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

Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Science Et Technologie

FILIERE : Electrotechnique

OPTION : Machines Electriques

Thème

Élaboration d'un programme de calcul pour la construction des moteurs asynchrones triphasés de moyennes puissances

-Rotor à cage-

Réalisé par :

-ABASSI MOHAMED LEOUE EL-HAK

-TIAIBA MOHAMMED AMINE

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
MKHANET Mohamed	MCA	Président
DAREM Moradj	MCA	Extraminateur
Yosefi Belkacem	MCA	Encadreur
Saroute Mohamed	MCA	Co-Encadreur

Promotion : 2020/2021

Remerciements

Avant tout, Nous remercions Allah le tout puissant qui nousa donnés la force, la volonté et le courage Pour réaliser Ce Modest travail Nous remercions notre encadreur ***Dr. yousfi belkacem*** *Et Co-Encadreur* ***Dr. saroute mohamed*** *Enseignants à l'université de Thelidji Ammar Laghouat Pour nos avoir guide dans ce travail. Nous remercions tous les membres de jury qui ont accepté d'examiner ce modeste travail. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre parent pour leur soutien, la confiance, leur encouragement à tous les moments*

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail :A nos très chers parents.

A nos très chers frères et sœurs.

A toutes les amies.

-Abassi mohamed leoue el-hak

-Tiaiba mohamed lamine

ملخص

العمل المنجز عبارة عن حساب لآلة غير متزامنة (دوار ذو القفص) باستطاعة متوسطة (30 كيلو وات). وهو عبارة عن بحث انطلاقا من مجموعة من المعادلات والصيغ الرياضية التي تترجم الوصف الهندسي للآلة وكذلك السلوك الكهرومغناطيسي، ويتم حساب هذه الصيغ باستخدام برنامج DELPHI، وهذه المعادلات تحسب الابعاد الكهرومغناطيسية والابعاد الحرارية إضافة الى الضياعات التي تحدث للمحرك اثناء دورانه وكذلك الاستطاعات وكفاءة المحرك.

Résumé

Le travail effectué est un calcul d'une machine asynchrone (rotor à cage) de puissance moyenne (30 kW). C'est une recherche basée sur un ensemble d'équations et de formules mathématiques qui traduisent la description technique de la machine ainsi que le comportement électromagnétique, et ces formules sont calculées à l'aide du programme DELPHI, et ces équations calculent les dimensions électromagnétiques et thermiques en plus des pertes subies par le moteur lors de sa rotation ainsi que les capacités et l'efficacité du moteur.

Abstract

The work done is a calculation of an asynchronous machine (cage rotor) of average power (30 kW). It is a search based on a set of mathematical equations and formulas that translate the engineering description of the machine as well as the electromagnetic behavior, and these formulas are calculated using the DELPHI program, and these equations calculate the electromagnetic and thermal dimensions in addition to the losses that occur to the motor during its rotation as well as the capabilities and efficiency of the motor.

TABLES DES MATIERES

Remerciements ..... **I**
Dédicace ..... **II**
ملخص ..... **IV**
Résumé ..... **IV**
Abstract ..... **IV**
INTRODUCTION GENERALE ..... **XI**

Partie 1 : Dimensionnement Electromagnetique

1-1 Dimensions principales : **1**
1-1-1 Définition : 1
1-1-2 Détermination de la hauteur h 1
1-1-3 Diamètre intérieur (D) : 2
1-1-4 Le pas polaire : 3
1-1-5 La puissance apparente : 3
1-1-6 Induction dans l'entrefer et la densité linéaire de courant B_δ 4
1-1-7 Longueur de l'entrefer L_δ : 5
1-2 Enroulement et encoche du stator : **6**
1-2-1 Nombre d'encoche Z_1 : 6
1-2-2 Le nombre d'encoches par pôle et par phase q : 7
1-2-3 Enroulement du stator : 7
1-2-4 Le nombre des spires de l'enroulement statorique : 8
1-2-5 Choix de l'enroulement : 8
1-2-6 Calcul de la valeur du flux Φ : 8
1-2-7 Calcul des conducteurs : 9
1-2-8 Calcul du pas dentaire t_1 : 10
1-2-9 Section de l'isolation de l'encoche : 13
1-3 Choix de l'entrefer δ **14**
1-4 Enroulement et encoche du rotor : **15**
Calcul des éléments rotorique : 15
1-4-1 Le diamètre extérieur du rotor : 15
1-4-2 Le pas dentaire rotorique : 15
1-4-3 Le diamètre de l'arbre D_j : 16
1-4-4 Calcul du courant secondaire : 16

1-4-5 Section de la barre sb....17
1-4-6 Dimensionnement de l'encoche rotorique :....17
1-4-6 a. Calcul de la largeur de la dent :....17
1-4-6 b.Diamétre inférieur et superieur de l'encoche :....18
1-4-6 c.La hauteur totale de l'encoche h_{e2} :....18
1-4-6. d. Vérification de la section de la barre s_b :....18
1-4-6 e. Dimension de l'anneau de court-circuitage :....19
1-4-6 f.Calcul de la section de l'anneau :....19
1-4-6 g.Diamètre intérieur de l'anneau D_{an} :....19
1-5 Circuits magnétique :....20
1-5-1 Calcul circuit magnétique :....21
1-5-1 a Récapitulation :....21
1-5-2 Calcul chute de potentiel magnétique dans l'entrefer :....21
1-5-3 a. Stator :....22
1-5-3 b. rotor:....22
1-5-4 Calcul du coefficient de saturation des dents K_z :....22
1-5-5 Potentiel magnétique de l'armature :....22
1-5-5 a.stator....22
1-5-5 b.Rotor:....23
1-5-6 Potentiel magnétique totale et coefficient de saturation du circuitmagnétique :....23
1-5-7 Courant de magnétisation relatif :....23
1-6 Paramètres de la machine asynchrone :....24
1-6-1 La résistance :....24
1-6-1a. Résistance statorique :....24
1-6-1b. Résistance rotorique :....26
1-6-2 Calcul de la réactance x_1 :....26
1-6-2-a Expression de la réactance statorique....26
1-6-2 b. réactance rotorique :....28
1-7 Pertes et rendement :....29
1-7-1 Détermination des pertes :....29
1-7-1. a.perte joule :....29
1-7-1.b.perte dans le fer :....29
1-7-1.c.Les pertes supplémentaires :....30
1-7-1 d.pertes mécaniques :....31
1-7-1 e.la somme de pertes :....31
1-7-2 calcul du rendement :....32
1-8 conclusion :....32

Partie 2 : Dimensionnement Thermique

2-1 introduction....34
2-2 calcul de la ventilation....34
2-2-1 dimensions du ventilateur :....34

2-2-1 a. Diamètre extérieur D_{v2} :.....35
2-2-1 b. Diamètre intérieur D_{v1} :.....35
2-2-1 c-1 les palettes 36
2-2-2 section balayée par palettes s_p : 36
2-3 calcul des débits maximaux Q_{max} : 36
2-4 caractéristique du ventilateur :.....37
2-4-1 Calcul des différentes résistances aérodynamiques : 37
2-4-2 Résistance aérodynamique équivalente du moteur : 41
2-4-3 pression maximale en marche à vide : 41
2-5 calcul des échauffements : 42
2-5-1 échauffement de conducteur par rapport au fer : 42
2-5-2 échauffement des paquets des tôle statorique : 43
2-5-3 échauffement des conducteurs statoriques dans les encoches : 44
2-5-4 Surélévation de température par rapport à l'air refroidissant à la surfaceextérieure du stator : 44
2-5-2 Surélévation de température dans les parties frontales de 45
2-5-6 Surélévation moyenne de température des enroulements statorique : 45
2-6 conclusion : 45

Partie 3 : Elaboration Du Programme

3-1 introduction :.....47
3-2 le pascal et le Delphi : 47
3-3 un peu de vocabulaire : 47
3-4 interface de Delphi :.....48
3-5 élaboration du programme : 49
3-6 la difficulté de ses travaux :.....49
3-7Applications :.....49
3-8 comparaisons :.....52
3-9 conclusion : 52
CONCLUSION GENERALE 53
Bibliographique.....54
Bibliographique.....55
ANNEXES.....56

LISTES DES FIGURES

Partie 1 : Dimensionnement Electromagnetique

Figure 1- 1 Moteur asynchrone éclaté....1
Figure 1- 2: a : La hauteur en fonction de la puissance P 2et le p nombre de paires de pôles b : hauteur h……....2
Figure 1- 3 : Les diamètre et les hauteures h_a et h_d 2
Figure1-4: Ke en fonction du diamètre Da……4
Figure 1- 5 : Rendement η en fonction de la puissance P2 et le p nombre de paires de pôles....4
Figure 1- 6 : Induction Bδ et A en fonction du diamètre Da et le p nombre de paires de pôles. 5
Figure 1- 7 : Facteur λ en fonction 2p et h....6
Figure 1- 8 : Pas dentaire en fonction du pas polaire τ 6
Figure 1- 9 : AJ en fonction Da et 2p....9
Figure 1- 10 :Les longeurs 11
Figure 1- 11 :Encoches du stator....12
Figure 1- 12: Diamètre de l'arbre rotorique....16
Figure 1- 13 : Ki fonction du facteur de puissance 16
Figure 1- 14 : Encoche rotorique à cage 17
Figure 1- 15 : Section de l'anneau avec ailette de refroidissement....19
Figure 1- 16 : Parcourt des lignes de champs....20
Figure 1- 17 : Parties frontales de la bobine....25
Figure 1- 18 : Kin en fonction du rapport t2/t1 ，〖beta〗_in....27
Figure 1- 19 : Dimension de l'encoche rotorique....28

Partie 2 : Dimensionnement Thermique

Figure 2- 1 : Système de ventilation....34
Figure 2- 2 : Le ventilateur....35
Figure 2- 3 : 1ère partie....37
Figure 2- 4 : 2eme partie 38
Figure 2- 5 : 3eme partie : 39
Figure 2- 6 : 4eme partie 39
Figure 2- 7 : Ailettes 39
Figure 2- 9 : 6eme partie 41
Figure 2- 8 : 5eme partie 40
Figure 2- 10 : 7eme partie 41

Partie 3 : Elaboration Du Programme

Figure3- 1: Schéma reprendre les termes mentionnés....48
Figure3- 2: Schéma interface Delphi ....**Erreur ! Signet non défini.**
Figure3- 3:La page d'accueil....**Erreur ! Signet non défini.**
Figure3- 4:La page d'accueil pour 30KW....51

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1- 1 :La valeur de la hauteur en fonction du diamètre extérieur……2
Tableau 1- 2 : Kd en fonction du nombre du pair de pôles.....3
Tableau 1- 3 : Les résultats 9
Tableau 1-4 : Les valeurs admissibles de l'induction B [T] dans le noyau magnétique……11
Tableau 1-5 : Marque de tôles et coefficient de remplissage K_c.....11
Tableau 1-6 : Largeur de la fente b_f (mm)……12
Tableau 1-7 : Isolement de l'enroulement à deux couches du stator……...13
Tableau 1-8 : Tableau de la tolérance……14
Tableau 1-9 : Choix de K_a en fonction de h et 2p……16
Tableau.1-10 : Choix de k_{fr} et k_{so} ……25
Tableau 3-1 : Caractéristiques des moteurs (normes françaises).…….....57

LISTES DES SYMBOLES

A	*la densité linéaire*
b_f	*Largeur de la fente*
B_δ	*Induction dans l'entrefer*
D	*Le diamètre intérieur*
D_a	*diamètre extérieur*
Dj	*Le diamètre de l'arbre*
h	*la hauteur de l'arbre*
h_f	*hauteur de la fente*
J_1	*densité de courant*
J_2	*la densité de courant des barres.*
K_c	*Le coefficient de bobinage*
K_d	*coefficient dépendant du nombre de paire de pôles*
K_e	*La facteur de bobinage*
K_R	*le coefficient de remplissage*
L	*longueur totale du conducteur*
P'	*La puissance apparente*
t_1	*le pas dentaire*
t_2	*Le pas dentaire rotorique*
W_2	*Le nombre de spires dans une phase*
C_a	*Constante d'ARNOLD*
D_{an}	*Diamètre intérieur de l'anneau*
D_{ax}	*l'axe de l'arbre rotorique*
D_2	*Le diamètre extérieur du rotor*
F_a	*Potentiel magnétique de l'armature*
F_δ	*Chute de potentiel magnétique dans l'entrefer*
I'_μ	*Courant de magnétisation relatif*
I_{an}	*courant de l'anneau*
I_e	*Partie du conducteur loge dans l'encoche.*

I_{fr}	*Partie du conducteur hors encoche*
K_{d1}	*le coefficient de distribution*
K_{en1}	*coefficient d'enroulement*
k_e	*coefficient de bobinage*
K_r	*Le facteur de raccourcissement*
L_δ	*Longueur de l'entrefer*
P_s^*	*Les pertes superficielles*
P_{c1}	*Pertes Joule*
P_{fn}	*Pertes dans le fer*
P_m	*Pertes mécaniques*
P_p	*Les pertes par pulsation du flux*
$P_{sup/ch}$	*Pertes supplémentaires en marche en charge*
S_W	*la section de conducteur*
S_{an}	*la section de l'anneau*
S_b	*Section de la barre*
W_1	*Le nombre de spire*
Z_1	*Nombre d'encoches*
b_{an}	*l'épaisseur de l'anneau*
b_b	*La larguer moyen de la bobine*
b_{is}	*épaisseur de l'isolation*
b_{z1}	*Largeur de la dent*
b_{z1}	*la largeur de dent statorique*
b_{z2}	*la largeur de dent rotorique*
$b_{1,r}$	*Diamètre inferieur de l'encoche*
$b_{2,r}$	*Diamètre supérieur de l'encoche*
h_a	*La hauteur de l'armature*
h_{a2}	*Hauteur de la culasse rotorique*
h_d	*La hauteur de dent du stator*
h_{e1}	*Hauteur de l'encoche.*
h_{e2}	*La hauteur totale de l'encoche*
h_1	*L'auteur droit de l'encoche*
k_t	*Facteur de majoration*
k_μ	*Le coefficient de saturation du circuit magnétique*
l_m	*la longueur moyenne d'une spire*
l_{so}	*La longueur de fer sorte de partie frontale*
n_{el}	*est le nombre de conducteur élémentaire*
q	*Le nombre d'encoches par pôle et par phase*
$u_c^{'}$	*le nombre de conducteur effectif dans l'encoche*
x_1	*Réactance statorique*
Φ	*flux*
η	*Le rendement*
λ	*Le facteur de forme*
λ_{b1}	*Pérmeance de dispersion de la partie frontale des bobines*
λ_{b2}	*Pérmeance de dispersion d'encoche*
λ_{d1}	*Pérmeance de dispersion différentiel*
λ_{e1}	*Pérmeance de dispersion d'encoche*
τ	*Le pas polaire*

INTRODUCTION GENERALE

Le calcul des machines électriques fait partie du programme de formation des ingénieurs électrotechnicien. Le calcul est une science et un art. En tant que science c'est une affaire de raisonnement et de bon sens.

En tant qu'art, il fait souvent appel à l'intuition, mais n'existe pas de formules magiques permettant d'établir du premier coup les dimensions d'une machine.

Les conditions du prix, du poids, du rendement et même de l'encombrement, sont souvent incompatibles avec celles d'un bon fonctionnement, d'une commutation impeccable ou d'un échauffement admissible.

Il faut savoir choisir et faire quelque fois la part du feu. C'est là que se trouve la difficulté, qui se présente même aux ingénieurs expérimentés.

Les hésitations, et les tâtonnements sont presque toujours inévitables, mais une méthode pratique basée sur une longue expérience peut les réduire à un strict minimum.

Tel est le but de notre travail sur l'élaboration d'un programme pour le calcul rapide des machines asynchrones toute en respectant les conditions imposées par le cahier de charge et lesdifférents coefficients et de paramètres proposés par une telle norme, pour aboutir à unemachine rentable et économique avec un bon fonctionnement. On rappelant aussi, qu'on à pas donné des définitions détaillées sur les différents paramètres et coefficients, qui sont classiques connus par les étudiants et les constructeurs, cela pour ne pas encombrer notre mémoire de chose inutile.

Notre travail se divise en trois parties :

En premier lieu, le calcul complet d'un moteur asynchrone de 30 KW, pour voir toutes les étapes de calcule des dimensions constructives de la machine et du rendement de celle-ci.

En deuxième lieu, le calcul thermique, de la machine pour le dimensionnement du ventilateur.

En troisième partie, c'est l'élaboration du programme en langage Pascale sous le logiciel Delphipour faciliter la tâche aux étudiants et aux utilisateurs pour éviter un calcul long et des formules complexes, toute en rappelant qu'on a fixé une gamme de puissance de 18,5KW à 90KW, sous 220/380V 50 Hz, tétrapolaire, de classe d'isolation « B », un moteur à rotor à cage , avec un indice de protection IP44.

Cahier de charge

Puissance nominales (kW)	***18,5-90***
Tension nominale (V)	***220/380***
Vitesse de synchronisme (tr/min)	***1500***
Fréquence (Hz)	***50***
Type de protection	***IP44***
Classe d'isolation	***B***

PARTIE 1
Dimensionnements Électromagnétique

1-1 Dimensions principales :

1-1-1 Définition :

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

Le dimensionnement d'une machine électrique dépend tant du point de vue magnétique que du point de vue électrique, d'une série des facteurs liés en partie aux propriétés thermique des matériaux isolants et, en partie, à la durée de vie du collecteur (lorsque celui-ci fonctionne sans étincelle), ainsi qu'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.

Les facteurs qui influent sur le dimensionnement ne sont pas les mêmes pour tous les types de machines, dans celles à collecteur, outre l'échauffement et le rendement, la commutation est également déterminante. En revanche, dans les machines sans collecteur (machine asynchrone et synchrone), ce sont la capacité de surcharge, le facteur de puissance et les conditions de démarrage qui deviennent déterminantes.

Dans la détermination des dimensions principales des machines à courant alternatif, il est indiqué de prendre pour base la puissance apparente (P_a). La liaison entre les dimensions principales et les contraintes, tant électriques que magnétiques, est donnée par la relation [1] :

$$C_a = (D^2.L.\Omega)/P_a = 2/(\alpha_s.\pi.k_b.k_c.A.B_\delta) \qquad (I\text{-}1)$$

C_a : Constant d'ARNOLD
K_b :1,11
k_c :Le coefficient de bobinage
A : Densité linéaire
B_δ :Induction dans l'entrefer
L :Longeur de l'entrefer
Ω : Vitesse angulaire

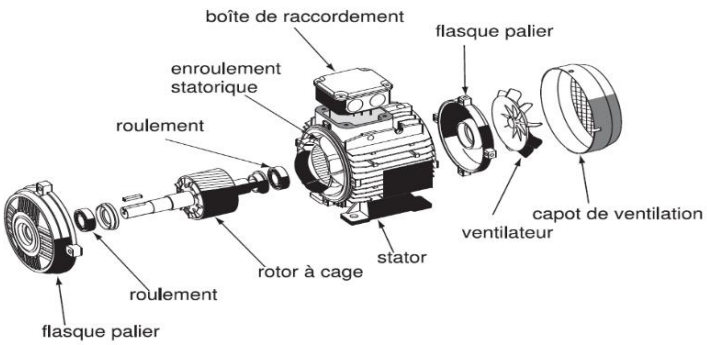


Figure :1-1: moteur asynchrone éclaté

Au début toutes les paramètres sont considérés inconnus, sauf la vitesse

1-1-2 Détermination de la hauteur h :

Au premier lieu, on doit tirer la hauteur de l'arbre de la figur1-1 qui représente En fonction de la puissance du moteur et le nombre de paires de pôles

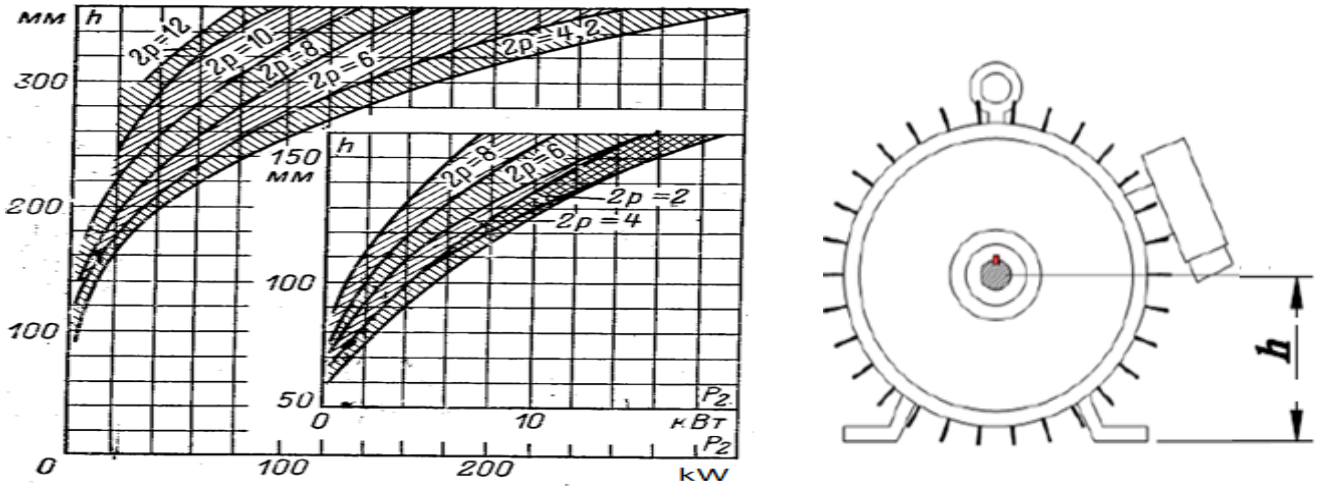


Figure :1-2: a :La hauteur en fonction de la puissance P_2 et le nombre de paires de pôles b : hauteur h

D'après le cahier des charges Pour P_2=30kw on a h=197mm

D'après le tableau 1-1 la valeur normalisée de *h* est :*h*=200 h mm

Tableau 1- 1:*La valeur de la hauteur en fonction du diamètre extérieur*

h(mm)	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315
D_a(m)	0,116	0,131	0,149	0,188	0,191	0,225	0,272	0,313	0,39	0,392	0,437	0,53	0,59

1-1-3 Diamètre intérieur (D) :

Diamétre intérieur est définie par :

$$D=D_a-2(h_a+h_d) \qquad \textbf{(I-2)}$$

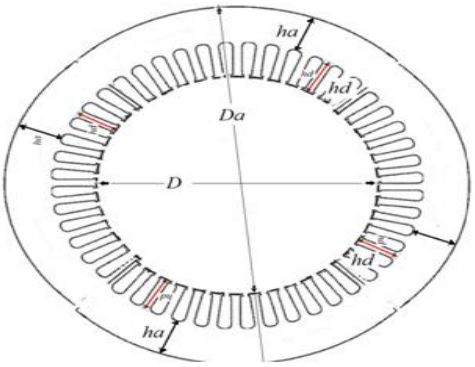


Figure :1- 3: Les diamètres et les hauteurs h_d et h_a

Où :

h_a : : hauteur de l'armature

h_d : hauteur de la dent statorique

Pour *h*=200 *mm on* a Da=*349 mm* (d'après le Tableau 1-1)

Les paramètres (h_a) et (h_d) ne sont pas encore déterminés, ainsi que le diamètre intérieur *D*, ce dernier est lié à D_a par la relation suivante :

$$D=D_a.k_d \qquad \textbf{(I -3)}$$

Où (K_d) est un coefficient qui dépend du nombre de paires de pôles (2p) tirée du Tableau 1-2

Tableau 1- 2*: Kd en fonction du nombre de pôle*

2P	2	4	6	8-12
K_d	0.52-0.57	0.64-0.68	0.70-0.72	0.74-0.77

On prendra : $K_d=0,67$

Donc *:* $D=349.\ 0,67 \quad D=233,83\ mm = 0,233\ m$

1-1-4 Le pas polaire :

Le pas polaire est défini par :

$$\tau=\frac{\pi.D}{2p} \qquad \textbf{(I -4)}$$

$$\tau=\frac{3.14.0.233}{4}=0,183\ \text{m}$$

1-1-5 La puissance apparente :

La puissance apparente est définie par :

$$P_a=m.E.I=\frac{p_2.k_e}{cos\varphi.\eta} \qquad \textbf{(I -5)}$$

k_e: coefficient de bobinage

$cos\varphi$: $facteur\ de\ puissance$

η : $Rendement$

Les paramètres K_e et $cos\varphi$ et η sont donnés par les Figures. 1-5 et 1- 4

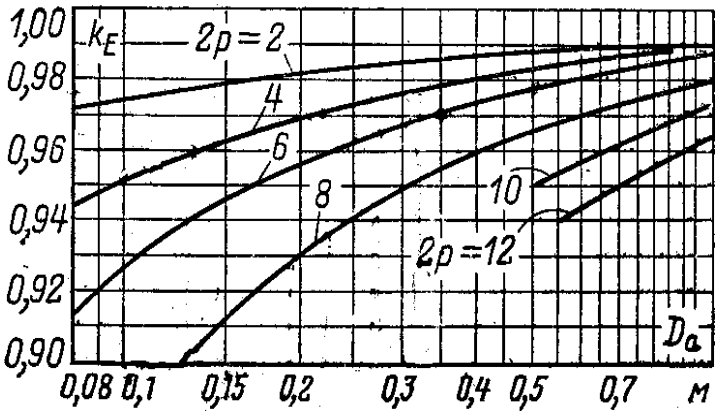


Figure :1- 4: Ke en fonction du diamètre Da

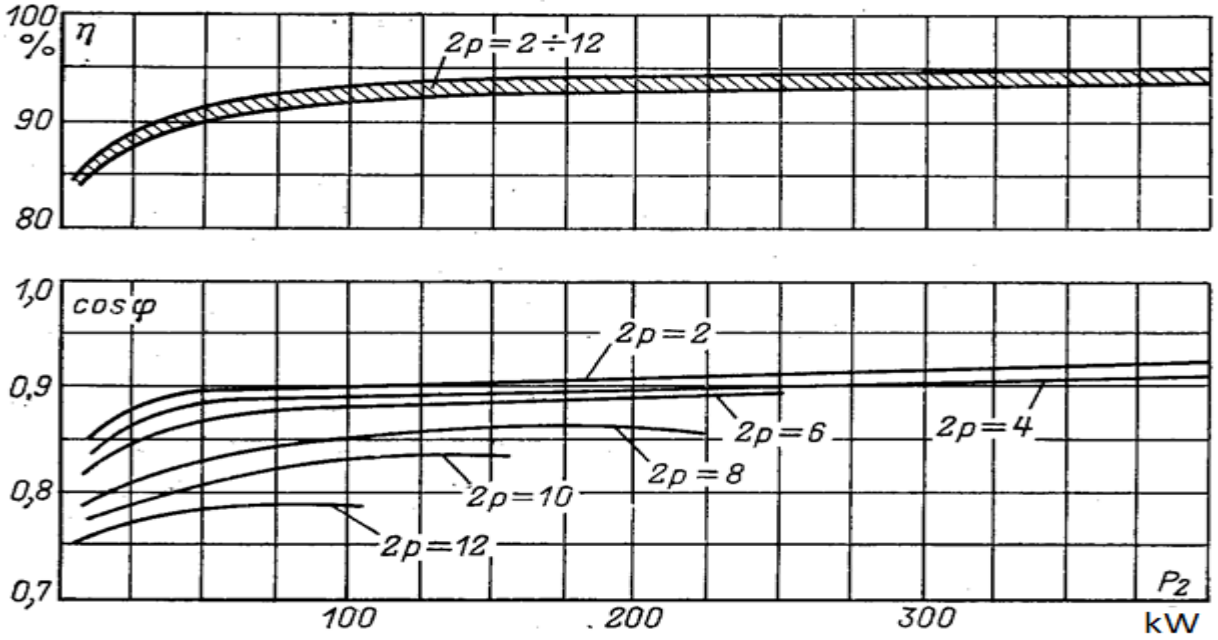


Figure :1- 5 : Rendement η en fonction de la puissance P_2 et le nombre de paires de pôles

Donc : $Cos_{\varphi}=0,87$; $K_e=0,977$; $\eta=0,899$

La puissance apparente P_a équation (1-5) :

$$P_a=37,25\ KVA$$

1-1-6 Induction dans l'entrefer et la densité linéaire de courant B_δ

D'après la Figure 1-6 nous choisissons l'induction B_δ et la densité de courant linéaire.

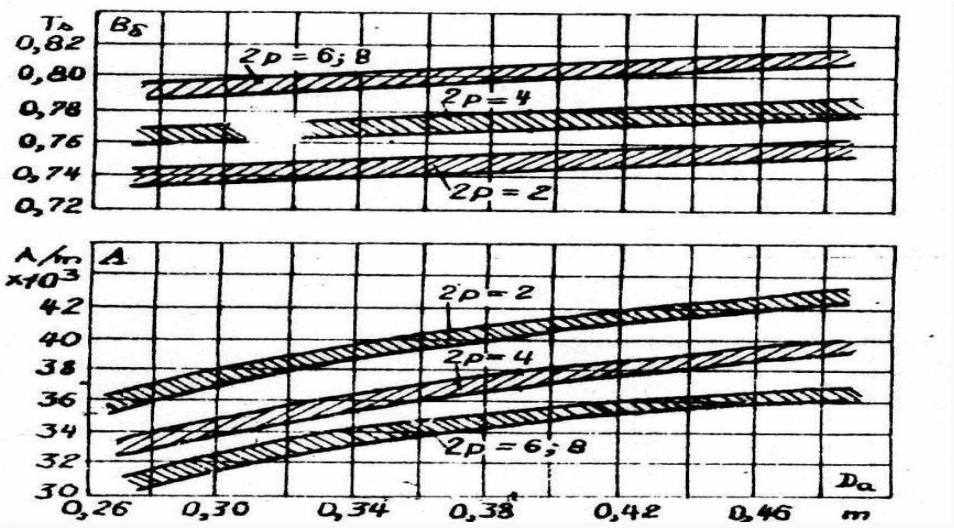


Figure :1- 6 : Induction Bδ et A en fonction du diamètre Da et 2p.

On a : $B_\delta = 0{,}778\ T$

$A = 35{,}3.10^3\ A/m$

Ces deux paramètres nous permet est calculer la longueur apparente de l'entrefer, il faut bien les choisir parce qu'ils ont une très grande influence sur les caractéristiques générales du moteur. C'est à dire électromagnétiques, donc sur le volume de la machine.

1-1-7 Longeur de l'entrefer L_δ :

Au début du calcul, on considère l'induction dans l'entrefer comme étant sinusoïdale, on pose $\propto_\delta$ et K_b tels que [1]:

$$\propto_\delta = \frac{2}{\pi} = 0{,}64 \qquad k_b = \frac{2}{2\sqrt{2}} = 1{,}11$$

$\propto_\delta$ et kb sont des constantes

En se basant sur le coefficient d'ARNOLD ''Ca'' et en prenant en considération leHypothèses précédentes on aura :

$$L_\delta = \frac{p_a}{B_\delta . A . k_b . k_c . \Omega . D^2} \qquad \textbf{(I -6)}$$

K_c : coefficient de bobinage

K_c=0.91 ~ 0.92 pour les moteurs de moyennes puissances et 2p=4

Pour Kc = *0,92* On a : $L_\delta = 0{,}1545\ m$.

1-1-8 Le facteur de forme :

C'est un coefficient de vérification qui sert à donner une idée sur l'aspect économique du moteur, si ce facteur ne coïncide pas avec la Figure 1-7, on refait le calcul jusqu'à ce qu'on ait la valeur souhaitée.

$$\lambda = \frac{L_\delta}{\tau} = 0{,}842 \qquad \textbf{(I -7)}$$

Pour 2p=4 et $h \leq 250\ mm$ $0{,}73 \leq \lambda \leq 1{,}15$

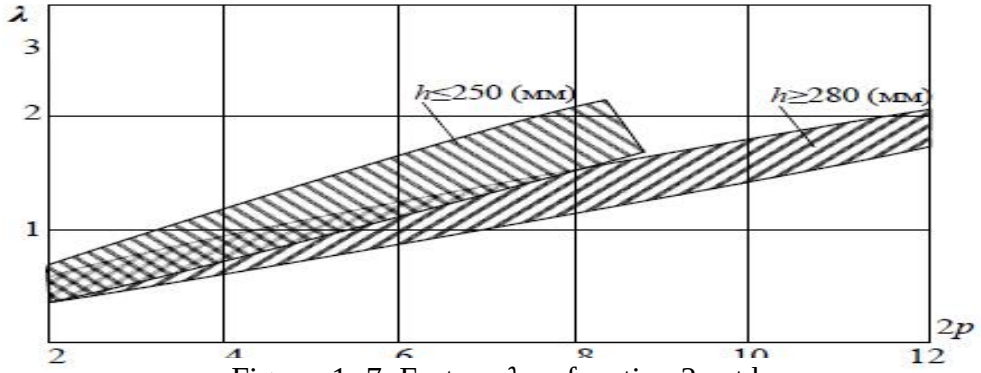


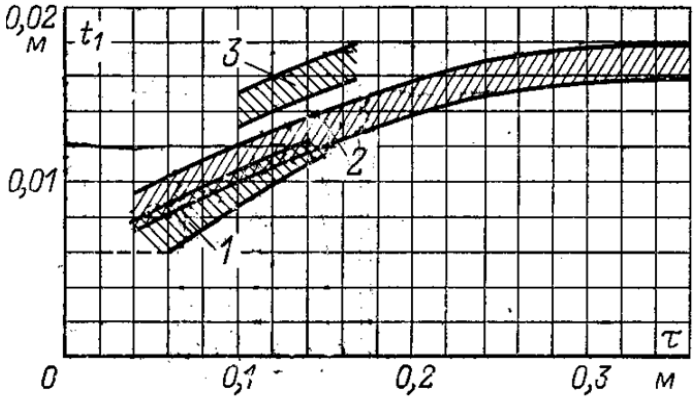
Figure :1- 7 :Facteur λ en fonction 2p et h

1-2 Enroulement et encoche du stator :

Calcul des éléments statoriques :

1-2-1 Nombre d'encoche Z_1 :

Le nombre d'encoche doit être minutieux de telle façon à assurer la bonne répartition des bobines des enroulement et pour vérifier les résultats trouvés auparavant.



(h : hauteur d'axe de rotation)

- Zone 1 pour $h \leq 90\ mm$
- Zone 2 pour $90 \leq h \leq 250 mm$
- Zone 3 pour $h \geq 280\ mm$

Figure :1- 8 : Pas dentaire en fonction du pas polaire τ

D'après la figure1-8, on des valeurs de t_1 dans une bande selon la zone de h

À partir de τ=183.5 mm et $h \leq 250\ mm$ dans la zone 2

On a : $t_{1min}=13{,}19\ mm$

$t_{1max}=15{,}39\ mm$

Le choix de Z_1 s'effectue selon les relations (1-8) et (1-9)

$$Z_{1max} = \frac{\pi . D}{t_{1min}} \qquad \textbf{(I -8)}$$

$$Z_{1min}=\frac{\pi.D}{t_{1max}} \qquad \textbf{(I -9)}$$

Alors : $Z_{1max}=55,62$ $Z_{1min}=47,67$

En respectant la symétrie de l'enroulement et la normalisation, on prendra le nombre d'encoche Z_1 , (Tableau A-7 sur annexe*7)* :

$$Z_1=48 \text{ encoches}$$

1-2-2 Le nombre d'encoches par pôle et par phase q :

$$q=\frac{Z1}{2p.m} \qquad \textbf{(I -10)}$$

$$q=\frac{48}{2.2.3}=4$$

Vérifions la valeur du pas dentaire t_1 :

$$t_1=\frac{\pi.D}{2.Pm.q} \qquad \textbf{(I -11)}$$

$$t_1=\frac{3,14.233}{4.3.4}=15,3\ mm$$

$t_1$est dans l'intervalle [13,2 ÷15,4].

1-2-3 Enroulement du stator :

Calcul du courant nominal :

On a: $P_1=m_{1n}.v_{1n}.\ I_{1n}.\ Cos\varphi$ **(I -12)**

$$P_2 = p_1.\ \eta \qquad \textbf{(I -13)}$$

Donc : $$I_{1n}=\frac{p_2}{m_{1n}.v_{1n}.\eta\ .cos\varphi} \qquad \textbf{(I -14)}$$

Le courant nominal est : $I_{1n}=57,72\ A$

Le nombre de branches en parallèles a : $1\leq a\leq 2p$; donc $1\leq a\leq 4$

Pour $a=1$, le nombre de conducteurs effectif dans l'encoche U_c' est

$$U_c'=\frac{\pi.D.A}{I_{1n}.Z1} \qquad \textbf{(I -15)}$$

L'enroulement à deux couches donc a=2 on aura U_c :

$$U_c= a.U_c'$$

Donc : $U_c'=9,35\cong 9$

$$U_c=18$$

On remarque après arrondissement de la valeur de U_c on a eu une valeur entière et paire, ce qui permet d'avoir un enroulement à deux couches.

1-2-4 Le nombre des spires de l'enroulement statorique :

Le nombre des spires est traduit par la formule suivante :

$$W_1=\frac{Uc.\ Z1}{2.a.m} \qquad \textbf{(I -17)}$$

$$W_1=74$$

On procède maintenant à la vérification de la densité linéaire A :

$$A=2.\frac{I_{1n}.w_1.m}{\pi.D} \qquad \textbf{(I -18)}$$

$$A=35300\ A/m$$

1-2-5 Choix de l'enroulement :

Pour les moteurs de moyenne et de faible puissance, on utilise en général un enroulement à deux couches et des bobines à conducteurs souples, c'est-à-dire rond avec un coefficient d'enroulement k_{en1}:

$$K_{en\,1}=k_{d1}.k_r \qquad \textbf{(I -19)}$$

k_{d1} : *coefficient de distribution*

k_r : *facteur de raccourcissement*

$$K_{d1}=\frac{sin(\frac{\pi}{2.m.})}{q.sin(\frac{\pi}{2.m.q})} \qquad \textbf{(I -20)}$$

$$k_{d1}=0{,}965$$

$$k_r=sin\ (\frac{\pi}{2}.\beta) \qquad \textbf{(I -21)}$$

$$\beta=\frac{2}{3}.\frac{q+1}{q} \qquad \textbf{(I -22)}$$

$$\beta=0{,}833$$

Alors : $k_r=0{,}96$

Le coefficient d'enroulement K_{en1} dans ce cas est :

$$K_{en\ 1}=k_{d1}.\ k_r=0{,}925$$

1-2-6 Calcul de la valeur du flux Φ :

Pour le calcul de la valeur du flux, on a la formule suivante :

$$\Phi=\frac{K_e.u_{1n}}{4.k_b.W1.k_{en}.1.f1} \qquad \textbf{(I -23)}$$

$$\Phi=0{,}013\ Wb$$

Vérifions la valeur de B_δ :

$$B_\delta=\frac{\Phi}{\propto\delta.L_\delta.\tau}=\frac{P.\Phi}{D.L_\delta} \qquad \textbf{(I -24)}$$

$$B_\delta=0{,}81\ T$$

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

Donc le rapport : $\frac{B_\delta}{B_\delta(1-2-6)}=\frac{0{,}81}{0{,}77}=1{,}04=104\%$

On aura : +4%,

Si la valeur obtenue B_δ diffère des valeurs limites admissibles de plus de 5% il faut rechoisir le nombre de conducteur n_c et refaire un calcul de nouveau.

1-2-7 Calcul des conducteurs :

Dans cette étape, on doit calculer la section et le diamètre de conducteur avec et sans isolation, la section du conducteur Sw est donnée par la relation suivante :

$$S_w=\frac{I_{1n}}{a.J_1} \qquad \textbf{(I -25)}$$

J_1 : densité de courant (A/m^2).

On tire J_1 de la figure 1-9 et qui représente *L'*échauffement admissible en fonction du diamètre extérieur $AJ=f(D_a)$

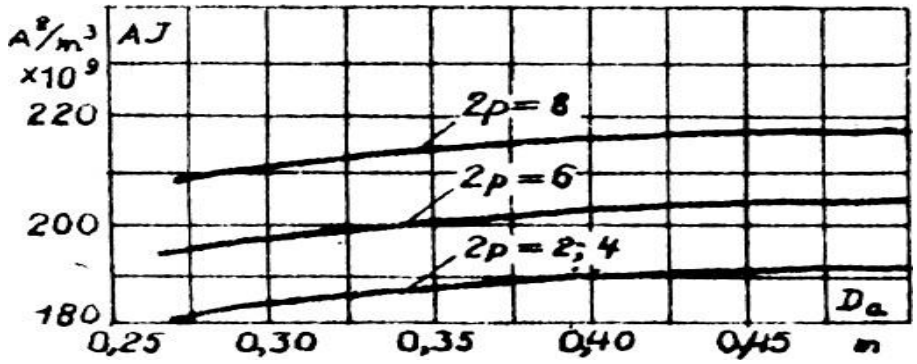


Figure :1- 9 : AJ en fonction Da et 2p

Et pour D_a=349 *mm* on a d'après la figure 1.9 AJ=189 10^9 A^2/m^3

Tableau 1- 3*: Les résultats*

A (A/m)	35300
J_1(A/m^2)	5,38.10^6
S_w(mm^2)	5,36

Les sections normalisées choisies

$$S_{ws}=\frac{S_w}{n_{el}} \qquad \textbf{(}\boldsymbol{I}\textbf{ -26)}$$

n_{el} *:* Nombre des conducteurs élémentaires

En pratique, les conducteurs ronds ne doivent pas dépasser 1,8mm de diamètre (norme russe) pour ce moteur, on va augmenter le nombre des conducteurs élémentaires n_{el}, on le prendra égal à :

$$n_{el}=2$$

$$S_{ws}=\frac{Sw}{2}$$

$S_{w1}=5,36\ (mm^2)$ et $S_{ws}=2,83\ (mm^2)$

$d_{is}=1,995\ (mm)$ et $d=1,9\ (mm)$

(Tableur A-1 de l'annexe 1.)

$$J_1=\frac{I_{1n}}{s_{ws}.a.Uc}=5,66.10^6 A/m^2$$

1-2-8 Calcul du pas dentaire t_1 :

C'est le procédé de calcul des dimensions de l'encoche, ceux-ci doivent être choisies de telle façon que tous les conducteurs soient logés sans oublier les isolations pour les conducteurs et les encoches. La configuration des encoches est définie par la puissance et le type d'enroulement à réaliser, ainsi pour les moteurs de moyenne puissance, on utilise des encoches mi-fermées et seulement pour loger des conducteurs ronds.

La largeur de la dent et la section transversale de ce type d'encoche sont supposées constantes, dans ce cas, l'induction est constante ce qui va nous simplifier le calcul, ainsi la chute de potentiel magnétique de la dent sera plus petite que celle de la dent trapézoïdale.

Calculons maintenant les dimensions de l'encoche :

$$b_{z1}=\frac{L_{ct1}.B_\delta.t_1}{B_{z1}.B_\delta.K_c} \qquad \textbf{(}\boldsymbol{I}\textbf{ -27)}$$

Tableau 1-4 : Les *valeurs admissibles de l'induction B [T] dans le noyau magnétique*

Les parties du noyau de fer	Désignation	Forme constructive fermée IP44				
-Armature du stator -Dents du stator avec la section constante (Bobine souple) -Armature du rotor en court –circuit -Dents du rotor (section constante)	2p		4	6	8	10 et 12
	B_a		1,4-1,6		1,15-1,35	1,1-1,2
	B_{z1}	1,7-1,9				1,6-1,8
	B_j	≤1,45	≤1,25	≤1,15	≤0,85	
	B_{z2}	1,75-1,85				

b_{z1} : Largeur du la dent

Pour les moteurs dont le noyau de fer ne dépasse L_δ =250 *mm, pas* de canaux de ventilation Donc

$$L_\delta = L_{ct1} = L_1 = L_2$$

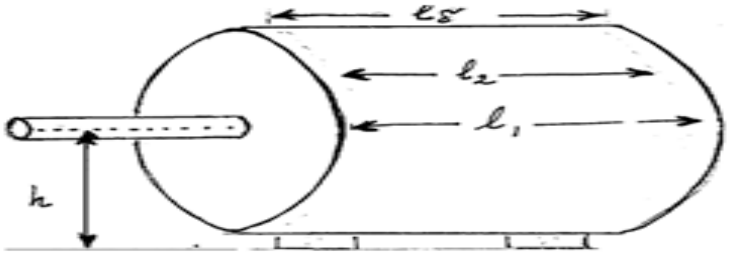


Figure :1- 10 : Les longeurs

Pour 2p=4 et d'après tableau 1-4, on a B_a=1,5 T

Pour h= 50 ÷250 *mm* et U_1 inférieur à *660 V* on utilise les tôles de marque 2013 oxydation ou K_c est égal à 0.97 (tableau 1-5)

Tableau 1-5 *: Marque de tôles et coefficient de remplissage K_c.*

h (mm)	U (v)	Marque de Tôtes	stator		Rotor en C .C	
			Moyen d'isolation entre les tôles	K_c	Moyen d'isolation entre les Tôtes	K_c
50-250	≤600	2013	Oxydation	0.97	Oxydation	0.97
280-355	≤660	2312	Vernissage	0.95	Pellicule d'oxyde	0.97
400-560	6000	2411	Vernissage	0.95	Vernissage	0.95

$$h_a = \frac{\Phi 1}{2.Ba.L_\delta.Kc} \qquad \textbf{(I -28)}$$

$$h_a = 0.0311\ m$$

h_a: Hauteur de l'armateur.

$$h_{e1} = \frac{Da - D}{2} - ha \qquad \textbf{(I -29)}$$

$$h_{e1} = 0.026\ m$$

h_{e1}: Hauteur de l'encoche.

Tableau 1-6 :*Largeur de la fente b_f (mm)*

h (mm)	Nombre de pair de pôles				
	2	4	6- 8	10	12
50 -63	1,8	1,8	1,8	-	-
71	2,0	2,0	2,0	-	-
60 -90	3,0	3,0	3,0	-	-
100 -112	3,5	3,5	3,5	-	-
132	4,0	4,0	4,0	-	-
160 -250	4,0	3,7	3,7	-	-
280 - 315	-	-	-	4,0	4,0

$b_f = 3.7\ mm$ *pour* $h = 200\ mm$

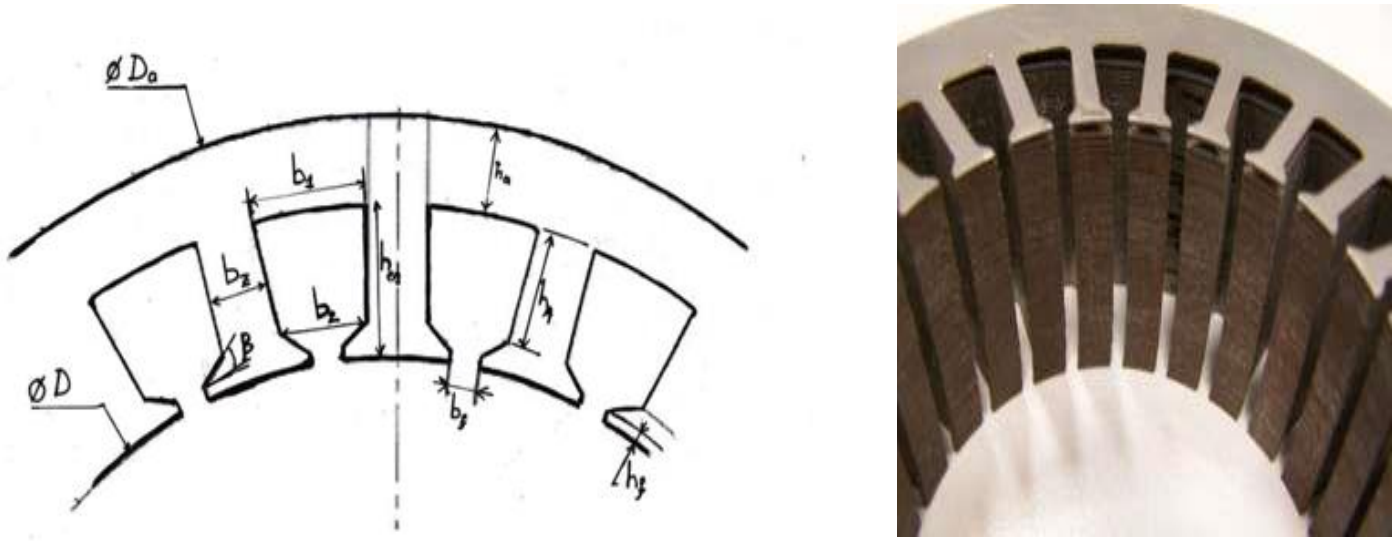


Figure :1- 11 : Encoches du stator

Les largeurs de l'encoche b_1 et b_2 sont données comme suit :

$$b_1 = \frac{\pi[D + (2.\ he1)]}{Z1} - b_{z1} \qquad \textbf{(I -30)}$$

$$b_1 = 0{,}012\ m$$

$$b_2=\frac{\pi[D+(2hf)-bf]-(Z1.bz1)}{Z1-\pi} \qquad \textbf{(I -31)}$$

$$b_2=0{,}0090\ m$$

Pour <250mm ; β=45°

Pour h=200 mm

h_f : hauteur de la fente $h_f= 1\ mm$

b_f : largeur de la fente $b_f=3{,}7\ mm$

Pour $\beta=45°$ on a:

$$h_1=h_{e1}-\frac{b1-bf}{2}-hf \qquad \textbf{(I -32)}$$

$$h_1= 0{,}022\ m$$

h_1 : Hauteur droit de l'encoche.

1-2-9 Section de l'isolation de l'encoche :

La section de l'isolation de l'encoche est donnée par :

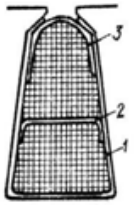
$$S_{is} = b_{is}.\ (2.h_{e1}+b_1+b_2) \qquad \textbf{(I -33)}$$

$$S_{is} = 0.023\ mm^2$$

b_{is} : épaisseur de l'isolation est donnée par intervalle :

$$b_{is} = [0.2 – 0.6]\ \text{mm}$$

Tableau 1-7 : Isolement de l'enroulement à deux couches du stator

Figure	Position	Hauteur d'oxydation *h(mm)*	Matériau			
			Marque			Epaisseur *(mm)*
			Classe B	Classe F	Classe H	
	1	180 -250	papier en mica			0.4
	2					0.4
	3					0.5

Pour les moteurs à enroulements à deux couches, 2p=4 et U_1 inférieure à 660 V :

$$b_{is}=0.3\ mm$$

Calculons la section de pose des conducteurs dans l'encoche qui est donnée par S_p :

$$S_p=0.4b_1+0.9b_2 \qquad \textbf{(I -34)}$$

$$S_p = 13.1\ mm^2$$

Après le calcul et pour des raisons de fabrication (erreur…etc.), on prend une certaine variation de dimension (Tolérance) d'après la norme choisie. Pour la largeur, la variation est prise égale à Δb=0,2mm Pour la hauteur, la variation est prise égale à Δh=0,2 mm Donc, les valeurs finales prennent la forme suivante :

$$\begin{cases} b'_1=b_1-\Delta b \\ b'_2=b_2-\Delta b \\ h'_1=h_1-\Delta h \end{cases} \quad . \quad (1-35) \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} b'_1=12.4\ mm \\ b'_2=8.81\ mm \\ h'_1=22.59 mm \end{cases}$$

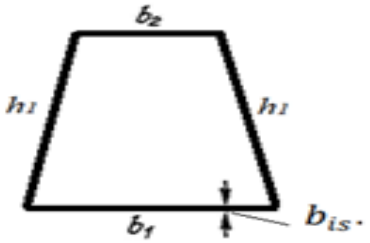


Tableau 1-8 : Tableau de la tolérance

h (*mm*)	Tolérance en *mm*	
	sur largeur *Δb (mm)*	sur hauteur *Δh (mm)*
50 -132	0,1	0,1
160 -250	0,2	0,2
280 -355	0,3	0,3
400 -560	0,4	0,4

La section libre pour des conducteurs S' est :

$$S_e' = \frac{b'1+b'2}{2}.h'_1 - S_{is}-S_p \qquad \textbf{(I -36)}$$

$$S_e' = 239.84\ mm^2$$

1-3 Choix de l'entrefer δ :

Le choix rationnel de l'entrefer à une grande influence sur les caractéristiques de la machine. Si l'entrefer δ est choisi petit, cela conduit à une reluctance petite, ainsi que la chute de potentiel magnétique et la force magnéto-matrice sont petites. Et finalement la diminution de l'entrefer δ conduit à la diminution de la F.M.M du circuit magnétique et celle du courant magnétisant et l'augmentation du $cos\varphi$ et la réduction des pertes de cuivre de l'enroulement statorique. Mais une diminution excessive de δ conduit aussi à l'augmentation de l'amplitude de l'induction pulsatoire dans l'entrefer, il en résulte l'augmentation des pertes supplémentaires superficielles et pulsatoires. Pour cette raison le rendement η diminue. Pour un entrefer δ trop petit

Dans les moteurs fabriqués couramment, on choisit l'entrefer à partir de la somme minimale des pertes et d'après les formules approximatives.

$$\delta=\frac{D}{1,2}\left(1+\frac{9}{2p}\right) \qquad \textbf{(I -37)}$$

$$\delta=\frac{233}{1,2}\left(1+\frac{9}{4}\right) = 0.633\ mm$$

Les valeurs obtenues de δ doivent être arrondie jusqu'à 0,05 mm pour δ < 0,5 mm et de 0,1 mm Pour δ > 0,5 mm

$$\delta = 0.7\ \text{mm}$$

1-4 Enroulement et encoche du rotor :

Calcul des éléments rotorique :

Dans les moteurs asynchrones à cage d'écureuil, on peut dire que le rotor peut être représenté comme un enroulement polyphasé dont le nombre de pair de pôles est égale au nombre de champ tournant.

Chaque barre est considérée comme étant une phase, d'où chaque encoche du rotor abrite une phase ce qui nous permet de dire que Z_2 (le nombre d'encoche rotorique) est égale à m_2 (le nombre de phase), le tableau A-5 nous donne les valeurs de Z_2 en fonction du nombre d'encoches statorique Z_1 et de nombre de la paire de pôle 2p.

Z_1=48 et 2p=4 on peut choisir Z_2 =38 encoches

$Z_2 = m_2$ = 38 Phases

-Le nombre de spires d'une phase sera égal à W_2 :

W_2=1/2

- La facteur de bobinage K_{e2} de la cage d'écureuil sera :

$$K_{e2}=1$$

1-4-1 Le diamètre extérieur du rotor :

Le diamètre extérieur du rotor D_2 est :

$$D_2 = D - 2\delta \qquad \textbf{(I -38)}$$

$$D_2 = 233 - (2.0,7) = 232,43$$

1-4-2 Le pas dentaire rotorique :

Le pas dentaire sera donc :

$$t_2 = \frac{\pi.D2}{Z2} \qquad \textbf{(I -39)}$$

$$t_2 = 19,20\ mm$$

1-4-3 Le diamètre de l'arbre D_j :

Le diamètre D_j est donnée par :

$$D_j = k_a . D_a = 80{,}27\ mm \qquad \textbf{(I -40)}$$

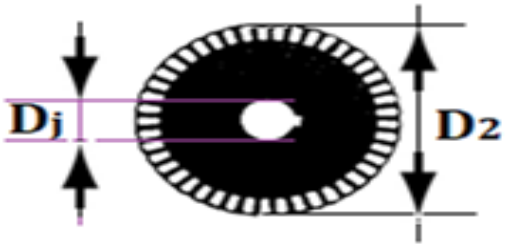


Figure :1- 12: diamètre de l'arbre rotorique

K_a est une constante donnée par le tableau 1-9

Tableau 1-9 : Choix de K_a en fonction de h et 2p

h (mm)	50 - 63	71 - 250	280 - 355		400 - 500		
2p	2--6	2-8	2	4-12	4	6	8-12
K_a	0,19	0,23	0,22	0,23	0,20	0,23	0,25

Alors pour h= 200 mm et avec 2p=4 on a : k_a = 2.23

1-4-4 Calcul du courant secondaire :

$$I_2 = k_i . I_1 . \theta \qquad \textbf{(I -41)}$$

Ou :

$$\theta = \frac{2.m1.w1.ke1}{Z2} \qquad \textbf{(I -42)}$$

$$\theta = 10{,}93$$

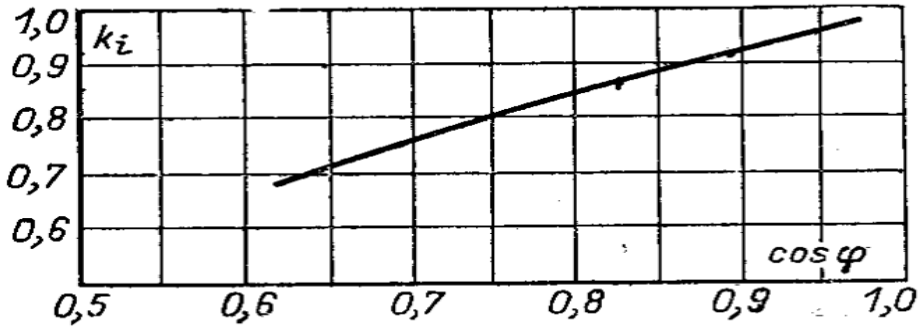


Figure :1- 13 : Ki fonction du facteur de puissance

Avec Ki = 0.9 on a : $I_2 = 574{,}14\ A$

1-4-5 Section de la barre sb :

La section de la barre :

$$S_b = \frac{I_2}{J_2} \qquad \textbf{(I -43)}$$

J_2 **:** la densité de courant des barres.

Le rotor à cage d'écureuil est constitué d'un ensemble de barre qui sont généralement fabriquées en aluminium, donc J_2 est égal à :

$$J_2 = (2{,}5\text{-}3{,}5)\ 10^6\ A/m^2$$

On choisira : $J_2 = 2{,}57.\ 10^6$

Donc : $S_b = 223{,}40\ mm^2$

1-4-6 Dimensionnement de l'encoche rotorique :

1-4-6 a. Calcul de la largeur de la dent :

Pour les moteurs à $h = (160 \div 250)\ mm$, on a des encoches fermées qui sont représentées dans la figure 1 -14 ci-dessous.

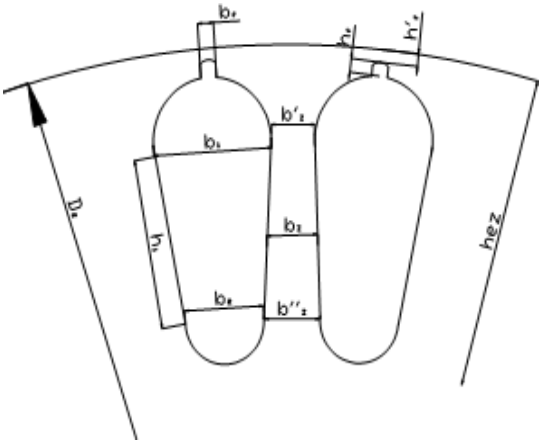


Figure :1- 14 : Encoche rotorique à cage

$b_{f2} = 1.5$ mm $\quad h_f = 0.7$ mm $\quad h'_f = 0.3$ mm

$$b_{z2} = \frac{L_2.B_\delta.t2}{B_{z2}.Lct_2.K_{c1}} \qquad \textbf{(I -44)}$$

$$L_2 = L_{ct2} = L_\delta = 154.55\ mm$$

$$B_\delta = 0.778\ T$$

$B_{z2} = 1.85\ T$ *(Tableau 1-5)*

$$t_2 = 19.20\ mm$$

$$k_{c1} = 0.97$$

On aura : $b_{z2} = 8.25\ mm$

1-4-6 b.Diamétre inférieur et superieur de l'encoche :

$$b_{1r} = \frac{\pi(D2 - 2hf - 2hf') - Z2.bz2}{\pi + Z2} \quad \textbf{(I -45)}$$

$$b_{2r} = \sqrt{\frac{b1\left(\frac{Z2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4Sb}{\frac{Z1}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} \quad \textbf{(I -46)}$$

$b_{2r} = 4.76\ mm$ $b_{1r} = 9.97\ mm$

1-4-6 c.La hauteur totale de l'encoche h_{e2} :

$$h_{e2} = h_1 + \frac{b2r}{2} + \frac{b1r}{2} + h_f + h_f' \quad \textbf{(I -47)}$$

$$h_1 = (b_{z1} - b_{z2}) . \frac{Z2}{2\pi} \quad \textbf{(I -48)}$$

$h_1 = 21.73\ mm$

$he_2 = 35.08\ mm$

1-4-6. d. Vérification de la section de la barre s_b :

Puisque la section transversale est supposé constante c.à.d. d. la largeur de dent aussi calculons les largeurs extérieures de dents pour simple vérification :

$$S_b = \frac{\pi}{8}(b_1^2 + b_2^2) + 2.(b_1 + b_2).h_1 \quad \textbf{(I -49)}$$

$S_b = 223.40\ mm^2$

Remarque : si la section transversale est constante

$b_{z2}' = b_{z2}'' = b_{z2}$

Si non il faut calculer :

$$b_{z2}' = \pi.\frac{(D2 - 2hf - 2hf' - b1)}{Z2} - b_1 \quad \textbf{(I -50)}$$

$b'_{z2} = 5.60\ mm$

$$b_{z2}'' = \pi.\frac{D2 - 2hf - bz2}{Z2} - b_2 \quad \textbf{(I 51)}$$

$b_{z2}'' = 9.54\ mm$

Puisque le différent des deux résultats est petit on peut prendre :

$$b_{z2} = \frac{bz2' + bz2''}{2} \quad \textbf{(I -52)}$$

$b_{z2} = 10.37\ mm$

Si la différence entre b_{z2}' et bz_2'' est petite on peut utiliser la moyenne dans le calcul de la chute de

potentiel magnétique de la dent.

1-4-6 e. Dimension de l'anneau de court-circuitage :

$$I_{an}=\frac{I2}{\Delta} \qquad \textbf{(I -53)}$$

$$\Delta=2\ sin\left(\frac{\pi.2}{38}\right)=0.329 \qquad \textbf{(I -54)}$$

Pour : $I_2=574.14\ A$

$I_{an}=1744.98\ A$

1-4-6 f. Calcul de la section de l'anneau :

L'anneau est une sorte de bague servant au court-circuitage des barres d'aluminium pourformer ainsi la cage d'écuelle est aussi fabriquée en aluminium, mais la seule différence est que :

J_{an} Elle représente un pourcentage de J_2 :

$$J_{an}=(0{,}80\div 0{,}85)\,J_2 \qquad \textbf{(I -55)}$$

C.à.d. qui J_{an} est plus faible que J_2 de 15 a 20 %, on choisie

$$S_{an}=\frac{Ian}{Jan} \qquad \textbf{(I -56)}$$

$J_{an}=2{,}18.10^6\ A/m^2$

Alors : $S_{an}=798{,}80\ mm^2$

On a L'épaisseur de l'anneau b_{an} :

$$b_{an}=(1{,}1\text{-}1{,}25).h_{e2} \qquad \textbf{(I -57)}$$

Préalablement on prend :

$b_{an}=1{,}25.35{,}08=43{,}85\ mm$

$$a_{an}=\frac{San}{ban} \qquad \textbf{(I -58)}$$

$a_{an}=22.42\ mm$

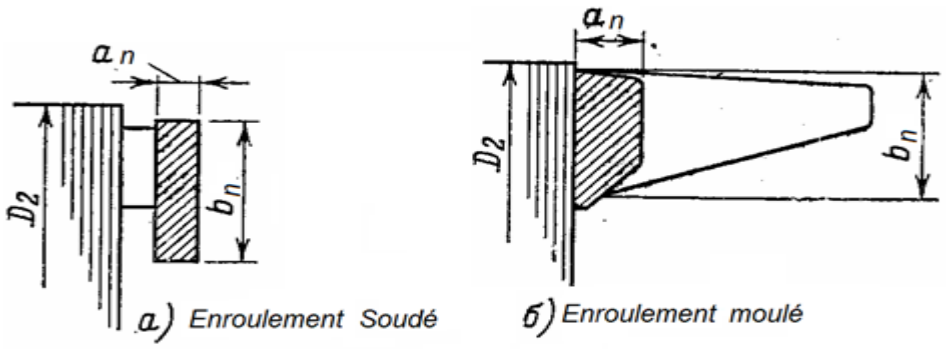


Figure :1- 15 : Section de l'anneau avec ailette de refroidissement

1-4-6 g. Diamètre intérieur de l'anneau D_{an} :

Le diamètre D_{an}

$$D_{an} = D_2 - b_{an} \qquad \textbf{(I -59)}$$

$$D_{an} = 188{,}58\ mm$$

1-4-6 h. Hauteur de la culasse rotorique h_{a2} :

$$h_{a2} = \frac{(D2 - Dj)}{2} - h_{e2} \qquad \textbf{(I -60)}$$

$$h_{a2} = 41{,}00\ mm$$

1-5 Circuits magnétique :

Le circuit magnétique est l'ensemble des tôles découpées, isolées, et empilées pour laconstitution des pièces magnétiques. Cet empilage se fait sur outillage avec guides places dans les encoches avant de faire un pressage intermédiaire pour réduire foisonnement en écrasant le manque de planéité des tôles ; puis, on procède a un pressage sous une pression de 10^6 Pascal pour la bonne tenue de tôles.

Points de vue électrique, c'est l'ensemble des parties qui subissent l'action inductions des champs magnétique crées par les forces magnétomotrices des enroulements statorique et rotorique de la machine.

la configuration du circuit magnétique la non linéarité de la machine ainsi que la réparation irrégulier des conducteur de l'enroulement dans les encoches rend des calcul de circuit magnétique impossible, pour cela on doit considère la machine comme symétrique point de vue constrictive, les flux de chaque paire de pôles sont le même et les lignes du champ magnétique de pair de pôles sont régulèrent reparti sur la section de pôles, c'est-à-dire ou on peut devisé le circuit magnétique en parties dont chacune possède une configuration plus simplifié constituées par un matériau de caractéristique bien définie (fer-silicium).

Le schéma représente par la figure 1-13, et une représentation d'un secteur de la machine asynchrone avec les enroulements distribués au stator et au rotos, dont la quelle pointilles et la ligne moyenne d'un flux paire de pôle.

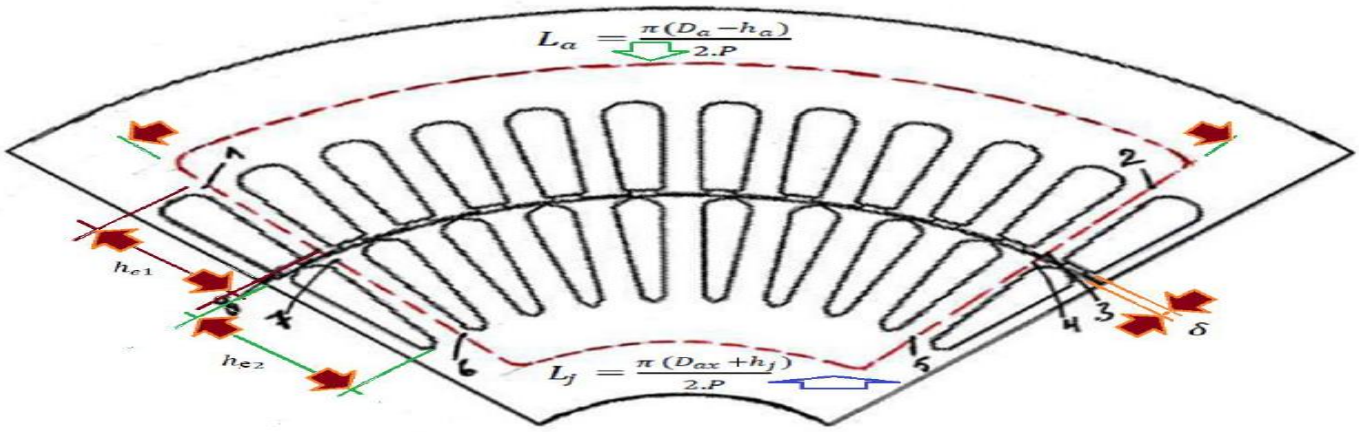


Figure :1- 16 : Parcourt des lignes de champs

Les principales parties d'un circuit magnétique d'une machine asynchrone d'après le schémaindiques :

-L'armateur statorique---------- (partie 1--2)
-Les secteurs de dents : statorique ..... (partie (2...3) et (8))
: Rotorique ..... (partie (4...5) et (7))
-L'armateur statorique ---------- (partie 5--6)

1-5-1 Calcul circuit magnétique :

Calcul des F.M.M des différents parcourt :

1-5-1 a Récapitulation :

Stator:

$$B_{z1}= \frac{B_\delta . t_1}{b_{z1}.ke} \qquad \textbf{(I -61)}$$

$$B_{z1}= 1{,}884\ T$$

$$B_{a1}= \frac{\Phi}{2.h_{a1}.L_\delta.ke} \qquad \textbf{(I -62)}$$

$$B_{a1} = 1{,}5\ T$$

Rotor:

$$B_{z2}= \frac{B_\delta . T_2}{b_{z2}.k_c} \qquad \textbf{(I -63)}$$

$$B_{z2}= 1{,}835\ T$$

$$B_J= \frac{\Phi}{2.h_j.L_\delta.Ke} \qquad \textbf{(I -64)}$$

Avec h_j :

$$h_j = \frac{2+p}{3{,}2.p}\left(\frac{D2}{2} - h_{e2}\right) \qquad \textbf{(I -65)}$$

$$h_j = 50{,}71\ mm$$

$$B_J= 0{,}91\ T$$

1-5-2 Calcul de la chute de potentiel magnétique dans l'entrefer :

La chute de potentiel magnétique dans l'entrefer s'exprime par la forme le suivant :

$$F_\delta = \frac{2}{\mu_0} . B_{\delta.}\ K_\delta . \delta \qquad \textbf{(I -66)}$$

$$K_\delta = \frac{t_2}{t_2 - \delta.\gamma} = 1{,}11 \qquad \textbf{(I - 67)}$$

$$\gamma = \frac{(b_{f/\delta})^2}{5+(b_{f/\delta})} = 3{,}14 \qquad \textbf{(I -68)}$$

$$F_\delta = 867{,}18\ At$$

1-5-3 Potentiel magnétique du pas dentaire

1-5-3 a. Stator :

Comme K_c=0,97 en utilisant le marque 2013, en utilise le tableau. A-7-a exprimant la courbe de magnétisation pour les dents statorique :

$$F_{z1} = 2.h_{e1}.H_{z1} \qquad \textbf{(I -69)}$$

$$F_{z1} = 159{,}80\ At$$

1-5-3 b. rotor:

De même pour le rotor, on utilise le tableau A-7-b pour le calcul :

$$F_{z2} = 2.h_{z2}.H_{z2} \qquad \textbf{(I -70)}$$

$$h_{z2}=h_{e2}-0{,}1.b_{r2}$$

$$h_{z2}=28{,}98\ mm$$

$$H_{z2} = 1770\ A/m \ \ (Tableau.\ A\text{-}5)$$

$$F_{z2} = 91{,}97\ At$$

1-5-4 Calcul du coefficient de saturation des dents K_z :

$$K_z=1+\frac{F_{z1}+F_{z2}}{F_\delta} \qquad \textbf{(I -71)}$$

D'âpres la normalisation russe, ce coefficient doit être inclus ou doit appartenir au domaine suivant :

$$K_z : [1{,}2 - 1{,}65]$$

$$K_z = 1{,}29$$

1-5-5 Potentiel magnétique de l'armature :

Pour l'armature statorique et rotorique, on utilise la même marque de tôle, mais une courbe de magnétisation différent spécialement conçue pour les armateurs (culasse).

1-5-5 a.stator

$$F_a=L_a.\ H_a \qquad \textbf{(I -72)}$$

L_a : *Est la longueur de la ligne moyenne pour l'armature*
H_a : *L'intensité de champ*

$$L_a=\frac{\pi(D_a-h_a)}{2.p} \qquad \textbf{(I -73)}$$

$$L_a= 266\ mm = 0{,}266\ m$$

$$B_a = 1{,}51\ T \qquad (Tableur\ A.1.7.b) \qquad H_a = 722\ A/m$$

$$F_a= 192{,}18\ At$$

1-5-5 b.Rotor:

$$F_j = L_j . H_j \qquad \textbf{(I -74)}$$

Est le potentiel magnétique de l'armature rotorique ou :
L_j : Est la longueur moyenne de l'armature rotorique.
H_j : Champ magnétique

$$L_j = \frac{D_{ax} - h_j}{2.p} \qquad \textbf{(I -75)}$$

$$D_{ax} = D_j = 80{,}27\ mm$$

$$h'_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{e2} \qquad \textbf{(I -76)}$$

$$h'_j = 41{,}00\ mm$$

$$L_j = 0.007\ m$$

Pour $B_j = 0{,}878\ T$ on a $H_j = 143\ A/m$

D'où : $F_j = 1{,}05\ \text{At}$

1-5-6 Potentiel magnétique totale et coefficient de saturation du circuitmagnétique :

$$F_t = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j \qquad \textbf{(I -77)}$$

$$F_t = 1312{,}14\ At$$

Le coefficient de saturation du circuit magnétique est égal à :

$$k_\mu = \frac{F_t}{F_\delta} \qquad \textbf{(I -78)}$$

$$k_\mu = 1{,}513$$

Finalement calculons le courant de magnétisation avec la formule suivante :

$$I_\mu = \frac{p.F_t}{0{,}9.m_1.w_1.k_c} \qquad \textbf{(I -79)}$$

$$I_\mu = 13{,}38\ A$$

1-5-7 Courant de magnétisation relatif :

$$I'_\mu = \frac{I_\mu}{I_{1n}} \qquad \textbf{(I -80)}$$

$$I'_\mu = 0{,}23\ A$$

Remarque : le courant de magnétisation relative trouvée est inclus dans :

$$I'_\mu < 0{,}18 - 0{,}20$$

I'_μ : 23,1 % Elle est valable, c'est un bon choix du circuit magnétique

D'après la normalisation russe, cela veut dire que le moteur a un bon rendement magnétique etéconomique.

1-6 Paramètres de la machine asynchrone :

Les Paramètres de la machine asynchrone sont l'ensemble des données qui caractérisent n'importe quelle machine et qu'on doit connaitre pour la bonne exploitation de celle-ci.

Ce sont aussi des donnes détermination des caractéristique générales ces principaux paramètres sont :

1-6-1 La résistance :

La résistance est donnée par :

$$r_1 = K_r.\rho.\frac{L}{S_w.a} \qquad \textbf{(I -81)}$$

ρ : *Résistivité*

a *: Branche en parallèle*

K_r *: Coefficient de majoration généralement* $K_r = 1$

1-6-1a. Résistance statorique :

A cause des courants de déplacement dans l'enrouement statorique qui sont faibles on a pris

$$k_r = 1$$

$$L = l_m .w \qquad \textbf{(I -82)}$$

L : longueur totale du conducteur (Figure 1-14)

$$l_m = 2(l_e + l_{fr}) \qquad \textbf{(1-83)}$$

l_m *: est la longueur moyenne d'une spire*

l_e *: Partie du conducteur loge dans l'encoche.* $l_e = L_\delta$

l_{fr} *: Partie hors encoche*

$$l_{fr} = k_{fr}.b_b + 2.b \quad ; \quad l_{so} = k_{so}.b_b + b \qquad \textbf{(I -84)}$$

l_{so} *: La longueur de fer sorte de partie frontale*

b_b *: La larguer moyen de la bobine pour le l'enroulement de stator.*

$$b_b = \frac{\pi(D+h_{e1})}{2p}.\beta \qquad \textbf{(I -85)}$$

$$\beta = \frac{\gamma}{\tau} = \frac{5}{6} = 0{,}833$$

$$b_b = 0{,}17\ m$$

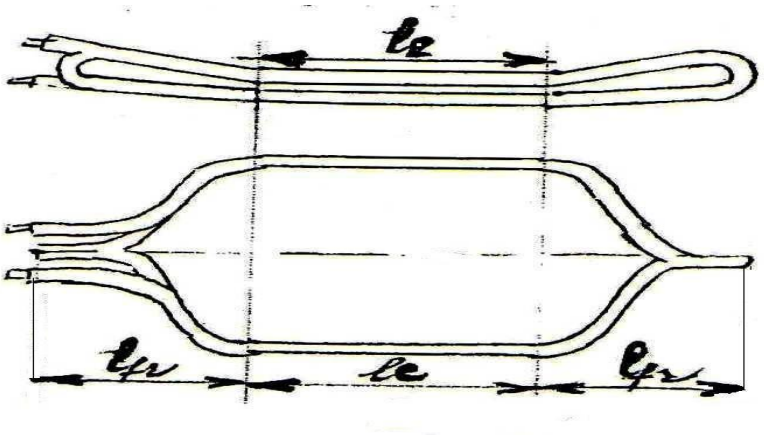


Figure :1- 17 : Parties frontales de la bobine

Tableau.1-10 : Choix de k_{fr} et k_{so}

Nombre de paire de pole 2p	Bobines de l'enroulement statorique			
	Partie frontale pas isolée		Partie frontale isolée par des bondes	
	k_{fr}	k_{so}	k_{fr}	k_{so}
2	1,20	0,26	1,45	0,44
4	1,30	0,40	1,55	0,50
6	1,40	0,50	1,75	0,62
≥8	1,50	0,50	1,90	0,72

D'après le tableau.1-10 $kfr = 1{,}3$, en considérant que la partie frontale est non isolée.

(B) est la longueur de la partie frontale sortant de l'encoche, pour la bobine a conducteurs ronds (souples) on a :

$B = [0{,}01\text{-}0{,}015]\ m$

On prendra : $B = 0{,}013\ m$

Donc : $l_{fr} = 0{,}25\ m$

$l_{so} = 0{,}09\ m$

Ce que la longueur motionne d'une spire est égal à :

$$l_m = 2.(l_e + l'_{fr}) \qquad \textbf{(I -86)}$$

$$l_m = 2.(l_\delta + l'_{fr}) \qquad \textbf{(I -87)}$$

$l_m = 1{,}002\ m$

La longueur totale du conducteur :

$$L = l_m.\ w = 75\ m$$

Calcul des résistances :

$$r_1 = k_r.\rho_{(120°)}.\frac{L}{S_w.a.n_{el}} \qquad \textbf{(I -88)}$$

$S_w = 2{,}53\ mm$

$$a=2 \quad et \quad n_{el}=2$$

$$\rho_{(120°)} = \rho_{cu} = \frac{1}{41}.10^{-6}\Omega.m \qquad T = 120^{\circ}$$

$$r_1 = 0{,}18\ \Omega$$

1-6-1b. Résistance rotorique :

Pour le rotor on calcul la résistance rotorique r_2, en s'aidant de l'équation suivante :

$$r_2.I^2_b = r_b.I^2_b + r_a.I^2_a \qquad \textbf{(I -89)}$$

$$(I_b = I_2)$$

Ou r_b, r_a, I_{an} et I_b représente respectivement, la résistance de barre, et celle de l'anneau ainsi que le courant de l'anneau, et celui de la barre qui est égale (à ce dernier) au courant de phase (secondaire), puisque chaque barre représente une phase rotorique.

D'après la relation vue précédemment (dans le calcul du rotor) :

$$I_{an} = \frac{I_2}{\Delta} \qquad \textbf{(I -90)}$$

En devisant équation $(1-89)$ par I_2 on aura :

$$r_2 = r_b + 2.\frac{r_a}{\Delta^2}$$

Calculons la résistance d'anneau et de barre :

L'anneau et la barre sont tous les deux fabriques en aluminium donc ils possèdent la résistivité

$$\rho_{(120°)} = \frac{1}{20{,}5}10^{-6}\ \Omega.m$$

$$\rho_{(120°)} = 0{,}048.10^{-6}\Omega.m$$

$$r_b = \rho_{(120°)}.\frac{L_b}{S_b} \qquad \textbf{(I -91)}$$

$$r_{an} = \rho_{(120°)}.\frac{\pi.D_{an}}{Z_2.S_{an}} \qquad \textbf{(I -92)}$$

Donc :

$$r_b = 27{,}6\ .\ 10^{-4}\ \Omega \qquad r_{an} = 2{,}10\ .10^{-6}\Omega$$

Donc la résistance rotorique r_2 égale a :

$$r_2 = 66{,}63\ .10^{-6}\ \Omega$$

1-6-2 Calcul de la réactance x_1 :

1-6-2-a Expression de la réactance statorique

Pour le calcul de la réactance statorique on a la formule suivante :

$$x_1 = 15{,}8.\frac{f_1}{100}.\left(\frac{w}{100}\right)^2.\frac{L_\delta}{p.q}.(\lambda_{e1} + \lambda_{b1} + \lambda_{d1}) \qquad \textbf{(I -93)}$$

λ_{e1} ; λ_{b1} et λ_{d1} sont les coefficients de la perméance de dispersion.

1-6-2.a.1 perméance de dispersion de la partie frontale des bobines λ_{b1} :

$$\lambda_{b1} = 0{,}34.\frac{q}{L_\delta}.(L_b - 0{,}64.\beta.\tau) \qquad \textbf{(I -94)}$$

$$\lambda_{b1} = 2{,}18$$

1-6-2.a.2 perméance de dispersion différentiel λ_{d1} :

Pour les moteurs a encoches rotorique inclinées et mi-fermées :

Pour le stator :

$$\lambda_{d1} = \frac{t_1}{12.k_\delta.\delta}.\xi \qquad \textbf{(I -95)}$$

$$\xi = 2.k_b.k_{in} - k^2_{en1}.(t_2/t_1)^2.(1+B^2_{in}) \qquad \textbf{(I -96)}$$

$$k_\beta = 0,25.(1+3.k'_\beta) \qquad \textbf{(I -97)}$$

$$k_\beta = 0,906$$

$$k'_\beta = 0,875$$

Le facteur K_{in} est tiré de la figure 1-18

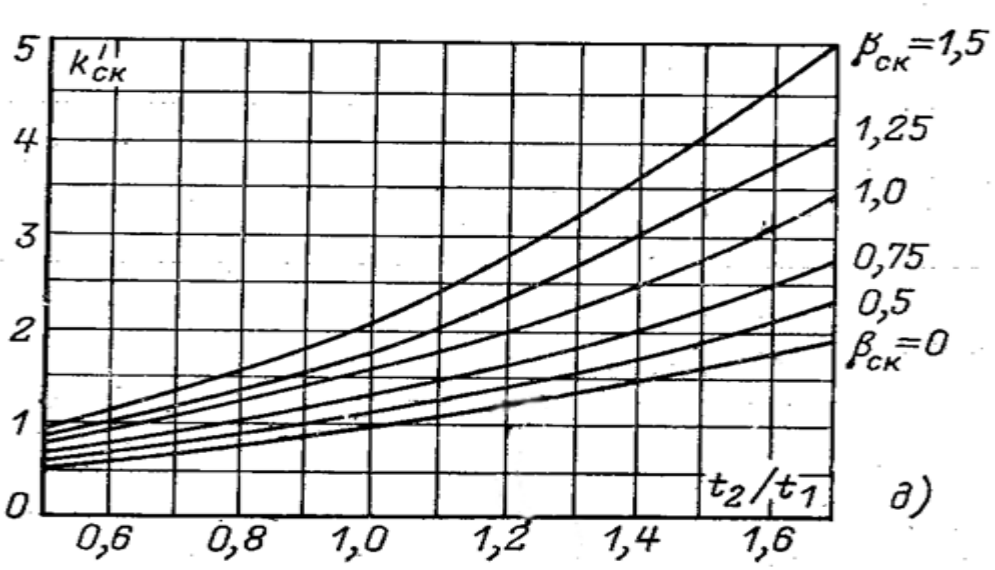


Figure :1- 18 : Kin en fonction du rapport t2/t1 ,⟦beta⟧_in

$$B_{in} = \frac{t_2}{t_2}$$

On a : $B_{in} = 0,79$

$K_{in} = 1,25$

Donc : $\xi = 0,38$

$$\lambda_{d1} = 0,69$$

1-6-2 a 3. perméance de distribution d'encoche λ_{e1} :

Pour le moteur mi-fermé on a :

$$\lambda_{e1} = \frac{h_3}{3.b_2}.k_\beta + \left(\frac{h_2}{b_2} + \frac{3.H}{b_2+2.b_f} + \frac{h_f}{b_f}\right).k'_\beta \qquad \textbf{(I -98)}$$

$$H = \frac{b_2 - b_f}{2} = 2,55\ mm$$

$$\lambda_{e1} = 4,12$$

D'où la réactance X_1 est :

$$x_1 = 0,078\Omega$$

1-6-2 b. réactance rotorique :

Pour le rotor on a le même travail faire avec la même formule qui est :

$$x_2 = 7,9.\, f_1.\, L_\delta.10^{-6}.(\lambda_{e2} + \lambda_{b2} + \lambda_{d2}) \qquad \textbf{(I -99)}$$

Pour les encoches fermées (rotorique) λ_{e2} se calcul de la façon suivante :

$$\lambda_{e2} = \left[\frac{h_1^*}{3.b_{r1}}.\left(1 - \frac{\pi.{b_{r1}}^2}{8.s_b}\right) + 0.66 - \frac{b_f}{2.b}\right].k_r + \frac{h_f}{b_f} + 1,12\,.\frac{b'_f}{L_\delta}.10^6 \qquad \textbf{(I -100)}$$

$$h_1^* = h_1 = h_{e2} - h_f - h'_f - 0,1.\, b_{2r} \qquad \textbf{(I -101)}$$

$$h_1^* = 33,60\ mm$$

$$\lambda_{e2} = 477297,89$$

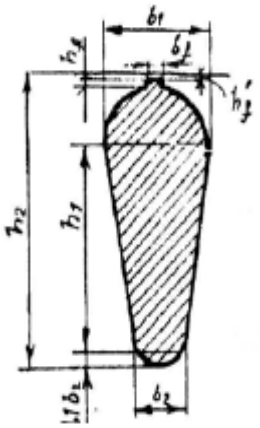


Figure :1- 19 : dimension de l'encoche rotorique

1-6-2. b.1.perméance de dispersion d'encoche λ_{b2} :

$$\lambda_{b2} = \frac{2,3.D_{an}}{Z_2.L_\delta.\Delta^2}.log\frac{4,7.D_{an}}{2.a_{an}+b_{an}} \qquad \textbf{(I -102)}$$

$$\lambda_{b2} = 1,37$$

$$\lambda_{d2} = \frac{t_2}{12.k_\delta.\delta}.\,\xi \qquad \textbf{(I -103)}$$

$$\xi = 1 - \frac{\Delta_z}{1-(p/z_2)^2} = 1 \qquad \textbf{(I -104)}$$

$$\Delta_z = f(\frac{b_f}{t};\frac{b_f}{\delta})$$

$$\lambda_{d2} = 1.13$$

Donc : $x_2 = 0{,}029\ \Omega$

1-7 Pertes et rendement :
Calcul des pertes et du rendement

1-7-1 Détermination des pertes :

1-7-1. a.perte joule :

$$P_{c1} = m.I^2.r_1 \qquad \textbf{(I -105)}$$

Stator: $P_{c1} = 1799{,}58\ W$

$$P_{c2} = 38.r_2.I^2_2 \qquad \textbf{(I -106)}$$

Rotor: $P_{c2} = 834{,}71\ w$

Pertes total $P_{cT} = P_{c1} + P_{c2} = 2634{,}29\ w$ **(I -107)**

1-7-1.b.perte dans le fer :

Au stator :

Ces pertes peuvent être calculées par la formule suivant :

$$P_{fn} = \frac{\Delta p\ 1{,}0}{50}.(f_1/50)^{\beta}.(k_{sa}.B_a^2.m_{a1}. + k_{sz}.B_{z1}^2 m_{z1}) \qquad \textbf{(I -108)}$$

k_{sa} ET k_{sz} sont les facteurs de majorations qui tiennent compte le plusieurs effet magnétiques ettechniques, pour les moteurs de puissance inferieur de 250KW.

$$k_{sa} = 1{,}3 - 1{,}6 \simeq 1{,}5$$

$$k_{sz} = 1{,}7 - 1{,}8 \simeq 1{,}8$$

$\frac{\Delta p\ 1{,}0}{50}$: Les pertes spécifiques dans les tôles pour $f = 50\ Hz$, B=1T

β : Est un coefficient dépendant de la marque de tôles utilisées (tableau I-7)

m_{a1} Et m_{z1} sont les masses respectives de l'armature et des dents statorique

$$m_{a1} = \pi.(D_a - h_a).h_a\ .\ L_\delta\ .\ k_c\ .\ \rho_m \qquad \textbf{(1-109)}$$

ρ_m *: est la masse volumique des tôles.*

$\rho_m = 7{,}8.10^3\ Kg/m^3$

$$m_{z1} = h_{e1}.b_{Z1}.L_\delta\ .\ k_c\ .\ \rho_m\ .\ Z_1 \qquad \textbf{(I-110)}$$

$m_{a1} = 36{,}33\ kg$ $\qquad$ $m_{z1} = 10{,}1\ kg$

$$P_{fn} = 493{,}20\ w$$

1-7-1.c. Les pertes supplémentaires :

Les pertes supplémentaires se composent de deux parties :

Pertes supplémentaires en marche à vide :

Qui reste constante pendant la charge de la machine et se divisent en deux parties :

Les pertes superficielles :

Sont provoquées par l'induction pulsative dans l'entrefer.

La valeur moyenne de ces pertes par unité de surface du rotor ou stator est calculée :

$$p'_{s1} = k_0.(z_2.n/10000)^{1.5}.(10^3.B_0.t_2) \quad \textbf{(I -111)}$$

$$p'_{s2} = k_0.(z_1.n/10000)^{1.5}.(10^3.B_0.t_1)^2 \quad \textbf{(I -112)}$$

k_0 : *Coefficient qui tient compte de l'influence de l'épaisseur de la marque des tôles.* $k_0 = 1{,}5$ *pour tôles 2013.*

B_0 : *L'amplitude de l'induction pulsative.* $B_0 = \beta_0.k_\delta.B_\delta$ *(l'annexe 4).*

n : *La vitesse de rotation.*

t_2 *et* t_1 : *Les pas dentaire du rotor et du stator.*

$$B_0 = 0{,}17\ \text{T}$$

$$p'_{s1} = 223{,}18\ w/m^2$$

$$p'_{s2} = 200{,}94\ w/m^2$$

La surface de l'entrefer :

$$S_{entfer} = \pi.D.L_\delta \quad \textbf{(I -113)}$$

$$S_{entfer} = 0{,}11\ m^2$$

Donc :

$$P^*_{s1} = p'_{s1}.S_{entfer} = 25{,}32$$

$$P^*_{s2} = 22{,}80\ w$$

Les pertes par pulsation du flux :

Ces pertes sont provoquées par la pulsation du flux aux dents de la machine asynchrone (à cause des courants de Foucault) et déterminées par les formules :

$$P_{P1} = (0{,}09 \div 0{,}011).(z_2.n/1000)^2.B_{p1}^2.m_{z1} \quad \textbf{(I -114)}$$

$$P_{P2} = (0{,}09 \div 0{,}011).(z_2.n/1000)^2.B_{p2}^2.m_{z2} \quad \textbf{(I -115)}$$

P_{p1} : *Les pertes provoquent par pulsation du flux du rotor sur stator*

n : *La vitesse de rotation.*

$$m_{Z2} = h_{e2}.b_{Z2}.L_\delta.k_c.\rho_m.Z_2 \quad \textbf{(I -116)}$$

$$m_{Z2} = 20{,}47$$

B_P *: Amplitude de pulsation de l'induction dans les dents statorique et rotorique.*

Pour le stator : $$B_{P1} = \frac{\gamma.\delta}{2.t_1}.B_{z1} \qquad \textbf{(I -117)}$$

Pour le rotor : $$B_{P2} = \frac{\gamma.\delta}{2.t_2}.B_{z2} \qquad \textbf{(I -118)}$$

$$\gamma = \frac{(b_{e/\delta})^2}{5+b_{e/\delta}} \qquad \textbf{(I -119)}$$

Avec $b_e = b_z$

Pour le stator : $\gamma = 1{,}38$

$$B_{P1} = 0{,}05\ T$$

Pour le rotor : $\gamma = 1{,}26$

$$B_{P2} = 0{,}04\ T$$

Donc : $P_{p1} = 10{,}14\ w$

$P_{p2} = 21{,}94\ w$

Pertes supplémentaires en marche en charge :

Elles varient en fonction de la charge et exprimée par 0,5% de la puissance Nominal.

$$p_{sup/ch} = \frac{0.5}{100}.p_n \qquad \textbf{(I -120)}$$

$$p_{sup/ch} = 150\ w$$

1-7-1 d.pertes mécaniques :

On peut utiliser une formule empirique :

$$P_m(n) = k_t.(\frac{n}{10})^2.D_a^2 \qquad \textbf{(I -121)}$$

n : Vitesse de synchronisme

k_t *: Facteur majoration donné par expression :*

$$k_t = 1{,}3\ .(1 - D_a) \qquad \textbf{(I -122)}$$

$$k_t = 0{,}84$$

Donc : $P_m(n) = 282{,}49\ w$

1-7-1 e.La somme de pertes (pertes totale) :

$$\sum P_t = 3640{,}21\ w$$

1-7-2 Calcul du rendement :

$$\eta = 100.(1 - \frac{\sum P_t}{p_{abs}}) \qquad \textbf{(I -123)}$$

$$P_{abs} = 3.V_1 . I_1 . \cos\varphi = \sqrt{3} . U_n . I_n . \cos\varphi \qquad \textbf{(I -124)}$$

Donc :

$$\eta = 89{,}07\ \%$$

1-8 Conclusion :

D'après les calculs des différentes parties du moteur, on a trouvé un excellent rendement, qui est pratiquement celui du cahier de charge du moteur, donné par les abaques de calcul du rendement. On peut dire aussi que le moteur construit respect les normes russes et même les autres normes sauf qu'on doit faire attention aux abaques des tôles utilisées, c'est pratiquement la seule différence qui peut changer

Un peu les résultats.

PARTIE 2

Dimensionnement Thermique

2-1 Introduction

Une machine électrique tournante et son environnement définissent un système constitué d'air et de corps solides dans lequel le passage de courant électrique et le mouvement de rotation s'accompagne de pertes d'énergie qui se traduisent par des élévations de température à l'intérieurde cette machine.

L'évolution vers l'équilibre thermique se fait par transfert de chaleur des parties internes, ou elle est engendrée, aux parties externes ou en contact avec l'extérieur, elle est cédée au milieu environne.

Dans le cas des machines asynchrones fermées de petites puissances et de puissance inferieur à 50KW, le refroidissement se fait au moyen d'un ventilateur monté au bout de l'arbre du moteur, pour ventiler la surface de la carcasse, augmentée par des ailettes.

Par conséquent, la chaleur est essentiellement transférée radialement, à travers les différents éléments de la machine (ventilation axiale).

Il faut noter cependant, que cette ventilation s'effectuant par circulation d'air, engendre-t-elle aussi des pertes mécaniques dues au frottement de l'air sur les différentes parois de machine.

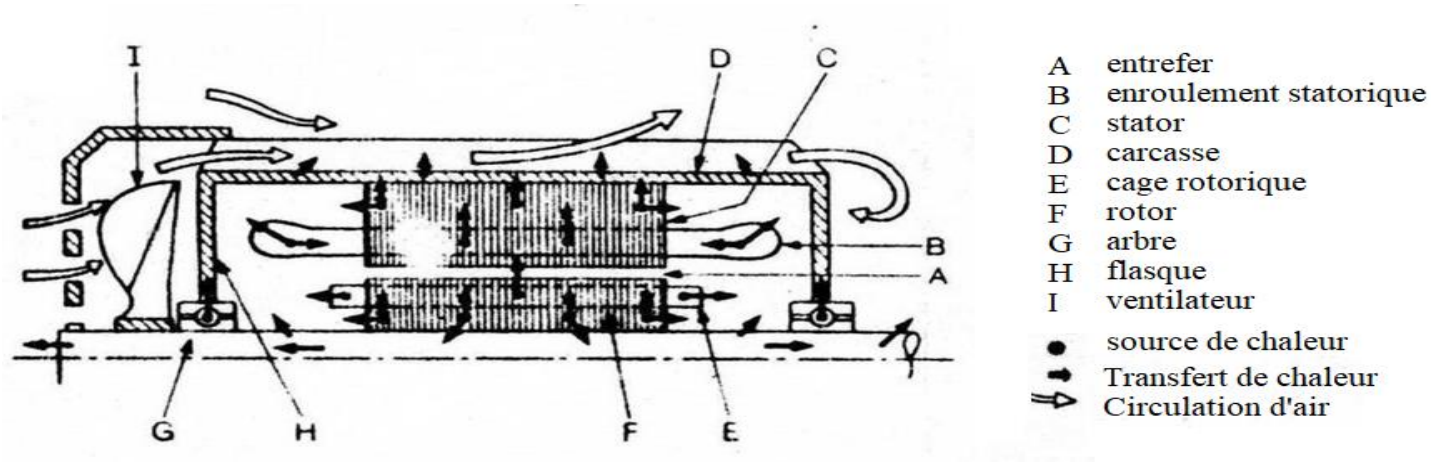


Figure :2- 1 : système de ventilation

2-2 Calcul de la ventilation

En connaissant les pertes dans le moteur on peut déterminer la source froide capable d'absorber la chaleur équivalente à ces parties. Donc une source capable d'assurer au moins un débit de : [2]

$$Q=\frac{\sum pertes}{C.\Delta\theta} \qquad \textit{(II-1)}$$

Ou C : est la chaleur spécifique de l'air (C=1100 j/°c.m^3) et $\Delta\theta$ est l'échauffement de l'airlors de son passage dans le moteur. Il est pris $\Delta\theta$=25°c

2-2-1 Dimensions du ventilateur :

D'après la normalisation russe pour les dimensions des palettes on a :

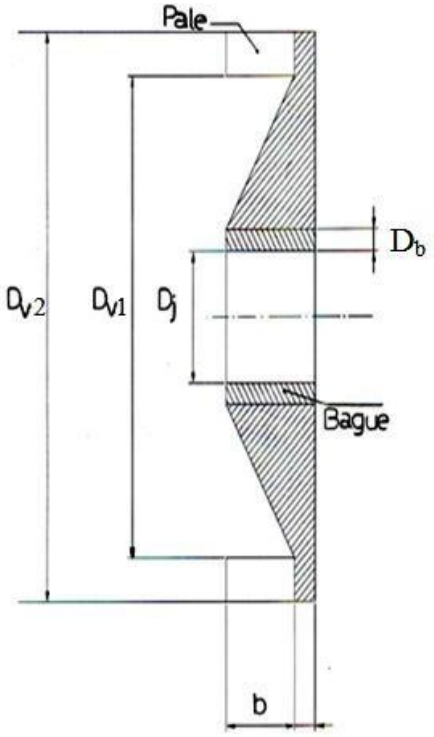


Figure :2- 2 :le ventilateur

2-2-1 a. Diamètre extérieur D_{v2} :

Il est exprimé par : $D_{v2} = (0,8 \div 1,1).\ Da$ ***(II-2)***

Avec $D_a = 349\ mm$

Donc : $D_{v2} = 1.\ D_a$

$$D_{v2} = 349\ mm$$

2-2-1 b. Diamètre intérieur D_{v1} :

Il est exprimé par la formule suivante :

$$D_{v1} = (0,9 \div 1,1).\ D \qquad \textit{(II-3)}$$

Avec $D = 233,8\ mm$

Donc $D_{v1} = 1\ .\ 233,8$

$$D_{v1} = 233,8\ mm$$

2-2-1 c-1Les palettes

$$N_p = [6 \div 10].\frac{D_{v2}}{D_{v2}-D_{v1}} \quad \textbf{(II-4)}$$

$$N_p = 24 \text{ palettes}$$

2-2-1 c-2 Largeur de pale b :

$$b = (12 \div 15)\,\%.\, D_{v2} \quad \textbf{(II-5)}$$

$$b = 13\%.\, D_{v2} = (13/100).349$$

$$b = 45{,}37 mm \approx 46\ mm$$

2-2-2 Section balayée par palettes s_p :

Elle est exprimée par :

$$S_p = 0,92.\,\pi.\, b.\, D_{v2} \quad \textbf{(II-6)}$$
$$S_p = 0,92.3,14.46.349$$
$$S_p = 4,64.10^4\ mm^2$$

2-3 Calcul des débits maximaux Q_{max} :

$$Q_{max} = 0,42\ .\ V_e.\, S_p \quad \textbf{(II-7)}$$

Ou V_e : est la vitesse linéaire a l'extrémité des palettes

$$V_e = \frac{\pi.D_{v2}.N}{60} \quad \textbf{(II-8)}$$

$$V_e = 27,39\ m/s$$

Donc $$Q_{1max} = 0,42.27,39.\ \ 4,64\ .10^{-2}$$

$$Q_{1max} = 0,533\ m^3/s$$

Et V_i : la vitesse linéaire à l'intérieur des palettes

$$Vi = \frac{\pi.D_{v1}.N}{60} \quad \textbf{(II-9)}$$

$$V_i = 18,3\ m/s$$

$$Q_{2max} = 0,42.\ V_i.\ S_p \quad \textbf{(II-10)}$$

$$Q_{2max} = 0,35\ m^3/s$$

2-4 Caractéristique du ventilateur :

Au passage de l'air dans les conduites de ventilation et à cause de la pression et au débit de celui-ci, on a certaines pertes de pressions qui sont aussi due aux profils du moteur, ces pertes s'expriment de la façon suivante :

$$\Delta p = K_p . \ p \qquad \textbf{(II-11)}$$

Ou K_p est le coefficient de pertes de pressions en fonction du profil ou l'air passe.

$$p = \frac{1}{2} . \rho . v^2 \qquad \textbf{(II-12)}$$

Donc $$\Delta p = K_p . \ \frac{1}{2} . \rho . v^2 \ : \quad v = \frac{Q}{s_a}$$

sa est la section où passe l'air

$$\Delta p = K_p . \ \frac{1}{2} . \rho . \frac{Q^2}{{s_a}^2} = Z_a . \ Q^2 \qquad \textbf{(II-13)}$$

$$Z_a = K_p . \ \frac{1}{2} . \rho . \frac{1}{s_a} \qquad \textbf{(II-14)}$$

Est la résistance aérodynamique du profil.

2-4-1 Calcul des différentes résistances aérodynamiques :

L'air passe par différentes places dans le moteur, dont chacune possède sa résistance aérodynamique propre à elles. Les principales parties du moteur sont les suivantes :

1ère partie :

Entré de l'air à travers les orifices du couvercle qui comprend par conventions *200* Orifices de diamètre *d=8mm*, tel qu'en pratique, donc la section de passage de l'air est :

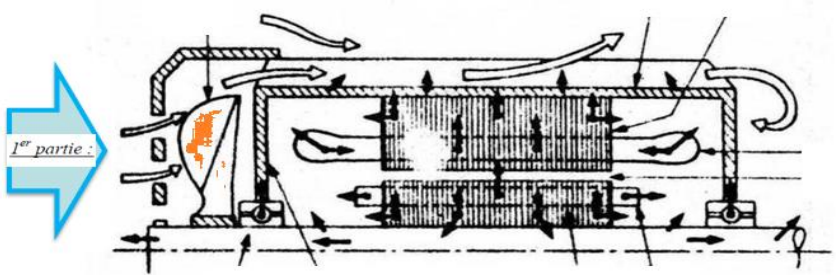


Figure :2- 3 : 1ère partie

$$S_{a1} = \frac{200.\pi.d^2}{4} \qquad \textbf{(II-15)}$$

$$S_{a1} = 0{,}01 \ m^2$$

Pour ce type de conduite $K_p = 0{,}8$; $\rho = 1{,}23 \ kg/m^3$

Donc $Z_{a1} = 4920\ N.s/m^5$

2eme partie :

C'est partie située entre le couvercle et le ventilateur, dont la hauteur est égal à :

$$h_v = D_{v1} - D_j \quad \textbf{(II-16)}$$

$D_j = 80,27\ mm$

$h_v = 0.02\ mm$

$$S_{a2} = \frac{\pi.(D_{V1}^2 - D_J^2)}{4} \quad \textbf{(II-17)}$$

$s_{a2} = 0,0378\ m^2$

$$K_p = 1 - \frac{s_{a1}}{s_{a2}} \quad \textbf{(II-18)}$$

$K_p = 0,735$

$Z_{a2} = 316,358\ N.s/m^5$

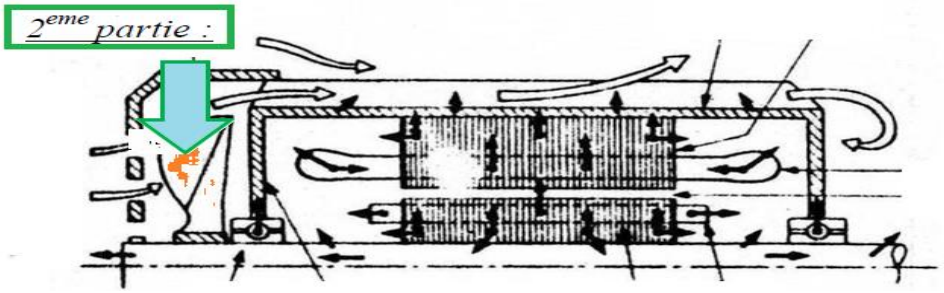


Figure :2- 4 : 2eme partie

3eme partie :

Elle représente le coude à 90° progressiez à l'entrée d'air dans le ventilateur, calculons K_p S_{a3} et Z_{a3}

$$K_p = 1 - \frac{s.N_p}{\pi.D_{v1}} \quad \textbf{(II-19)}$$

Où : $S = 2\ mm$

$K_p = 0,93$

$$S_{a3} = \pi.D_{v1}.b.k_p \quad \textbf{(II-20)}$$

$S_{a3} = 0,0314\ m^2$

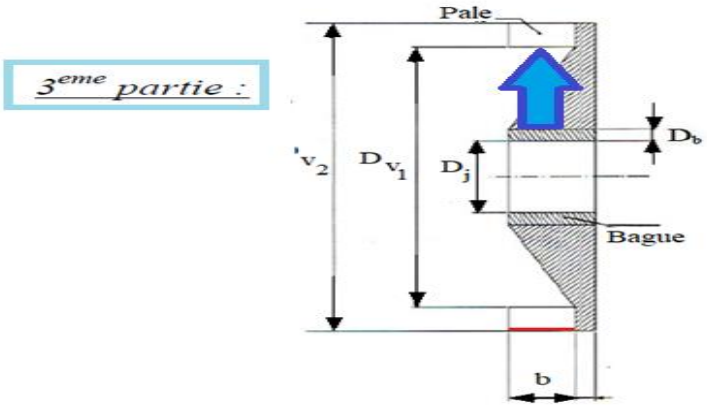


Figure :2- 5 : 3eme partie :

Z_{a3} =580,094 N.s/m^5

4eme partie :

La quatrième partie représente le coude a 90° la sortie du ventilateur :

$$S_{a4} = \pi . D_{v2} . b . K_p \qquad \textbf{(II-21)}$$

Ou : $$K_p = 1 - \frac{s.N_p}{\pi.D_{v2}} \qquad \textbf{(II-22)}$$

D'où : $K_p = 0,956$

$$Z_{a4} = 253,07\ N.s/m^5$$

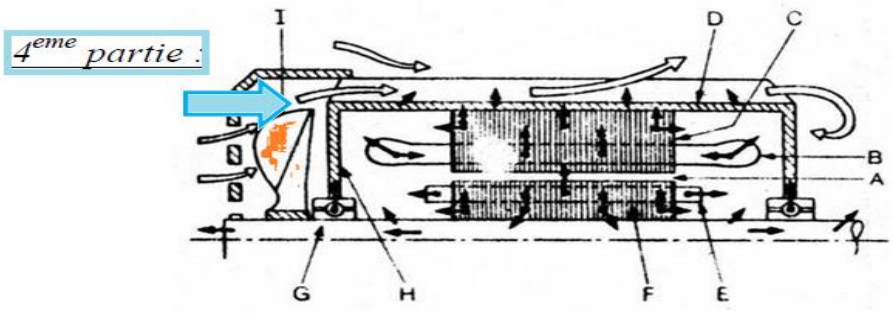


Figure :2- 6 : 4eme partie

5eme partie :

C'est la partie entre les ailettes de refroidissement de la carcasse disponible au passage de l'airventile

D'après la norme russe on a :

h = 15 mm

f = 15 mm

e = 8 mm

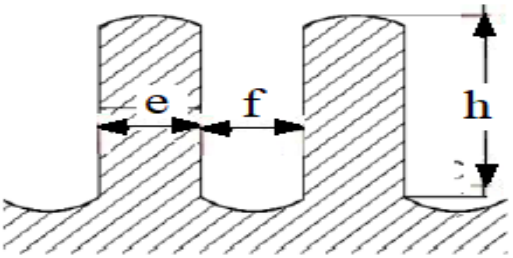


Figure 2- 7 : Ailettes

Le nombre d'ailettes :

10KW _ 25 KW---------- N_a = 30 ailettes

30KW _ 50KW ---------- N_a = 40 ailettes

60KW _ 100KW ---------- N_a = 60 ailettes

Pour P= 30 KW le nombre d'ailettes est donne égale à $N_a = 40$ ailettes.

$$S_{a5} = N_a(f.h + 0{,}44 . e. h) \quad \textbf{(II-23)}$$

D'où : $S_{a5} = 0{,}011\ m^2$

Pour ce la

$$K_p = 1 - \frac{S_{a5}}{S_{a4}} = 0.77 \quad \textbf{(II-24)}$$

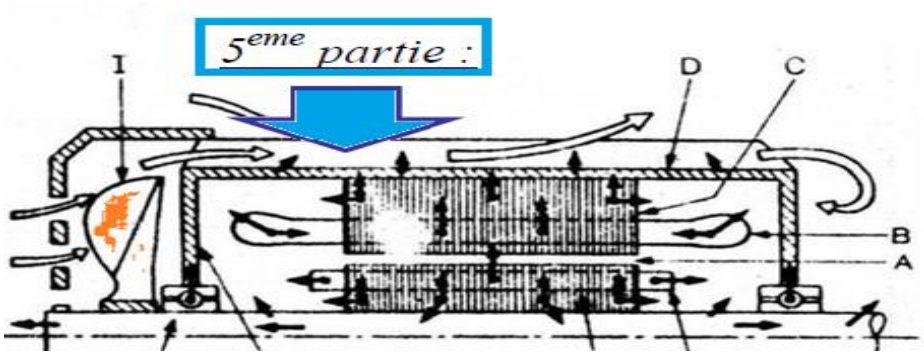


Figure :2- 8 : 5eme partie

$$Z_{a5} = 3343{,}43\ N.s/m^5$$

6eme partie :

$$S_{a6} = S_{a5}$$
$$S_{a6} = 0.011\ m^2$$

$$K_p = 0.25.\frac{L_\delta}{D'} \quad \textbf{(II-25)}$$

Où D': est le diamètre fictif des ailettes

$$D' = \sqrt{\frac{4.S_{a6}}{\pi}} \quad \textbf{(II-26)}$$
$$D' = 0{,}119\ m$$

$$K_p = 0{,}3246$$

$$Z_{a6} = 1621{,}23\ N.s/m^5$$

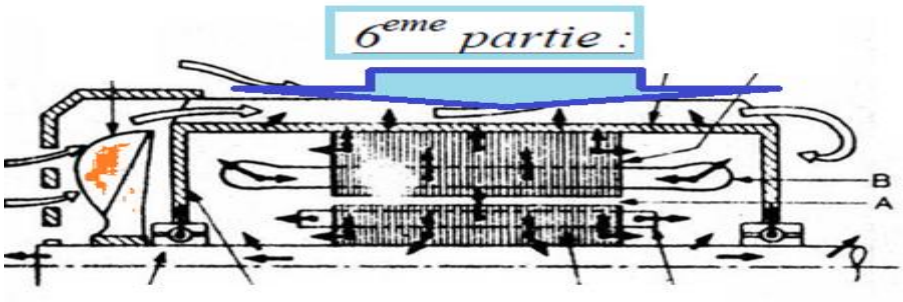


Figure :2- 9 : 6eme partie

7eme partie

C'est la sortie vers l'extérieur du moteur, pour cela on a :

$$S_{a7} = S_{a4}$$

$$S_{a7} = 0{,}0482\ m^2$$

Avec $K_p = 1$ ***(II-27)***

D'où $Z_{a7} = 264{,}71\ N.s/m^5$

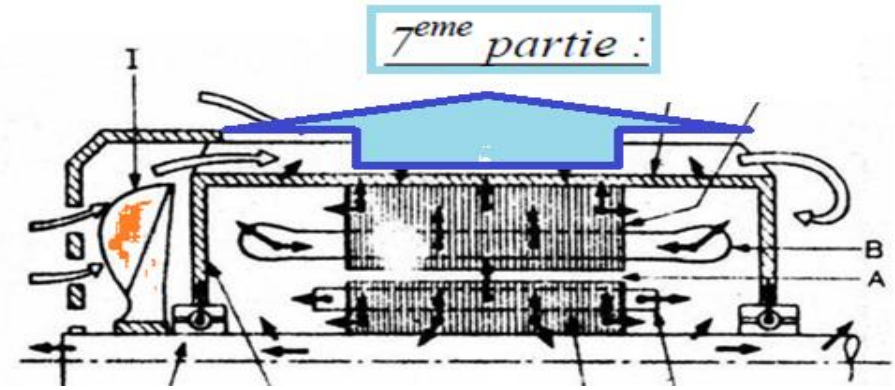


Figure :2- 10 : 5eme partie

2-4-2 Résistance aérodynamique équivalente du moteur :

Les résistances aérodynamiques sont en série pour cela la résistance équivalente estégale a :

$$Z_{aeq} = Z_{a1} + Z_{a2} + Z_{a3} + Z_{a4} + Z_{a5} + Z_{a6} + Z_{a7} \qquad \textbf{(II-28)}$$

$$Z_{aeq} = 11799{,}88\ N.\ s/m^5$$

2-4-2-1 Chute totale de pression :

$$P = Z_{aeq}\ .\ Q^2 \qquad \textbf{(II-29)}$$

$$P = 209{,}75$$

2-4-3 Pression maximale en marche à vide :

$$p_0 = \frac{1}{2}.\eta_v.(v_e^2 - v_i^2) \qquad \textbf{(II-30)}$$

Ou η_v est le rendement du ventilateur.

$$\eta v = 0,6$$

On aura : $P_0 = 124,04\ N/m$

Entre le régime à vide et le régime en court-circuit (arrêt) ; on a :

$$p = p_0.(1 - (\frac{Q}{Q_{max}})^2) \qquad \textbf{(II-31)}$$

En égalisant (2-30) et (2-31) on aura :

$$Q = \sqrt{\frac{p_0}{Zaeq + \frac{p_0}{Q_{max}^2}}} \qquad \textbf{(II-32)}$$

$$Z_{aeq} = 11799,88\ N.s/m^5$$

$$Q_{max} = 0,533\ m^3/s$$

$$Q = 0,1\ m^3/s$$

Pour conclure, on à $Q_{max,}$ le débit fourni par le ventilateur supérieur au débit nécessaire pour l'évacuation de la chaleur, donc on peut dire qu'on a une bonne ventilation de notre moteur.

2-5 Calcul des échauffements :

Dans le moteur électronique ; les pertes mécaniques et électriques se transforment enchaleur, ce qui va créer un échauffement progressif dans certaines parties du moteuraugmentant, dans des cas de su réchauffement, des risques qui peut être grave et dangereux. Pour cela une bonne ventilation est nécessaire afin de refroidir ces parties surchauffées.

Notre travail consiste à calculer ces échauffements ; θ_A est la surélévation de température dans une partie du moteur par rapport à l'air, en général elle est prise égale à 40°c ; le transfert de chaleur se fait suivant trois phénomène connus, ce sont :

_ Le rayonnement.
_ La convection.
_ La conduction.

$$\theta_{for+1solation} = 40^\circ c \qquad \textit{(Tableau A-5-a)}$$

2-5-1 Echauffement de conducteur par rapport au fer :

Il exprime par :

$$\Delta_{\theta cu} = \rho_{cu} \frac{A_1.J_1.e.t_1}{\gamma_1.p_\pi} \qquad \textbf{(II-33)}$$

ρ_{cu} : est la résistivité du conducteur égale

$\rho_{cu} = (1/41)\ 10^{-6} \Omega\ m$

A_1 : est la densité linéaire du courant (A/m)

$A_1 = 35300\ A/m$

J_1: Densité de courant du conducteur (A/m^2)

$J_1 = 5{,}38\ .10^6\ A/m^2$

e : Epaisseur de l'isolation des conducteurs *(mm)*

$e = 0{,}095\ mm$

t_1 : Pas dentaire statorique *(mm)*

$t_1 = 15{,}3\ mm$

p_π : Périmètre de l'encoche statorique *(mm)*

$p_\pi = 63{,}42\ mm$

γ_i : Coefficient de perte du conducteur ($w/m.\ ℃$)

$\gamma_i = 0{,}16\ (w/m.\ ℃)$

On aura comme résultat : $\Delta\theta_{cu} = 0\ ,6\ 3\ \ ℃$

2-5-2 Echauffement des paquets des tôle statorique :

L'échauffement des paquets de tôle statorique est donné par la formule suivante :

$$\Delta_{\theta fer} = c_f . \frac{p_{fer} + p_{j1}}{S_{ref}} \qquad \textbf{(II-34)}$$

Ou S_{ref} est la surface de refroidissement, qui est donné par :

$$S_{ref} = \pi(D_a . L_\delta) + \frac{\pi}{4} . (D_a^2 - D^2) . 2 \qquad \textbf{(II-35)}$$

$$L_\delta = 0{,}1547 m$$

$$D_a = 0{,}349\ m$$

$$D = 0{,}2338\ m$$

$$S_{ref} = 0{,}275\ m^2$$

Et c_f le facteur de majoration est :

$$C_F = \frac{0.018}{1 + 0{,}1 . v_i} \qquad \textbf{(II-36)}$$

$$v_i = 18{,}35\ m/s$$

$c_f = 63{,}49 .10^{-4}$

On aura pour échauffement de paquets de tôles

$$P_{Fer} = 493{,}20\ w$$

$$P_{j1} = 1799{,}58\ w$$

$$\Delta\theta_1 = 52{,}93\ ℃$$

2-5-3 Echauffement des conducteurs statoriques dans les encoches :

L'échauffement des conducteurs statorique est donné par :

$$\theta_{cu} = \Delta\theta_{cu} + \Delta\theta_{Fer} + \theta_A \qquad \textbf{(II-37)}$$

Il faut que θ_{cu} ne dépasse pas la valeur imposée par la classe d'isolation ''B'' de moteur

$$\Delta\theta_{cu} = 0{,}64\ ℃$$

$$\Delta\theta_{Fer} = \Delta\theta_1 = 91{,}55\ ℃$$

$$\theta_A = 40\ ℃$$

$$\theta_{cu} = 93{,}57\ ℃$$

2-5-4 Surélévation de température par rapport à l'air refroidissant à la surface extérieure du stator :

Elle exprimée par :

$$\Delta_{\theta 2} = \frac{w_2}{a_2} \qquad \textbf{(II-38)}$$

Ou W_2 : est le flux de chaleur spécifique à la surface extérieure du stator.

α_2 **:** est un coefficient de perte calculé par formule suivante :

$$\alpha_2 = \alpha_\circ . (1 + 0{,}1. V_i) \qquad \textbf{(II-39)}$$

$\alpha_\circ$ = 66 est un coefficient tiré de la pratique par la normalisation russe.

D'où

$$\alpha_2 = 187{,}11\ W/m^2 . ℃$$

$$w_2 = \rho_{cu}. A_1. J_1 + \frac{p_{fer} + 0.5. p_{sup}}{D. L_\xi . \pi} \qquad \textbf{(II-40)}$$

Donc :

$$w_2 = 11030.68\ w/m^2$$

$$\Delta\theta_2 = 58{,}95\ ℃$$

2-5-2 Surélévation de température dans les parties frontales de l'enroulement statorique :

$$\Delta_{\theta 2} = \frac{w_3}{a_3} \qquad \textbf{(II-41)}$$

Ou W_3 est donne par :

$$W_3 = \frac{\rho_{cu} A_1 J_1 t_1}{p_\pi} \qquad \textbf{(II-42)}$$

$$W_3 = 1087{,}93 \ \ w/m^2$$

$$\alpha_3 = 13{,}3\ (1 + 0{,}07 .\ V_1)$$

$$\alpha_3 = 30{,}38\ w/m^2 °C \qquad \textbf{(II-43)}$$

D'où $\Delta\theta_3 = 35{,}84\ °C$

2-5-6 Surélévation moyenne de température des enroulements statorique :

Elle est donne par la formule suivante :

$$\Delta\theta moy = \frac{(\Delta\theta_{cu} + \Delta\theta_2).L_\delta + (\Delta\theta_{cu} + \Delta\theta_3).L_{fr}}{L_\delta + L_{fr}} \qquad \textbf{(II-44)}$$

Ou L_{Fr} est la longueur de la partie frontale de l'enroulement statorique

$$L_{Fr} = 0{,}251\ m$$

$$\Delta\theta moy = 36.90\ °C$$

D'âpres le résultat trouvé ci-dessus, on remarque que la température trouvée ne dépassepas la température admissible donnée ($40{,}05\ °C < 80°C$).

2-6 Conclusion :

On peut remarquer une bonne ventilation, et un bon refroidissement qui satisfont lacondition de cahier de charge pour un moteur de classe 'B', et que le moteur peut fonctionner 24h/24h bien sûre si on respecte aussi la tension d'alimentation et la charge nominale que nous avons imposée au départ.

PARTIE 3

Elaboration Du Programme

3-1 Introduction :

Delphi est le nom d'un logiciel actuellement largement employé pour créer des logiciels. Delphi permet d'utiliser le langage Pascal. Il faut bien comprendre que Pascal et Delphi ne sont pas une seule et même chose : Pascal est un langage informatique, Delphi est un logiciel destinéà créer des logiciels avec ce langage. Delphi n'est qu'un enrobage, une enveloppe de confort autour de Pascal, c'est-à-dire qu'il simplifie de nombreuses tâches liées à la programmation en langage Pascal. Un autre fait qu'il faut noter est que Delphi est destiné à écrire des programmes fonctionnants exclusivement sous Windows. Nous nous intéresserons donc de cette tâche qu'apporte Windows, dont on a exploité Delphi pour élaborer notre programme pour faire un logiciel de calcul simple des machines asynchrones 3ϕ de moyennes puissances.

3-2 Le pascal et le Delphi :

L'objectif de ce guide est de créer des logiciels et non plus de simplement les utiliser. Un moyen pour créer un logiciel est d'utiliser un langage informatique, traduit ensuite par l'ordinateur pour en faire un logiciel. C'est le moyen exploré dans ce guide : l'utilisation d'un langage de programmation informatique. Le langage étudié ici, c'est « Pascal ». C'est un langage qui permet d'écrire des logiciels. «Delphi», c'est le logiciel que vous allez employer pour écrire des textes dans ce langage (entre autres).

3-3 Un peu de vocabulaire :

L'informatique, en tant que science, a son propre jargon, qu'il est nécessaire de connaître. Les quelques termes qui suivent sont des incontournables. Lorsque vous les rencontrerez, vousdevrez savoir ce qu'ils signifient. Les définitions ci-dessous ne sont valables qu'à l'intérieur du guide (et sont souvent utilisées en dehors !) :

*« **Programme** »* : texte écrit dans un langage informatique, comportant dans notre cas des instructions structurées (organisées en structures). Il est destiné à être « **converti** » par Delphi en un logiciel utilisable sous Windows.

« Développer en Delphi » : écrire des programmes en utilisant le langage Pascal. Par abus, on confond le langage (Pascal) et le logiciel (Delphi) qui le gère, et on parle de développer, plutôt que de programmer.

*« **Application** »* : Logiciel fonctionnant sous Windows.

*« **Projet** »* : c'est la base d'une application. Sous Delphi, pour créer une application, on constitue d'abordun projet, constitué de divers morceaux (notion importante vue plus loin).

*« **Code** », « **Code Pascal** », « **Code source** »* : morceau de programme, texte d'un programme écrit en Pascal

*« **Interface** (utilisateur) »* : la partie d'un logiciel qui est visible par l'utilisateur, à l'opposé du code source, invisible à l'utilisateur.

*« **Fiche** »* : fenêtre à l'état non compilé. Les fiches sont les alter egos sous Delphi des fenêtres sous Windows.

Les schémas suivants tentent de reprendre les termes mentionnés ci-dessus :

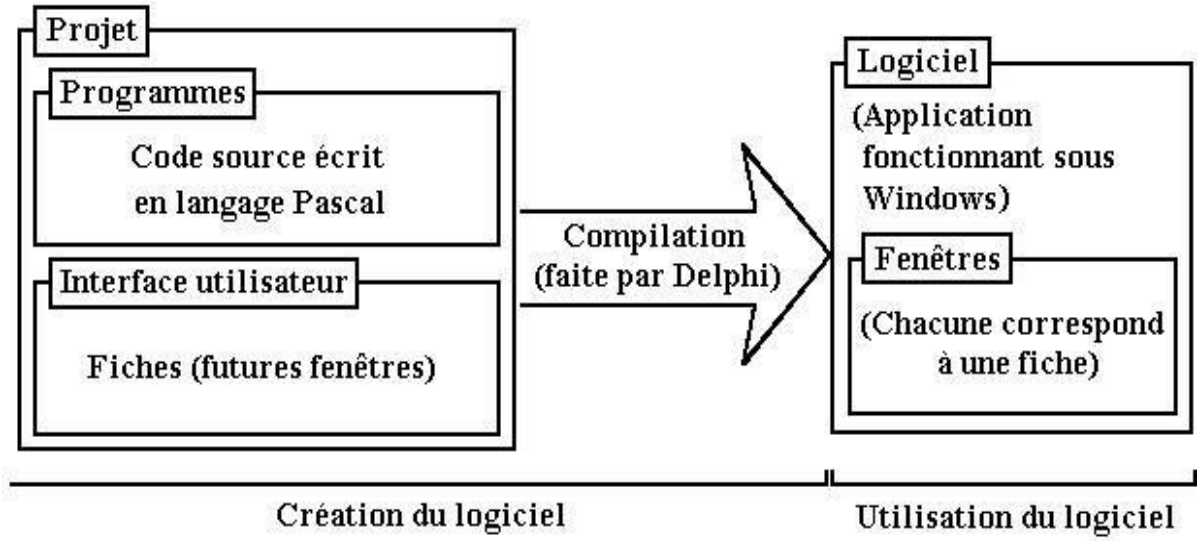


Figure :3- 1: schéma reprendre les termes mentionnés

3-4 Interface de Delphi :

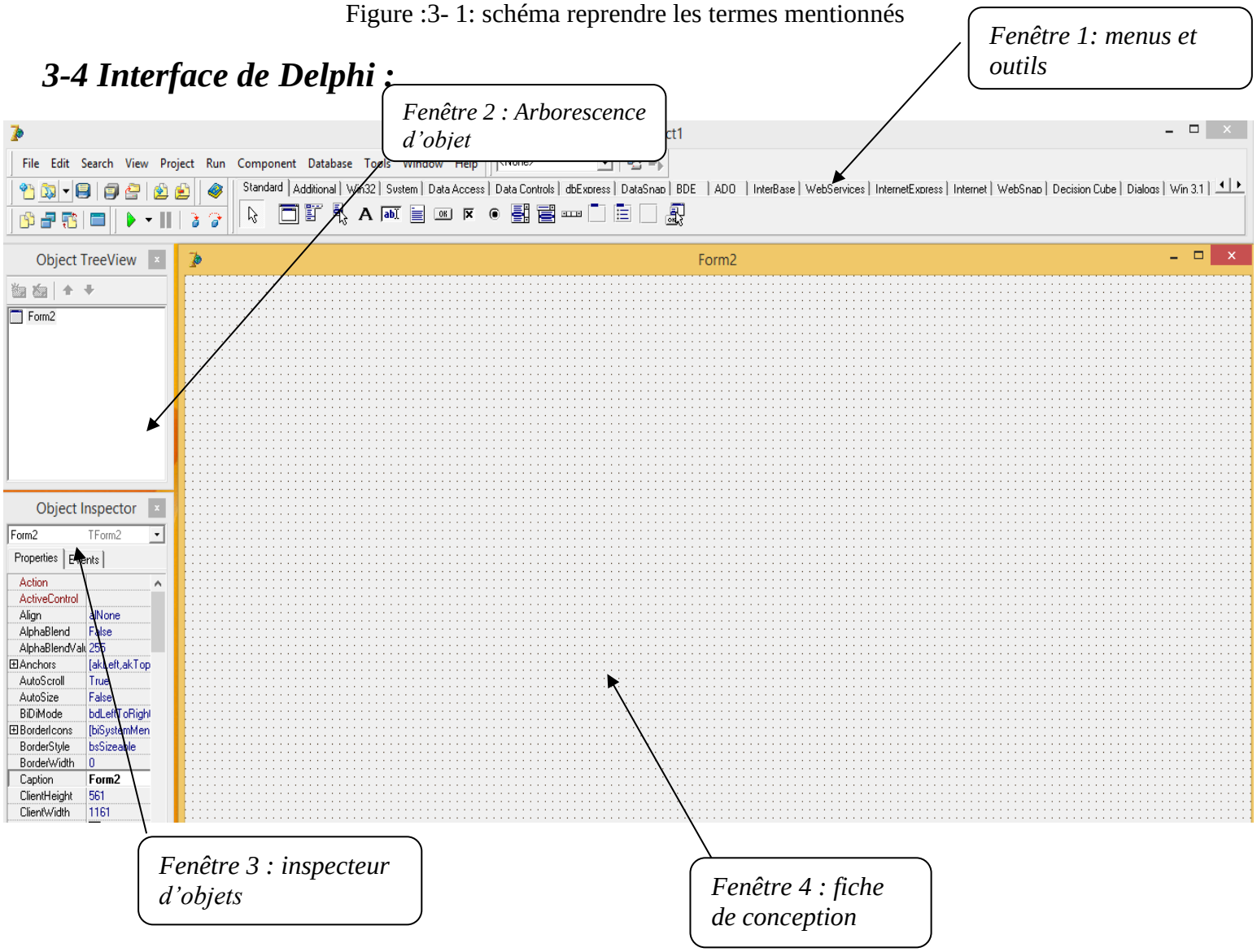


Figure3- 2 : Schéma interface Delphi

3-5 Elaboration du programme :

En fixant une gamme de puissance de 18,5 → 90 KW pour une tension de 220 /380 V fréquences de 50 Hz, pour de rotor à cage, de classe ‘’B‘’, tétrapolaire, et avec un indice de protection IP44 en respectant la norme russe. On a fait une programmation en langage Pascal pour la détermination des dimensions principales des machines asynchrones 3ϕ, longueur, hauteurs, dimensions des encoches statorique et rotorique pour toute la gamme de la puissance.

3-6 La difficulté de ses travaux :

On trouver beaucoup des problèmes qu’on fait ce travail par exemples :

1- Problème de documentations :

-Manque de la documentation.

-Les abaques ne sont pas précis.

2 - Problème de choix :

-Choix des coefficients (K_d ,K_e ,K_a ,…..) .

-Choix de type d’encoche (statorique et rotorique) .

3-Problème du logiciel Delphi :

-C’est nouveau pour notre formation.

-Le programme est très longs (<150lignes).

4-Problème du temps :

-Le temps de réalisation n’est pas suffisant.

5-Problèmes de la programmation :

-La programmation des équations du calcul sont très difficiles et longues.

Malgré tous ces problèmes, on a réalisé notre programme de calcul pour la construction des moteurs asynchrones triphasés.

3-7 Applications :

On peut appliquer notre programme a travers la page d’accueil fig. 3.4. En introduisant la valeur de la puissance moyenne, on peut récupérer les dimensions concernent les éléments constructifs de notre moteur, avec les différents schémas correspondants, ainsi on peut imprimer une fiche technique qui regroupe toutes les dimensions pour la construction du moteur. Comme on peut comparer quelques éléments avec un autre constructeur tableau.3.1, qui justifient nos résultats.

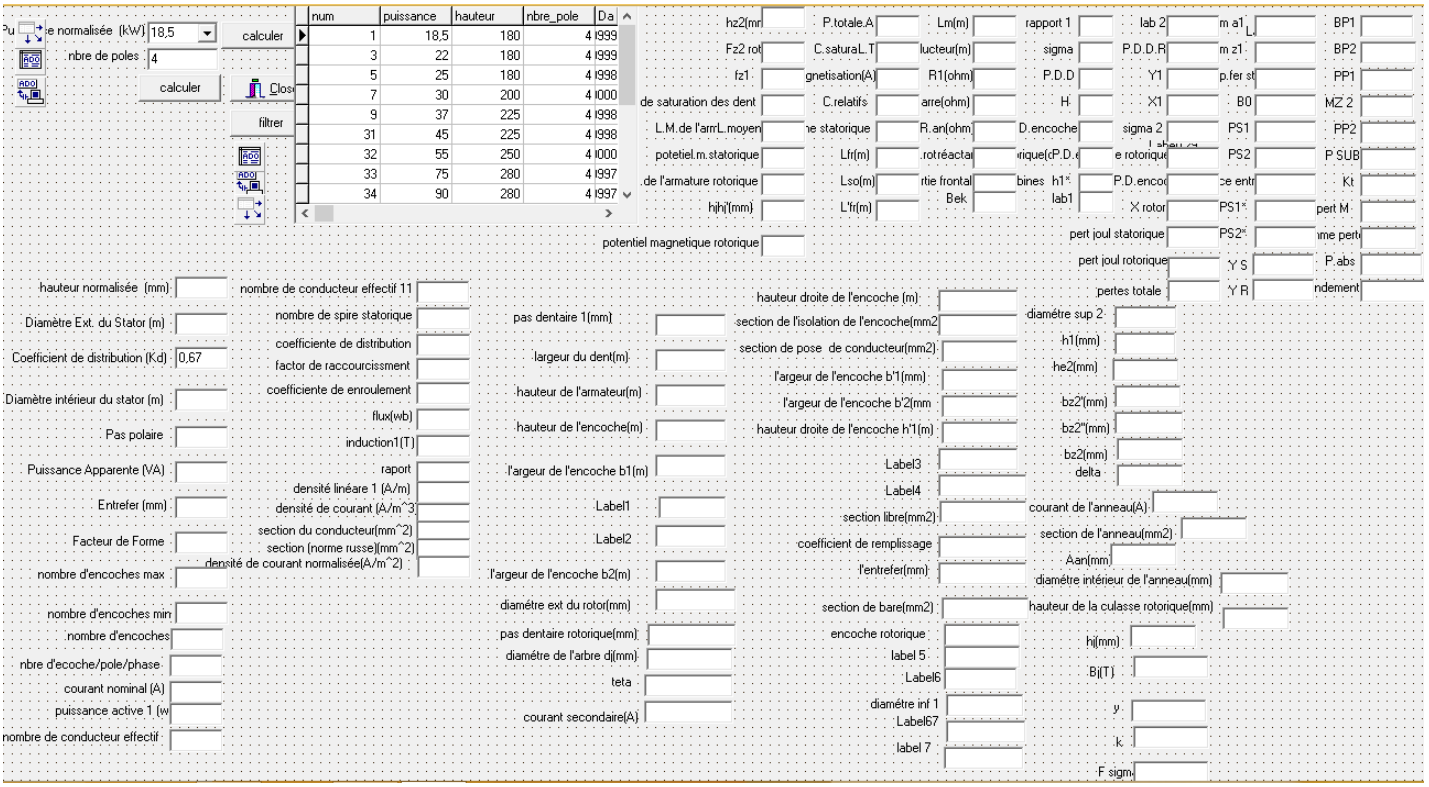


Figure :3- 3: la page d'accueil

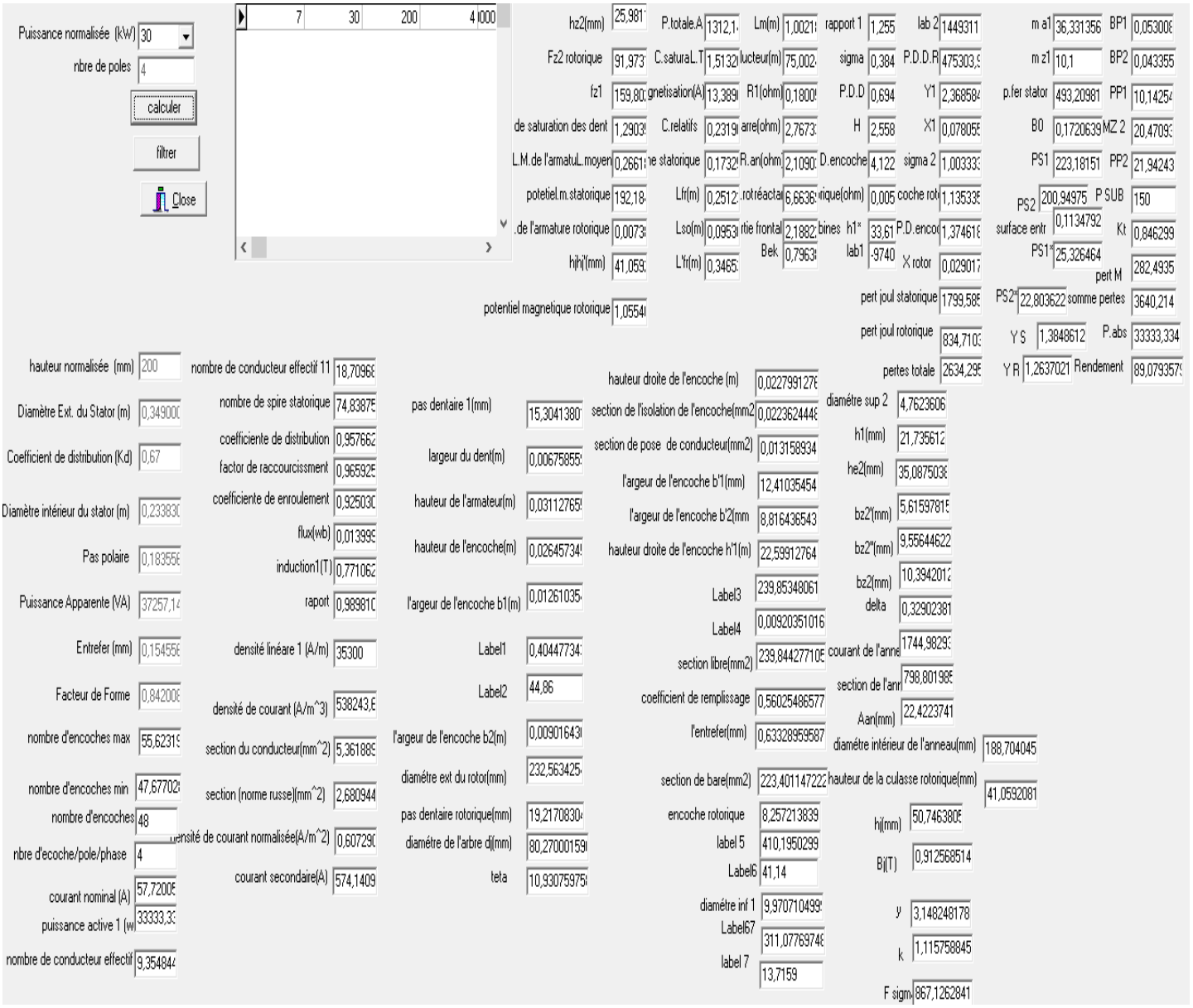


Figure :3- 4 : la page d’accueil pour 30KW

3-8 Comparaisons :

Moteurs UNELEC Caractéristiques à 1500 Tr/min : ROTOR à CAGE, IP 44

Tableau 3-1 *: Caractéristiques des moteurs (normes françaises).*

TYPE	ISO	PUISSANCE		1 /1 CHARGE				$\frac{M_{max}}{M_n}$	DEMARRAGE DIRECT		MOMENT D'INERTIS J ROTOR Kg m²	MASSE MOTEUR Kg
		kW	Ch Environ	Fréquence De Rotation Tr/min	η %	cosφ	Stator A Sous 380 V		$\frac{M_d}{M_n}$	$\frac{I_d}{I_n}$		
180 M 24	B	18 ,5	25	1450	89,7	0,86	36,3	2,4	2,3	6,6	0,155	180
180 L 54	B	22	30	1455	90,5	0,88	41,8	2,7	2,9	6,4	0,1725	192
200 L 24	B	30	40	1470	91,5	0,85	58,5	2,8	2,8	6,7	0,3125	270
225 S 24	B	37	50	1480	91	0,84	74	2,8	2 ,2	7,3	0,6925	333
225 M 34	B	45	60	1480	92	0,85	87	3,1	2,3	7,2	0,79	352
250 M 64	B	55	75	1470	92	0,85	106	3,3	2 ,2	7	1,2575	363
280 S 54	B	75	100	1472	92,5	0,85	145	2,8	2,7	7	1,375	600
280 M 84	B	90	125	1478	92,5	0,85	173	2,9	2,7	7	1,675	660

3-9 Conclusion :

La comparaison par les résultats obtenus par notre programme (logiciel) selon la norme russe utilisée, et celle des moteurs UNELEC de la fabrication française montre que les résultats coïncident exactement pour la même classe B, la hauteur de l'axe, le rendement, le cos φ , et le courant nominal. Mais l'encombrement diffère peu

CONCLUSION GENERALE

Finalement, on peut dire qu'on ait arrivé à notre but, avec ce logiciel de calcul des moteurs asynchrone trois phasée, il est souple facile à utiliser en vérifiant les résultats obtenus avec la même série de moteurs de fabrication française.

On remarque que les resultas sont satisfant, la seule différence qui peut exister, c'est la qualité de tôle électromagnétique utilisée, le choix des tôles a une grande influence sur la partie magnétique de la machine, donc sur les dimensions ou le volume en générale.

Notre logiciel est limité sur la puissance moyennes de 18,5 kW à 90 kW pour la raison de la période du projet qui est très courte, mais le programme il est extensible pour toutes les autres puissances et les autres normes, il suffit d'introduire les tables, les coefficients est les abaques correspondants selon les normes disponibles, et le tour et joué, mais ça va prendre un peu plus de temps.

Actuellement pour qu'un produit soit vendable avec succès sur le marché, il faut continuellement réduire les coûts, augmenter les performances, diminuer les temps de conception et de fabrication pour sortir produit le plus rapidement possible. C'est à ces ensembles de contraintes que les ingénieur et chercheursdoivent faire face

Bibliographique

Bibliographique

[1] Calcul des machines électriques.
M. LIZWCHITZ

BORDAS-1970

[2] Calcul pratique des machines électriques à courant continu.
SIMONE.LOUTZER

AYROLLE-1963

ANNEXES

Tableau A-1 Diamètre de section des conducteurs rond

Diamètre nominal	Diamètre moyen	Diamètre
[mm]	[mm]	[mm²]
0,08	0,1	0.00502
0,09	0,112	0.00636
0,1	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	0.71	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

Diamètre nominal	Diamètre moyen	Diamètre
[mm]	[mm]	[mm²]
0.53	0.585	0.221
0.56	0.615	0.046
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	0.422
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	4.59

Figure A-2 CHOIX DE TYPE D'ENCOCHE ROTORIQUE

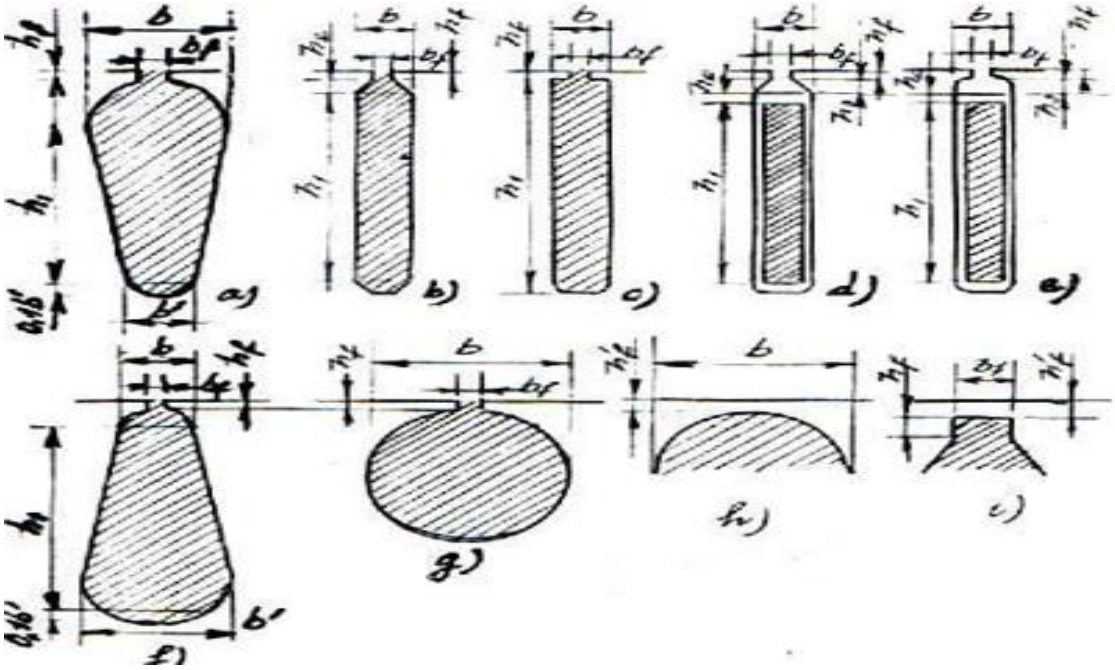


figure	*Formule calculée*
- a.f	$\frac{h_1}{3b_1}\left(1-\frac{\pi b_1^2}{8S_b}\right)+0{,}66-\frac{b}{2b}\left(\frac{I}{}\right).kx+\frac{h}{b_f}\left(\frac{I}{}\right)+1{,}12\frac{h}{l_2}\left(\frac{I}{}\right)10^{+b}$ *ouverte si l'encoche est fermée*
-b	$\frac{h_1}{3b}+\frac{h_2}{b}+\frac{3h_f}{b+2b_f}+\frac{h_f}{b_f}$
-c	$\frac{h_1}{3b}+\frac{3h_f}{b+2b_f}+\frac{h_f}{b_f}$
-d	$\frac{h_1}{3b}+\left(\frac{h_2}{b}+\frac{h_f}{b_f}\right)$ *si l'eucoele est complètement ouverte* $\frac{h_1}{3b}+\frac{h_2}{b}$
-e	$\frac{1}{2}\,arcsin\sqrt{1-\frac{b_f}{b}}$
-g	$0{,}66+\frac{h_f}{b_f}$
-h.i	$0{,}66+\frac{h_2'}{l_2}.1{,}12.10^{\tau v}$

Figure A-3 CHOIX DE TYPE D'ENCOCHE STATORIQUE

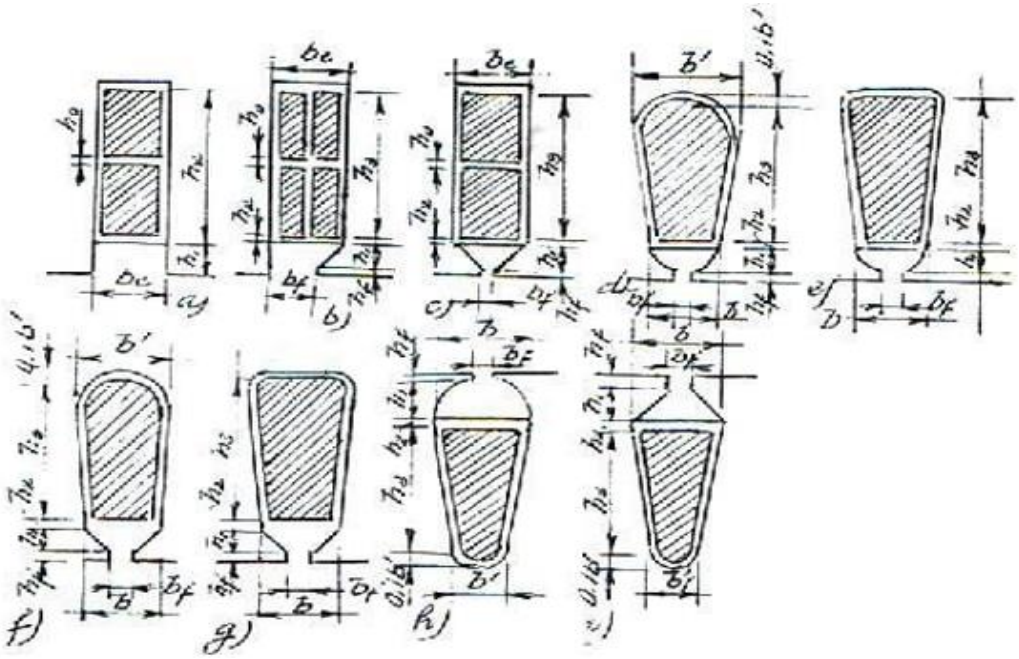


figure	Type d'enroulement	Formule calculée
a	à 2 couches à une couche	$\frac{h_2-h_0}{3h_e}k\beta+\frac{h_1}{b_e}k'_\beta+\frac{h_0}{4b_e}+\frac{h_2}{3b_e}+\frac{h_1}{b_e}$
b	à 2 couches	$\frac{n_2-n_0}{3h_e}k\beta+(\frac{n_2}{b_e}+\frac{3n_1}{b_e+2b_f}+\frac{n_f}{b_f})k'_\beta$
c	à 2 couches à une couche	$\frac{n_2-n_0}{3h_e}k\beta+(\frac{n_2}{b_e}+\frac{3n_1}{b_e+2b_f}+\frac{n_f}{b_f})k'_\beta$ $\frac{h_2}{3b_e}+\frac{h_2}{b_e}+\frac{3h_1}{b_e+2b_f}+\frac{h_f}{b_f}$
d, e, f	à 2 et une couche	$\frac{n_3}{3b}k\beta+(0{,}185+\frac{b_f}{2b}+\frac{n_2}{b}+\frac{n_f}{b_f})k'_\beta$
g, h, i	à 1 et 2 couches	$\frac{n_3}{3b}k\beta+(\frac{b_f}{2b}+\frac{3n_1}{b+2b_f}+\frac{n_f}{b_f})k'_\beta$

Figure A-4 INDICE DE PROTECTION

1er chiffre caractéristique	2° chiffre caractéristique	3° chiffre caractéristique
Protection contre les contacts et la pénétration de corps solidesSelon IEC.NF C.DIN	Protection contre la Pénétration des liquidéesselon IEC.NF C.DIN	Protection contre les Dommages mécaniques. SelonNF C.
		Masse hauteur énergie De chute de choc
		Kgb m j
0 non protégé	0 non protégé	0 non protégé
1 protégé contre les corpssolides supérieurs à 50mm	1 protégé contre les Chutes verticales degouttes d'eau	1 0,15 0,15 0,225
2 protégés contre les corpssolides supérieurs à 12 mm	2 protégés contre les chutes d'eau verticales (Inclinaison maxi 15°)	2 0,15 0,25 0,375
3 protégés contre les corps Solides supérieurs à 2,5 mm	3 protégés contre l'eau (en Pluie)	3 0,25 0,20 0,50
4 protégés contre les corps Solides supérieurs à 1 mm	4 protégés contre les Projections d'eau	
5 protégés contre la poussière	5 protégés contre les jets D'eau	5 0,50 0,40 2
6 totalement protégé contre la Poussière	6 protégés contre les Paquets de mer	
	7 protégés contre les effets de l'immersion	7 1,50 0,40 6
	8 protégés contre L'immersion prolongée	
		9 5 0,40 20
		Définie par les conditions des Essais avec un marteau
		Exemple 1 marteau pesant 0,50 kg tombant d'un hâteurde 0,40 m produit une énergie de choc de 2 joules
La correspondance entre les différents degrés de protection est définie par la norme NF C 20-010 la classification des conditions d'environnement pour choix des matériels. En fonction desinfluences externes, est définie par la norme NF C 15-100, section 512, tableau		

Tableau A-5-a : CLASSE DE L'ISOLEMENT

Class de l'isolement	Echauffement limite Δt ($sit_0$40 °C) ta : Température Ambiante	Température limite ta + Δt(ta=40 °C)
Classe : AClasse : EClasse : BClasse : F Classe : H	60 °C 75 °C 80 °C 100 °C 125 °C	100 °C 115 °C 120 °C 140 °C 165 °C
		Amplitude ≤1000 m ta≤40 °C

Tableau : A.5 :la courbe magnétisante pour les dents du moteur asynchrone.

B .Tn	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H .A/M									
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	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	2890	3020
2	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2,1	5140	6440	5740	6050	6360	6670	7120	7570	8020	8470
2,2	8920	9430	9940	10460	10980	11500	12000	12600	13200	13800
2,3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

Tableau : A-6 la courbe magnétisante pour la culasse

B .Tn	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	66	66	67	69	71	72	74	76	78
0,6	80	81	83	85	87	89	91	93	95	97
0,7	100	102	104	106	108	111	113	115	118	121
0,8	124	126	129	132	135	138	140	143	146	149
0,9	152	155	158	161	164	168	171	174	177	181
1	185	188	191	195	199	203	206	209	213	317
1,1	224	225	229	233	237	241	245	249	253	257
1,2	262	267	272	277	283	289	295	301	307	313
1,3	320	327	334	341	349	357	365	373	382	391
1,4	400	410	420	430	440	450	464	478	492	500
1,5	520	542	664	586	608	630	651	678	702	726
1,6	760	788	826	864	902	940	982	1090	1070	1110
1,7	1150	1220	1290	1360	1430	1500	1100	1700	1800	1900
1,8	2000	2160	2520	2490	2050	2810	2900	3110	3270	3120
1,9	3570	3800	4030	4260	4400	4720	4930	5140	5350	5960
2	5770	6000	6500	6600	7000	7400	7900	8400	9000	9700

Tableau 7-1 Marque de tôles

Marque de tole	ΔP1, 0/50, W/kg	β
2013, 2011 ,2211 2312 2411	2,5 – 2,6 1,75 1,6	1,5 1,4 1,3

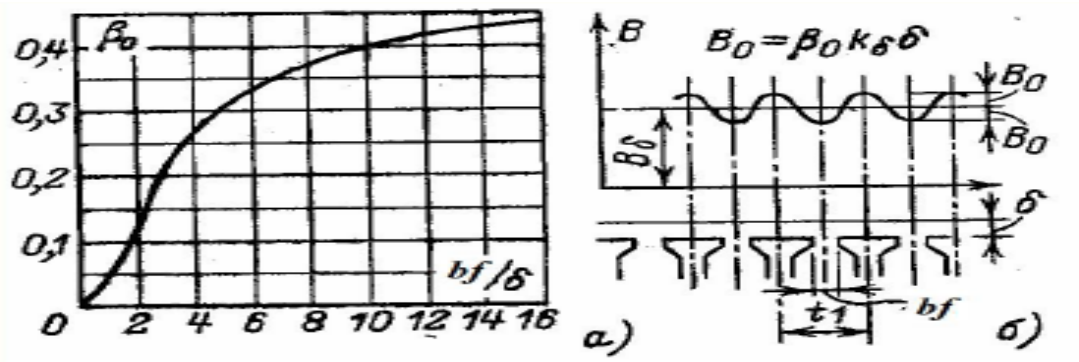


Figure. A-7 Choix de β_0 et B_0

Tableau A-7 choix de nombre d'encoches du rotor

2P	Z1	Nombre d'encoches du rotor	
		Encoche inclinée	Encoche droite
4	12	9*	15*
	18	10*; 14*	18*,22*
	24	15 *; 16*; 17; (32)	16, 18, (20), 30, 33, 34, 35,36
	36	26; 44; 46	(24), 27, 28, 30, (32), 34, 45,48
	42	(34); (50); 52; 54	(33), 34, 38, 51,53
	48	34; 38; 56; 58; 62; 64	36, 38, 39, 40, 44, 57,59
	60	50, 52, 68,70 ,74	48, 49, 51, 56, 64, 69,71
	72	62, 64, 80, 82,86	61, 63, 68, 76, 81,83

Remarque :

1- Le nombre en parenthèse peut augmenter la vibration de la machine

2- Le nombre avec * est utilisé aux moteurs de petite puissance