13-la section de la barre

$$SB = \frac{\pi}{8}(b1^2 + b2^2) + \frac{1}{2}(b1 + b2) * h1 \quad \text{(III-44)}$$

$$SB = \frac{\pi}{8}(8.93^2 + 2.4^2) + \frac{1}{2}(8.93 + 2.4) * 58.23 = 357.44 \text{ [mm}^2\text{]}$$

III.6.1.14-La densité du courant dans la barre

$$J2 = I2/SB \quad ; \quad [\text{A/mm}^2] \quad \text{(III-45)}$$

$$\text{A.N } J2 = 662.68/357.44 = 1.85 \text{ [A/ mm}^2\text{]}$$

-La densité du courant dans les anneaux de circuitage Elle est inférieure à celle dans les barres de (15 :20%) ; On a

$$I_{an} = I2/2 \sin((\pi * p)/Z2) \quad ; \quad [\text{A}] \quad \text{(III-46)}$$

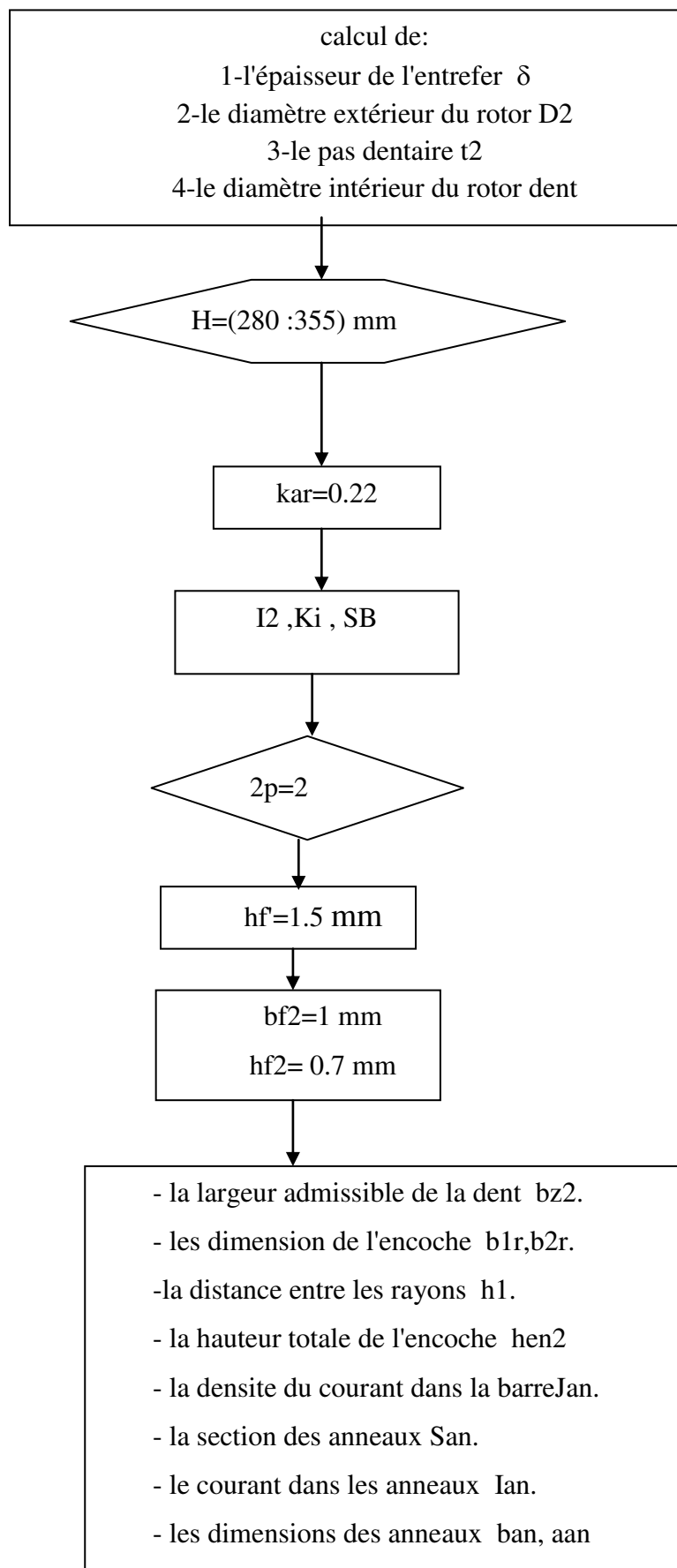
$$\text{A.N } I_{an} = 662.68/2 \sin((3.14 * 1)/56) = 5916 \text{ A}$$

III.6.1.15-La section de l'anneau circuitage

$$S_{an} = I_{an}/J_{an} \quad ; \quad [\text{mm}^2] \quad \text{(III-47)}$$

$$\text{A.N } S_{an} = 5916/5 = 1183 \text{ mm}^2 \quad J_{an} = 5 \text{ A/mm}^2.$$

III.6.1.16. Organigramme pour le calcul du rotor



III.6.2.Calcul du courant d'aimantation (circuit magnétique)

On fait le calcul de circuit magnétique pour le régime à vide .dans ce cas la courbe de répartition du flux magnétique est non sinusoïdale à cause de la saturation des dents du stator et du rotor .on détermine la densité du champ magnétique d'après les courbe d'aimantation en tenant compte de la saturation du circuit magnétique [8].

III.6.2.1.L'induction magnétique dans la dent de stator

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 magnétique de la dent inférieure à 1,8 T, la perméance de la dent est tellement grande à celle de l'aire que l'on puisse négliger la partie de flux qui passe dans l'encoche.

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 [8].

$$Bz1 = (B\delta * T1 * l\delta)/(bz1 * l1 * kr) \quad [T] \quad \text{(III-48)}$$

$$\text{AN: } Bz1 = (0.78 * 19.53 * 217.6)/(12.03 * 217.6 * 0.96 = 1.9 \quad [T]$$

Donc d'après la courbe de forte aimantation on trouve que :**Tab(13)**

$$Hz1=4250 \text{ A/m.}$$

III.6.2.2.L'induction magnétique dans la dent de rotor

$$Bz2 = (B\delta * T2 * l\delta)/(bz2 * l2 * kr)[T] \quad \text{(III-49)}$$

$$\text{AN: } Bz2 = (0.78 * 18.62 * 217.6)/(8.94 * 217.6 * 0.96 = 1.8 \quad [T]$$

Donc d'après la courbe de forte aimantation on trouve que :**Tab(13)**

$$Hz2=3190 \text{ A/m.}$$

III.6.2.3.L'induction dans les dos de stator et de rotor

$$Ba = (\Phi)/(2 * ha * L1 * kr) \quad ; \quad [T] \quad \text{(III-50)}$$

$$ha = (Da1 - D1)/2 - hen1 \quad ; \quad [mm] \quad \text{(III-51)}$$

$$\text{AN: } ha = (660 - 336)/2 - 65 = 97 \quad ; \quad [mm]$$

$$\text{AN: } Ba = (6.7 * 10^{-3})/(2 * 97 * 217.6 * 0.69) = 1.25 \quad ; \quad [T]$$

$$Bj = (\Phi)/(2 * hj * L2 * kr) \quad ; \quad [T] \quad \text{(III-52)}$$

$$hj = (2 + p)/3 * 2p(D2/2 - hen2) - 2/3 * dc2 * mc2 \quad \text{(III-53)}$$

$$hj=45.8 \text{ mm} \quad Bj=1.08 \text{ T}$$

$$\text{Pour } H=(280 : 350)\text{mm} \quad dc2(20 : 30)\text{mm} \quad mc2 = 1$$

Canaux de ventilation $nc2=12$

Donc d'après la courbe de forte aimantation on trouve que : **Tab(14)**

$$H_a = 460 \text{ A/m.}$$

$$H_j = 230 \text{ A/m.}$$

III.6.2.5. Coefficient de l'entrefer

Pour le stator :

$$k\delta = T1 / (T1 - \gamma 1^{-0.3}) = \quad \text{(III-54)}$$

$$\text{AN : } k\delta = 19.53 / (19.53 - 2.59^{-1.95}) = 1.48$$

$$\text{Telle que : } \gamma 1 = ((bf1 / \delta)^2) / ((5 + bf1 / \delta)) \quad \text{(III-55)}$$

$$\gamma 1 = ((5 / 1.94)^2) / ((5 + 5 / 1.95)) = 2.59$$

III.6.2.6. calcul de la FMM dans l'entrefer

$$F\delta = 2 * B\delta * \delta * \frac{k\delta}{\mu 0} \quad \text{(III-56)}$$

$$\mu 0 = 4 * \pi * 10^{-7}$$

$$F\delta = 1.59 * 10^{-3} * 0.78 * 1.95 * 1.48 * = 3800 \text{ [At]}$$

III.6.2.7. La FMM dans la zone dentaire de stator

$$Fz1 = 2Hz1 * hz1 \quad \text{(III-57)}$$

$$hz1 = hen1 = 65 \text{ [mm] At}$$

$$Fz1 = 2 * 65 * 4250 * 10^{-3} = 522.5 \text{ A.t}$$

III.6.2.8. la FMM de la zone dentaire du rotor

$$Fz2 = 2Hz2 * hz2$$

$$hz2 = hen1 = 66.1 \text{ [mm]}$$

$$\text{AN: } Fz2 = 2 * 66.1 * 3190 * 10^{-3} = 421.7 \text{ At} \quad \text{(III-58)}$$

III.6.2.9. Le coefficient de saturation de la zone dentaire

$$k_s = F\delta + Fz1 + Fz2 / F\delta \quad \text{(III-59)}$$

$$\text{AN : } k_s = 3800 + 522.5 + 421.7 / 3800 = 1.248$$

On compare k_s obtenu avec celui –ci admissible $K_{ud} = [1.2 - 1.6]$

$$\alpha_{scal} = 0.636 + 1.58(K_s - 1)^{2/3} = 0.7$$

$$\text{AN } \alpha_{scal} = 0.636 + 1.58(1.248 - 1)^{2/3} = 0.69$$

$$|\Delta \alpha_s| = |0.7 - 0.69 / 0.69| * 100 = 1.44 \% < 5 \text{ (acceptable)}$$

III.6.2.10.La FMM des dos du stator et du rotor

$$F_a = L_a * H_a \quad [A] \quad \text{(III-60)}$$

$$\text{AN: } L_a = 3.14 * (660 - 97) / 2 = 883.9$$

$$\text{AN: } F_a = 460 * 883.1 * 10^{-3} = 406.2 \text{ At}$$

$$F_j = L_j * H_j \quad [A] \quad \text{(III-61)}$$

$$L_j = \pi * (D_a + h_j) / 2 * P \quad \text{(III-62)}$$

$$\text{AN: } L_j = 3.14 * (145.2 + 27.3) / 2 = 270 \text{ mm}$$

$$\text{AN: } F_j = L_j * H_j = 230 * 270 * 10^{-3} = 62.1 \text{ At}$$

H_a et H_j d'après les courbes d'aimantation pour l'acier 2411

III.6.2.11.La FMM par deux pole

$$F_z = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j \quad \text{(III-63)}$$

$$\text{AN: } F_z = 3800 + 552.5 + 421.7 + 406.2 + 62.1 = 5242.5 \text{ At}$$

III.6.2.12.le coefficient de saturation

$$K_{scm} = \frac{F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j}{F_\delta} \quad \text{(III-64)}$$

$$K_{scm} = \frac{3800 + 552.5 + 421.7 + 406.2 + 62.1}{3800} = 1.379$$

III.6.2.13.Le courant d'aimantation

$$I_m = p * F_\delta / 0.9 * m * W_1 * k_b = \quad \text{(III-65)}$$

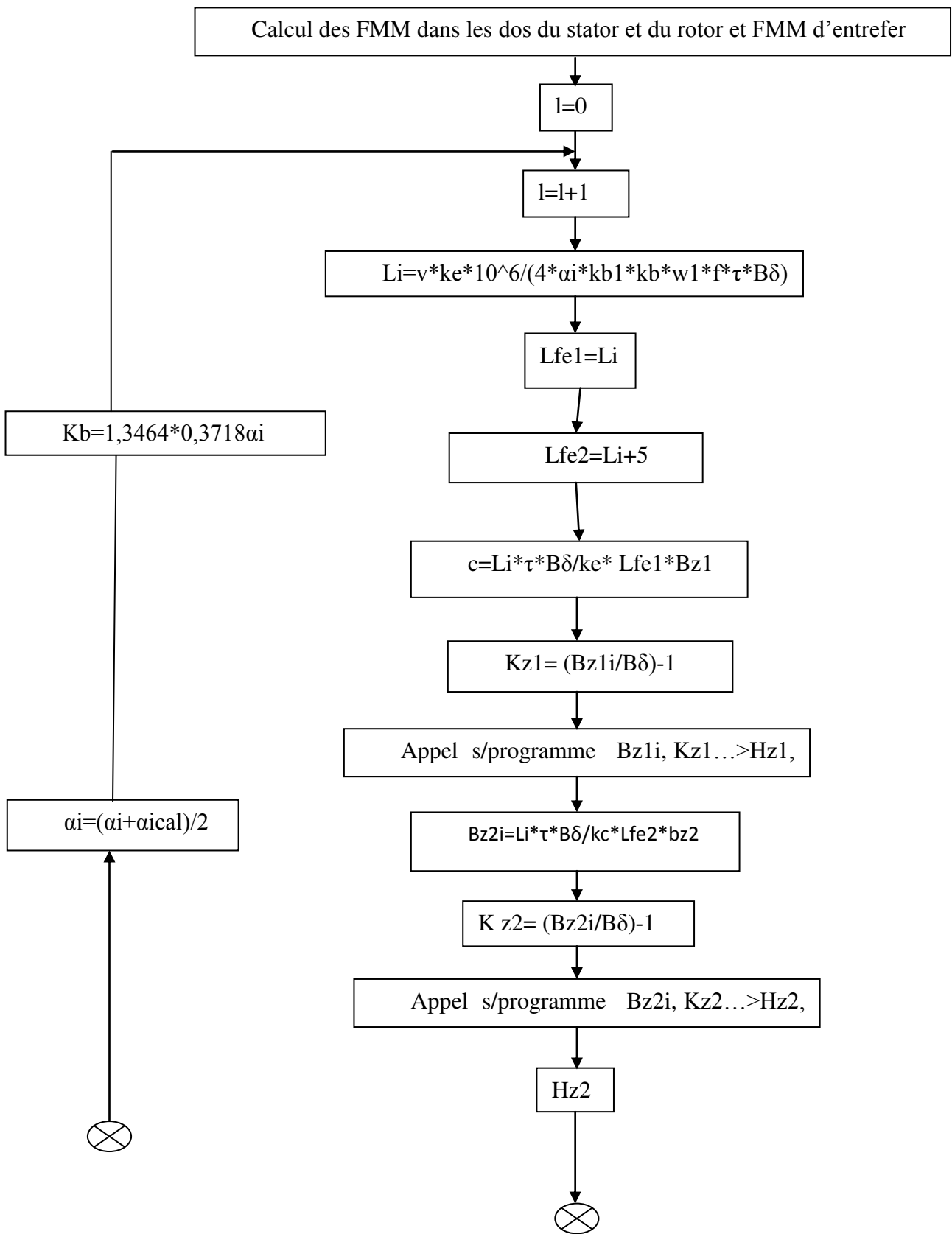
$$\text{AN: } I_m = 1 * 3800 / 0.9 * 3 * 252 * 0.91 = 6.13 \text{ A}$$

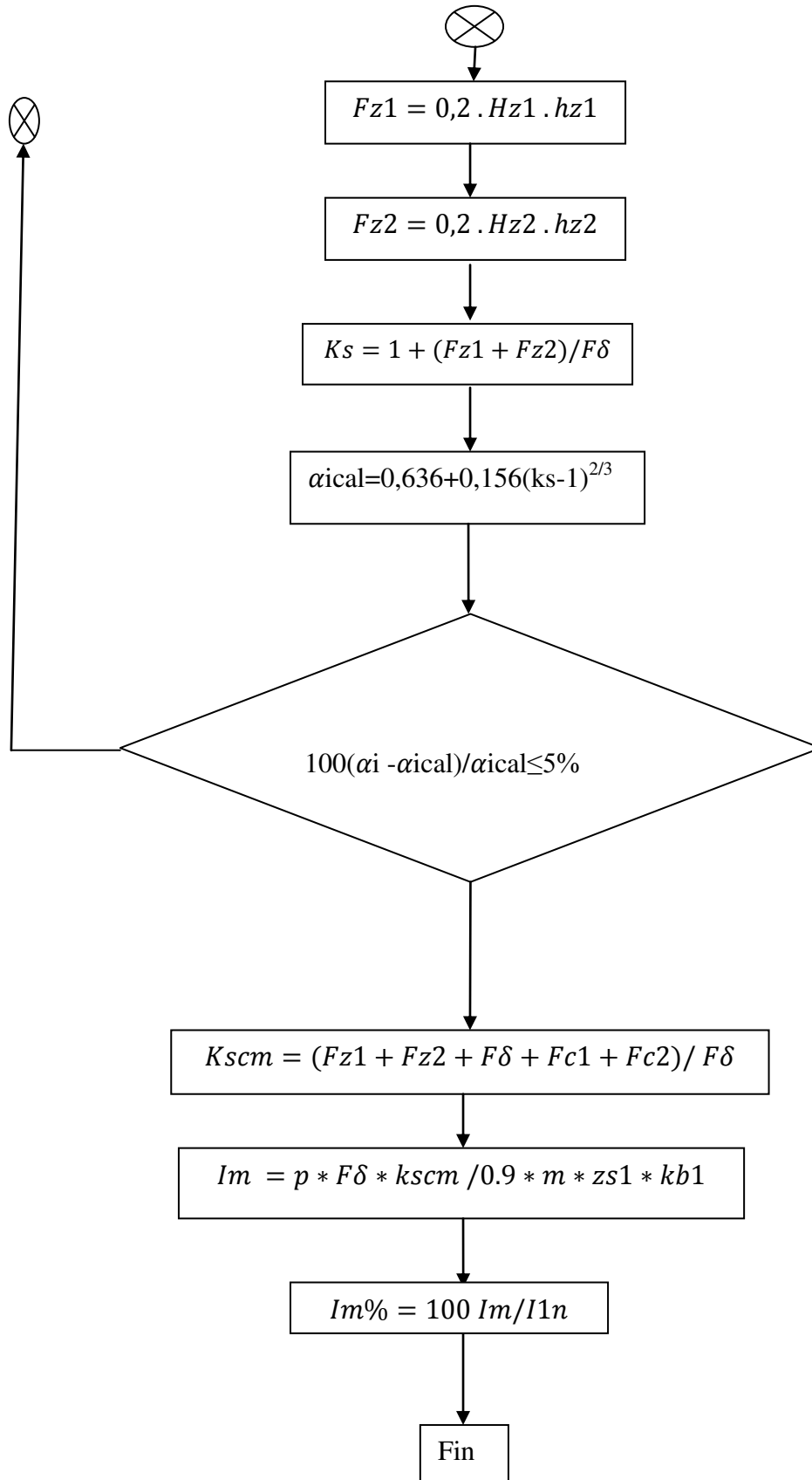
III.6.2.14.La valeur relative

$$I_u \% = (I_m A / I_{1nom}) 100 \quad \text{(III-66)}$$

$$\text{AN: } I_u \% = (6.13 \text{ A} / 32) 100 = 19.15 \%$$

III.6.2.15. Organigramme principale de calcul itératif des circuits magnétiques :





III.7.Conclusion

ces résultats peuvent être expliqués par la valeur des courants magnétisant ($I_m\%$) qui permet de porter un jugement sur le bon choix des matériaux, des enroulements adoptés aux machines et les dimensions calculées .En effet un mauvais choix, ou mauvais dimensionnement entraîne des valeurs des courants d'aimantation $I_m\%$ erronées et conduit soit à un sous dimensionnement parties actives et par conséquent et un faible rendement et un facteur de puissance élevé, soit une mauvaise utilisation des matériaux par unité de puissance.

La valeur de $I_m\% = 30\%$ pour la puissance moyenne.

$I_m\% = 20\%$ pour les grandes puissances (90kw et plus).

$I_m\% = 50\div 60\%$ pour les petites puissances malgré la faible saturation et l'optimisation des dimensions. Cela s'explique par la grande valeur de FMM qui caractérise les moteurs de tell puissances.

IV.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif, la réalisation pratique de bobinage.

Notre objectif est de réaliser un bobinage de moteur asynchrone moyenne tension en Direction Maintenance Biskra (DMB), ce bobinage est réalisé à partir d'un circuit magnétique avec des dimensions bien déterminées par étude (la forme d'encoche, la longueur, l'induction, etc.....).

Avant de réaliser le bobinage on représente le matériel disponible au niveau du laboratoire.

IV.2 Matériel utilisé

- Micro ohmmètre CA10, CHAUVIN ARNOUX.
- Mégohmmètre d'isolement ISOL 5003 , CHAUVIN ARNOUX.
- Pince multimètre numérique : INFRATHERME, D .261C , CHAUV.A.
- Autres moyens.
- Pont roulant 20 T + chariot élévateur.
- Chalumeau (à acétylène).
- Arrache moyeu sur roues, réglable en hauteur.
- Banc d'équilibrage de capacité 5,5 T.

IV.3 Caractéristiques techniques du moteur

MARQUE : Jeumont Schneider.

Type : TAC99 5-70-4.

Puissance : 250 KW.

Tension : 5500 V.

Vitesse : 2960 Tr/min.

Courant : 32A.

Cosφ :0.88.

Fréquence :50 Hz.

Indice de protection : IP 55.

IV.4 Bobinage d'une machine asynchrone

IV.4.1 Démontage du moteur

Avant de commencer le démontage, il est recommandé de pointer les flasques de manière à pouvoir les repérer lors du remontage (certains moteurs n'ont pas des flasques réversibles) .

Durant le démontage, il faut bien observer comment le moteur est assemblé :



Fig(IV-1) Repérage du flasque.

- Repérage des côtés, des pièces constructives du moteur.
- Extraction d'accouplement à l'aide d'une arrosoir moyenne soutenu.
par un rapport de chaleur appliquer sur ce dernier.
- Démontage et déposes des plaques (coté accouplement et côté opposé).
- Démontage et déposit des paliers.
- Démontage des filtres d'air de refroidissement.
- Démontage du ventilateur de refroidissement.
- Dépose du rotor du moteur.

Une fois que les repérages du bobinage d'origine sont faits, il faut couper les têtes de bobines à l'aide d'un ciseau de menuisier et d'un marteau.

La première découpe servira à dégrossir le travail dans le but de retirer la tête de bobines (si possible entière) :

Il faut faire une première découpe bien au-dessus des encoches.

Pour retirer le cuivre qui se trouve dans les encoches, il faut le frapper à l'aide d'une tige et d'un marteau. Si l'imprégnation empêche le rait, il peut être nécessaire de bruler le contenu des encoches à l'aide d'un chalumeau [9].

IV.4.2 Nettoyage les encoche de stator

Nettoyage et préparation des encoches pour montage du Kit, inspection visuelle des encoches et localisation les points à risque.



Fig(IV-2) Nettoyage les encoche de stator.

IV.4.3 Essai de fer

Lors de l'essai de fer on détermine les points les plus chauds du circuit magnétique et les réparer si nécessaire [10].



Fig(IV-3) Essai de fer.

IV.4.3.1 Matériel utilisé

- Appareil infrarouge.
- Thermomètre infrarouge.
- Thermomètre à contact.

IV.4.3.2 Critères d'acceptation

Si au bout de **15 minutes** la différence de température excède 15°C entre la zone la plus chaude et la moins chaude.

On doit essayer d'améliorer l'isolation des tôles.

Si l'augmentation de la température moyenne du fer **après une heure** d'essai excède 30°C plus la température ambiante, on doit essayer d'améliorer l'isolation des tôles [9].

IV.4.3.3 Résulte d'essai

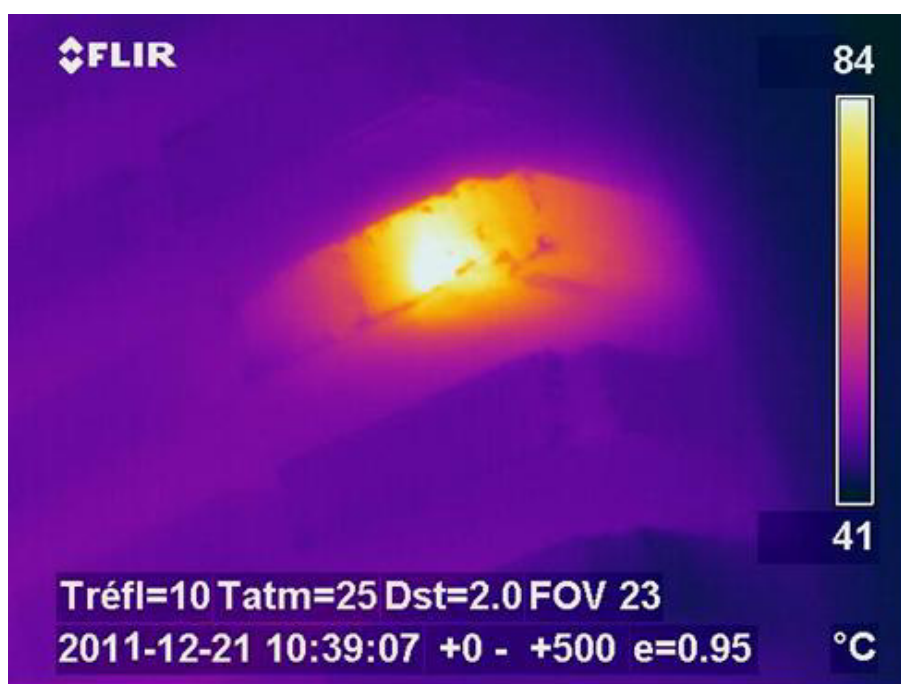
Ampère-tour : 384 A.t .

Volts/spires :64 A.

Temp:29°.

	<i>Point 1</i>	<i>Point 2</i>	<i>Point 3</i>	<i>Point 4</i>	<i>Point 5</i>
<i>15 MN</i>	46	42	43	68	49

Au bout de **15 minutes** la différence de température relevée entre la zone la plus chaude et la zone froide est : $T_{max} - T_{min} (°C) = 68° - 42° = 26°$



Fig(IV-4) photo de thermomètre infrarouge(avant réparation).

a) Constatations

Le moteur présente un point chaud au bas d'une encoche au milieu du stator.

b) Recommandation

L'isolation des tôles du circuit magnétique (aux endroits chauds) doit être améliorée.

IV.4.3.4 Après réparation

	<i>Point 1</i>	<i>Point 2</i>	<i>Point 3</i>	<i>Point 4</i>	<i>Point 5</i>
<i>15 MN</i>	44	44	44	44	47
<i>60 MN</i>	53	54	55	55	56

15 MN : $T_{\max} - T_{\min} (\text{°C}) = 47^{\circ} - 44^{\circ} = 3^{\circ}$.

60 MN : $T_{\max} - T_{\min} (\text{°C}) = 56^{\circ} - 53^{\circ} = 3^{\circ}$.



Fig(IV-5) photo de thermomètre infrarouge(Après réparation).

Les valeurs de température mesurées après la réparation du circuit magnétique sont acceptables.

IV.4.4 bobinage de la machine

Soit le moteur à étudier contenant 54 encoches, 2 pôles avec un nombre de phases $m=3$ avant de dessiner le schéma du bobinage, il faut calculer le nombre des encoches occupées par pôle et le nombre d'encoche par pôle et par phase, ainsi que le déphasage entre les trois entrées soit :

- Le nombre d'encoches par pôle et par phase :

$$q = Z/2 * P * m = 54/2 * 1 * 3 = 9 \quad (\text{IV-1})$$

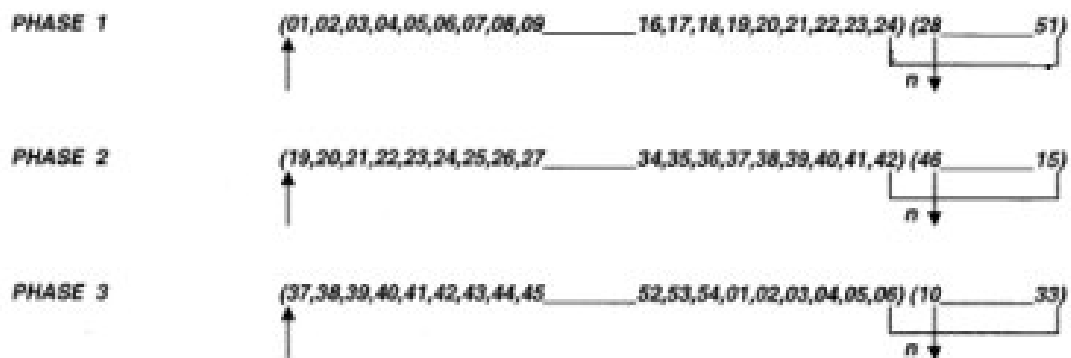
- Le pas polaire :

$$\tau = \frac{Z}{2P*2} = 54/4 = 13.5 \text{ encoche (à deux couches).}$$

$$Y > m \times q = Z / (2 p): \text{ pour un pas allongé [2].} \quad (\text{IV-2})$$

Le pas polaire=15 (1-16).

Après la fabrication des bobines. On construit un diagramme qui facilite le bobinage :



Fig(IV-6) Diagramme de bobinage.

Placement des bobines. Pour placer les bobines dans les encoches, il faut être très attentif et tenir compte les points suivants :

- 1) Assurer que les fils de connexion soient placés du côté où se trouve la plaque à borne.
- 2) Être attentif au nombre d'encoche à laisser vides entre l'entrée et la sortie d'une bobine.
- 3) Lorsqu'il y a plusieurs bobines en série, il faut les monter dans le bon sens.
- 4) Penser à appliquer la méthode de montage qui assure une symétrie des bobines [10].

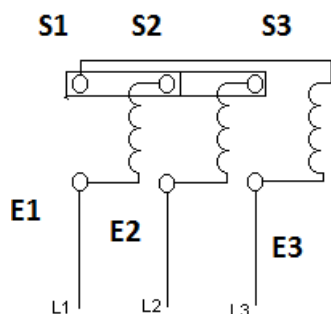




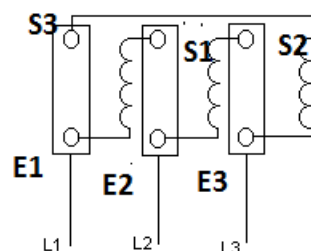
Fig(IV-7) Montage de bobinage.

- Finalement il faut relier ensemble les groupe de la même phase ($x_1.x_2.x_3$) et mettre des rallonges de fil isolé résistant à la chaleur pour les entrées et les sorties qui seront par la suite raccordée à la plaque à bornes.

- Il est également important de différencier les fils d'entrées (E1.E2.E3) des fils des sorties (S1.S2.S3).de manière à pouvoir repérer au moment du raccordement sur la plaque de manière à pouvoir retirer au moment du raccordement sur la plaque a bornes [9].



Fig(IV-8.a) Couplage étoile.



Fig(IV-8.b) couplage triangle.

Fig(IV-8) Couplage des moteurs asynchrones triphasés .

Il est recommandé de faire plusieurs tests pour des éventuelles réparations et corrections.

IV.5Essais en fin de réparation

IV.5.1Test de bobinage

La procédure d'essais en fin de réparation a pour but de définir les contrôles à effectuer et les valeurs à mesurer lors des essais de machines après leurs remises en état. Ils comprennent également des contrôles électriques, déterminés selon chaque type de machine réparée, il s'agit de:

IV.5.1.1 Continuité des bobines :

Objectif de cet essai est :

Balance des résistances des bobines.

Identifier la résistance des phases.

Continuité des bobines.

IV.5.1.1.1 Matériel utilisé

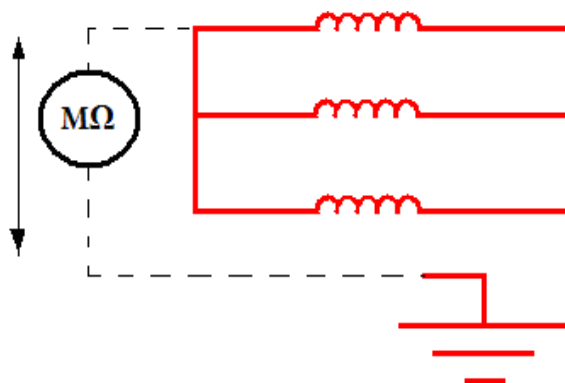
Fig(IV-9) Micro ohmmètre CA10, CHAUVIN ARNOUX.

IV.5.1.2 Mesure des résistances ohmiques pour le bobinage statorique

Enroulement	Résistance mesurée (mΩ)
ph1	1017
Ph2	1016
ph3	1017

On remarque que les résistances statoriques sont équilibrées.

IV.5.3 Test Isolation entre les bobines



Fig(IV-10) Test Isolation entre les bobines.

A l'aide de Mégohmmètre, on mesure l'isolement des phases (test des isolements des phases) [10].

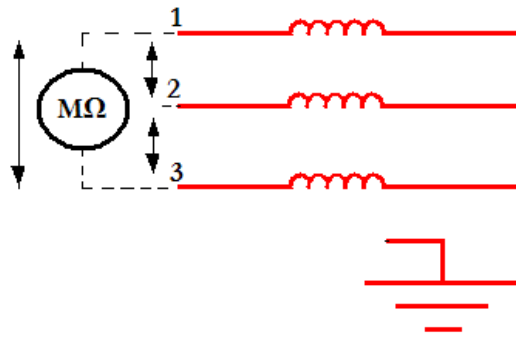


Fig(IV-11) Mégohmmètre ISOL 5003

La valeur mesurée en résultats

Enroulement	Résistance mesurée ($G\Omega$)
Entre V et U	∞
Entre U et W	∞
Entre W et V	∞

IV.5.4 Test Isolement entre chaque bobine et la terre



Fig(IV-12) Test Isolement entre chaque bobine et la terre.

A l'aide de Mégohmmètre, on mesure l'isolement entre chaque phase et la culasse (test résultats) à obtenir :

Enroulement	Résistance mesurée (GΩ)
Entre V et la terre	10
Entre U et la terre	10
Entre W et la terre	10

IV.6 Conclusion

Le bobinage est l'une des plus importantes phases dans le processus de fabrication des moteurs dans la maintenance des systèmes électrique.

Dans ce chapitre nous avons montré chaque étapes nécessaire pour la mise en encoches de bobinage et finalement nous avons réalisé des tests de continuité bobine, test d'isolation entre bobine et entre les phases et entre la culasse et la terre.

Conclusion

Nous terminons ce travail en dégagant les conclusions suivantes :

Lors de l'établissement de ce projet, bobiner est un concept qui demeure en permanence de l'ingénieur, soucieux de la compétitivité de ses réalisations.

La conception est un bon moyen de réaliser, d'optimiser, du fait de la participation active de l'opérateur au déroulement du calcul. Celui-ci a toutes les possibilités d'étudier l'influence d'un paramètre quelconque sur les caractéristiques qui l'intéressent

Dans ce travail:

Nous avons mis l'accent sur l'étude des enroulements des moteurs asynchrones triphasés, ces derniers sont les plus utilisés à cause des avantages qu'ils représentent comme nous l'avons vu précédemment.

Ce travail est composé de deux parties essentielles :

La première partie a été l'objet de calcul de moteur triphasé de 250 kW, 5500V, $2p=2$. Selon la méthode de calcul (calcul des dimensions principal, calcul de l'enroulement statorique).

La deuxième partie est la réalisation de bobinage du moteur triphasé

En fin, nous espérons qu'avec notre travail, nous venons d'approfondir nos connaissances théoriques, et que ce travail pourra nous servir comme base dans le domaine de l'élaboration et la conception des machines dans notre vie professionnelle.

- [1] :R.Abdessemmed, V.Abdessemmed les enroulements des machines électriques.
Université de Batna 1995.
- [2] R.MERRLET
Technologie d'électricité générale et professionnelle.
Edition BORDAS, paris 1976.
- [3] : G. KOUSKOFF, Construction de machines électriques, université de Nancy, 1952.
- [4]: CHAIB Abdelhakim .KADIR Nadjib "Diagnostic des défauts du machine asynchrone
A cage étude expérimentale" (mémoire fin d'étude-Biskra -2008/2009).
- [5] Abla Bouguerne : Diagnostic automatique des defaults des moteurs asynchrones
(mémoire de Majester CONSTANTINE -2009).
- [6] GRASSEVICH.V, TRIAIA, TROCHINE (Formules et méthodes de calcul d'un
moteur asynchrone (Formules et méthodes de calcul d'un moteur asynchrone (1)
Université d'Annaba.1983.
- [7] M.KOSTENKO, L.PIOTROVSKI. Machine Electrique tome II
Edition MIR .Moscou.1979.
- [8] MASMOUDI KAMEL .BRAHMIA A/RAZZAK 'Etude comparative d'un moteur
asynchrone associe à différents rotor (mémoire fin d'étude-Biskra -1996/1997).
- [9] Bobinage d'un moteur asynchrone triphasé, Dimensionnement, réalisation, et
expérimentation. (Mémoire de fin d'études 2009/2010)
- [10] technique d'ingénieur (bobinage des machines tournantes à courant alternatif).D3420.
-

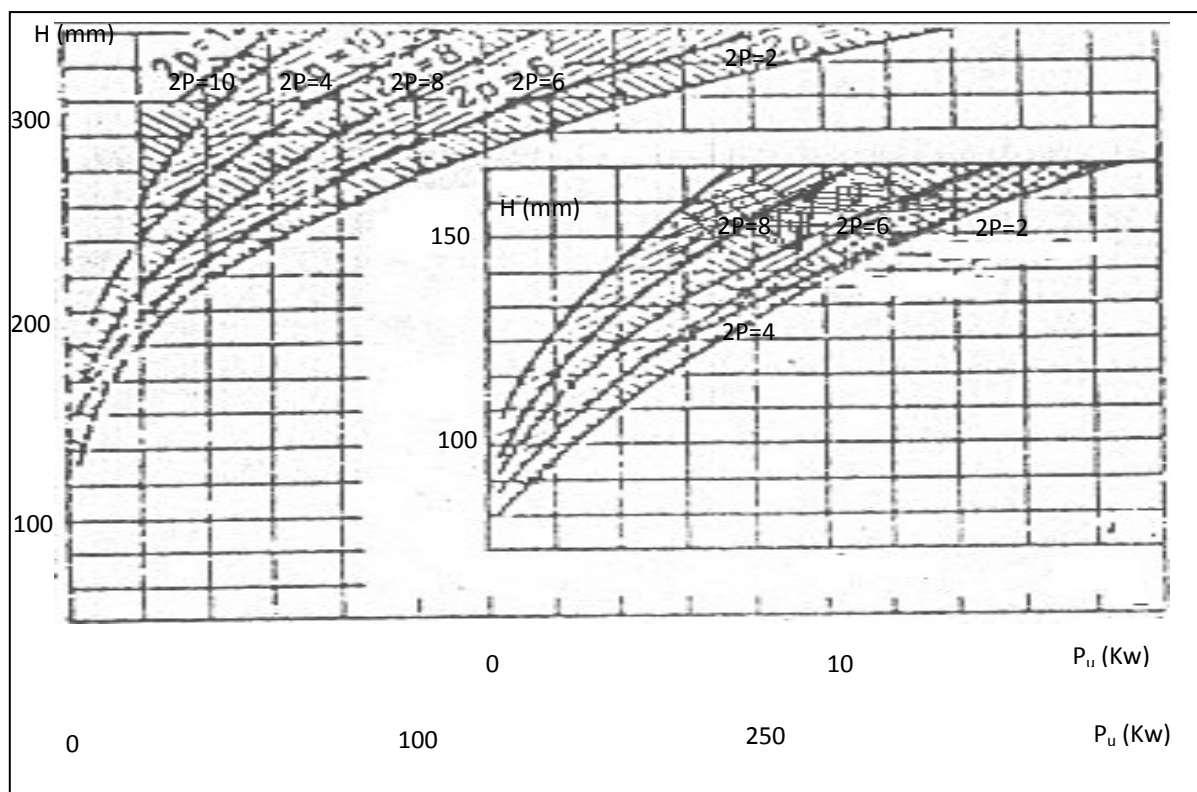


Fig.1 La hauteur de l'axe de rotation $H = f(P_u, 2P)$

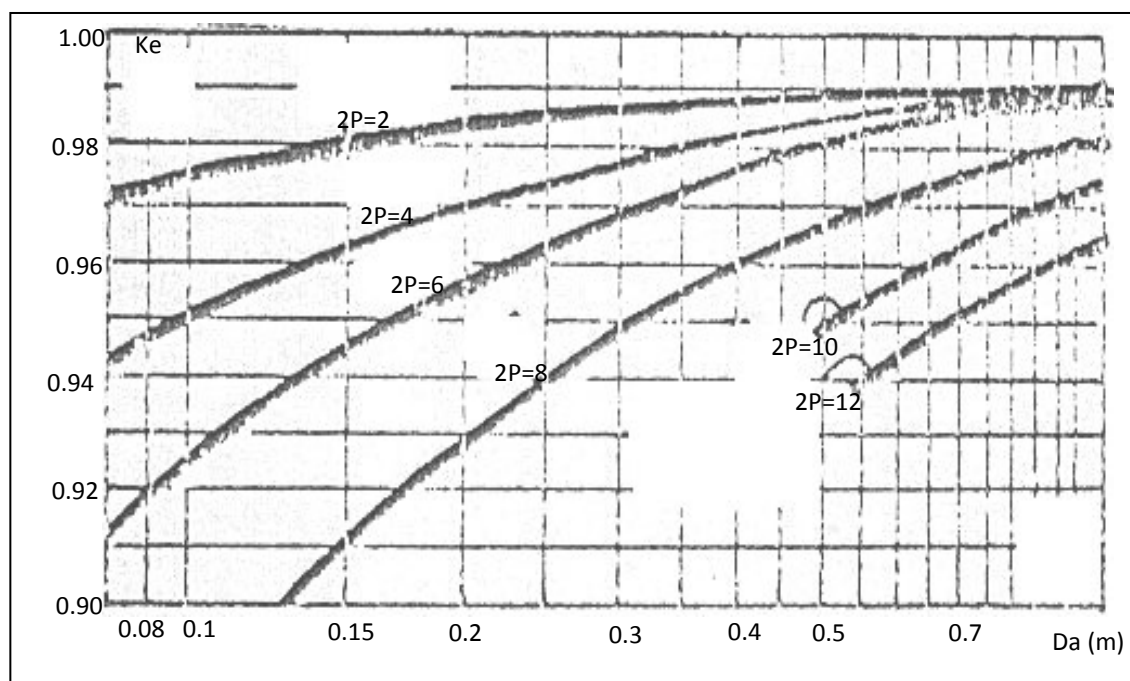


Fig.2 Le coefficient de chute de tension $K_e = f(D_a)$

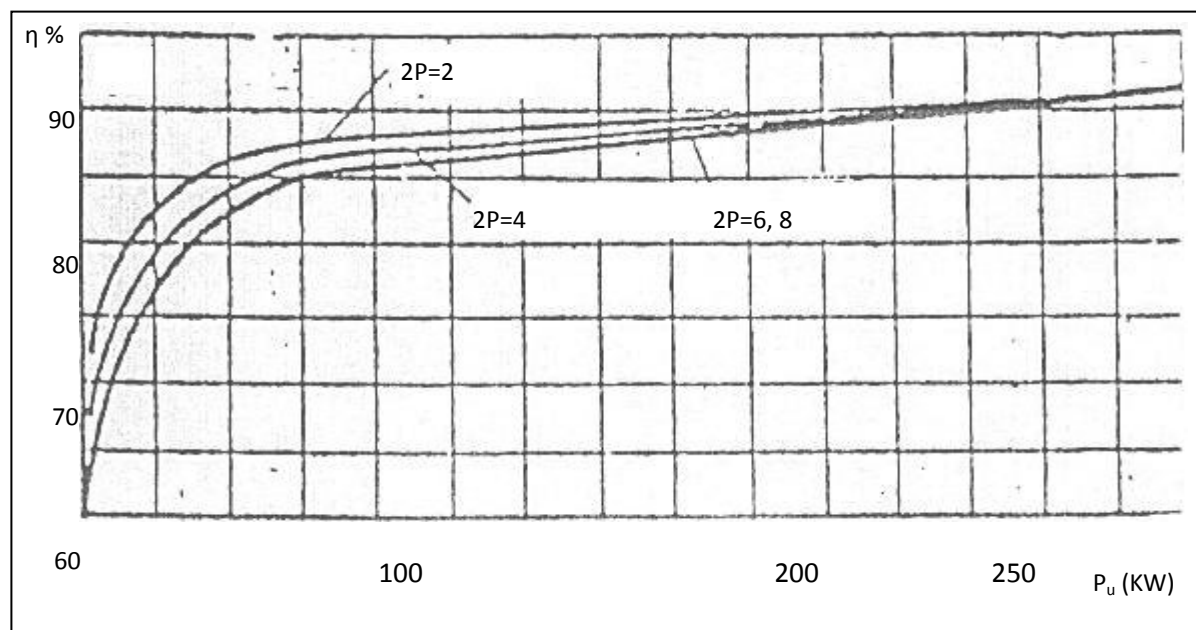


Fig.3 Le rendement $\eta = f(P_u, 2P)$

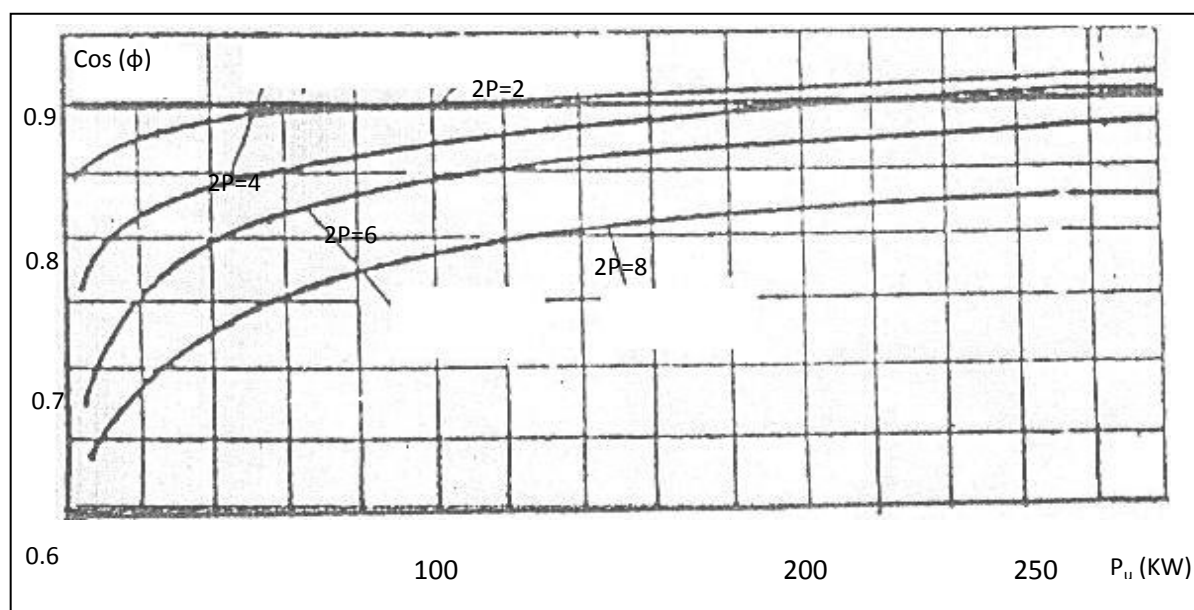
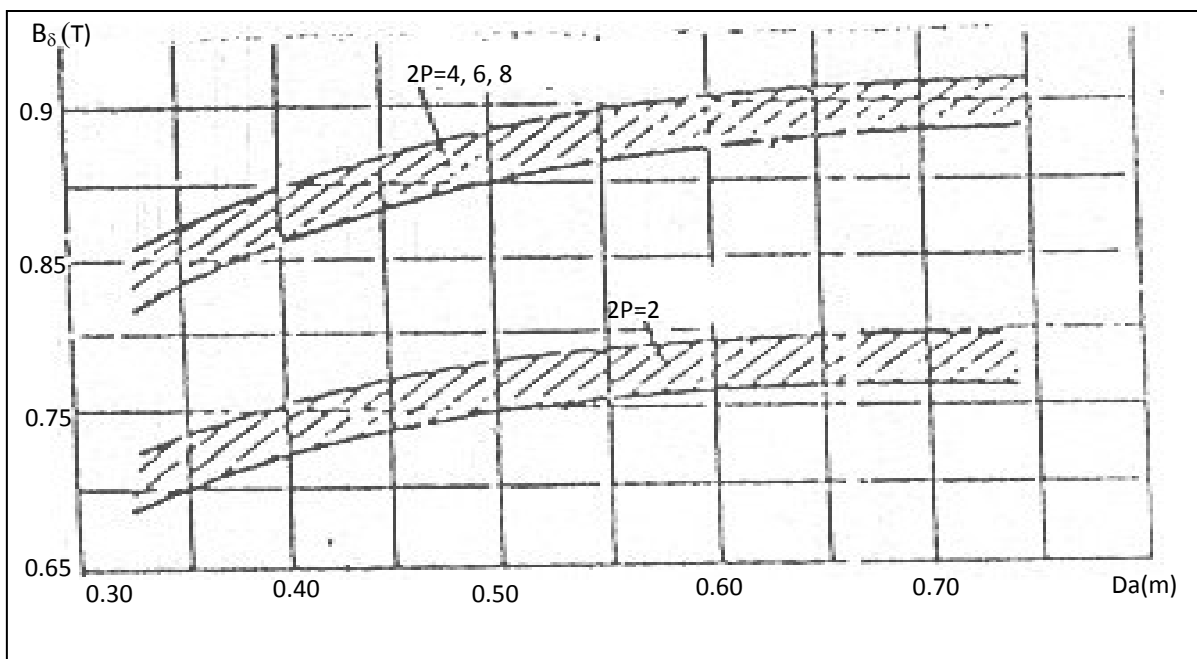
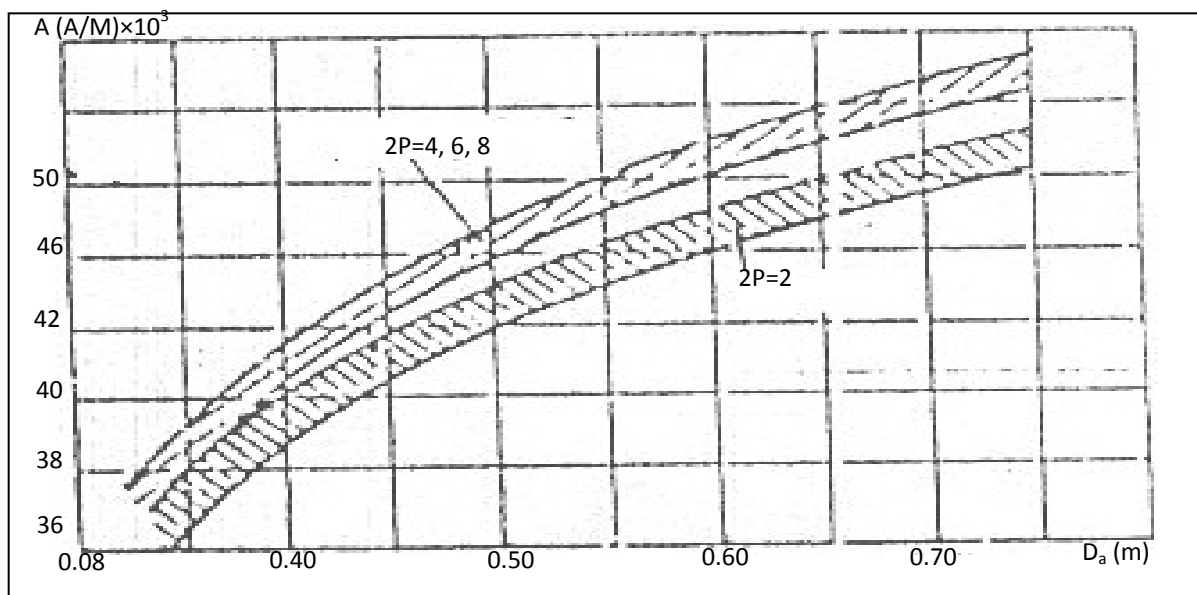


Fig.4 Le facteur de puissance $\text{Cos}(\phi) = f(P_u, 2P)$



$h = 280 : 355 \text{ mm}$.

Fig. 5 : B_δ ' induction magnétique.



$h = 280 : 355 \text{ mm}$

Fig.6 : la charge électromagnétique préalable A (A/M)

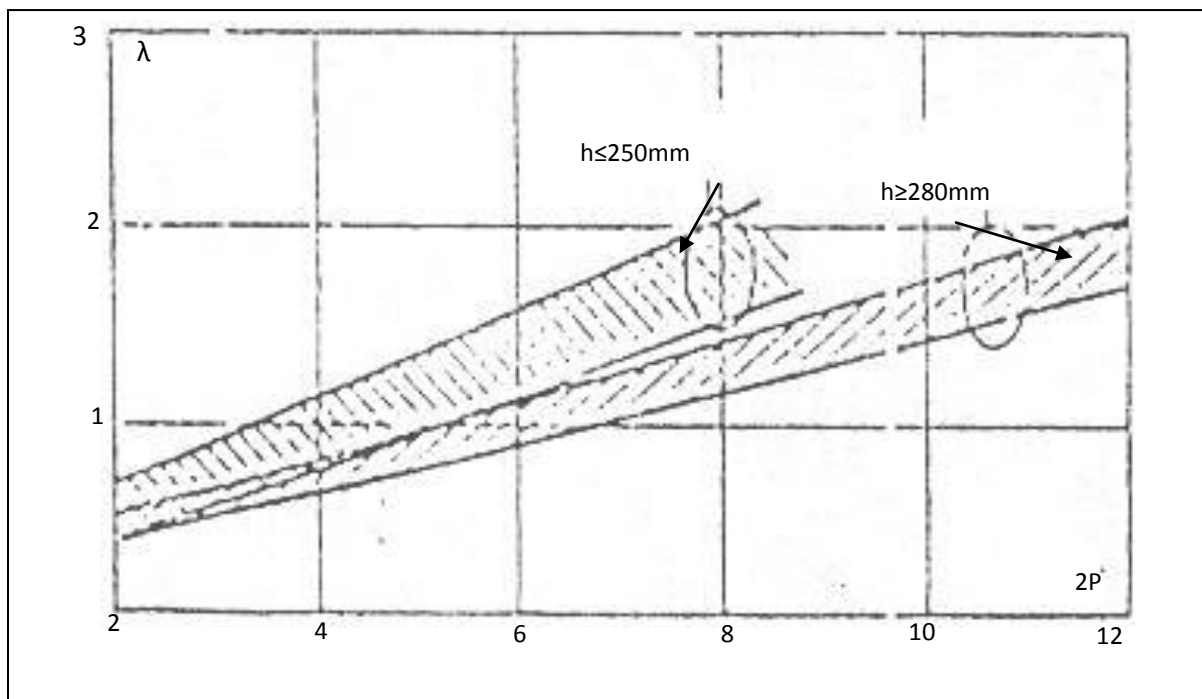
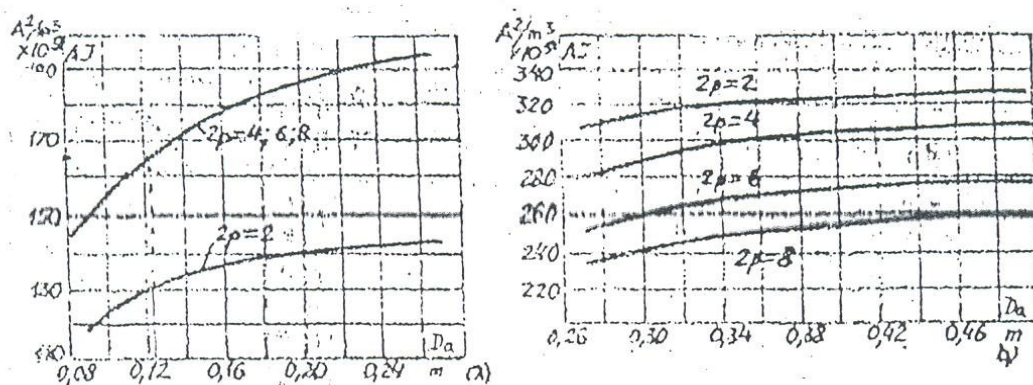


Fig.7 Le rapport $\lambda = L/\tau$ $\lambda = f(2P, h)$



(a)

(b)

Fig.8 Valeur moyenne de produit A_j des moteurs asynchrones

(a).pour IP 44 $h=160.250\text{[mm]}$

(b).pour IP44 $h=280.355\text{ [mm]}$

La hauteur de l'axe de rotation H (mm)	La puissance P2 (KW) pour 2P			
	2	4	6	8
56	rotor en court-circuit, IP44, IC0141			
	0.18	0.12	/	/
71	0.25	0.18	/	/
	0.75	0.55	0.37	0.25
80	1.10	0.75	0.55	/
	1.50	1.10	0.75	0.37
90	2.20	1.5	1.1	0.55
	3.00	2.2	1.5	0.75
100	/	/	/	/
	4.00	3.00	2.20	1.5
160	5.50	4.00	/	/
	15	15	11	7
200	18.5	18.5	15	11
	37	37	22	18.5
250	45	45	30	22
	75	75	45	37
315	90	90	55	45
	160	160	110	90
355	200	200	132	110
	250	250	160	132
	315	315	200	160

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

H (mm)	90	100	132	160	180	200	225	250	280	315	355
Da (mm)	0.149	0.191	0.225	0.272	0.313	0.349	0.394	406	520	590	660

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

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

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

H (mm)	2P	Type d'enroulement	Forme de l'encoche
71÷160	2 ; 4 ; 6 ; 8	Une couche concentrique	Trapézoïdale à demi-fermée
180÷225	2 ; 4 ; 6 ; 8	Deux couches imbriquées	Trapézoïdale à demi-fermée
280 :355	2 ; 4 ; 6 ; 8	A deux couches en barre	Rectangulaire demi-ouvert

Tableau (4) : Type d'enroulement statorique

2p	pour h [mm]		
	50-132	160-225	250-450
2	3- 4	5- 6	8-9
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 (5) : nombre d'encoche par pôle et par phase

diamètre nominal du fil nu [mm]	diamètre du fil isolé [mm]	section du fil nu [mm ²]
0.15	0.18	0.01767
0.16	0.19	0.0201
0.17	0.20	0.0227
0.18	0.21	0.0255
(0.19)	0.22	0.0284
0.20	0.23	0.0314
(0.212)	0.242	0.0353
0.224	0.259	0.0394
(0.265)	0.271	0.0437
0.26	0.285	0.0491
0.265	0.300	0.0552
0.23	0.315	0.0616
(0.30)	0.335	0.0707
0.315	0.350	0.0779
0.335	0.370	0.0881
0.355	0.395	0.099
0.375	0.415	0.1104
0.40	0.44	0.1275
0.425	0.465	0.1419
0.45	0.49	0.1590
0.575	0.515	0.1772
0.50	0.545	0.1963
(0.53)	0.585	0.221

Tableau (6) : Fil des enroulements utilisé.

Tronçons du circuit magnétique	Symboles	IP44					IP23					
		2p=2	4	6	8	10,12	2	4	6	8	10	12
Culas, du stat.	B _a		1,4-1,6		1,15-1,25	1,1-1,2		1,45-1,6		1,2-1,4		1,1-1,3
Dents du stat. section const. enr; fil à fil	B _{z1}		1,7-1,9				1,9-2,1		1,8-2,0		1,7-1,9	
Dans la section la plus étroite												
encoche d-fermée	B _{z1max}			1,75-1,95			1,9-2,1			1,8-2,0		
encoche ouverte	B _{z1max}				1,6-1,8					1,7-1,9		
Culas, du rotor												
à cage	B _j	≤ 1,45	≤ 1,25	≤ 1,15		≤ 0,85	≤ 1,35	≤ 1,35	≤ 1,25		≤ 0,85	
à bague	B _d	-	≤ 1,25	≤ 1,05		≤ 0,75	-	≤ 1,35	≤ 1,15		≤ 0,85	
pour U=6000V	B _j	-	≤ 1,35	≤ 1,30		≤ 0,10	-	≤ 1,45	≤ 1,20		≤ 1,0	
Dents du rotor section const.												
(encoche ovale)	B _{z2}				1,75-1,85					1,8-1,95		
sect. la pl. stat.	B _{z2}											
à cage	B _{z2}		1,5-1,7		1,45-1,6		-	1,6-1,8		1,55-1,70		
à bague	B _{z2}		1,85-2,05		1,75-1,9		-	2,0-2,2		1,9-2,05		

Tableau (7) : induction magnétique admissible dans les tronçons du circuit magnétique

2p	nombre d'encoche du stator	nombre d'encoche du rotor	
		sans isolation	avec isolation
2	12	9-15	-
	18	11- 12- 15- 21 -22	14 -18 -19 -22 -26- 28- 30 -31 33 -34- 35
	24	15- 16-17- 19 -32	18 -20- 26 -31 -33 -34- 35
	30	22- 38	18 -20 -21- 23- 24- 27- 39- 40
	36	26- 28- 44 -46	25 -27-29 -43- 45 -47
	42	32- 33 -34 -50- 52	-
	48	38- 40- 56- 58	37- 39 -41 -55 -57- 59

Tableau (8) : nombre d'encoches préférable des moteurs asynchrone à cage

H (mm)	bis pour 2P		
	classe : B	classe : F	Classe : H
50÷80	0.20	0.20	0.20
90÷132	0.25	0.25	0.25
280÷355	0.60	0.60	0.60

Tableau (9) : Valeur de bis (encoche statorique).

h [mm]	50÷63	71÷250	280÷355	280÷355 2p=4 à 12	400÷500
Kar	0.19	0.23	0.22	0.23	0.23

Tableau(10) : rapport de diamètre de du rotor

cos θ	0.80	0.805	0.83	0.835	0.84	0.845	0.86	0.865	0.87
Qi	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.90
Cos θ	0.875	0.88	0.885	0.89					
Qi	0.9	0.9	0.9	0.91					

Tableau(11) :facteur de courant en fonction du facteur de puissance

H (mm)	2P	Forme de l'encoche
50÷132	2 ; 4 ; 6 ; 8	Ovale à demi-fermée
280÷355	2 ; 4 ; 6 ; 8	Ovale fermé

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

(T)	B	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	H (A/m)										
0.4		52	53	54	55	56	58	59	60	61	62
0.5		64	65	66	67	69	71	72	74	76	78
0.6		80	081	83	85	87	89	91	0.93	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	2.09	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	3.13
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		3190	3600	4030	4260	4490	4720	4930	5140	5350	5560
1.9		4250	4600	4850	5100	5250	5400	5700	5840	5900	5970
2.0		6010	6100	6350	6470	6500	6560	6610	6660	6760	6800

Tableau (13) : Intensité de champ pour le dent des moteurs asynchrones : acier 2411

B (T)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	H (A/m)									
0.40	124	127	13	133	136	1.38	1.41	147	147	15
0.5	154	157	16	164	167	171	174	177	180	184
0.6	158	164	168	171	179	185	188	195	200	220
0.7	165	170	175	179	184	189	195	200	205	258
0.8	174	185	180	184	190	196	200	206	210	283
0.9	186	190	193	197	201	204	208	212	216	320
1.0	194	199	203	208	212	216	220	225	230	365
1.1	270	275	280	285	291	296	301	306	311	417
1.2	424	4.30	436	442	448	455	461	467	473	479
1.3	486	495	504	514	524	533	563	574	584	585
1.4	586	598	610	622	634	646	658	670	683	696
1.5	709	722	7350	749	764	777	791	805	820	835
1.6	850	878	9060	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	2640	2760	2890	3020
2.0	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2.1	5140	5440	5740	60.5	6360	6670	7120	7570	8020	84700
2.2	8920	9430	9940	104600	109800	11500	12000	12600	13200	13800
2.3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

Tableau (14) : Intensité de champ pour les dos des moteurs asynchrones :acier 2411