

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 : réseaux électriques

Réf:.....

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

MASTER

Thème

**OPTIMISATION DU CIRCUIT
ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE
LA SATURATION**

Présenté par :
Chettouh Salah Eddine
Soutenu le : 5 Juin 2014

Devant le jury composé de :

Mr. Dandouga Abdelhakim

M.C.B

Président

Mr. Titaouin Abdenacer

P.r

Encadreur

Mr. Magherbi Ahmed Chaouki

M .C.B

Examinateur

Année universitaire : 2013 / 2014

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 : réseaux électriques

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

MASTER

Thème

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE
MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA
SATURATION**

Présenté par :

Chettouh Salah Eddine

Avis favorable de l'encadreur :

Titaouin Abdenacer

signature

Avis favorable du Président du Jury

Nom Prénom

Signature

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 : réseaux électriques

Thème :

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

Proposé par : **Chettouh Salah Eddine**

Dirigé par : **Titaouin Abdenacer**

RESUMES (Français et Arabe)

RESUME

Les machines asynchrones constituent la grande partie des machines construites à nos jours. L'importance de ces machines vue à leurs domaines d'applications industrielles.

Le présent travail consiste à exposer un objectif de dimensionnement des machines électriques, pour déterminer les différents paramètres de la machine asynchrone triphasé à rotor en court circuit. Le circuit magnétique est en acier 2013 protection IP44 refroidissement IC0141 . et puissance 0,75 KW.

ملخص :

الألات الكهربائية الغير متزامنة تمتلك الجزء الأكبر في إنشاء الألات الكهربائية في وقتنا و ذلك راجع إلى أهمية هذه الألات و نرى ذلك في المجال الصناعي .

في هذا العمل قمنا بشرح إنشاء الألات الكهربائية من حيث حجم الألات الكهربائية و مختلف أجزاء الآلة من الجزء الثابت و الجزء الدوار و الدارة المغناطيسية من اجل آلة غير متزامنة ثلاثية الطور و الجزء الدوار (دارة محكمة) و الدارة المغناطيسية من مزيج , 2013 و حماية IP44 , طريقة التبريد IC0141 و من الصنف B. و الاستطاعة 0,75 كيلوات.

Dédicace

Je dédie ce projet à :

En signe de respect et de reconnaissance aux

Personnes les chères

Mon père

A esra

A mon frères : charef eddine abd rahim

A mes sœurs : imane rania

A toute la famille Chettouh .

A tous mes amis moataz houssam abdelhak

A tous mes collègues surtout étudiants Master 2 Machine électrique.

Salah Eddine

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sien du département de Génie Electrique d'Université Mohamed Khider Biskra.

J'adresse mes respectueux remerciements à :

-Monsieur Titaouin Abdenacer .

-Tous les membres de jury qui nous ont l'honneur de juger notre travail.

-Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation pendant les cinq années.

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

LISTE DES FIGURES

- Fig. (1-1) : répartition de l'induction dans l'entrefer au dessus d'un pas polaire .
- Fig (1-2) : Répartition ramenée du champs dans l'entrefer dans une coupe transversale de la machine .
- Fig. (1-3) : Courbe d'aimantation d'une machine électrique.
- Fig (1-4) : Courbe de variation du facteur de distribution du champ dans l'entrefer en fonction du coefficient de saturation .
- Fig (3-1) : Configuration statorique pour un pas dentaire .
- Fig (4-1) : forma d'encoche rotorique
- Fig (4-1) : Encoche ouvalet demi-fermée .
- Fig (5_1) Circuit magnétique (flux à vide) d'une machine à quatre pôles .
- Fig (5 -2) : Variation de la courbe du champ provoqué par la denture .
- Fig (5-3) : induction dans la dent .
- Fig (5 – 5) Détermination de l'intensité réelle dans la dent .
- Fig (5-6) : Méthode du point fixe .
-

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

LISTE DES SYMPOLES

LISTE DES SYMPOLES

A : charge linéaire en ampère par mètre .

A_{ad} : charge linéaire admissible .

a : nombre de voies d'enroulement .

B_δ : Induction dans l'entrefer .

B_{zi} : Induction apparente dans la dent

B_z : Induction réelle dans la dent .

B_c : Induction dans la couronne .

b_z : épaisseur de la dent (avec indice approprié)

b_w : largeur d'entrée d'encoche .

C : constante d'utilisation de la machine .

C_{th} : caractéristique de la charge thermique .

D : diamètre intérieur .

D_{th} : diamètre extérieur .

d_c : diameter du canal axial de ventilation .

e_c : f.e.m induite dans un conducteur .

f : fréquence .

F_c : f.m.m dans le dos .

F_δ : f.m.m dans l'entrefer .

F_z : f.m.m dans la dent .

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

LISTE DES SYMPOLES

H : hauteur de l'axe de rotation .

h_a : hauteur du dos .

h_z : hauteur de la dent .

H_d : intensité du champ d'induction dans le dos .

H_z : intensité du champ d'induction dans la dent .

I_n : courant nominale de phases .

I_m : courant d'alimentation .

j : densité du courant .

K_b : facteur de forme .

K_c : facteur de remplissage des tôles .

K_d : rapport des diamètres D_1 / D_{h1} .

K_{a r} : rapport des diamètres D_2 / D_{h1} .

K_e : facteur de chute de tension .

K_i : facteur du courant .

K_{q 1} : facteur de bobinage .

K_s : facteur de saturation de la zone de denture

K_{s c m} : coefficient de saturation de la zone de denture .

K_u : coefficient d'utilisation de circuit magnétique .

K_z : coefficient de denture .

K_δ : coefficient de correction de la longueur de l'entrefer .

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

LISTE DES SYMPOLES

L_a : longueur constructive canaux compris .

L_{fe} : longueur en fer canaux déduits .

L_{en} : longueur de l'encoche (avec indice approprié) .

L_i : longueur idéale de la machine .

L_v : largeur d'un canal radial de ventilation .

m : nombre de phases .

N_I : vitesse synchrone .

n_c : nombre de conducteurs en série dans une phase .

n_{e1} : nombre de conducteurs élémentaires .

n_v : nombre de canaux radiaux de ventilation .

p : nombre de paires de pôles .

P_1 : puissance absorbée .

P_2 : puissance utile .

P_j : pertes joules .

q : nombre d'encoches par pôles et par phase .

r : résistance d'une phase .

S_{cu} : section d'un conducteur efficace .

$S_{cu\ en}$: section de cuivre dans conducteur .

S_e : section d'un conducteur élémentaire .

S_{en} : section de l'encoche .

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

LISTE DES SYMPOLES

t : pas dentaire .(avec indice approprié) .

V : tension simple de phase .

Z : nombre d'encoches .

Z_s : nombre de spires .

Z_{en} : nombre de conducteur actifs dans l'encoche .

α_i : rapport de distribution du champ dans l'entrefer .

δ : entrefer .

Φ : flux .

λ : rapport de la longueur sur le pas polaire .

μ₀ : perméabilité de l'air .

η : rendement .

τ : pas polaire .

w : vitesse angulaire .

cos θ : facteur de puissance

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

LISTE DES SYMPOLES

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Liste des Figures

Sommaire

Introduction générale

CHAPITRE 1 : Effet du la saturation dans les machines électrique

1- 1. FACTEUR DE FORME K_b	1
1-1-1. LA F.E.M D'UN CONDUCTEUR	1
1-1- 2. FACTEUR DE FORME	2
1 -2 . FACTEUR DE DISTRIBUTION DU CHAMP DANS L'ENTREFER.....	3
1 -3. CAUSES ET EFFETS DE LA SATURATION.....	5
1-3-1. LES CAUSES DE LA SATURATION.....	5
1 -3-2. LES EFFETS DE LA SATURATION	6
1-4. RELATIONS ENTRE COEFFICIENT DE SATURATION, FACTEUR DE FORME ET FACTEUR DE DISTRIBUTION DU CHAMP L'ENTREFER	7
- CONCLUSION	8

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

SOMMAIRE

**CHAPITRE 2 : DIMENSIONS PRELIMINAIRES DU CIRCUIT
MAGNETIQUE**

2-1 . COEFFICIENT ($D_1^2 \cdot L_i$)	9
2-2 . METHODE DE CALCUL PROPOSE POUR LA DETERMINATION DES DIMENSIONS PRINCIPALES D_1 ET L_1	10
2-3 . DONNEES NECESSAIRES POUR LA CONCEPTION DES MACHINES ELECTRIQUES	12
2-4. CHRONOLOGIE DE CALCUL DES DIMENSIONS PRELIMINAIRES DU CIRCUIT MAGNETIQUE	13
2-4-1. ORDRE DE CHOIX DES DIMENSIONS PRINCIPALES	13
- - CONCLUSION	16

**CHAPITRE 3 : CHOIX DES ENCOCHES ET DES ENROULEMENTS
STATORIQUES**

3-1. TYPE ET NOMBRE DE SPIRES DE L'ENROULEMENT STATORIQUE	17
3-1-2. ORDRE DE CALCUL D'ENROULEMENT STATORIQUE	17
3-2 . DIMENSIONS DE LA ZONE DE DENTURE DU STATOR	21
3-3. ORDRE DE CALCUL DES DIMENSIONS DES DENTS ET DES ENCOCHES DU STATOR.....	22
CONCLUSION.....	26

**CHAPITRE 4 : CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE
DENTAIRE ROTORIQUE**

4-1. CALCUL DU ROTOR	27
----------------------------	----

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

SOMMAIRE

4-2. ORDRE DE CALCUL DES DIMENSIONS DU LA ZONE DENTAIRE DE ROTOR	27
4 -3. FORME D'ENCOCHE ROTORIQUE.....	30
CONCLUSION.....	34

CHAPITRE 5 : CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE :

5- 1 . F .M .M DANS LES DOS DU STATOR ET DU ROTOR	35
5-2 . F.M.M DANS L'ENTREFER , LA COEFFICIENT DE L'ENTREFER.....	36
5-3 . METHODE PROPOSE POUR L'OPTIMISATION DES CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE	38
5-3-1. F .M.M DANS LES DENTS DU ROTOR ET DU STATOR.....	38
5-3-2. CALCUL DES INTENSITES DES CHAMPS D'INDUCTION DANS LES DENTS.....	42
5-3-2-1 EQUATIONS DE BASE NECESSAIRES à LA RESOLUTION DES SYSTEMES NON LINEAIRE ET METHODE DE ROSOLUTION UTILISEE	44
ALGORITHME DE CALCUL DES INDUCTIONS EST DES INTENSITES REELES DANS LES DENTS	49
5-3-3 . F . M.M DANS LA zone dentaire , Le coefficient de saturation de la zone dentaire , La FMM par deux pôles , Le coefficient de saturation , Le courant d'aimantation	50
CONCLUSION.....	52
5-3- 4 ALGORITHME DU PROGRAMME PRINCIPAL DR CALCUL INTERATIF DES CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUES	53

- CONCLUSION

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

SOMMAIRE

-ANNEXES

- LES DONNEES

- BIBLIOGRAPHIE



**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

SOMMAIRE



OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Dans la vie, l'être humain a été obligé par ses besoins de penser à construire les machines de toutes sortes, afin de réduire la main d'œuvre et satisfaire ses besoins.

La transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique, autrement-dit, la production de l'électricité, exige la construction des machines électriques appelées

< Générateurs > ou alternateurs qui fonctionnent soit en courant continu ou alternatif.

La transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre qui entraîne d'autres mécanismes exige des machines électriques appelées

< Moteurs > ont été mises au point, ces moteurs peuvent fonctionner en courant continu sont dits moteur à courant continu, et alternatif sont dits moteur synchrone, si le moteur fonctionne uniquement en alternatif on l'appelle moteur asynchrone ce dernier fait l'objet de notre étude.

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

Les moteurs asynchrones ne diffèrent que par le type de construction du rotor. On distingue quatre types qui sont: Rotor à cage. Rotor à bague. Rotor à encoches profonde .. .et

Dans mon projet on a étudié la conception dans un moteur à cage à faible puissance

L'établissement du projet d'une machine électrique commence par le choix des dimensions et des matériaux de ses parties actives et constructives et en premier lieu de ses dimensions principales: du diamètre intérieur et de la longueur de l'armature magnétique de l'induit.

Après cela, on effectue les calculs électromagnétique, mécanique, thermique et hydraulique.

A la suite de ces calculs, on apporte, s'il y a lieu, des corrections nécessaires dans les dimensions choisies primitivement et on choisit des matériaux présentant d'autres propriétés puis on reprend tous ces calculs jusqu'à ce qu'on Il est évident que le volume des calculs à effectuer pour rechercher la variante optimale dépend du choix correct des dimensions principales de la machine. Il est donc très important d'établir des relations qui existent entre les dimensions principales d'une part et de la puissance et la vitesse de rotation de la machine

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

INTRODUCTION

ainsi que les charges électromagnétiques (induction magnétique charge de courant linéaire de l'induit) d'autre part.

CHPITRE I**EFFET DE LA SATURATION DANS LES MACHINES ELECTRIQUE****1-1 . FACTEUR DE FORME K_b**

les F.E.M. des courants alternatifs sont caractérisées par trois paramètres principaux

- la valeur
- la fréquence
- la forme de la courbe

Il est relativement facile d'obtenir des f .e .m. de la valeur et de fréquence données ,il est plus difficile d'obtenir des f .e .m. de forme requise.

généralement on exige que la f .e .m. d'une machine destinée à travailler dans des installations industrielles soit pratiquement sinusoïdale.

Examinons le calcul de la f .e .m. d'un enroulement à courant alternatif d'une machine asynchrone et commençons par l'analyse du cas le plus simple.

1-1-1. LA F.E.M D'UN CONDUCTEUR :

disposons le conducteur (a) de longueur (l) en mouvement relatif à la vitesse (v) dans un champ d'induction de la composante normale B_x .

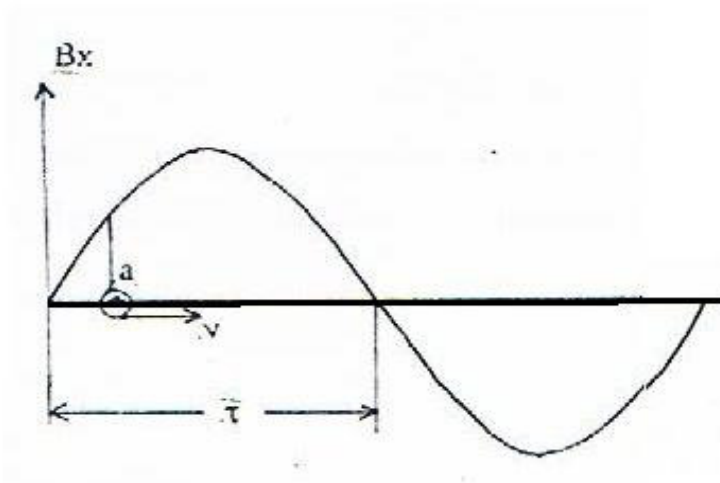


Fig. (1-1) : répartition de l'induction dans l'entrefer au dessus d'un pas polaire [5].

La tension induite dans le conducteur

$$e_c = B_x \cdot l \cdot v$$

B_x représente la valeur de l'induction à l'endroit où le conducteur se trouve à l'instant donné .

De cette façon, la forme de la courbe de la f.e.m induite dans le conducteur en fonction du temps correspond exactement à la courbe de répartition de l'induction dans l'entrefer.

Au passage par le conducteur d'une double distance polaire 2τ correspond à une période complète T de la f.e.m dans le temps.

La valeur efficace de la f.e.m du conducteur est

$$E_{\text{eff}} = \left(\frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} e_c^2 \cdot dt \right)^{1/2}$$

$$= v \cdot l \left(\frac{2}{T} \cdot \int_0^T B_x^2 \cdot dt \right)^{1/2}$$

La valeur efficace de l'induction normale est définie comme

$$B_{\text{eff}} = \left(\frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} B_x^2 \cdot dt \right)^{1/2}$$

par un changement de variable $x = vt$, il vient

$$vt = 2 \tau \text{ -----} \rightarrow v = 2 \cdot \tau \cdot f$$

$$B_{\text{eff}} = \left(\frac{1}{\tau} \cdot \int_0^\tau B_x^2 \cdot dx \right)^{1/2} \tag{I.1}$$

la valeur efficace de l'induction s'obtient donc facilement à partir de la distribution spatiale de l'induction B_x .

1-1- 2. FACTEUR DE FORME:

L'emploi de la grandeur (I. 1) est peu usuel et on préfère définir le facteur de forme de la courbe d'induction.

$$K_b = B_{\text{eff}} / B_{\text{moy}} \tag{I.2}$$

et on a :

$$E_{c\text{eff}} = V \cdot l \cdot B_{\text{eff}}$$

$$= 2 \cdot \tau \cdot l \cdot f \cdot K_b \cdot B_{\text{moy}}$$

Le flux par pôle coupé par le conducteur lors d'un déplacement égale à τ vaut

$$\Phi = \int B \cdot ds$$

$$= B_{\text{moy}} \cdot \tau \cdot l \quad (\text{I.3})$$

d'ou finalement

$$E_{c\text{eff}} = 2 \cdot k_b \cdot f \cdot \Phi \quad (\text{I.4})$$

1-2 . FACTEUR DE DISTRIBUTION DU CHAMP DANS L'ENTREFER:

pour simplifier les calculs de flux par pôle coupé par le conducteur sans recourir à la construction des courbes de répartition de l'induction on introduit la notion de l'induction théorique dans l'entrefer en utilisant la méthode de réduction .

cette méthode est largement utilisée dans la théorie de calcul des machines électriques .

On remplace le résultat réel du phénomène qui est généralement très compliqué du point de vue physique par des résultats réduits qui doivent tout d'abord avoir la forme la plus simple et donner ensuite , lors du calcul , pratiquement la même résultat quantitatif que le résultat réel.

dans ce cas on remplace la courbe de la répartition de l'induction dans l'entrefer sur le pas polaire par un rectangle de hauteur $B_{\delta} = B_{\delta\text{max}}$ et de base (b') qui doit être déterminée de façon que les aires limitées par les deux courbes aient les mêmes dimensions .

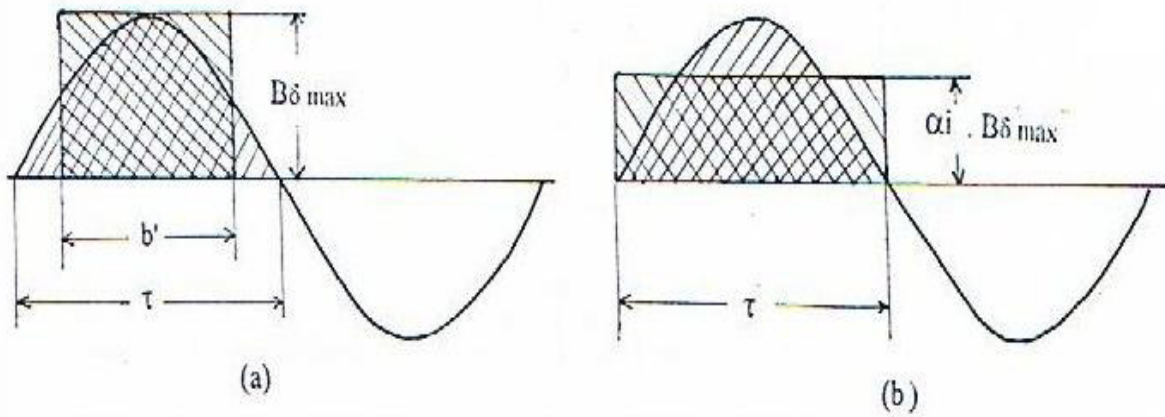


Fig (1-2) : Répartition ramenée du champ dans l'entrefer dans une coupe transversale de la machine [5] .

le rapport $\alpha_i = b'/\tau$ est appelé le facteur de distribution du champ d'induction dans l'entrefer .

On verra plus loin que α_i est l'une des grandeurs les plus importantes dans la construction des machines électriques .

Le flux magnétique principal par pole est

$$\begin{aligned} \Phi &= B_{\delta} \cdot b' \cdot L_i \\ &= B_{\delta} \cdot \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \end{aligned} \quad (I.5)$$

par analogie avec la relation (I.2) on aura

$$B_{\text{moy}} = B_{\delta \max} \cdot \alpha_i$$

finalement la relation (I . 3) devient

$$E_{(\text{cond})} = 2 \cdot K_b \cdot B_{\delta} \cdot \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot f \quad (I.6)$$

$$E_{(\text{spire})} = 4 \cdot K_b \cdot B_{\delta} \cdot \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot f$$

$$E_{(\text{phase})} = 2 \cdot K_b \cdot B_{\delta} \cdot \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot f \cdot n_1 \quad (I.7)$$

n_1 : nombre de conducteurs en série dans une phase

1-3. CAUSES ET EFFETS DE LA SATURATION :

1-3-1. LES CAUSES DE LA SATURATION:

Les causes directes liées à la saturation peuvent se résumer comme suit :

a) Les tôles magnétiques: la qualité des tôles magnétiques commercialisées à grains orientés ou non orientés font toujours l'objet de recherche en vue de réduire leur perte et d'accroître leur perméabilité . Cette amélioration à :

- L'élimination des impuretés

- La diminution des pertes par hystérésis et courant de Foucault

- La réduction de l'anisotropie des pertes minimales (elle caractérise la différence entre les pertes mesurées lorsque le champ est dirigé respectivement suivant le sens de laminage et suivant la direction perpendiculaire).

b) Saturation du fer soumis au flux commun :

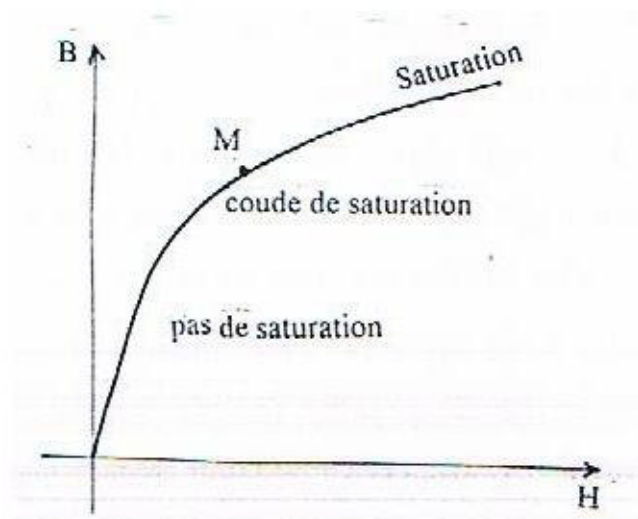


Fig. (1-3) : Courbe d'aimantation d'une machine électrique [5].

Dans la machine on cherche avoir une induction élevée c'est à dire la point qui permet la puissance maximale . Il est en général à la sortie du coude de saturation (point M). Au delà une augmentation de I n'entraîne qu'une très faible augmentation de flux .

c) Saturation du fer soumis au flux de fuites :

Autrefois, on pouvait admettre que le fer soumis aux flux de fuites ne se saturait pas, cela est encore vrai aujourd'hui pour les flux de fuites d'encoche et les flux de fuites de têtes de bobines. Mais cela n'est pas vrai pour le flux dit par les têtes des dents ou flux zig-zag qui varie alternativement du stator au rotor à travers l'entrefer. en effet deux phénomènes interviennent

- L'augmentation continue dans la précision d'exécution qui a permis de réduire très notablement l'entrefer, ce qui a pour avantage de diminuer le courant magnétisant et d'améliorer le facteur de puissance.

- L'augmentation de l'évacuation thermique des machines qui a conduit à une augmentation très importante des ampères tours créant les flux de fuites.

d) Les dimensions du circuit magnétique : Les dimensions du circuit magnétique ont des répercussions sur la saturation (voir les résultats de la simulation au chapitre 5).

1-3-2. LES EFFETS DE LA SATURATION :

a) Echauffement : Dans les machines électriques $H=f(B)$ varie généralement entre les limites opposées $\pm H$. Au cours de chaque cycle décrit les "ampériens" du milieu ferromagnétique sont orientés tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, il en résulte des frottements internes qui :

- expliquent l'hystérésis, c'est à dire le retard de l'effet sur la cause

- entraîne l'apparition de la chaleur au sein même de la substance.

b) Changement des propriétés des aciers : cela s'explique par la réduction des performances de conduction des lignes de champ.

c) Harmoniques : lorsque la courbe de la f.e.m contient des harmoniques, la variation purement sinusoïdale de cette courbe est rarement obtenue.

1-4. RELATIONS ENTRE COEFFICIENT DE SATURATION **,FACTEUR DE FORME ET FACTEUR DE DISTRIBUTION DU** **CHAMP L'ENTREFER:**

Dans le cas d'une distribution sinusoïdale du champ d'induction , le facteur $\alpha_i = 2/\pi$ et par conséquent , le facteur de forme :

$$\begin{aligned} K_b &= B_{\text{eff}} / B_{\text{moy}} \\ &= B_{\text{eff}} / (B_{\delta \text{ max}} \cdot \alpha_i) \\ &= \pi / (2 \cdot 2^{1/2}) \\ &= 1.11 \end{aligned}$$

La courbe d'induction n'est pas tout à fait sinusoïdale mais légèrement aplatie du fait d'une certaine saturation dans les dents c'est à dire la f.m.m dans les dents n'est pas négligeable par rapport à celle qui se produit dans l'entrefer .

On notes K_s : facteur de saturation de la zone de denture .

Les équation liant α_i , k_b , K_s pour moteurs asynchrones sont d'après les travaux de Hs. kostowski

$$\alpha_i = 0,636 + 0,156 \cdot (k_s - 1)^{2/3} \quad (\text{I.8})$$

$$K_b = 1,11 - 0,058 \cdot (k_s - 1)^{2/3} \quad (\text{I.9})$$

de (I.8) et (I.9) on tire :

$$K_b = 1,3464 - 0,3718 \cdot \alpha_i \quad (\text{I.10})$$

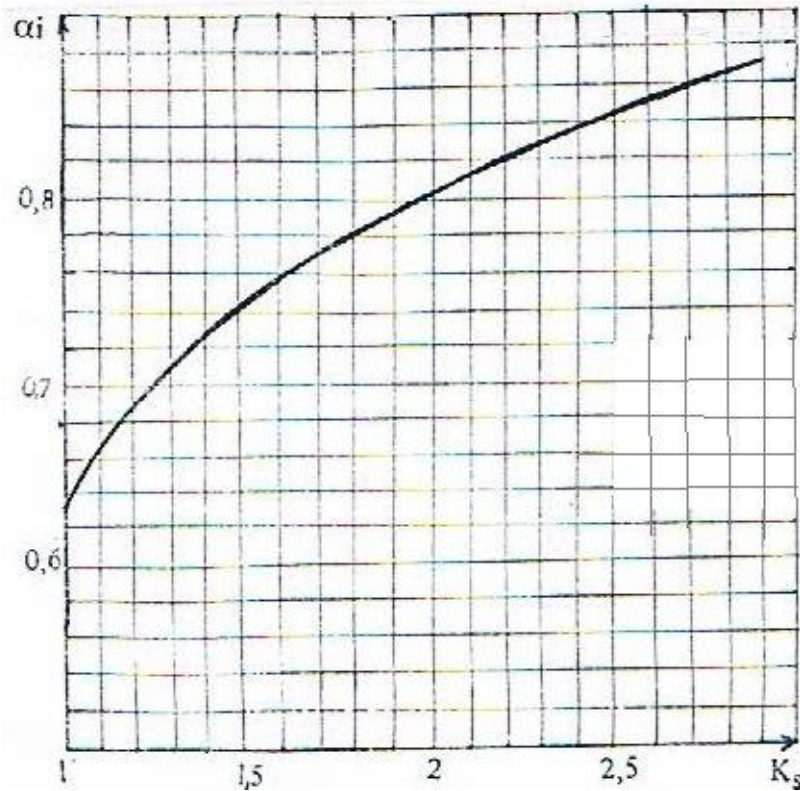


Fig (1-4) : Courbe de variation du facteur de distribution du champ dans l'entrefer en fonction du coefficient de saturation [5].

CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons entamé une généralité sur le F.E.M est les effets et causes de la saturation aussi que la facteur de forme et distribution et leurs effet sur la saturation .

INTRODUCTION

Le stator représente un cylindre creux, ou se trouve le circuit magnétique qui est formé d'un empilage de tôles feuilleté a fin de réduire les pertes par courant de foucault, est comporte aussi un certain nombre d'encoches logent un enroulement triphasé dimensionnement d'une machine électrique dépend, tant du point du vue magnétique que du point de vue électrique, d'une série de facteur lié, les facteurs qui influent sur le dimensionnement ne sont pas les même pour toutes les machines. ans les machine asynchrone se sont la capacité de surcharge, le facteur de puissance et le condition de démarrage que devient déterminants , il est indique de prendre pour base la puissance apparente .

CHAPITRE 2

DIMENSIONS PRELIMINAIRES DU CIRCUIT MAGNETIQUE

2-1 . COEFFICIENT (D_1^2 . L_i) :

Lorsque on construise une machine électrique on ne doit pas seulement tenir compte de ses propriétés électromagnétiques mais faire en sorte que sa construction et son exploitation soient économique et rentable .

Le dimensionnement d'une machine électrique dépend tant du point de vue magnétique que du point de vue électrique d'une série de facteurs liés en partie au propriétés thermiques des matériaux isolants et en partie aux exigences de l'exploitation , pour ce qui concerne notamment la capacité de surcharge , le rendement , le facteur de puissance et les conditions de démarrage . pour les machines à courant alternatif , il est indiqué de prendre pour base la puissance absorbée .

En partant des relations suivantes :

- la charge électrique totale de la machine

$$m_1 \cdot I_{1n} = \pi \cdot D_1 \cdot A_1 / n_1 \quad (II.1)$$

$$D_1 \text{ en [cm] , } A \text{ en [A /cm]}$$

- la relation (I.7) de la f.e.m dans une phase

$$E_{(phase)} = 2 \cdot K_b \cdot K_{q1} \cdot n_1 \cdot f \cdot \phi \quad ; \quad \phi \text{ en [Wb]} \quad (II.2)$$

d'ou la puissance absorbé en [KVA]

$$\begin{aligned} P_1 &= m_1 \cdot I_{1n} \cdot E_{(phase)} \\ &= 2 \cdot K_b \cdot K_{q1} \cdot f \cdot \pi \cdot A_1 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Cette relation n'est pas suffisante pour déterminer les dimensions d'une machine , elle peut au donner la valeur du flux si l'on se fixe à priori $2 \cdot p$ et A .

Explicitions la relation (II.2) en posant :

$$f = p \cdot N_1 / 60$$

$$\phi = \alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot B_\delta \cdot 10^{-4}$$

N_1 en [tr/ min] B en [tesla]

On aura

$$D_1^2 \cdot L_i = 6,079 \cdot P_1 \cdot 10^7 / (\alpha_i \cdot K_b \cdot K_{q1} \cdot B_\delta \cdot A_1 \cdot N_1) \quad (II.3)$$

P_1 en [KVA] , D_1 et L_i en [cm] , ϕ en [Wb] , A_1 en [A/cm]

Cette formule constitue en quelque sorte de la carte d'identité d'une machine donnée car elle contient des éléments bien déterminés qui entrent dans sa composition , et qu'on peut b mettre sous une forme plus commande .

$$D_1^2 \cdot L_i \cdot N_1 / P_1 = 6,079 \cdot 10^7 / (\alpha_i \cdot K_b \cdot K_{q1} \cdot B_\delta \cdot A_1 \cdot N_1)$$

$$= C$$

Ou C : constante appelée coefficient d'utilisation de la machine .

2-2 . METHODE DE CALCUL PROPOSE POUR LA

DETERMINATION DES DIMENSIONS PRINCIPALES D_1 ET L_i :

il s'avère difficile de se fixer d'avance le rapport L_i/D_1 , car il dépend important de paramètres .

Cependant on construit au fil des ans , des machines électriques de plus en plus performantes et on a fini par définir , pratiquement (souvent par tâtonnements) , un nombre de coefficients conduisant à de meilleurs réalisation et qui servent actuellement comme bases de calcul

-Le rapport $P_1/(D_1^2 \cdot L_i)$ caractérise l'utilisation de la partie active de la machine . C'est une caractéristique important pour comparer des machines ayant la même vitesse de rotation .

-La charge électromagnétique ($A_1 \cdot B_\delta$) dépend de la puissance et des dimensions de la machine . elle est déterminée par l'échauffement admissible et de l'isolation d'après les expériences d'élaboration et d'exploitation des machines .

CHAPITRE 2

DIMENSIONS PRELIMINAIRES DU CIRCUIT MAGNETIQUE

- On détermine D_1 en utilisant la relation $D_1 = f(P_1 / N_1)$

- En tenant compte de la saturation et de la charge électromagnétique, on détermine en première approximation la longueur théorique préliminaire de la machine selon la constante d'utilisation.

la relation (II.3) devient :

$$L_i = 2 \cdot P_1 / (\alpha_i \cdot K_b \cdot K_{q1} \cdot B_\delta \cdot A_1 \cdot D_1^2 \cdot \pi \cdot \omega) \quad (\text{II.4})$$

P_1 en [VA] ; L_i ET D_1 en [mm] ; B_δ en [T] ; A_1 en [A/m] ; ω en [rad/s]

- On vérifie le choix du diamètre D_1 selon le rapport λ

$$\lambda = L_i / \tau, \text{ avec } \tau = \pi \cdot D_1 / (2 \cdot p)$$

Si λ est grand la machine est longue, la masse est plus petite, la hauteur de l'axe de rotation est réduite, l'utilisation du cuivre est meilleure, le moment d'inertie est faible, les défauts d'une telle machine sont les conditions de refroidissement (mauvaises commutations pour les machines à courant continu).

- On vérifie le choix de la longueur l_i selon la concordance entre les valeurs supposées du facteur de distribution du champ dans l'entrefer (K_s, α_i) et les valeurs calculées de ces mêmes facteurs ($K_{s\text{ cal}}, \alpha_{i\text{ cal}}$) en utilisant des méthodes de calcul itératif.

2-3 . DONNEES NECESSAIRES POUR LA CONCEPTION DES MACHINES ELECTRIQUES

L'élaboration des machines électriques est réglementée par des normes internationales . Pour l'élaboration des machines asynchrones , il impératif de connaître les données techniques suivantes :

1- Puissance utile sur l'arbre P_2 en [KW] .

on prend comme base les machines électrique triphasées fabriquées actuellement d'après la normalisation tirée de [1] [2]

$$P_2 = 0,75 \text{ KW}$$

2- Nombres de pôles $2p$:

$$2p = 4$$

3- Tension nominale :

$$380 / 660 \text{ V} \text{ à la fréquence de } 50 \text{ Hz}$$

4- Type de la rotor : court-circuit

5- Degré de protection : IP44

la machine protégée contre la pénétration des corps solides supérieur à 1 mm et contre les projection d'eau

6- Mode de refroidissement : IC0141

la machine fermé le ventilateur est fixé sur l'arbre à l'extérieur de la machine .

7- Classe d'isolant : B Cet isolation à base de mica (y compris ceux à supports organiques) , d'amiantes et de fibres de verre utilisés avec des liants et des imprégnants synthétiques avec une température admissible de 130° C

8- La Hauteur standardisée en fonction de P_2 et $2. p$

$$H = 71 \text{ mm} \quad \text{Fig (2 -1)}$$

9- Marque d'acier : acier 2013 .

DIMENSIONS PRELIMINAIRES DU CIRCUIT MAGNETIQUE

Selon les indications ci-dessus , il est recommandé d'utiliser pour le stator le rotor des tôles d'acier de marque 2013 ,

2-4. CHRONOLOGIE DE CALCUL DES DIMENSIONS

PRELIMINAIRES DU CIRCUIT MAGNETIQUE :

Le pré dimensionnement préliminaire a été établi selon les ouvrages [1] .

2-4-1. ORDRE DE CHOIX DES DIMENSIONS PRINCIPALES :

Il est à signaler que :

- références sont reportés en annexe .

pour une puissance P_2 et le nombre de pôles $2p$ choisis , l'ordre est suivant :

1- le hauteur de l'axe de rotation

$$H = f(P_2, 2p) \text{ , selon Fig (2 -1)}$$

$$H = 71 \text{ mm .}$$

2 - Le diamètre extérieur du stator :

$$D_{h1} = f(H) \text{ ; selon le Tab : (2- 1)}$$

$$D_{h1} = 116 \text{ mm}$$

3- Le rendement et le facteur de puissance

$$\eta = f(P_2, 2p) \text{ ; selon la Fig (2- 2)}$$

$$\eta = 0,80 \text{ , } 80 \% .$$

$$\cos \theta = f(P_2, 2p) \text{ ; selon la Fig (2- 2)}$$

$$\cos \theta = 0.75 \text{ .}$$

4- La puissance de calcul :

$$P_1 = P (k_e / (\eta \cdot \cos \theta)) \text{ ; } k_e \text{ selon la Fig (2- 3)}$$

CHAPITRE 2

DIMENSIONS PRELIMINAIRES DU CIRCUIT MAGNETIQUE

$$P_1 = 0,75 (0,94 / (0,80 \cdot 0,75)) \quad (\text{II.5})$$

$$P_1 = 1,175 \quad [\text{kVA}]$$

5- Les charges électromagnétiques :

$$A_{ad} = f(D_{hl}, 2p) \quad ; \quad A_{ad} = [18 \quad - \quad 20,5] \cdot 10^3 \quad [\text{A/m}] \quad \text{selon la Fig (2-4)}$$

$$B_{\delta m} = f(D_{hl}, 2p) \quad ; \quad B_{\delta m} = [0,76 \quad - \quad 0,84] \cdot 10^3 \quad [\text{T}] \quad \text{selon la Fig (2-4)}$$

6- La vitesse synchrone

$$N_1 = 60 \cdot f / p \quad ; \quad [\text{tr/min}] \quad (\text{II.6})$$

$$N_1 = 60 \cdot 50 / 2 \quad N_1 = 1500 \text{ tr/min.}$$

7- La vitesse angulaire

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot N_1 / 60 \quad ; \quad [\text{rd/s}] \quad (\text{II.7})$$

$$\omega = 157 \text{ rd/s.}$$

8- La coefficient d'enroulement statorique :

pour un enroulement à une seule couche, selon [1]

$$K_{q1} = 0,95 \text{ _ } 0,96$$

9- Les valeurs du facteur de distribution du champ α_i et le facteur de forme K_b : Ces valeurs dépendent du coefficient de saturation pour lequel on veut optimiser le circuit magnétique pour $K_s = 1,25$ les relations (I.8) et (I.9) donnent :

$$\alpha_i = 0,7.$$

$$K_b = 1,09.$$

10- Le rapport du diamètre intérieur du stator sur le diamètre extérieur du stator

$$K_d = f(2p) \quad ; \quad \text{selon le Tab : (2-2)}$$

$$K_d = (0,64 \div 0,68)$$

11- Le diamètre intérieur du stator

$$D_1 = K_d \cdot D_{h1} \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{ II.8 })$$

$$D_1 = (0,64 \div 0,68) \cdot 116$$

$$D_1 = (74,24 \div 78,88) \quad ; \quad D_1 = 78 \text{ mm} .$$

12- Le pas polaire

$$\tau = \pi \cdot D_1 / (2p) \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{ II.9 })$$

$$\tau = 3,14 \cdot 78 / 4$$

$$\tau = 61,25 \text{ mm}$$

13- La longueur théorique préliminaire du circuit magnétique selon la (II.4)

$$L_{ip} = 2,02 \cdot p \cdot P_1 \cdot 10^9 / (\alpha_i \cdot K_b \cdot K_{q1} \cdot B_{\delta m} \cdot A_{ad} \cdot D_1^2) \quad ; \quad [\text{mm}] \quad (\text{ II.10 })$$

$$L_{ip} = 72 \text{ mm} .$$

14- La rapport de la longueur sur le pas polaire

$$\lambda = L_{ip} / \tau \quad ; \quad \lambda = 72 / 61,25$$

$$\lambda = 1,17$$

15- Les limites admissibles du rapport de la longueur sur le pas polaire

$$\lambda_{\min} \text{ et } \lambda_{\max} \quad ; \quad [0,75 \text{ - } 1,25]$$

- Si λ est hors des limites admissibles , il faut diminuer la valeur de 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 du point 1 au point 14 .

CONCLUSION :

D'après ce chapitre on constate que l'optimisation des paramètres fondue sur l'intervalle ou il existe le facteur λ par conséquent pour chaque choix des paramètres qui donne λ hors intervalle considéré ce choix doit être changé jusqu'à l'obtention la valeurs de λ appartient à l'intervalle considéré .

INTRODUCTION

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 exigences.

L'encoche est de forme trapézoïdale demi-fermé et l'enroulement est du vue imbriquée à deux couches montées fil à fil. Ce type de bobinage est réalisé à pas raccourci, en section par pole

.Il possède les avantages suivants :

- la possibilité d'éliminer les harmoniques.
- Economie du cuivre(dimension de la longueur du conducteur), son inconvénient est la présence dans la même encoche des faisceaux appartenant à différentes phases

CHAPITRE 3 :

**CHOIX DES ENCOCHES ET DES ENROULEMENTS
STATORIQUES**

**3-1. TYPE ET NOMBRE DE SPIRES DE L'ENROULEMENT
STATORIQUE :**

L'enroulement est l'élément le plus important de la machine car c'est avec sa participation qu'a lieu le processus de transformation d'énergie. c'est pour quoi l'enroulement est l'objet de diverses exigences souvent contradictoires dont les plus importantes sont les suivantes :

- a) L'enroulement doit être réalisé en utilisant au maximum le matériaux de point de vue mécanique, thermique et électrique de la machine. pour toute la durée d'une exploitation normale de (16 à 20 ans) .

La bobine comprendra un nombre déterminé de spire connectées en série et ayant une isolation commune par rapport à la masse. chaque zone de 60° comprend un groupe de bobine en série. une phase comporte des groupes de bobine décalées de long de la circonférence de l'induit l'une par rapport à l'autre de 180° électrique.

D'après le tableau (3-1) .

Concentrique à 1 couche et le forme de l'encoche est trapézoïdale à demi-forme .

La forme choisi est en fonction de la puissance et de la tension du moteur jusqu'à 500 v

3-1-2. ORDRE DE CALCUL D'ENROULEMENT STATORIQUE

1. Le pas dentaire selon la Fig (3-1) on a :

$$t_{1 \min} = 0,006 \text{ m} = 6 \text{ mm} .$$

$$t_{1 \max} = 0,008 \text{ m} = 8 \text{ mm} .$$

2. Nombre d'encoches par pole et par phase du stator :

$$q_1 = 3 \quad \text{d'après le tableau (3-2) }$$

3. Le nombre d' encoches du stator

$$Z_{\min} \div Z_{\max} = \pi \cdot D_1 / t_{1 \max} \div \pi \cdot D_1 / t_{1 \min}$$

$$Z_{\min} \div Z_{\max} = (3,14 \cdot 78) / 8 \div (3,14 \cdot 78) / 6$$

$$Z_{\min} \div Z_{\max} = 30,6 \div 40,82 .$$

$Z_{\text{normalisé}}$ selon Tab(3-3)

$$Z_{\text{entier}} = 36 ;$$

Ou bein :

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

$$Z_1 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3$$

$$Z_1 = 36$$

Ou m_1 = nombre de phase de l'enroulement statorique . $m_1 = 3$.

4. Le pas dentaire

$$t_1 = \pi \cdot D_1 / 2 \cdot p \cdot q \cdot m$$

$$t_1 = 3,14 \cdot 78 / 36$$

$$t_1 = 6,8 \text{ mm} > 6 \text{ mm} .$$

5. Le nombre des conducteur efficaces préalables pour $a = 1$

$$U'_{\text{en}} = \pi \cdot D_1 \cdot A / I_{1\text{nom}} \cdot Z_1$$

$$I_{1\text{nom}} = P_2 / m \cdot U_{\text{nom}} \cdot \eta \cdot \cos \theta$$

$$I_{1\text{nom}} = 0,75 \cdot 10^3 / 3 \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,75$$

$$I_{1\text{nom}} = 1,09 \text{ A} .$$

$$U'_{\text{en}} = 3,14 \cdot 78 \cdot 10^{-3} \cdot 20,5 \cdot 10^3 / 1,09 \cdot 36$$

$$U'_{en} = 125 \text{ Conducteur .}$$

$$U_{en} = a_1 \cdot U'_{en} .$$

6. Le nombre de spires d'une phase du stator

$$W_1 = U'_{en} \cdot a_1 \cdot Z_1 / 2 \cdot a_1 \cdot m$$

$$W_1 = 125 \cdot 1 \cdot 36 / 2 \cdot 1 \cdot 3$$

$$W_1 = 750 \text{ spires .}$$

7. La charge linéaire

$$A = 2 \cdot I_{1nom} \cdot W_1 \cdot m / \pi \cdot D_1$$

$$A = 2 \cdot 1,09 \cdot 750 \cdot 3 / 3,14 \cdot 78$$

$$A = 20,02 \text{ A/m .}$$

$$\Delta A = [I_{Ac} - A \text{ I} / I \text{ A I}] \cdot 100$$

$$\Delta A = [I_{20,02} - 20,5 \text{ I} / I \text{ 20,5 I}] \cdot 100$$

$$\Delta A = 2 \%$$

$$\Delta A = 2\% < 10\% \text{ bien ;}$$

Le flux magnétique dans l'entrefer

$$E = 4 \cdot K_B \cdot K_b \cdot f \cdot w \cdot \phi$$

$$E = V_1 \cdot K_e ;$$

$$\phi = V_1 \cdot K_e / 4 \cdot K_B \cdot K_b \cdot f \cdot w$$

$$\phi = 380 \cdot 0,94 / 4 \cdot 1,09 \cdot 0,95 \cdot 50 \cdot 750$$

$$\phi = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Wb .}$$

8. L'induction du champ magnétique dans l'enterfer

$$B_\delta = \phi / \tau \cdot \alpha_i \cdot L_i$$

$$B_\delta = 2,25 \cdot 10^{-3} / 0,7 \cdot 61,25 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 10^{-3}$$

$$B_{\delta} = 0,77 \text{ T} .$$

$$\Delta B_{\delta} = \left[\frac{I_{B_{\delta c}} - B_{\delta}}{I_{B_{\delta}}} \right] \cdot 100$$

$$\Delta B_{\delta} = \left[\frac{0,77 - 0,8}{0,8} \right] \cdot 100$$

$$\Delta B_{\delta} = 3,75 \% < 5 \% .$$

9. La section du fil efficaces

$$S_{1ef} = I_{1nom} / a_1 \cdot J_1$$

$$J = (AJ) / A$$

(AJ = f(D₁, 2p) : selon la Fig(3- 2)

$$AJ = 160 \cdot 10^9 \text{ A}^2 / \text{m}^2 .$$

$$J = 160 \cdot 10^9 / 20,02 \cdot 10^3$$

$$J = 8 \cdot 10^6 \text{ A} / \text{mm}^2$$

Densité du courant ne dépasse pas [3 ÷ 9 A/mm²]

$$S_{1ef} = 1,09 / 1 \cdot 8 \cdot 10^6$$

$$S_{1ef} = 0,136 \text{ mm}^2 .$$

Section normalisé selon (le Tab 3 – 4)

$$S_{normalisé} = 0,1419 \text{ mm}^2 .$$

$$\text{Diamètre isolé} = 0,465 \text{ mm} .$$

$$\text{Diamètre nominal} = 0,425 \text{ mm} .$$

10. Après avoir choisi le fil ou calcul la densité du courant

$$J_1 = I_{1nom} / a_1 \cdot n_{\text{él}} \cdot S_{\text{él}}$$

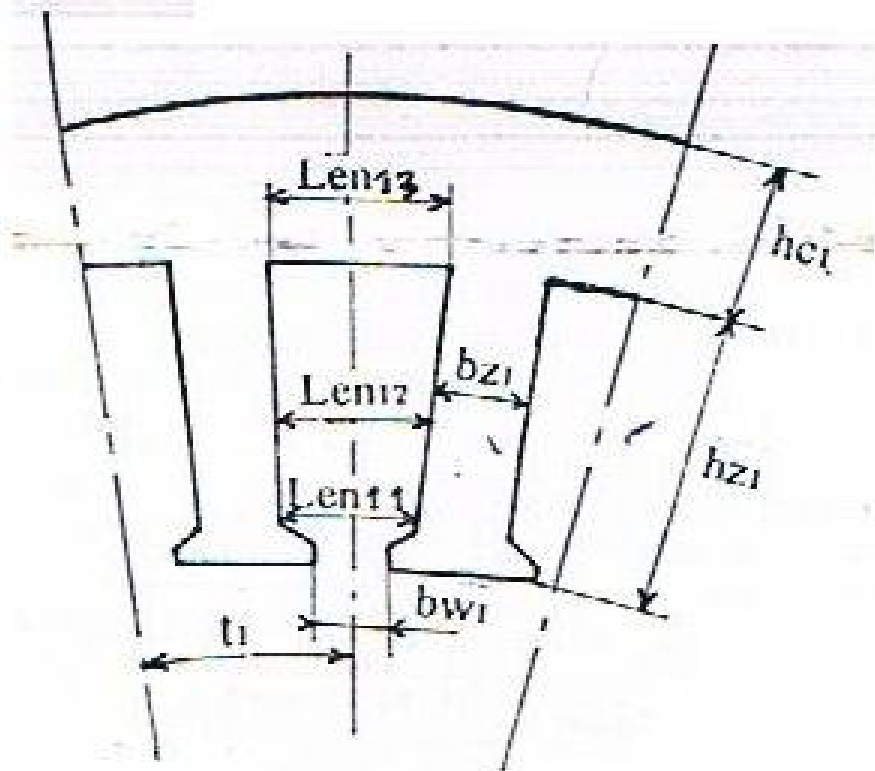
$$J_1 = 1,09 / 1.0, 1419$$

$$J_1 = 7, 58 \text{ A / mm}^2 .$$

3-2 . DIMENSIONS DE LA ZONE DE DENTURE DU STATOR

Avant – d’entamer la méthode de calcul on choisit d’abord la forme de l’encoche conformément aux données du mémoire . l’encoche est de la forme trapézoïdale demi – fermé [1] .

Pour une telle configuration des encoches , les dents sont de forme rectangulaire .



FIG(3-1) : Configuration statorique pour un pas dentaire [5].

3-3. ORDRE DE CALCUL DES DIMENSIONS DES DENTS ET DES ENCOCHES DU STATOR

1. On trouve préalablement frome le Tab (3-5) on à :

B_{z1} = induction dans la dent

B_a = induction de culas du stator

Telque :

$$B_{z1} = [1,7 \div 1,9] \ ; \ B_{z1} = 1,9 \ T \ .$$

$$B_a = [1,4 \div 1,6] \ ; \ B_a = 1,6 \ T \ .$$

On calcul :

$$b_{z1} = B_{\delta} \cdot t_1 \cdot L_{\delta} / B_{z1} \cdot L_1 \cdot K_r$$

$$L_1 = L_{\delta} - L_c \ . \qquad L_c = 0$$

$$L_1 = L_{\delta}$$

$$K_r = 0,97 \text{ pour } h = 50 \div 250 \ , \ U \leq 660 \ , \ \text{Acier 2013}$$

$$K_r = 0,97 \text{ pour } h = 280 \div 355 \ , \ U \leq 660 \ , \ \text{Acier 2312}$$

$$K_r = 0,97 \text{ pour } h = 400 \div 560 \ , \ U = 6000 \ , \ \text{Acier 2411}$$

$$b_{z1} = 0,77 \cdot 6,8 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 10^{-3} / 1,9 \cdot 72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97$$

$$b_{z1} = 2,6 \ \text{mm} \ .$$

$$h_a = \phi / 2 \cdot B_a \cdot L_1 \cdot K_r$$

$$h_a = 2,25 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 1,6 \cdot 72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97$$

$$h_a = 9 \ \text{mm} \ .$$

2. Pour : $h \leq 132 \ \text{mm}$ on à $h_f = 0,5 \ \text{mm}$

$h \geq 160 \ \text{mm}$ on à $0,5 \leq h_f \leq 1 \ \text{mm}$

$$b_f = \text{dis} + (1,5 \div 2)$$

$$b_f = 0,465 + (1,5 \div 2)$$

$$= 1,965 \div 2,465$$

$$b_f = 2 \text{ mm}$$

On calcul :

$$h_{en} = (D_a - D / 2) - h_a$$

$$h_{en} = (116 - 78 / 2) - 9$$

$$h_{en} = 10 \text{ mm} .$$

$$b_1 = [\pi \cdot (D + 2 h_{en}) / Z_1] - b_{Z1}$$

$$b_1 = [3,14 \cdot (78 + 2 \cdot 10) / 36] - 2,6$$

$$b_1 = 5,95 \text{ mm} .$$

$$b_2 = [\pi \cdot (D + 2 h_f - b_f) - Z_1 \cdot b_{Z1}] / Z_1 - \pi$$

$$b_2 = [\pi \cdot (78 + 2 \cdot 0,5 - 2) - 36 \cdot 2,6] / 36 - \pi$$

$$b_2 = 4,5 \text{ mm} .$$

$$h_1 = h_{en} - (h_f + (b_2 - b_f) / 2)$$

$$h_1 = 10 - (0,5 + (4,5 - 2) / 2)$$

$$h_1 = 8,25 \text{ mm} .$$

3. Les dimension réelles de l'encoche

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{en} ;$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{en} ;$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_{en} ;$$

ou :

pour h ; mm	$\Delta b_{en} ;$ mm	$\Delta h_{en} ;$ mm
50 ÷ 132	0,1	0,1
160 ÷ 250	0,2	0,2
280 ÷ 355	0,3	0,3
400 ÷ 560	0,4	0,3

$$b'_1 = 5,95 - 0,1 = 5,85 \text{ mm}$$

$$b'_2 = 4,5 - 0,1 = 4,4 \text{ mm}$$

$$h'_1 = 8,25 - 0,1 = 8,15 \text{ mm}$$

_ La section de l'isolant par rapport à la masse

$$S_{is} = b_{is} \cdot (2h_{en} + b_1 + b_2)$$

b_{is} : l'épaisseur de l'isolant à une seul coté Tab (3-6)

$$b_{is} : 0,2 \text{ mm} .$$

$$S_{is} = 0,2 \cdot (2 \cdot 10 + 5,95 + 4,5)$$

$$S_{is} = 6,09 \text{ mm}^2 .$$

$$S_{pe} = 0 . \text{ (enroulement à une couche)} .$$

$$\text{Pour } h = 180 \div 250 \quad ; S_{pe} = 0,46 b_1 + 0,9 b_2 ;$$

$$\text{Pour } h \geq 280 \quad ; S_{pe} = 0,6 \cdot (b_1 + b_2) ;$$

_ La section de la partie de l'encoche accupee par les conducteur

$$S'_{en} = (b_1 + b_2 / 2) . h'_1 - b_{is} - S_{pe}$$

$$S'_{en} = (5,85 + 4,4 / 2) . 8,15 - 6,09 .$$

$$S'_{en} = 35,67 \text{ mm}^2 .$$

4. Le coefficient de remplissage :

$$K_r = d_{is}^2 . U_{en} . n_{el} / S'_{en}$$

Ou : $K_r : 0,7 \div 0,72$ pour le bobinage automatique .

$K_r : 0,7 \div 0,75$ pour le bobinage manuel .

_ Si K_r de calcul est inférieure aux valeurs indiquées on augmente la surface d'encoche soit par h_a , soit par b_z soit par h_a et b_z simultanément en fonction de l'induction admissible .

_ Si les valeurs de l'induction sont inférieures aux celles admissibles les dimensions du moteur sont evagères . Il faut diminuer la longueur du nayou du stator ou la hauteur de l'axe de rotation . on répete le calcul .

_ Si K_r obtenu est supérieur à la valeur admissible , il faut augmenter les dimensions de l'encoche en calculant h_a et $h_{en} b_z$ pour les valeurs des inductions B_a et B_z les plus grandes admissibles . On peut diminuer le nombre des conducteurs élémentaires n_{el} en augmentant la section d'un fil . Si K_r reste supérieures à la valeurs admissible , il faut changer les dimensions principales du moteur et répéter le calcul .

$$K_r = d_{is}^2 . U_{en} . n_{el} / S'_{en}$$

$$K_r = (0,465)^2 . 125 . 1 / 35,67$$

$$K_r = 0,75$$

5. Calcul la largeur et la hauteur de la dent :

$$b'_z = [(\pi . D + 2 h_{en}) / Z] - b_1$$

$$b'_z = [(\pi . 77 + 2 . 10,8) / 36] - 6$$

CHOIX DES ENCOCHES ET DES ENROULEMENTS STATORIQUES

$$b'_z = 2,73 \text{ mm} .$$

$$b''_z = [\pi \cdot D + 2(h_{en} - h_1) / Z] - b_2$$

$$b''_z = [\pi \cdot 77 + 2(10,8 - 8,63) / 36] - 4,3$$

$$b''_z = 2,68 \text{ mm} .$$

$$b'_z \approx b''_z \quad \text{Alors} \quad b_z = (2,73 + 2,68) / 2$$

$$b_z = 2,65 \text{ mm}$$

$$h_z = h_{en} = 10,8 \text{ mm} .$$

Si $b'_z \neq b''_z$ il faut soit varier les dimensions de l'encoche soit calculer la densité du champ magnétique de dent comme pour les encoches rectangulaires .

CONCLUSION :

Ce chapitre nous permet de calcul les paramètres statoriques (les enroulements les encoches) en tant compte l'effet de saturation .

CHAPITRE 4 :**CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE****4-1. CALCUL DU ROTOR**

Le but du calcul de la zone dentaire du rotor est de déterminer les dimensions de l'encoche et de la dent ainsi que les paramètres de l'enroulement.

L'état magnétique de la zone dentaire détermine la forme de la courbe du champ magnétique dans l'entrefer et, par conséquent, la qualité du fonctionnement de la machine.

Le nombre d'encoches Z_2 et sa relation avec Z_1 a une grande influence sur le couple synchrone de la machine.

Le choix de l'entrefer faible entraîne :

- 1-la diminution du courant magnétique ;
- 2-la diminution du potentiel F_δ ;
- 3-l'augmentation de $\cos(\theta)$;
- 4-l'apparition des vibrations et des bruits d'origine magnétique.

4- 2. . ORDRE DE CALCUL DES DIMENSIONS DU LA ZONE DENTAIRE DE ROTOR

1-l'épaisseur de l'entrefer

L'entrefer pour les moteurs asynchrones peut être déterminé d'après la Fig(4- 1)

$$\delta = 0,25 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{(3+0.002.D)}{1000} \cdot \tau$$

$$\delta = \frac{(3+0.002.78)}{1000} \cdot 61,25$$

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

$$\delta = 0,2 \text{ mm}$$

2-le nombre d'encoches Z_2

$$Z_2 \Rightarrow \text{tab}(4-1)$$

$$Z_1 < Z_2$$

$$Z_2 = 26$$

3-le diamètre extérieur du rotor

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta \quad D_2 = 78 - 2 \cdot 0,25 \text{ mm}$$

$$D_2 = 77,5 \text{ mm} .$$

4-la longueur du noyau

$$l_2 = l_1$$

$$l_2 = 72 \text{ mm}$$

5-le pas dentaire

$$t_2 = \pi \cdot \frac{D_2}{Z_2}$$

$$t_2 = \pi \cdot \frac{77,5}{26}$$

$$t_2 = 9,36$$

6-le diamètre intérieur du rotor

$$D_{ar} = K_{ar} \cdot D_a$$

Ou : $K_{ar} = 0.19$ pour $h = (50 \dots 63)$ (mm)

$K_{ar} = 0.23$ pour $h = (71 \dots 250)$ (mm)

$K_{ar} = 0.22$ pour $h = (280 \dots 355)$ (mm) et pour $2p = 2$;

$K_{ar} = 0.23$ pour $h = (280 \dots 355)$ (mm) et pour $2p = 4 \div 12$;

$K_{ar} = 0.23$ pour $h = (400 \dots 500)$ (mm)

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

$$D_{ar} = 0,23 \cdot 116$$

$$D_{ar} = 26,62 \text{ mm}$$

7- Le diamètre intérieur du noyau

$$D_j = D_{ar}$$

$$D_j = 26,62 \text{ mm}$$

8-le courant dans les barres

$$I_2 = k_i \cdot I_1 v_i$$

$$k_i = \frac{2.m \cdot w_1 \cdot Kb1}{Z^2}$$

$$k_i = \frac{2.3 \cdot 750 \cdot 0.96}{26}$$

$$k_i = 164,08$$

v_i selon la fig(4- 2)

$$v_i = 0,85$$

$$I_2 = 164,08 \cdot 1,09 \cdot 0,85$$

$$I_2 = 152,7 \text{ A}$$

8-la section de la barre.

$$S_b = \frac{I_2}{J_2}$$

Ou : $J_2 = (2.5 \dots 3.5) (A/mm^2)$ pour les barres en aluminium.

$J_2 = (4,0 \dots 8,0) (A/mm^2)$ pour les barres en cuivre

$$S_b = \frac{164,08}{3}$$

$$S_b = 50,9 \text{ mm}^2.$$

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

9-les encoches du rotor sont le plus souvent ovales selon tab(.....).

4-3 FORME D'ENCOCHE ROTORIQUE :

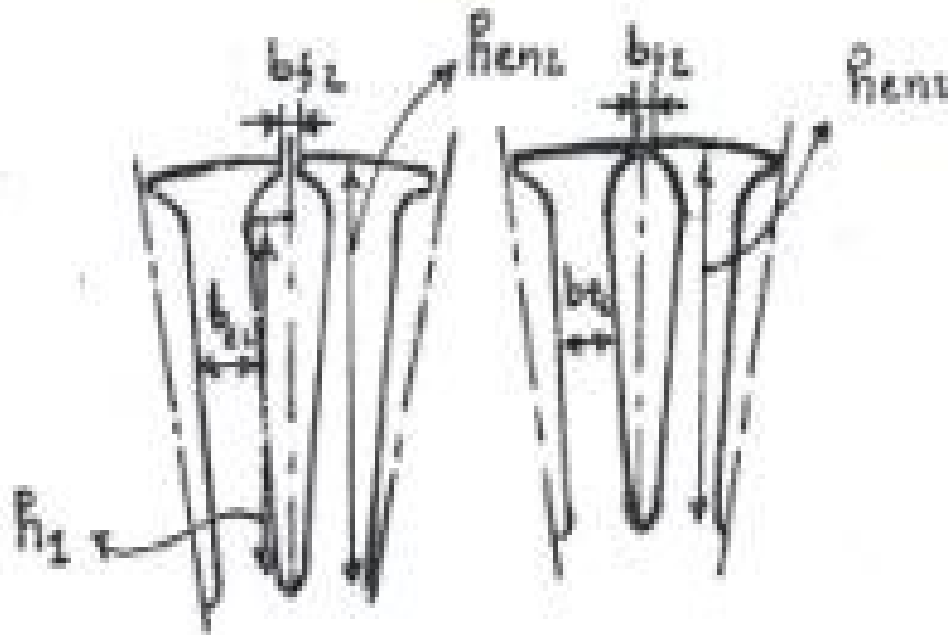


Fig II.6 forma d'encoche rotorique

Pour $h < 100$ mm

$b_{f2} = 1$ mm

$h_{f2} = 0.5$ mm

forme d'encoche rotorique semi-fermée

Pour $h < 160$ mm

$b_{f2} = 1.5$ mm

$h_{f2} = 0.75$ mm

Pour $h = 160 \dots 250$ mm forme d'encoche rotorique fermée

$b_{f2} = 1.5$ mm

$h_{f2} = 0.7$ mm

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

$h_f' = (1 \dots 1.5) \text{ mm}$ pour $2p=2$

$h_f' = 0.3$ pour $2p \geq 4$

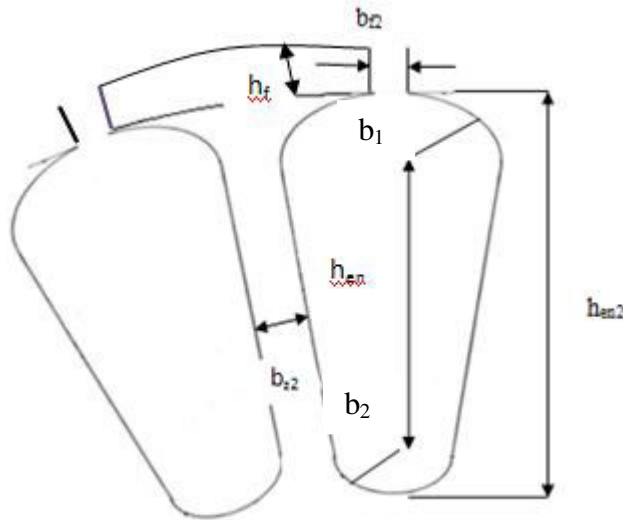


Fig : encoche rotorique semi-fermée .

10-la largeur admissible de la dent :

$$b_{z2} = \frac{B\delta.t2.L2}{Bz2.Lac2.Kr}$$

$$L_2 = L_{ac2}$$

$$b_{z2} = \frac{B\delta.t2}{Bz2.Kr}$$

$$b_{z2} = \frac{0,73.9,23}{1,7.0,97}$$

Ou : K_r le coefficient de remplissage des parquets rotoriques $= 0,95 \div 0,97$.

B_{z2} : L'induction magnétique dans les dents rotoriques selon Tab(3 – 5) = 1 ,7

$b_{z2} = 3 ,9 \text{ mm}$.

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

11-les dimensions des encoches :

$$b_1 = \frac{\pi(D_2 - 2hf_2 - 2hf'_2) - Z_2 \cdot b_2}{(\pi + Z_2)} \quad / h'_f = 0 .$$

$$b_1 = \frac{\pi(76,5 - 2 \cdot 0,5 - 2 \cdot 0) - 26 \cdot 3,9}{(\pi + 26)}$$

$$b_1 = 4,655 \text{ mm}$$

$$b_2 = \frac{\sqrt{R_1^2 \left(\frac{Z_2 + \pi}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - \frac{SB}{4}}}{\left(\frac{Z_2 - \pi}{\pi} - \frac{\pi}{2} \right)}$$

$$b_2 = \frac{\sqrt{4,65^2 \left(\frac{26}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - \frac{50,9}{4}}}{\left(\frac{26}{\pi} - \frac{\pi}{2} \right)}$$

$$b_2 = 2,13 \text{ mm}$$

12-La distance entre les rayons

$$h_1 = (b_1 - b_2) \frac{Z_2}{2\pi}$$

$$h_1 = (4,65 - 2,13) \frac{26}{2\pi}$$

$$h_1 = 10,53 \text{ mm}$$

13-La hauteur de l'encoche rotorique

$$h_{en2} = h'_f + h_{f2} + (b_1/2) + (b_2/2) + h_1$$

$$h'_f = 0$$

$$h_{en2} = 0 + 0,5 + (4,65/2) + (2,13/2) + 10,53$$

$$h_{en2} = 14,41 \text{ mm}$$

les conditions de construction non obligées

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

$$h_{en} = 14,25 \text{ mm} \quad h_1 = 10,5 \text{ mm} \quad b_1 = 4,5 \text{ mm} \quad b_2 = 2 \text{ mm}$$

La section de la barre

$$S_b = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} (b_1 + b_2) \cdot h_1$$

$$S_b = \frac{\pi}{8} \cdot (4,5^2 + 2^2) + \frac{1}{2} (4,5 + 2) \cdot 10,5$$

$$S_b = 43,5 \text{ mm}^2.$$

14-la densité du courant dans la barre

$$J_2 = I_2 / S_b$$

$$J_2 = 152,7 / 43,5 ; \quad J_2 = 3,485 \text{ A / mm}^2 .$$

15-La densité du courant dans les anneaux de court-circuit

J_{an} est inférieur à celle dans les barres (15 ÷ 20%)

$$J_{an} = J_2 \cdot (0,8 \div 0,85)$$

$$J_{an} = 2,78 \div 3$$

$$J_{an} = 2,8 \text{ A / mm}^2 .$$

-la section des anneaux de court-circuit :

$$S_{an} = \frac{I_{an}}{J_{an}}$$

$$\text{Ou } I_{an} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin(p \cdot \frac{\pi}{Z_2})}$$

$$I_{an} = \frac{151,6}{2 \cdot \sin(2 \cdot \frac{\pi}{26})}$$

$$I_{an} = 319 \text{ A} .$$

$$S_{an} = \frac{I_{an}}{J_{an}}$$

$$S_{an} = \frac{319}{2,8}$$

$$S_{an} = 114 \text{ mm}^2 .$$

__ Les dimensions des anneaux de court-circuitage

$$b_{an} = 1,25 \cdot b_{en2}$$

CALCUL DES DEMENSIONS DE LA ZONE DE DENTAIRE ROTORIQUE

$$b_{an} = 1,25 \cdot 14,25$$

$$b_{an} = 17,8$$

$$a_{an} = S_{an} / b_{an}$$

$$a_{an} = 114 / 17,8$$

$$a_{an} = 6,4 \text{ mm}$$

$$h = \frac{Z2}{2} \div \frac{Z2}{3}$$

$$h = \frac{26}{2} \div \frac{26}{3}$$

$$h = 13 \div 8,68$$

11 OU 13 .

CONCLUSION :

L'objectif vise par ce chapitre est le calcul et l'optimisation des paramètres rotorique entant compte l'effet de saturation , On a également calcule géométrique de l'encoche rotorique et électrique aushi que on à choisi la forme d'encoche trapézoïdale demi-fermée .

INTRODUCTION

L'action des mécanismes électromagnétique, et les machines électriques. En particulier découle de l'existence d'un champ magnétique et d'un courant traversant les conducteurs. Les lois de l'électrodynamique établissent la entre les courants et leur champ magnétique, et permettre de calculer leurs interactions.

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

CHAPITRE 5 :

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE :

Le circuit magnétique d'une machine et l'ensemble des éléments de matière ferromagnétique dont le rôle de canaliser un flux d'induction . Dans ce chapitre nous proposons d'exposer les différentes manières de déterminer la force magnétomotrice des pôles pour créer le flux magnétique .

On entend par flux magnétique d'une machine le flux dans l'entrefer sur une air qui correspond à un pas polaire τ .

La figure suivant représente schématiquement une partie d'une machine asynchrone tétrapolaire ainsi que le flux magnétique .

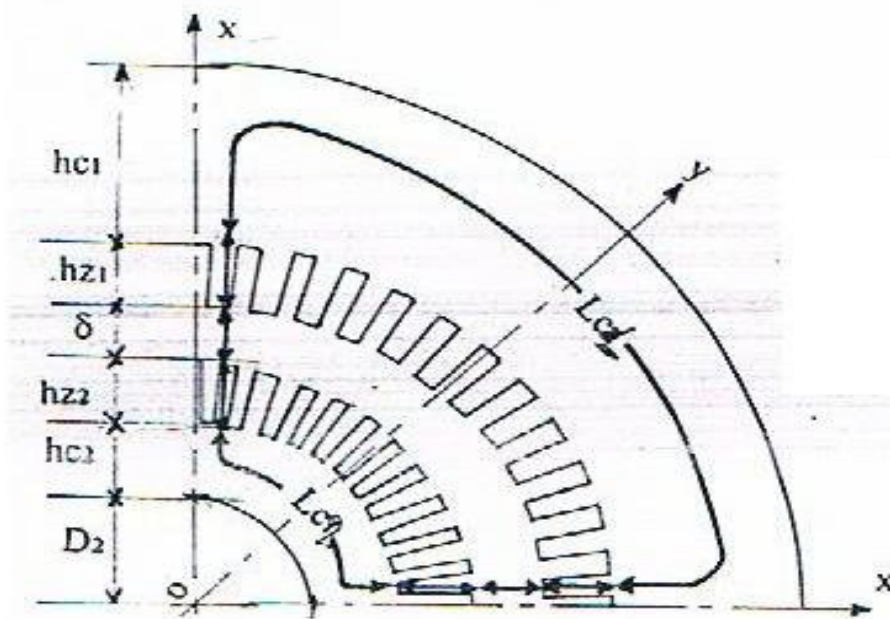


Fig (5_1)
Circuit magnétique (flux à vide) d'une machine à quatre pôles .[5] .

Ox : Axe polaire .

Oy : Axe interpolaire .

CHAPITRE 5

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

Vu la symétrie totale de la machine, le flux créé par chaque pôle est divisé par rapport à la ligne axiale du pôle en deux parties qui forment deux circuits magnétique identiques situés symétriquement de part et d'autre de ligne axiale du pôle donné.

Le nombre de circuits est égal à celui des pôles, mais lors du calcul de la f. m. m il suffit de considérer un seul circuit.

On voit que chaque ligne du flux magnétique passe par une série de tronçons qui forment l'ensemble du circuit et se distinguent l'un de l'autre par les dimensions géométriques ainsi que par leurs propriétés physiques. Les valeurs caractéristiques de chaque tronçons du circuit sont indiquées dans le tableau suivant :

Tronçon du circuit	Flux du trocson	Induction dans le tronçons	Intensité du champ	Longueur du chemin par paire de pôles	F. M. M par paire de pôles
Dos du stator	$\phi/2$	B_{c1}	H_{d1}	L_{c1}	F_{c1}
Dos du rotor	$\phi/2$	B_{c2}	H_{d1}	L_{c2}	F_{c2}
Entrefer	ϕ	B_{δ}	H_{δ}	$2 \cdot \delta$	F_{δ}
Dent du stator	ϕ	B_{z1}	H_{z1}	$2 \cdot h_{z1}$	F_{z1}
Dent du rotor	ϕ	B_{z2}	H_{z2}	$2 \cdot h_{z2}$	F_{z2}

5- 1 . F . M . M DANS LES DOS DU STATOR ET DU ROTOR :

Les f . m . m des dos du stator et du rotor ne dépendent que de la valeur total du flux set non de se distribution .

On déterminer :

$$F_a = H_a \cdot L_a \cdot 10^{-1}$$

$$F_j = H_j \cdot L_j \cdot 10^{-1}$$

(H_a , H_j : d'après le courbes d'aimantation de la culasse statorique d'un moteur)

$$B_a = 1,68 \text{ T} \rightarrow H_a = 1070 \text{ A/mm}$$

$$H_a = 10,70 \text{ A/cm}$$

$$L_a = \pi (D_a + h_a) / 2p .$$

$$L_a = \pi (116 + 8,7) / 4$$

$$L_a = 84,38 \text{ mm} .$$

Danc :

$$F_a = 10,70 \cdot 84,38 \cdot 10^{-1}$$

$$F_a = 90,22 \text{ A} .$$

$$B_j = 1,68 \text{ T} \rightarrow H_a = 174 \text{ A/mm}$$

$$H_a = 1,74 \text{ A/mm}$$

$$L_j = \pi (D_{ar} + h_j) / 2p . \quad ; \quad h_j = (D_2 + D_j) / 2 - h_{cn2} \text{ [la hauteur du dos du rotor)} .$$

$$L_j = \pi (26,68 + 10,66) / 4$$

$$L_j = 29,3 \text{ mm} .$$

Danc :

$$F_j = 1,74 \cdot 29,3 \cdot 10^{-1}$$

$$F_j = 5,09 \text{ A} .$$

5-2 . F.M.M DANS L'ENTREFER , LA COEFFICIENT DE L'ENTREFER :

Généralement , un grand entrefer est avantageux car

- _ Il diminue les pertes par pulsation des amplitudes des harmoniques de denture .
- _ Il améliore la forme du flux .
- _ Il diminue le bruit .
- _ Il améliore la régulation et la stabilité .

CHAPITRE 5

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

_ Il est d'une réalisation mécanique plus facile .

Par contre un grande entrefer nécessite une augmentation de la f. m .m totale à mettre sur un pôle ce qui peut être gênant .

La présence des dents et des encoches , nous donne un entrefer non uniforme , il en résultat un champ magnétique non sinusoïdale , c'est à dire pour un entrefer non uniforme la perméance est variable . Si on sépare l'harmonique fondamentale de cette courbe , son amplitude sera inférieure à cella d'un entrefer uniforme ; on peut admettre avec une précision suffisante que la rapport entre ces deux valeurs est constat . Il appelé coefficient de l'entrefer (FIG 5 _ 2)

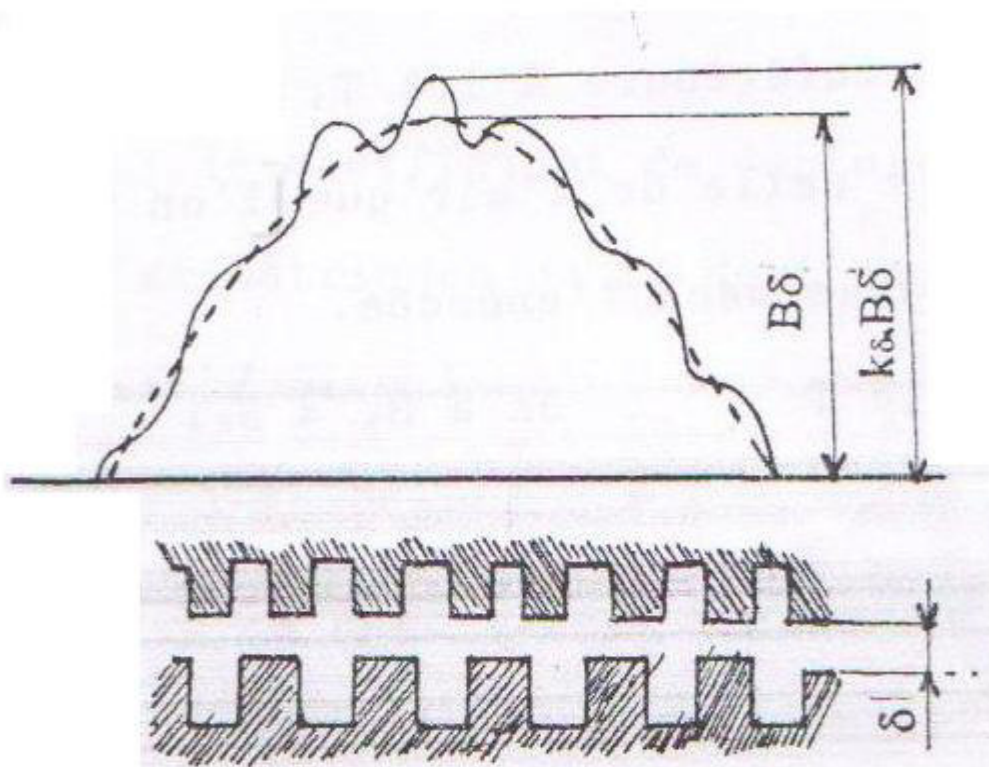


Fig (5 -2) : Variation de la courbe du champ provoqué par la denture .[5]

CHAPITRE 5
CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

$$F_{\delta} = (2 / \mu_0) \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot K_{\delta}$$

$$F_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot K_{\delta}$$

Ou :

$$K_{\delta} = t_1 / (t_1 - \gamma \cdot \delta) \quad \text{le coefficient de l'entrefer ;}$$

$$\gamma = (b_{f1} / \delta)^2 / (5 + b_{f1} / \delta)$$

δ : l'entrefer (mm) (Fig 9_10)

$$\delta = 0,25 \text{ mm .}$$

$$\gamma = (2 / 0,25)^2 / (5 + 2 / 0,25)$$

$$\gamma = 4,9$$

$$K_{\delta} = 6,7 / (6,7 - 4,9 \cdot 0,25)$$

$$K_{\delta} = 1,225$$

$$F_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,73 \cdot 0,25 \cdot 1,225$$

$$F_{\delta} = 355,46 \text{ A .}$$

5-3 . METHODE PROPOSE POUR L'OPTIMISATION DES CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE :

5-3-1. F .M.M DANS LES DENTS DU ROTOR ET DU STATOR :

1. les valeurs de l'induction dans les dents du stator et du rotor :

Pour calculer ces inductions , il suffit de les déterminer pour un pas dentaire t , car toutes les dents se trouvent dans les mêmes condition magnétiques le long de l'arc polaire idéal

Le flux dans l'entrefer par pas dentaire :

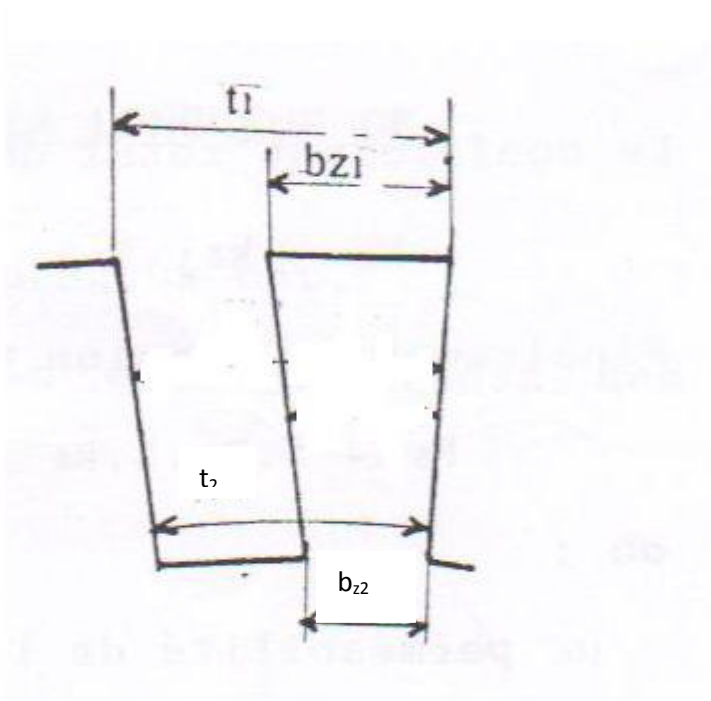
$$\Phi_t = B_{\delta} \cdot t_1 \cdot L_{\delta}$$

Les section offeretes au passage de flux ,

CHAPITRE 5
CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

$$S_1 = b_{z1} \cdot l_{ac1} \cdot K_f$$

$$S_2 = b_{z2} \cdot l_{ac1} \cdot K_f$$



D'ou :

$$B_{z1} = B_{\delta} \cdot t_1 \cdot L_{\delta} / b_{z1} \cdot l_{ac1} \cdot K_f \quad ; \quad (L_{\delta} = l_{ac1})$$

$$B_{z2} = B_{\delta} \cdot t_1 \cdot L_{\delta} / b_{z3} \cdot l_{ac2} \cdot K_f \quad ; \quad (L_{\delta} = l_{ac2})$$

Les induction 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 permeance de la dent est tellement grande à celle de l'air que l'on puisse négliger la partie de flux qui passe dans l'encoche .

Donc si $B_{zi} \leq 1,8 \text{ T}$ on à $B_z = B_{zi}$

Ou

B_z ; induction magnétique réelle dans la dent .

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

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

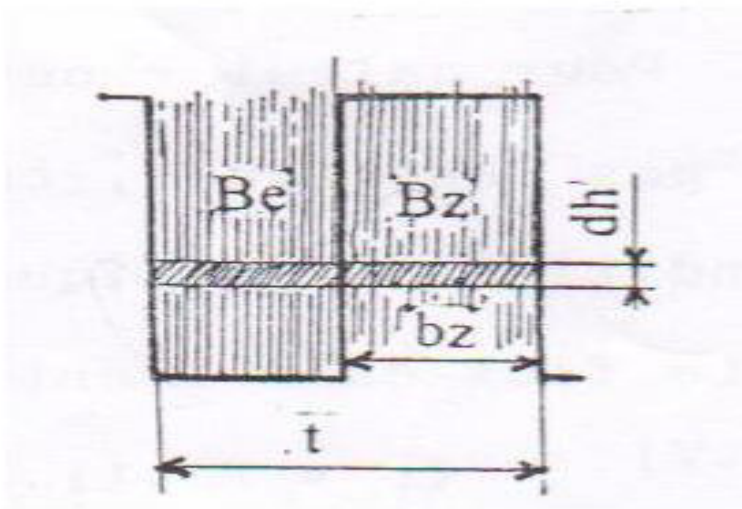


Fig (5-3) :
induction dans la
dent [5] .

B_e : induction dans l'encoche

S_e : surface de passage dans l'air

S_z : surface de passage dans la dent

$$\phi = B_{zi} \cdot S_z$$

$$\phi = B_z \cdot S_z + B_e \cdot S_e$$

$$\text{d'où } B_{zi} = B_z + B_e \cdot S_e / S_z$$

Dans une tranche dh , à l'induction B_z correspond l'intensité du champ H_z dans le fer . la même intensité doit correspondre juste dans l'air à l'induction B_e .

$$B_e = \mu_0 \cdot H_z$$

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$; [H / m] dans le système rationalisé MKSA

et si

$\mu_0 = 4 \cdot \pi$ dans le système rationalisé cgs μ_0

Dans la pratique industrielle [3],[4] et [5] lors du calcul des circuit magnétiques des machines , on utilise un système mixte à la base duquel se trouve le système cgs μ_0 avec traduction des unités

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-1}$$

soit :

$K_z = S_e / S_z$; la coefficient de denture déterminé seulement par les dimensions géométriques de la dent et de l'encoche .

$$\begin{aligned} K_z &= S_{\text{total}} / S_z - 1 \\ &= t \cdot L_i / (b_z \cdot l_{ac1} \cdot K_f) - 1 \end{aligned}$$

Donc l'équation devient

$$B_{zi} = B_z + 0,4 \cdot \pi \cdot K_z \cdot H_z$$

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

Finalement

$$B_z = B_{zi} - 0,4 \cdot \pi \cdot K_z \cdot H_z$$

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

Appliquons ces résultat pour les machines à étudier :

Pour le stator (encoches trapézoïdales)

$$B_{z1i} = B_\delta \cdot t_1 \cdot L_\delta / b_{z1} \cdot l_{ac1} \cdot K_f$$

$$K_{1z} = t \cdot L_i / (b_z \cdot l_{ac1} \cdot K_f) - 1$$

Pour le rotor

$$B_{z1i} = B_{\delta} \cdot t_2 \cdot L_{\delta} / b_{z1} \cdot l_{ac1} \cdot K_f$$

$$K_{21z} = t_2 \cdot L_i / (b_z \cdot l_{ac1} \cdot K_f) - 1$$

5-3-2 CALCUL DES INTENSITES DES CHAMPS D'INDUCTION DANS LES DENTS :

Reprenons la relation : $B_z = B_{zi} - 0,4 \cdot \pi \cdot K_x \cdot H_z$

Avec $K_x = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-5} \cdot K_z$

On aura :

$$B_{zi} = B_z + K_x \cdot H_z$$

Pour le calcul des induction et intensités réelles B_z et H_z on procède de la manière suivante :

On calcule donc l'induction B_{zi} dans une tranche de la dent , on la porte sur l'ordonnée de la courbe d'aimantation donnant B en fonction de H pour la marque d'acier utilisée .

Du point B_{zi} on trace une droite de coefficient angulaire égal à K_x , on trouve à son intersection avec la courbe le point d'induction réelle B_z et l'intensité réelle du champ magnétique correspondante à B_z .

CHAPITRE 5
CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

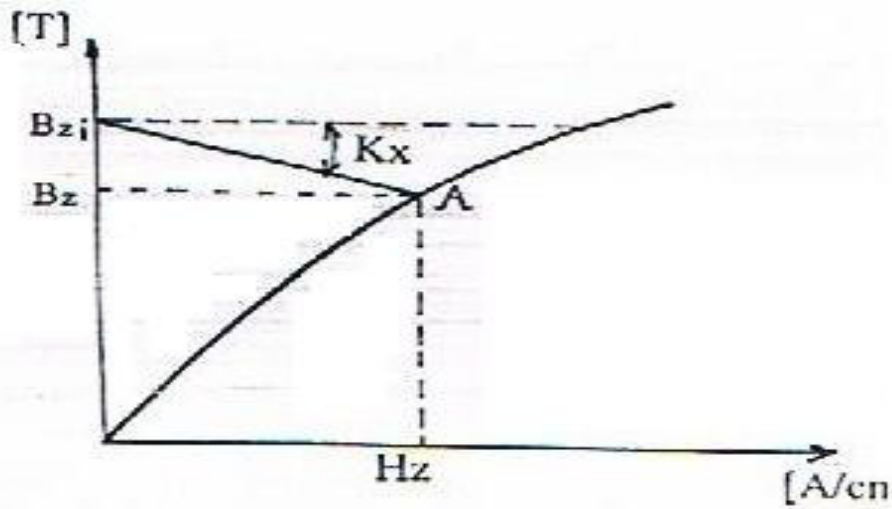


Fig (5 – 5) Détermination de l'intensité réelle dans la dent [5] .

On répète cette opération pour d'autres tranches (d'habitude on prend le haut , le milieu et le bas de la dent) on trouve ainsi trois valeurs de intensités et on applique la règle de Simpson pour avoir l'intensité moyenne .

$$H_z = (H_{z1} + 4 \cdot H_{z2} + H_{z3}) / 6$$

Lorsque les dents sont très saturées on divise leur hauteur en cinq tranches et on a :

$$H_z = (H_{z1} + 4 \cdot H_{z2} + 3 \cdot H_{z3} + 4 \cdot H_{z4} + H_{z5}) / 12 .$$

Les courbes de la figure 1 annexe , on été trouvées par le procédé inverse ; on s'est donné plusieurs valeurs de B_z et pour chacune d'elles , plusieurs valeurs de K_x , ce qui a permis de déterminer pour chaque valeurs de K_x l'induction B_{zi} et l'intensité H_z réelle correspondante à B_z . Mais pour calcul assisté par ordinateur l'interpolation est aisée .

Le problème consiste donc à trouver la point A de coordonnées (H_z , B_z) pour les paramètres B_{zi} , K_x .

Il faut introduire la condition de telle sorte à recevoir la solution dans les cas ou $B_{zi} \leq 1,8 \text{ T}$ et $B_{zi} > 1,8 \text{ T}$.

5-3-2-1 EQUATIONS DE BASE NECESSAIRES à LA RESOLUTION DES SYSTEMES NON LINEAIRE ET METHODE DE RESOLUTION UTILISEE :

Considérons l'équation :

$$B_z = B_{zi} - 4 \cdot \pi \cdot d \cdot K_z \cdot H_z \quad \text{avec } d = 10^{-5}$$

_ Si $B_{zi} \leq 1,8 \text{ T}$, l'intensité du champ magnétique est déterminée à partir de l'équation de la courbe représentée sur le tableau 2 de l'annexe .

$$H_z = 1,8 \cdot B_z + 0,39 \cdot B_z^6$$

Dans ce cas on peut négliger la partie du flux qui passe dans l'encoche .

$$B_z = B_{zi}$$

$$H_z = 1,8 \cdot B_z + 0,39 \cdot B_z^6$$

_ Si $B_{zi} > 1,8 \text{ T}$, l'intensité réelle du champ est déterminée à partir de l'équation de la courbe représentée sur le tableau 1 de l'annexe .

$$H_z = 0,16 \cdot B_z + 0,0044 \cdot B_z^{13}$$

Dans ce cas on ne peut pas négliger la partie du flux d'encoche , le point A (H_z, B_z) est trouvé en résolvant le système suivant :

$$B_z = B_{zi} - 4 \cdot \pi \cdot d \cdot K_z \cdot H_z$$

$$H_z = 0,16 \cdot B_z + 0,0044 \cdot B_z^{13}$$

On a un système d'équation non linéaire à exposant élevé . La solution analytique est pratiquement impossible . On doit donc recourir à des méthodes numériques de résolution des équations non linéaires . La méthode qu'on va choisir pour la résolution de ce système est appelé méthode du « point fixe » .

CHAPITRE 5
CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

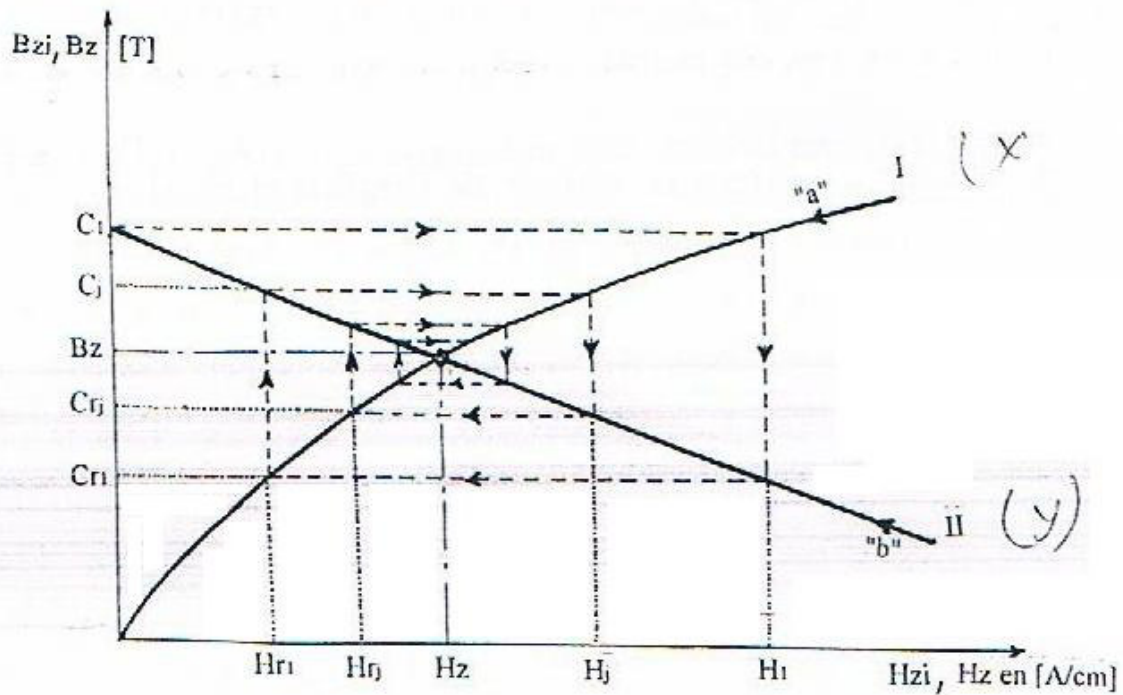


Fig (5-6) : Méthode du point fixe [5] .

_ On considère les voies "a" et "b" comme c'est indiqué sur la fig (5-6)

_ En commençant par le première itération

$$C_1 = B_z$$

$$= B_{zi}$$

_ On calcule l'intensité du champ correspondant à l'induction C_1 en appliquant l'équation de la courbe I .

$$H_1 = 0,16 \cdot C_1 + 0,0044 \cdot C_1^{13}$$

_ On calcule l'induction auxiliaire C_r par l'équation de la courbe II .

$$C_r = B_{zi} - 4 \cdot \pi \cdot d \cdot K_z \cdot H_z$$

CHAPITRE 5

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

_ On calcule l'intensité auxiliaire H_{r1} correspondant à l'induction auxiliaire C_{r1} par l'équation de courbe I.

$$H_{r1} = 0,16 \cdot C_{r1} + 0,0044 \cdot C_1^{13}$$

_ On vérifie la condition suivante

$$200 \cdot |(C_1 - C_{r1}) / (C_1 + C_{r1})| \leq 10^{-2}$$

_ Si cette condition est satisfaite on prend le point A (H_z, B_z) telle que :

$$H_z = (H_1 + H_{r1}) / 2 \quad ; \quad B_z = (C_1 + C_{r1}) / 2$$

Si cette condition n'est pas vérifiée, on passe à l'itération suivante tout en se rapprochant hélicoïdalement du point A jusqu'à la satisfaction de la condition :

$$200 \cdot |(C_j - C_{rj}) / (C_j + C_{rj})| \leq 10^{-2}$$

Ou

J : est la rang de l'itération

On prend finalement

$$H_z = (H_j + H_{rj}) / 2 \quad ; \quad B_z = (C_j + C_{rj}) / 2$$

Pour le stator

Les paramètres d'entrées

$$B_{z1i}, K_z$$

Les paramètres de sortie

$$H_{z1}, B_{z1}$$

Pour le rotor

Les paramètres d'entrées

$$B_{z21i}, K_{z21}$$

Les paramètres de sortie

$$H_{z21}, B_{z21}$$

$$B_{z22i}, K_{z22}$$

$$H_{z22}, B_{z22}$$

Les resultat du calcul induction dans les dents

$$B_{z1} = B_{\delta} \cdot t_1 \cdot L_{\delta} / b_{z1} \cdot l_{ac1} \cdot K_f ; \quad (L_{\delta} = l_{ac1})$$

$$B_{z2} = B_{\delta} \cdot t_2 \cdot L_{\delta} / b_{z2} \cdot l_{ac2} \cdot K_f ; \quad (L_{\delta} = l_{ac2})$$

$$B_{z1} = 0,73 \cdot 0,7 / 2,65 \cdot 0,97 ;$$

$$B_{z2} = 0,73 \cdot 9,25 / 3,9 \cdot 0,97 ;$$

$$B_{z1} = 1,9 \text{ T} .$$

$$B_{z2} = 1,74 \text{ T} .$$

Si la section des dents est variable suivant la hauteur on calcul les inductions $B_{z \max}$, $B_{z \min}$ et $B_{z \text{ moy}}$.

_ L'induction dans les dos du stator et du rotor

$$B_a = \Phi / 2h_a' \cdot l_{ac1} \cdot K_f$$

$$B_j = \Phi / 2h_j' \cdot l_{ac2} \cdot K_f$$

Ou :

$$h_a' = [(D_a - D) / 2] - h_{en1} ; \quad (\text{la hauteur de calcul du dos du stator}) .$$

$$h_j' = 2 + p / 3,2 p (D_2 / 2 - h_{en2}) - 2/3 d_{c2} \cdot m_{c2} ; (\text{la hauteur de calcul du dos du rotor}) .$$

$$2/3 d_{c2} \cdot m_{c2} = 0 .$$

$d_{c2} \cdot m_{c2}$: le nombre des naugs et le diamètre des canaux acsiaux de ventilation .

On fait les canaux acsiaux de ventilation dans les rotors des moteurs à la hauteur de l'axe de rotation $h \geq 250 \text{ mm}$.

- Pour $h = 250 \text{ mm}$, $m_{c2} = 1$, $d_{c2} = (15 \div 30) \text{ mm}$, le nombre des canaux est égale à 10 ;
- Pour $h = (280 \div 350) \text{ mm}$, $m_{c2} = 1$, $d_{c2} = (20 \div 30) \text{ mm}$, le nombre des canaux est égale à 12 ;
- $h > 355 \text{ mm}$, $m_{c2} = 1$, $d_{c2} = (55 \div 110) \text{ mm}$, le nombre des canaux est égale à 9 ;
- Si $2p \geq 6$ on détermine h_j' d'après la formule :

$$h_j' = [(D_a - D_j) / 2] - h_{en1} - 2/3 d_{c2} \cdot m_{c2}$$

$$h_a' = [(116 - 77) / 2] - 10,8$$

$$h_a' = 8,7 \text{ mm} .$$

$$h_j' = (2 + 2 / 3,2 \cdot 2) (76,5 / 2 - 14,25) - 0.$$

$$h_j' = 15 \text{ mm}.$$

$$B_a = 2 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 8,7 \cdot 74 \cdot 0,97 \cdot 10^{-6}$$

$$B_a = 1,68 \text{ T}.$$

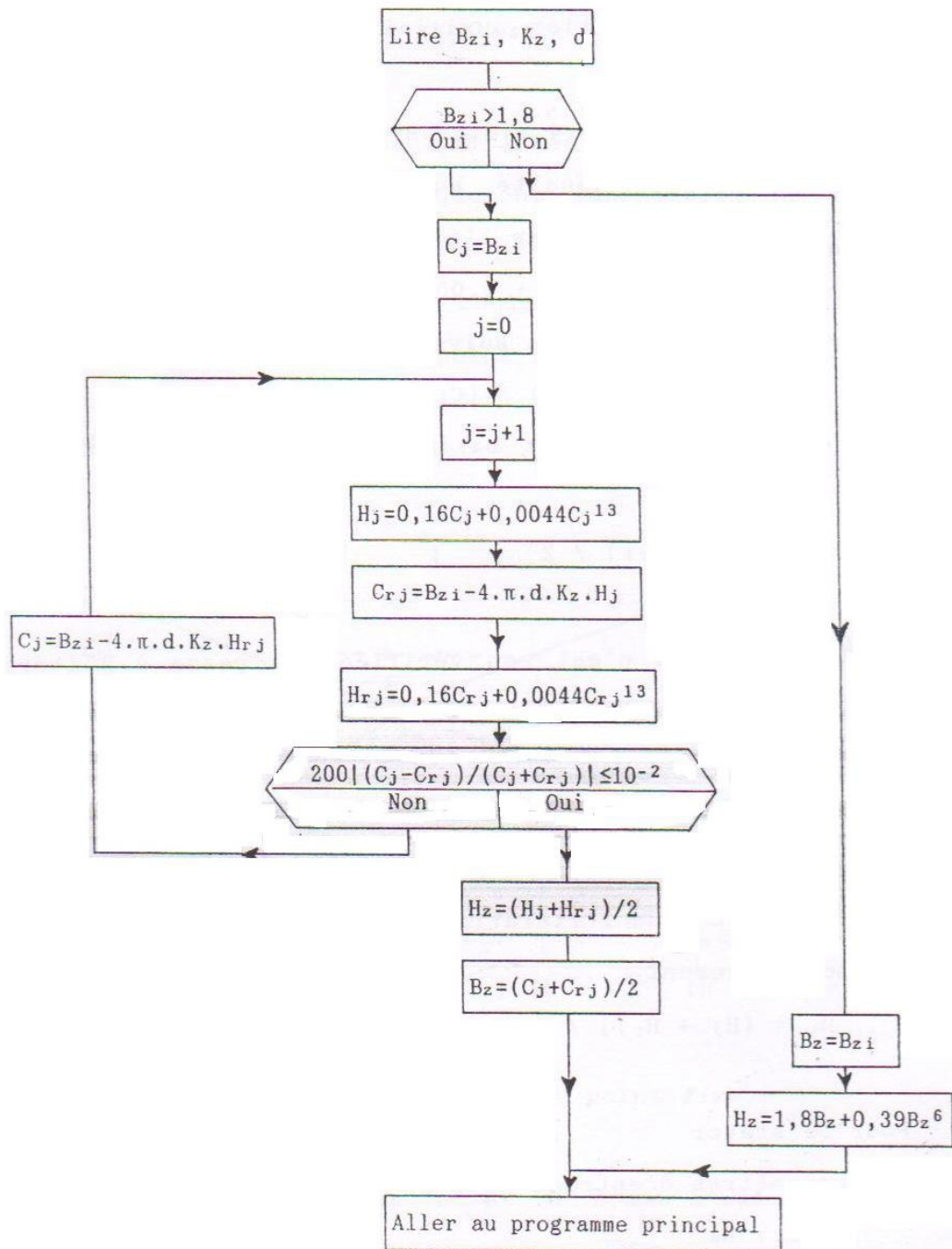
$$B_j = 2 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 15 \cdot 74 \cdot 0,97 \cdot 10^{-6}$$

$$B_j = 0,975 \text{ T}.$$

CHAPITRE 5

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

ALGORITHME DE CALCUL DES INDUCTIONS EST DES INTENSITES REELES DANS LES DENTS



5-3-3 . F . M . M DANS LA zone dentaire , Le coefficient de saturation de la zone dentaire , La FMM par deux pôles , Le coefficient de saturation , Le courant d'aimantation :

1. F . M . M DE LA ZONE DENTAIRE

La FMM de la zone dentaire du stator :

$$F_{z1} = 2h_{z1} \cdot H_{z1} \cdot 10^{-1}$$

Telque : $B_{z1} \rightarrow H_{z1}$ (Tab : toles d'acier magnétique 2013 (courbe d'aimantation des dents d'un moteur asynchrone)) (5-5 de guide)

$B_{z1} = 1,9 \rightarrow$ courbe d'aimantation des dents d'acier magnétique 2013

$$H_{z1} = 2070 \text{ A / mm}$$

$$H_{z1} = 20,70 \text{ A / cm}$$

Danc :

$$F_{z1} = 2 \cdot 10,8 \cdot 10^{-1} \cdot 20,70$$

$$F_{z1} = 44,71 \text{ A .}$$

La FMM de la zone dentaire du stator :

$$F_{z2} = 2h_{z2} \cdot H_{z2} \cdot 10^{-1}$$

Telque : $B_{z2} \rightarrow H_{z2}$ (Tab : toles d'acier magnétique 2013 (courbe d'aimantation des dents d'un moteur asynchrone)) (5-5 de guide)

$B_{z2} = 1,74 \rightarrow$ courbe d'aimantation des dents d'acier magnétique 2013

$$H_{z2} = 1290 \text{ A / mm}$$

$$H_{z2} = 12,90 \text{ A / cm}$$

Danc :

$$F_{z2} = 2 \cdot 14,25 \cdot 10^{-1} \cdot 12,90$$

$$F_{z2} = 36,765 \text{ A .}$$

2. Le coefficient de saturation de la zone dentaire :

$$K_{scm} = 1 + (F_{z1} + F_{z2}) / F_6$$

$$K_{scm} = 1 + (44,71 + 36,76) / 355,46$$

$$K_{scm} = 1,229 \approx 1,23$$

On compare K_{scm} obtenu avec celui-ci admissible $K_{sdad} = 1,2 \div 1,6$. Si $K_{scm} \neq K_{sdad}$ il faut corriger les dimensions du circuit magnetique .

$$K_{scm} = 1,23 \in [1,2 \div 1,6]$$

$$\alpha_i \text{ supposée} = 0,7 \rightarrow K_s = 1,25 \quad ; \quad K_{scm} = 1,23$$

$$\alpha_{i \text{ cal}} = 2/\pi + 0,156 (K_{s \text{ cal}} - 1)^{2/3}$$

$$\alpha_{i \text{ cal}} = 2/\pi + 0,156 (1,23 - 1)^{2/3}$$

$$\alpha_{i \text{ cal}} = 0,695$$

$$\Delta\alpha = | \alpha_i - \alpha_{i \text{ cal}} | / | \alpha_{i \text{ cal}} | \cdot 100$$

$$\Delta\alpha = | 0,7 - 0,695 | / | 0,695 | \cdot 100$$

$$\Delta\alpha = 0,6 \% < 5\% .$$

3. La FMM par deux pôles :

$$F_\Sigma = F_6 + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j$$

$$F_\Sigma = 355,46 + 44,71 + 36,76 + 90,22 + 5,09$$

$$F_\Sigma = 532,24 \text{ A} .$$

4. Le coefficient de saturation :

$$K_\mu = F_\Sigma / F_6$$

$$K_\mu = 532,24 / 355,46$$

$$K_\mu = 1,49 .$$

CHAPITRE 5

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

5. Le courant d'aimantation :

$$I_{\mu} = p \cdot F_{\Sigma} / 0,9 \cdot m \cdot W \cdot K_{b1}$$

$$I_{\mu} = 2 \cdot 532,24 / 0,9 \cdot 3 \cdot 725 \cdot 0,96$$

$$I_{\mu} = 0,55 \text{ A}$$

La valeur relative

$$I_{\mu} \% = I_{\mu} / I_{1n} \cdot 100$$

$$I_{\mu} \% = 0,55 / 1,09 \cdot 100$$

$$I_{\mu} \% = 50,46 \text{ .}$$

CONCLUSION :

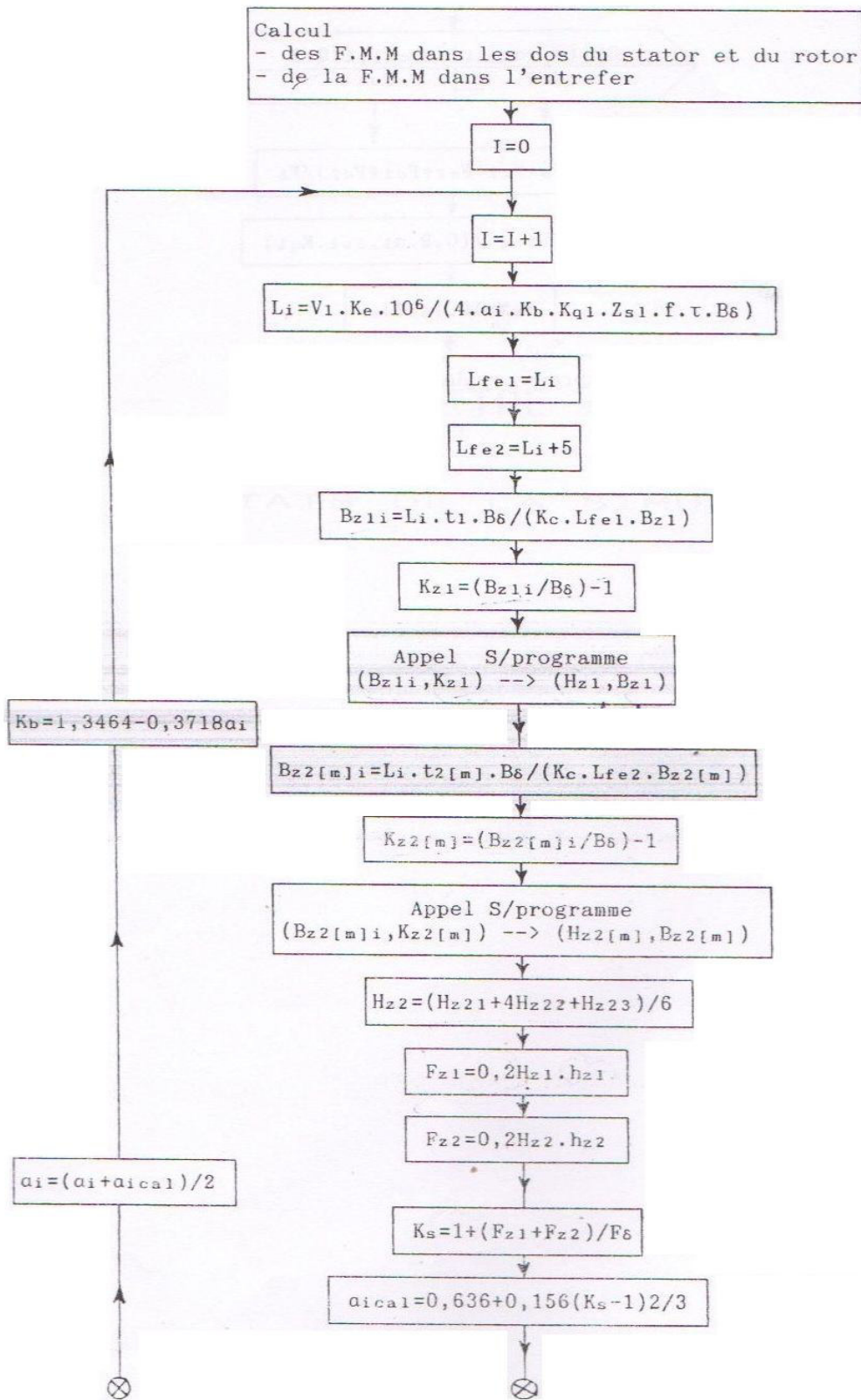
Dans ce chapitre nous avons calculé la F.M.M dans les différentes régions (culasse statorique , entrefer , rotor) .

Afin de déduire le coefficient de saturation pour le comparé avec ce qui à été présélectionné dans le chapitre 1 entant compte que l'erreur entre le coefficient de saturation calculé et celui présélectionné ne doit pas passé 5% .

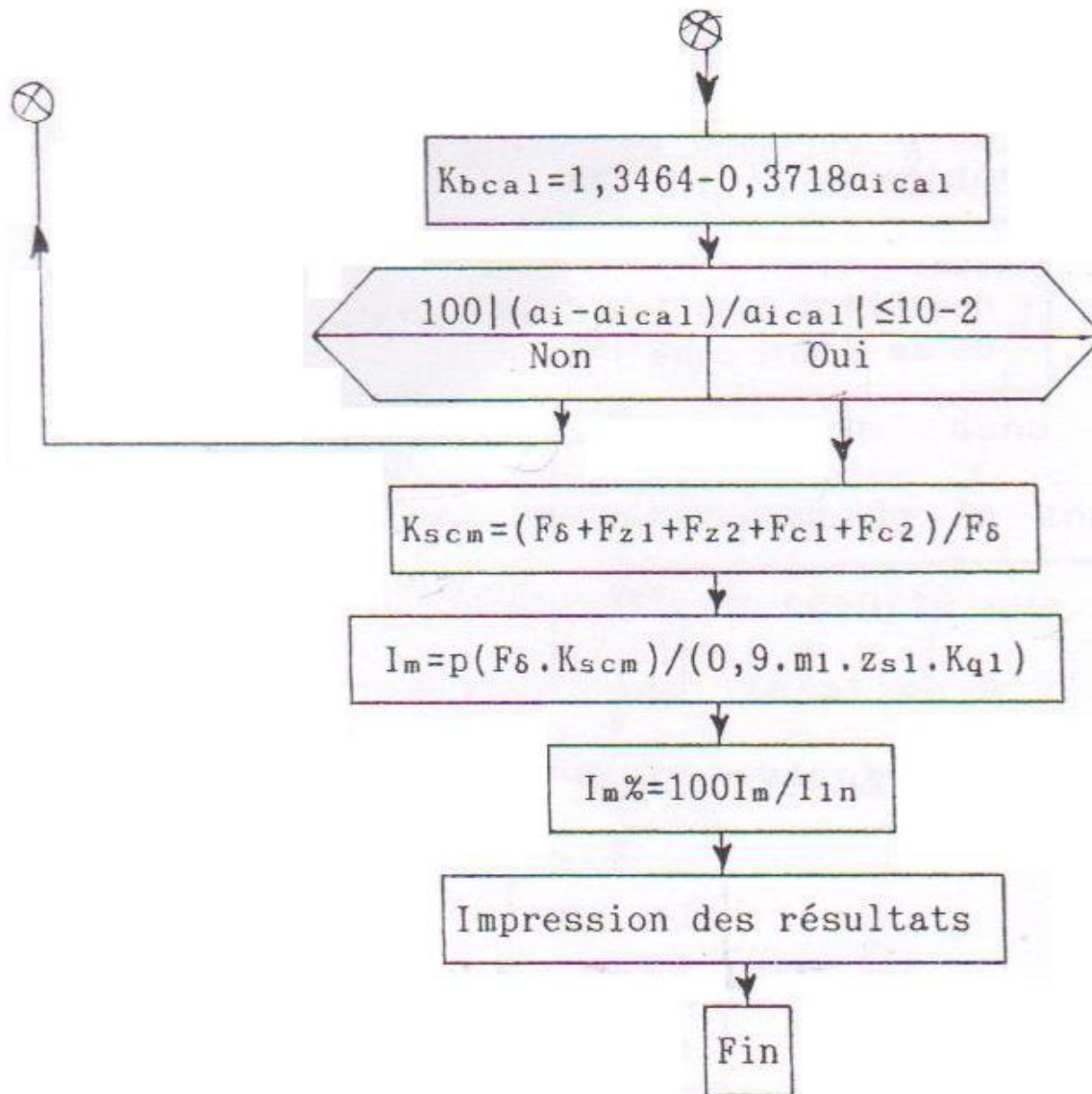
CHAPITRE 5

CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE

ALGORITHME DU PROGRAMME PRINCIPAL DR CALCUL INTERATIF DES CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUES..



CHAPITRE 5
CALCUL DU CIRCUIT MAGNETIQUE



OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

Conclusion

Conclusion

Dans ce mémoire, on s'est intéressé au étudié un des moteurs à courant alternatif qui est le moteur asynchrone triphasé et calcul et à la CAO des machines électriques et plus particulièrement les moteurs à induction. Lorsqu'on veut construire une machine électrique, on ne doit pas seulement tenir compte de ses propriétés électromagnétiques, mais faire en sorte qu'elle soit la plus performante possible. Le dimensionnement doit satisfaire avant tout les lois de la physique en particulier magnétiques, électriques et mécaniques, d'autres parts il doit en même temps répondre aux exigences du cahier de charge tel que la capacité de surcharge, le facteur de puissance et les conditions de démarrage.

Un outil de CAO est un moyen de simulation permettant la définition de la structure du dispositif à concevoir, son dimensionnement et la détermination de ses performances à partir de ces spécifications géométriques, de construction et des conditions d'utilisation. En partant d'un cahier de charges donné, il permet d'explorer automatiquement l'ensemble des solutions possibles.

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

LES DONNEES

LES DONNEES :

$P_n=0.75$ KW

$2P=4$

rotor à cage

IP=44

IC0141

CALSSE B

U= 660 v

N= 1500 tr /min



OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

ANNEXES

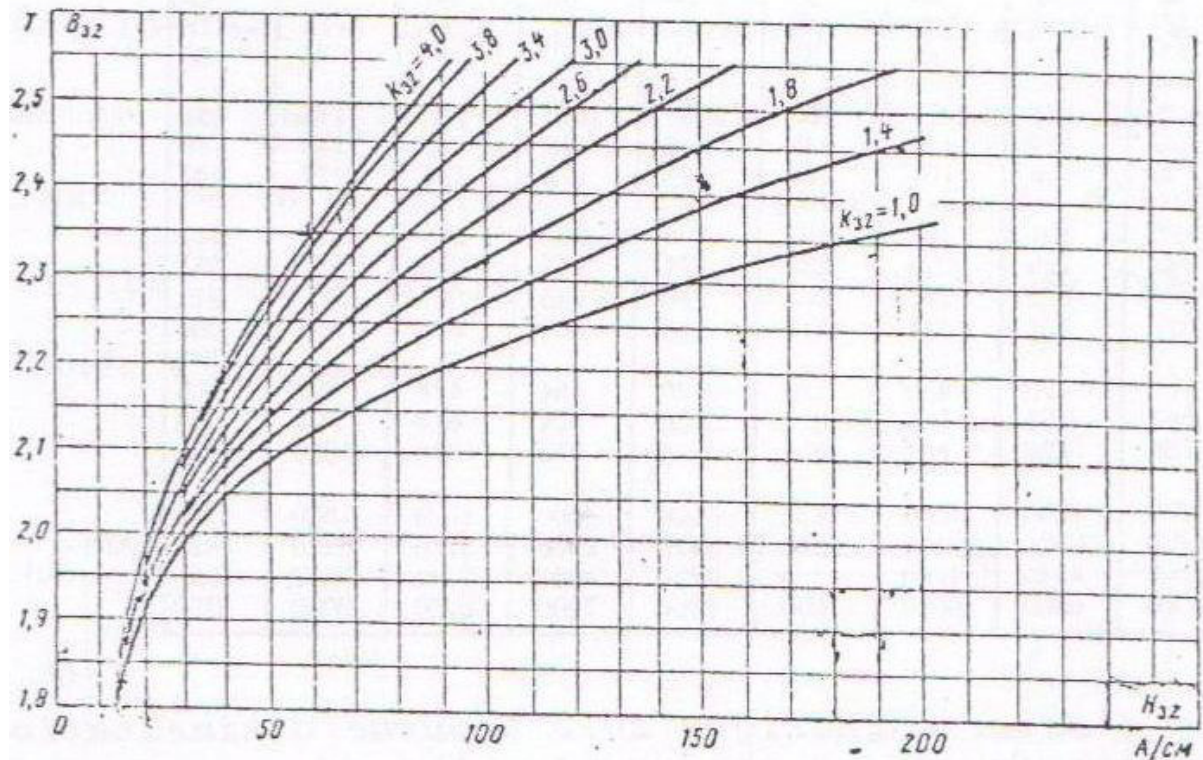


Fig : courbe d'aimantation pour les dents des moteurs asynchrones .

B(T)	H(A /cm)									
	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.4	56	56	57	58	59	60	60	61	61	62
0.5	63	63	64	65	66	67	67	68	68	69
0.6	70	70	71	72	73	74	74	75	76	77
0.7	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
0.8	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
0.9	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
1.0	110	111	113	114	115	117	118	120	121	123
1.1	125	126	127	128	129	132	133	134	136	138
1.2	141	146	152	158	164	170	176	182	188	194
1.3	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
1.4	300	320	350	380	410	430	460	500	540	580
1.5	620	670	780	890	1000	1130	1240	1350	1460	1580
1.6	1700	1860	2020	2180	2340	2500	2700	2800	3000	3200
1.7	3400	3700	4000	4300	4700	5000	5400	5800	6200	6600
1.8	7000	7500	8000	8500	9200	10000	10600	11200	11800	12400
1.9	13000	13600	14200	14800	15600	16500	17300	18100	18900	19800
2.0	20700	22600	24400	26300	28100	30000	36000	42000	48000	54000
2.1	60000	67000	74000	81000	88000	95000	102000	109000	16000	123000

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

ANNEXES

2.2	130000	138000	146000	154000	162000	170000	178000	186000	194000	202000
2.3	210000	218000	226000	234000	242000	250000	258000	266000	274000	282000
2.4	290000	298000	306000	314000	322000	330000	338000	346000	354000	362000

$$B_z > 1.8 \rightarrow H = 0.16 B_z + 0.0044 B_z^{13}$$

Tab(5-1) : Intensité du champ pour le dos des moteurs asynchrones acier 2013 .

B(T)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	H(A /cm)									
0.4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0.5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0.6	188	191	194	198	201	205	208	212	216	220
0.7	223	226	229	233	236	240	243	247	250	253
0.8	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283
0.9	286	290	293	297	301	304	308	312	316	320
1.0	324	329	333	338	342	346	350	355	360	365
1.1	370	375	380	385	391	396	401	406	411	417
1.2	424	430	436	442	448	455	461	467	473	479
1.3	486	495	504	514	524	533	563	574	584	585
1.4	586	598	610	622	634	646	658	670	683	696
1.5	709	722	735	749	763	777	791	805	820	835
1.6	850	878	906	934	962	990	1020	1050	1080	1110
1.7	1150	1180	1220	1250	1290	1330	1360	1400	1440	1480
1.8	1520	1570	1620	1670	1720	1770	1830	1890	1950	2010
1.9	2070	2160	2250	2340	2430	2520	2640	2760	2800	3020
2.0	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2.1	5140	5440	5740	6050	6360	6670	7120	7570	8020	8470
2.2	8920	9430	9940	10460	10980	11500	12000	12600	13200	13800
2.3	14490	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

$$B_z > 1.8 \rightarrow H = 1.8 B_z + 0.39 B_z^6$$

Tab (5-2) : Tôles d'acier magnétique 2013 (courbe d'aimantation des dents d'un moteur

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

ANNEXES

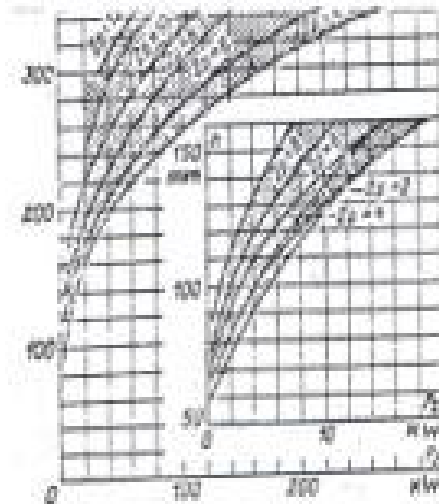


Fig (2- 1) la hauteur de l'axe de rotation $h = f(Pu, 2P)$

H mm	56	63	71	80	90	100	112	132
Da m	0.089	0.1	0.116	0.131	0.149	0.168	0.191	0.225
	160	180	200	225	250	280	315	355
	0.272	0.313	0.349	0.392	0.437	0.530	0.590	0.660

Tab (2 -1) : Hauteur de l'axe en fonction du diamètre Da .

H (mm)	2p	Type d'enroulement	Forme de l'encoche
56 ÷ 63	2 ; 4 ; 6	Une couche concentrique	Trapézoïdale à demi fermée
71 ÷ 160	2 ; 4 ; 6 ; 8	Une couche concentrique	Trapézoïdale à demi fermée
180 ÷ 225	2 ; 4 ; 6 ; 8	Deux couche ou une –deux couches	Trapézoïdale à demi fermée

Tab(2-3): Type d'enroulement et forme de l'encoche statorique .

2p	2	4	6	8
K_d	0.52 ÷ 0.57	0.64 ÷ 0.68	0.70 ÷ 0.72	0.74 ÷ 0.77

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

ANNEXES

Tab (2-2) : Rapport entre diamètre intérieur D et extérieur D_a $k = D / D_a$.

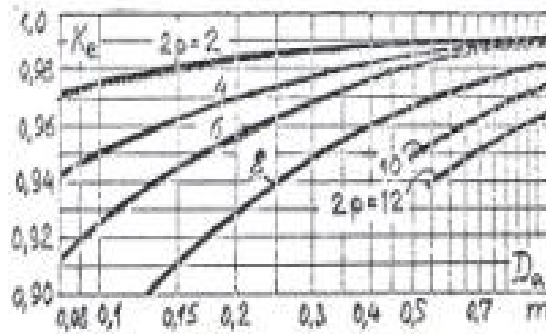


Fig (2-4) Le coefficient de chute de tension $K_e = f(D_a)$

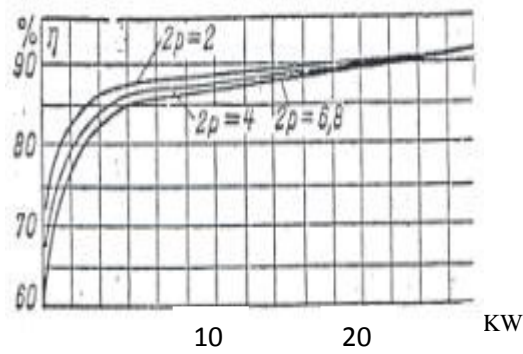


Fig (2-2) Le rendement $\eta = f(P_u, 2P)$

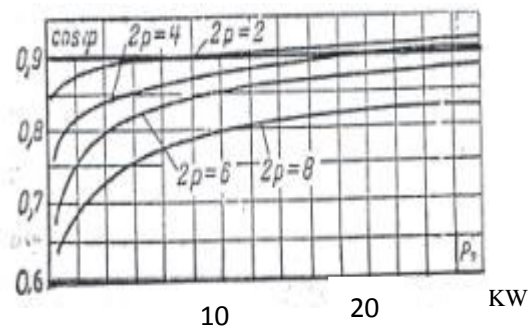


Fig (2-2) : Le facteur de puissance $\cos \varphi = f(P_u, 2P)$

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

ANNEXES

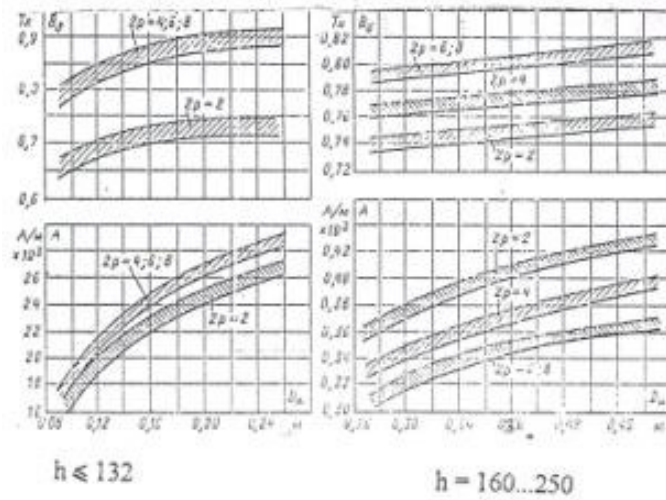
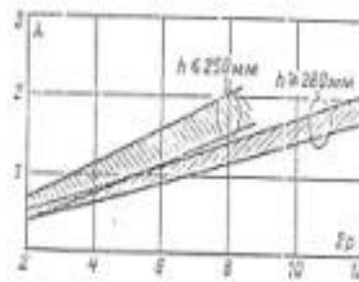


Fig (2-5): Les charges électromagnétique A (A/m) et B_δ (T)



Fig(2- 6) : Le rapport $\lambda = \frac{1}{\tau}$, $\lambda = f(2P, h)$

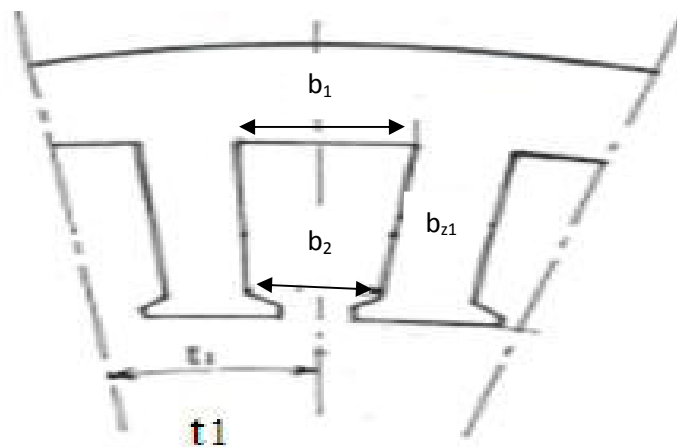


Fig (3-) le pas d'enter .

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

ANNEXES

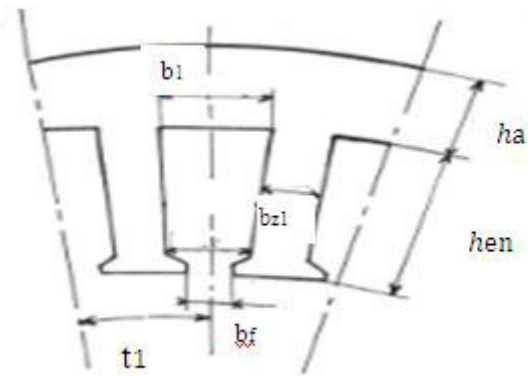


Fig (3- ...) : .configuration sataroque .

$2p$	Pour h , mm		
	50 - 132	160 - 225	250 - 450
2	3; 4	5; 6	7; 8
4	2; 3	3; 4	4; 5
6	2; 3	3; 4	4; 5
8	1,5; 2	2; 3	3; 4
10	-	-	2; 3
12	-	-	2; 2,5

Tab(3-2) :Le nombre d'encoche par pôle et par phase q des moteurs asynchrone

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

ANNEXES

$h, \text{ mm}$	$2p$	forme de l'encoche	Type de l'enroulement
50 - 160	2 - 8	trapézoïdale demi-fermée	concentrique à une couche monté fil à fil
180 - 250	2 - 12	_____''_____	imbriqué à deux couches monté fil à fil
280 - 315	10 - 12	_____''_____	_____''_____
280 - 355	2 - 8	rectangulaire demi-ouverte	à deux couches en barre
400 - 450	2 - 12	rectangulaire ouverte	à deux couches en barre

Tab (3-1) : Le enroulement statorique des machines asynchrone .

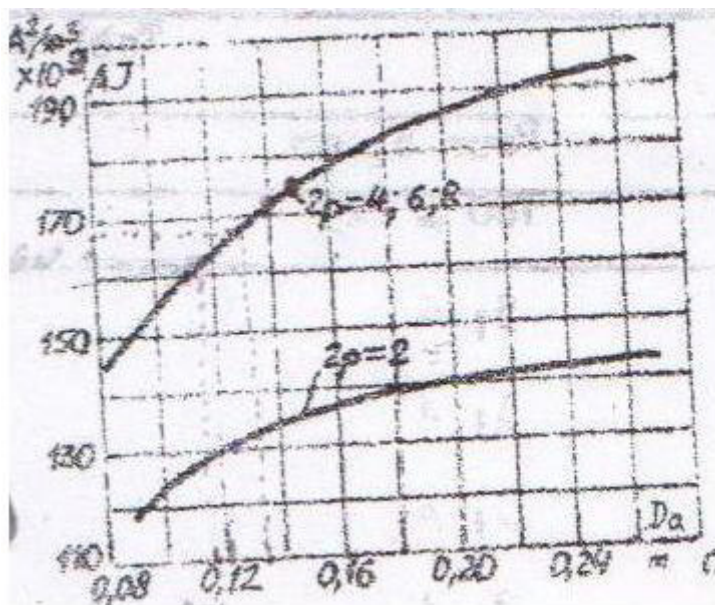


Fig (3-2) : valeurs moyennes du produit AJ des moteurs asynchrone .

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

ANNEXES

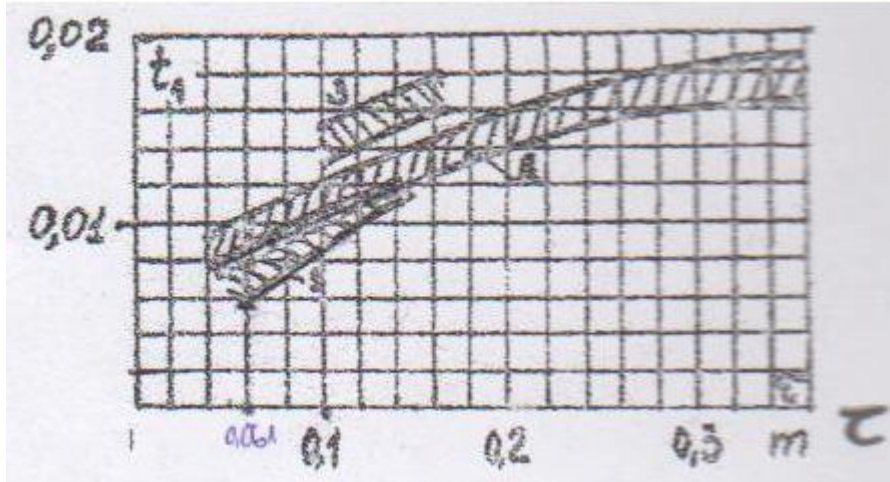


Fig (3-1) : Le pas d'entaine du stator des moteurs asynchrones à enroulement monté fil à fil

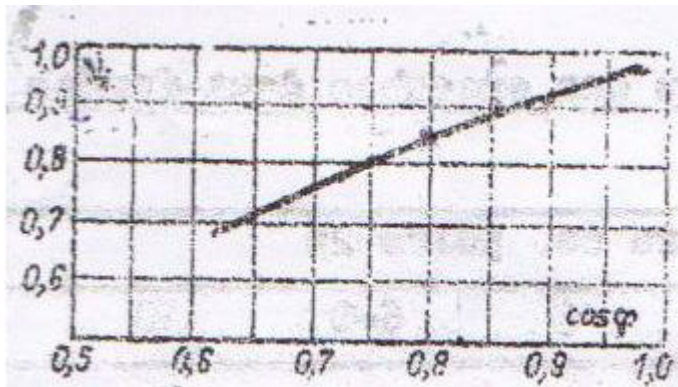


Fig (4-2) : Coefficient v en fonction du \cos

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

ANNEXES

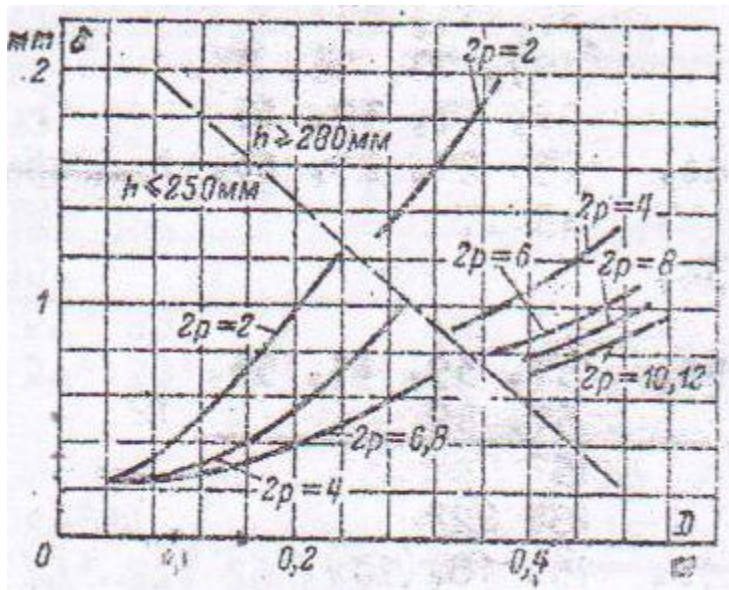


Fig (4-1) : Valeur de l'entrefer des moteurs asynchrone en fonction du diamètre .

h, mm	Nombre de. paires 2p				
	2	4	6-8	10	12
50-63	1,8	1,8	1,8	-	-
71	2,0	2,0	2,0	-	-
80, 90	3,0	3,0	2,7	-	-
100, 112	3,5	3,5	3,0	-	-
132	4,0	3,5	3,5	-	-
160-250	4,0	3,7	3,7	-	-
280-315	-	-	-	4,0	4,0

Tab () : Largeur moyenne de la fent des encoches semi-fermée statorique .

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

ANNEXES

Trançons 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	1,5-1,55	1,5-1,55	1,7-1,2			1,45-1,6	1,2-1,4	1,1-1,3	
Dents du stat. section const. enr; fil à fil	B_{s1}			1,7-1,9			1,9-2,3		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	≤ 0,55	≤ 1,35	≤ 1,25		≤ 0,95	
à bague	B_{j2}	-	≤ 1,25	≤ 1,05		≤ 0,75	-	≤ 1,35	≤ 1,15		≤ 0,85	
pour U=6000V	B_j	-	≤ 1,55	≤ 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. str.	B_{z2}										1,55-1,70	
	B_{z2} à cage		1,5-1,7			1,45-1,6		1,6-1,8			1,9-2,05	
	B_{z2} à bague		1,85-2,05			1,75-1,9		2,0-2,2				

Tab (3-5) : L'induction magnétique admissible dans les trançons du circuit magnétique .

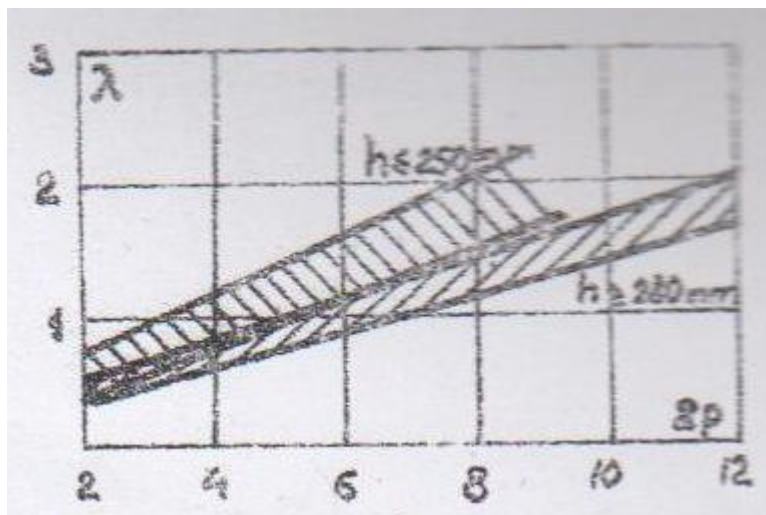


Fig (2-6) : Le rapport λ pour les moteurs asynchrone en fonction de (p , h)

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

ANNEXES

Diamètre nominal du fil nu mm	Diamètre du fil isolé, mm	Section du fil nu mm ²	1	2	3
			0,60	0,655	0,283
			0,63	0,69	0,312
			(0,67)	0,73	0,353
			0,71	0,77	0,396
			0,75	0,815	0,442
			0,80	0,865	0,503
			0,85	0,915	0,567
			0,90	0,965	0,636
			0,95	1,015	0,709
			1,00	1,08	0,785
			1,06	1,14	0,883
			1,12	1,20	0,985
			1,18	1,26	1,094
			1,25	1,33	1,227
			1,32	1,405	1,368
			1,40	1,485	1,539
			1,50	1,585	1,767
			1,60	1,685	2,011
			1,70	1,785	2,27
			1,80	1,895	2,54
			1,90	1,995	2,83
			2,00	2,095	3,14
			2,12	2,22	3,53
			2,24	2,34	3,94
			2,36	2,46	4,36
			2,50	2,60	4,91
0,08	0,10	0,00502			
0,09	0,11	0,00636			
0,10	0,122	0,00785			
0,112	0,134	0,00985			
0,125	0,147	0,01227			
(0,132)	0,154	0,01368			
0,14	0,162	0,01539			
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			
(0,236)	0,271	0,0437			
0,25	0,285	0,0491			
(0,265)	0,300	0,0552			
0,28	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	0,1257			
0,425	0,465	0,1419			
0,45	0,49	0,1590			
(0,475)	0,515	0,1772			
0,50	0,545	0,1963			
(0,53)	0,585	0,221			
0,56	0,615	0,246			

Rémarque :
les fils dont le diamètre est indiqué entre parenthèses sont utilisés rarement.

Tab (3-4) : fill des enroulements

OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
 ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION

ANNEXES

2p	Nombre d'encoches du stator	Nombre d'encoches du rotor	
		sans incli- raison	avec incli- raison
	12	9† 15*	-
	18	11† 12† 15† 21† 22*	14† (18), 19* 22† 26, 28† (30), 31, 33, 34, 35
2	24	15† (16*), 17† 19, 32	18, 20, 26, 31, 33, 34, 35
	30	22, 38	(18), 20, 28, 29, 24, 37, 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
	12	9*	15*
	18	10† 14†	18† 22*
	24	15† 16† 17, (32)	16, 18, (20), 30, 33, 34, 35, 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, (32), 34, 45, 48
4	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, (38), (51) 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (38), (39), 40 (44), 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76, 81, 85

Tab (3-3) : Le nombre d'encoches préférable des moteurs asynchrones à cage .

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

1. I .kopylov

Elaboration des machines électriques , énergie
Moscou , 1980 .

2. R . Abdessamed , V Abdessemed

Technologie de constriction des machines électrique
Univarsité de batna ,1986 .

3. M . Liwschitz , L . Maret

Calcul de machines électriques tome 1 et 2 .
S.P.E.S lausanne 1967 .

4. S . Lutzky

Calcul pratique des alternateurs et des moteurs asynchrones.
Ed . Eyrolles Paris V . 1969 .

5. S . Lutzky

Calcul pratique des machines électriques à courant continu
Ed . Eyrolles Paris V . 1963 .

**OPTIMISATION DU CIRCUIT ELECTROMAGNETIQUE D'UNE MACHINE
ASYNCHRONE EN TENANT COMPTE DE LA SATURATION**

BIBLIOGRAPHIE

Mémoires :

6. Mr . Titaouine Abdenacer : (Centre Universitaire de Biskra 1996) .

‘Optimisation des circuit électromagnétiques des
machines asynchrones à rotor bobines et tenant compte de l’effet de la saturation’

7. Hamimid Mourad : (Centre Universitaire de Biskra 1996) .

8. Merabet karim

‘Conception assiste par ordinateur des machines asynchrones à rotor
en court-circuit **IP44** ‘

9. Khaled amor : (Centre Universitaire de Biskra 1992 -1993) .

‘Construction d’un moteur asynchrone faibles puissance ‘

CHAPITRE 1

CHAPITRE 2

CHAPITRE 3

CHAPITRE 4

CHAPITRE 5