

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie électrique et d'informatique
Département d'électrotechnique



MEMOIRE

De Fin D'études

*En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en électrotechnique*

Option : Machines Electriques

Thème :



Proposé et Dirigé par :
Mr : S. OULD -OUALI
Mr : H. MOHELLEBI

Réalisé par :
M^{lle} : ADRYEN Kahina
M^{lle} : GACEM DJOUHER



Remerciements

Nous remercions en premier lieu Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier de manière très particulière et à exprimer notre profonde reconnaissance à M'. MOHELLEBI Hassane : professeur à l'université de Tizi-Ouzou pour son aide précieuse et de nous avoir orientées au long de notre travail.

Nos remerciements vont également à notre promoteur M'. OULD OUALI S. maitre de conférences à l'UM MTO de nous avoir proposé un thème aussi riche et intéressant.

Nous voudrions aussi exprimer notre véritable reconnaissance pour la disponibilité et la précieuse aide de M'. HOCINI Farid enseignant à l'UM MTO.

Nous exprimons aussi notre gratitude et notre reconnaissance aux membres de jury, d'avoir accepté de participer au jury :

Sans oublier les tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, et tous ceux qui nous ont aidées.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ø *Mes parents*

Ø *Mes frères : Makhloof, Akli et Mustapha*

Ø *Mes sœurs : Lamia et Assia et leurs maris*

Ø *Tous mes cousins et cousines*

Ø *Mes tantes et oncles surtout khali Hocine*

Ø *Tous mes amis (ies) :Djouher, Safia, Nabila, Fetta, Kahina , Salima,*

Lynda(s), Boulahnak, Myriem, Joseph,Tbib, Zazi, Fadila, Lyes, Chef,

Fatiha(s), Nadia, Abdesselam, Hmidouche,

Ø *Mon binôme djouher*

Ø *Toute la promotion électrotechnique (2010-2011)*

Ø *Et à tous ceux qui m'ont soutenue*

Kahina

D é d i c a c e s

Je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon père qui m'a toujours conseillée et protégée.
Repose en paix mon père tu es à jamais vivant dans nos cœurs en
gardant de toi ta générosité, ton grand amour, que dieu tout puissant
t'accueille en son vaste paradis ;

Celle qui ma toujours bercée avec l'amour et l'affection, ma mère ; ☺ ☺

Mes frères : Saïd et Redouane

Mes sœurs : Karima, Ghalia et son mari, Lynda et son mari.

Mes très chers neveux : Sid Ahmed et Yahia.

A ma chère amie Louiza.

Tous mes cousins et cousines.

Tous mes amis (ies) : Wassila, Ourida, Ghania, Kahina, Fatima , ☺

*Hassina, Abdessalem, Massi(s), Madjid, Amar, Djouher, Chef, Fatima, ☺
Nadia.*

Mon binôme Kahina.

Toute la promotion électrotechnique (2010-2011). ☺

Et à tous ceux qui m'ont soutenue.

Djouher

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les ascenseurs	
I-Etude de l'entraînement d'un ascenseur.....	3
I-1 Aspects techniques.....	4
I-2 Familles d'ascenseur.....	4
I-2-1 Ascenseur hydraulique.....	5
I-2-1-1 Principe	5
I-2-1-2 Description.....	5
I-2-1-3 Avantages et inconvénients.....	6
I-2-2 Les ascenseurs à traction à câble.....	6
I-3 Les critères de choix du type d'ascenseur.....	7
I-4 Construction des ascenseurs.....	7
I-4 -1 Introduction.....	7
I-4-2 Description des parties en gaine.....	8
I-4-2-1 Cabine ou benne.....	8
I-4-2-2 Contre –poids.....	9
I-4-2-3 Câbles.....	9
I-4-2-4 Guides.....	10
I-4-2-5 Amortisseurs.....	10
I-4-2-6 Came mobile ou lève came.....	10
I-4-2-7 Portes palières.....	10
I-4-2-8 Autres organes situés dans la gaine.....	10
I-4-3 Description des parties en machinerie.....	11
I-4-3-1 Le treuil.....	11
I-4-3-2 Limiteur de vitesse.....	12
I-4-3-3 Appareillage éclectique (armoire).....	12

I-5 Classification des ascenseurs.....	13
I-5-1 Introduction.....	13
I-5-2 Les bases de classification des ascenseurs.....	16
I-5-2-1 Suivant la charge et la vitesse.....	16
I-5-2-2 Suivant la constitution des machines de traction.....	16
I-5-2-3 Suivant les éléments de traction.....	17
I-6 Principe de fonctionnement.....	17
I-6-1 Conditions d'emploi.....	17
I-6-2 Avantages et inconvénients des ascenseurs.....	18
Chapitre II : Dimensionnement de la feuille statorique et rotorique	
II-1 Introduction.....	19
II-2 Constituants du moteur asynchrone.....	19
II-3 Description.....	20
II-3-1 Puissance électromagnétique.....	21
II-3-2 Force électromotrice.....	21
II-3-3 le facteur de bobinage.....	21
II-3-4 la longueur virtuelle de la machine.....	22
II-3-5 Coefficient de longueur.....	23
II-3-6 Charge linéaire.....	23
II-3-7 Le choix du diamètre extérieur du stator.....	24
II-3-8 Diamètre intérieur du stator.....	24
II-3-9 Induction magnétique dans l'entrefer.....	24
II-3-10 Constante d'Arnold.....	24
II-3-11 Paramètre d'enroulement statorique.....	25
II-3-11-1 Paramètres de l'exécution du bobinage statorique.....	25
II-3-11-2 Choix d'enroulement statorique.....	26
II-3-12 Choix du type d'encoche.....	26

II-3-13 Pas dentaire.....	26
II-3-14 Calcul du courant de l'enroulement statorique.....	26
II-3-15 Nombre de conducteurs effectifs dans une encoche.....	26
II-3-16 Nombre de spires par phase.....	27
II-3-17 Nombre total de conducteurs.....	27
II-3-18 Nombre de conducteurs par encoche.....	27
II-3-19 Section effective des conducteurs.....	27
II-4 Dimensionnement de la feuille statorique.....	28
II-4-1 Largeur de la dent.....	28
II-4-2 Hauteur du dos statorique	28
II-4-3 Hauteur de la dent statorique.....	28
II-4-4 Largeur minimale de l'encoche	28
II-4-5 Largeur maximale de l'encoche.....	29
II-4-6 Hauteur de l'encoche statorique.....	29
II-4-7 Section occupée par les conducteurs	29
II-4-8 Coefficient de remplissage.....	30
II-4-9 Vérification des charges électromagnétiques.....	30
II-5 Entrefer.....	32
II-6 Dimensionnement du rotor.....	32
II-6-1 Choix du nombre d'encoches rotoriques.....	32
II-6-2 Diamètre extérieur du rotor.....	32
II-6-3 Pas dentaire rotorique.....	33
II-6-4 Dimensionnement de la tôle rotorique.....	33
II-6-5 Section de la barre.....	35
II-6-6 Densité du courant dans la barre.....	35
II-6-7 Dimensionnement de l'anneau de court circuit.....	35
Chapitre III : Calcul électromagnétique	

III-1 Introduction.....	40
III-2 Calcul du circuit magnétique.....	41
III-2-1 Fmm dans l'entrefer.....	41
III-2-2 Fmm dans la dent du stator.....	41
III-2-3 Induction dans la dent du stator.....	42
III-2-4 Fmm dans la dent du rotor.....	42
III-2-5 Induction dans la dent du rotor.....	42
III-2-6 Fmm dans la culasse du stator.....	42
III-2-7 Induction dans la culasse du stator.....	43
III-2-8 Fmm dans la culasse du rotor.....	43
III-2-9 Induction dans la culasse rotorique.....	43
III-2-10 Coefficient de saturation.....	43
III-2-10-1 Coefficient de saturation des dents.....	43
III-2-10-2 Coefficient de saturation de la machine.....	44
III-2-11 Courant magnétisant.....	44
III-3 Calcul des paramètres électriques.....	44
III-3-1 Paramètres électriques du stator.....	44
III-3-1-1 Réactance de fuite totale.....	44
III-3-1-2 Réactance magnétisante.....	46
III-3-1-3 Coefficient de dispersion magnétique du stator.....	46
III-3-1-4 Force électromotrice à vide.....	47
III-3-1-5 Résistance active d'une phase statorique.....	47
III-3-2 Paramètres électriques du rotor.....	47
III-3-2-1 Réactance de fuite rotorique	47
III-3-2-2 Coefficient de permeance du rotor.....	47
III-3-2-3 Réactance du rotor ramenée au stator.....	49
III-3-2-4 Résistance active de la barre.....	49

III-3-2-5	Resistance de l'anneau.....	50
III-3-2-6	Resistance de l'anneau ramenée à la barre.....	50
III-3-2-7	Resistance d'une phase rotorique.....	50
III-3-2-8	Resistance d'une phase rotorique ramenée au stator.....	50
III-3-3	Les paramètres électriques au démarrage.....	50
III-3-3-1	Profondeur de pénétration	51
III-3-3-2	Largeur de la limite de pénétration.....	51
III-3-3-4	Resistance de la barre au démarrage.....	51
III-3-3-5	Resistance de la cage au démarrage.....	51
III-3-3-6	Réactance de fuite au démarrage.....	52
III-3-3-7	Réactance de fuite au démarrage ramenée au stator.....	52
Chapitre IV : Etude des performances d'un moteur asynchrone		
IV-1	Bilan des puissances	57
IV-1-1	Puissance reçue ou absorbée.....	58
IV-1-2	Les pertes magnétiques principales statoriques (pertes fer).....	58
IV-1-3	Les pertes éclectiques statoriques (pertes joules).....	59
IV-1-4	Puissance électromagnétique.....	59
IV-1-5	Les pertes électriques rotoriques (pertes joules).....	60
IV-1-6	Puissance mécanique	60
IV-1-7	Pertes rotoriques.....	60
IV-1-8	Pertes mécaniques	60
IV-1-9	Pertes supplémentaires.....	61
IV-1-10	Pertes totales.....	61
IV-1-11	Puissance utile.....	61
IV-2	Resistance de magnétisation.....	61
IV-3	Le facteur de puissance.....	61
IV-4	Rendement du moteur.....	62

IV-5 Couple du moteur.....	63
IV-5-1 Couple utile.....	63
IV-5-2 Couple transmis.....	63
IV-5-3 Caractéristique : couple- glissement du moteur.....	64
IV-5-4 calcul du couple de l'ascenseur étudié.....	65
IV-5-4-1 Le diamètre de l'arbre.....	65
IV-5-4-2 couple de l'ascenseur.....	66
IV-5-4-3 Poids du rotor.....	66
IV-6 Réglage de la vitesse du moteur asynchrone.....	66
Conclusion générale.....	68
Programme de calcul informatique	
Annexes	
Références bibliographiques	

Cahier des charges du moteur asynchrone

Type d'ascenseur : Monte malade KONE (à chu NEDIR MOHAMMED de TIZI OUZOU) ;

Puissance nominale : $P=7.5 / 1.8$ [Kw] ;

Vitesse de rotation : $N=1350 / 300$ [Tr/min] ;

La vitesse : $V=0.53/0.60$ [m/s] ;

Tension nominale : $U=380$ [V] ; couplage YY ;

Courant nominal : $I=20/113.5$ [A] ;

Facteur de puissance : $\cos\varphi=0.75/0.44$;

La fréquence : $f=50$ [Hz] ;

Introduction générale

Introduction générale

Depuis la plus haute antiquité, les hommes ont cherché un moyen mécanique leur permettant de réduire considérablement les efforts nécessaires au déplacement des charges dans le sens vertical. Grâce à l'invention de l'américain Elisha OTIS que naît véritablement le concept d'ascenseur moderne.

L'ascenseur est un dispositif mobile assurant le déplacement des personnes et des objets en hauteur sur des niveaux définis d'une construction, d'une façon rapide et confortable et une précision éprouvée.

Dans les moindres détails, l'ascenseur répond à tous les critères d'exigence, en particulier des établissements de santé : hôpitaux, cliniques, établissement pour personnes âgées et pour enfants. Au démarrage, pendant le trajet, et au moment de l'arrêt, les mouvements de la cabine sont à peine perçus. Une performance persuasive.

« Toujours plus vite, toujours plus haut », telle est la devise des inventeurs qui ne cessent des lors de multiplier les installations.

L'entraînement électrique des ascenseurs est assuré par des moteurs asynchrones, vu leur simplicité de construction, leur faible coût d'exploitation ainsi que leur robustesse, les moteurs asynchrones, en général et les moteurs à cage d'écureuil en particulier, sont largement utilisés. Leurs domaines d'application sont aussi vastes que variés : industriels, domestiques et agricoles. Le calcul complet du moteur à induction demeure complexe, il n'existe de théorie pour ce calcul mais plutôt des méthodes de calcul plus au moins précises. Ces méthodes reposent principalement sur des formules semi-empiriques développées en jumelant la connaissance de la théorie et la pratique.

Dans le cadre de notre travail, il nous a été confié la conception d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil destiné à l'entraînement électrique d'un ascenseur en milieu hospitalier (7.5KW, 1350tr/mn).

Pour ce faire nous avons réparti notre travail en cinq chapitres, en commençant par une introduction générale.

Le premier chapitre est consacré à la définition d'ascenseur et ses composants.

Le deuxième chapitre est consacré au dimensionnement de la feuille statorique et rotorique.

Le troisième chapitre est consacré au calcul électromagnétique.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des performances du moteur : rendement, $\cos\varphi$ et la régulation de vitesse.

Le cinquième chapitre est consacré à l'élaboration d'un programme de calcul sous matlab.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les ascenseurs

I-Etude de l'entraînement d'un ascenseur

Longtemps considéré comme un luxe, l'ascenseur est devenu de nos jours un élément indispensable de la vie quotidienne.

- Un appareil est dénommé « ascenseur » si sa cabine reçoit des passagers
- Un appareil est dénommé « monte charge » si sa cabine est conçue de telle manière qu'une personne ne peut y pénétrer.[2]

Si, depuis des siècles, des lieux inaccessibles comme les monastères grecs situés dans la région des météores ne pouvaient exister que grâce à des ascenseurs rudimentaires "sans moteur", c'est dans les mines qu'on situe en général leur apparition.

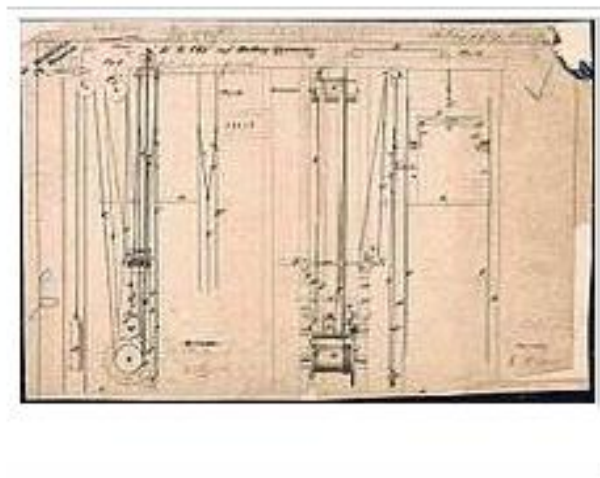


Fig.I-1-Schéma de l'ascenseur d'Otis

En 1853, c'est un Américain, Elisha Otis, qui le dota d'un système de limiteur de vitesse déclenchant un système appelé parachute, stoppant la cabine et assurant la sécurité des personnes en cas de rupture du câble, et permettant, dès 1857 d'en équiper un bâtiment à New York.

En 1864, l'ingénieur français LEON EDOUX le dotera d'un moteur hydraulique et inventera le mot ascenseur.

En 1880 c'est en Allemagne cependant qu'on pensera à un ascenseur électrique, les moteurs électriques et transformateurs se développant pour l'industrie et la traction ferroviaires qui ont utilisé le câble et le treuil fixe pour tracter les trains à locomotive pour monter les fortes côtes.

En 1889, la tour Eiffel est inaugurée avec un ascenseur remarquable (la hauteur de 160.40 mètres, vitesse de 0.80m/s), du aux efforts conjoints de LEON EDOUX et des frères OTIS qui ont succédé à leur père.

Ce n'est qu'en 1924 qu'un ascenseur sans liftier (machiniste) fera son apparition exigeant la mise au point d'automatisme et de dispositif de sécurité. Les commandes deviennent électriques, puis électroniques et se dotent de mémoire. Les grilles fixes ou articulées disparaissent, les portes se verrouillent automatiquement... etc.

Actuellement de nouvelles technologies utilisent un moteur contrôlé par un variateur de fréquence qui joue sur la fréquence du courant d'alimentation et mesure le couple nécessaire au mouvement de manière à ce que les phases d'accélération et de décélération soient imperceptibles pour l'occupant de la cabine. Ils se nomment Gen II pour Otis, monospace ou Regenerate chez Koné, Galaxie chez Thyssen, Smarts chez Schindler.[1]

I-1-Aspects techniques

Un ascenseur se compose d'une cabine qui se translate dans une gaine (aussi appelée trémie) généralement verticale. Cette cabine est supportée dans une structure parallélépipédique appelée étrier, ou arcade permettant le guidage et le support de la cabine. Le guidage de la cabine est réalisé par différents éléments :

- **Une partie fixe** : les deux guides sont situés le long de la course de la cabine, de part et d'autre de la cabine. Ces guides ont habituellement une forme de T, bien que les guides fussent utilisés.
- **Une partie mobile** : les coulisseaux sont situés à chaque coin de l'étrier, et sont en appui sur les guides. Durant le déplacement de la cabine, ceux –ci glissent sur les guides

I-2Famillesd'ascenseur

On distingue essentiellement deux types de familles d'ascenseur :

- Les ascenseurs à traction à câble ;
- Les ascenseurs hydrauliques.

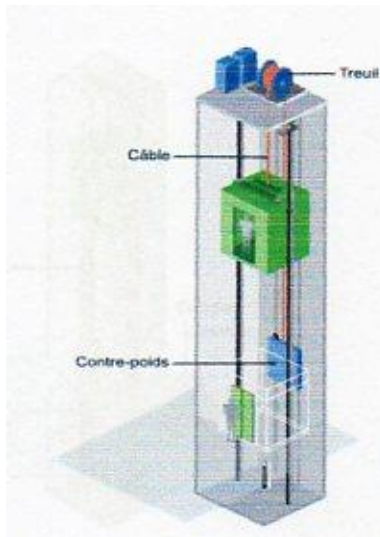


Fig.-I-2-ascenseur à câbles

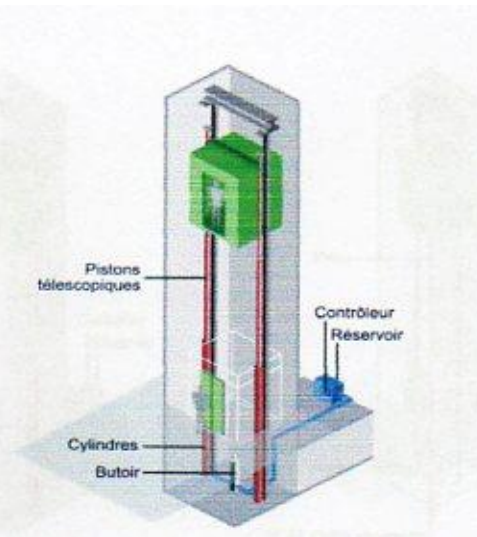


Fig.-I-3- ascenseur hydraulique.

I-2-1-Ascenseurs hydrauliques

I-2-1-1- Principe

Comme toute machine hydraulique, la pompe met sous pression l'huile qui pousse le piston hors du cylindre vers le haut. Lorsque la commande de descente est programmée, le by-pass (vanne) de la pompe permet de laisser sortir l'huile du cylindre vers le réservoir.

I-2-1-2-Description

Les ascenseurs hydrauliques sont utilisés en général pour satisfaire des déplacements relativement courts de l'ordre de 15 à 18 mètres maximum. Plusieurs modèles existent sur le marché. On citera les ascenseurs hydrauliques :

- à cylindre de surface ;
- à cylindre enterré ;
- télescopique à cylindre de surface.

Les ascenseurs hydrauliques se composent principalement :

- D'une cabine ;
- De guides ;
- D'un ensemble pistons-cylindres hydrauliques placé sous la cabine de l'ascenseur ;
- D'un réservoir d'huile ;
- D'un moteur électrique accouplé à une pompe hydraulique ;
- D'un contrôleur.

I-2-1-3-Avantages et inconvénients

Avantages

- Précision au niveau du déplacement (mise à niveau) ;
- Réglage facile de la vitesse de déplacement ;
- Ne nécessite pas de cabanon de machinerie ;
- Implantation facile dans un immeuble existant.

Inconvénients

- Course verticale limitée à une hauteur entre 15 et 18 mètres ;
- Risque de pollution des sous-sols ;
- Consommation énergétique importante : les ascenseurs hydrauliques posent un problème dans le sens où il n'y a pas de contre poids qui équilibre la cabine comme dans les systèmes à traction à câble ;
- Nécessite de renforcer la dalle de sol.

I-2-2-Les ascenseurs à traction à câbles

Description

Les ascenseurs à traction à câble sont les types d'ascenseurs que l'on rencontre le plus, notamment dans les bâtiments tertiaires. Ils se différencient entre eux selon le type de motorisation, et on distingue :

- A moteur treuil à vis sans fin ;
- A moteur treuil planétaire ;
- A moteur à attaque directe (couramment appelé « Gearless » ou sans treuil).

I-3-Les critères de choix du type d'ascenseur

En général, les dépenses énergétiques des ascenseurs ne sont pas la priorité des gestionnaires de bâtiment tertiaire. En effet, la préoccupation première reste avant tout : emmener un maximum de monde en toute sécurité avec un maximum de confort. On retrouve des critères de choix :

- Constructifs : hauteur de bâtiment, espace disponible au niveau des étages, possibilité de placer une salle de machine au sommet de gaine, stabilité du terrain de sécurité.
- Organisationnels : comme le type de fonction du bâtiment, son occupation et son type de fonctionnement.
- Énergétique : basées essentiellement sur la consommation et les appels de puissance de la motorisation.[2]

I-4-Construction des ascenseurs

I-4-1-Introduction

Les diverses pièces d'un ascenseur, se situent en effet en deux endroits nettement distincts et ayant chacun leur destination propre[3] :

- La gaine où s'effectue le déplacement ;
- La machinerie qui crée le déplacement.

Les parties constitutives de la gaine sont :

- La cabine et ses accessoires ;
- Le contrepoids ;
- Les câbles de suspension et du régulateur ;
- Les guides de cabine et de contrepoids ;
- La came mobile ou lève-came ;
- Les portes ;
- Les organes d'arrêt ;
- Des accessoires.

Les parties constitutives de la machinerie sont :

- Le treuil, son moteur et les poulies de renvoi ;

- Le régulateur ;
- Les attaches de suspente ;
- L'appareillage électrique ;
- Les organes d'arrêt.

I-4-2-Description des parties en gaine

I-4-2-1-Cabine ou benne

La cabine d'ascenseur est constituée de quatre parties principales qui, dans l'ordre de leur montage pendant l'installation, sont :

- L'étrier ;
- Le plancher ;
- Les parois ;
- Le toit.

Ø Etrier ou arcade

L'étrier est constitué par deux cadres en acier, réunis entre eux de telle sorte que l'ensemble est symétrique par rapport à l'axe transversal des guides. Chaque cadre comporte une partie inférieure, supérieure et deux traverses horizontales réunies par deux profilés verticaux parallèles aux guides. A la traverse supérieure sont attachées les câbles de suspension. La traverse inférieure comporte en générale une ou plusieurs plaques soudées et les butées des amortisseurs. L'étrier est le premier élément mis en place pendant l'installation de la cabine

Ø Socle ou plate-forme

Le socle de la cabine se monte directement sur les traverses de l'étrier auxquelles il est fixé par des vis. Il est formé également d'un cadre en acier. Sur le socle est disposé le plancher de la cabine, sur lequel sont fixées les parois de la cabine. Le plancher est mis en place en fin de montage.

Ø Parois

Les parois sont les plus souvent en tôles pliées ou en bois. Après assemblage des parois et de l'encadrement de la baie de la cabine, le toit est mis en place.

Ø Toit

Le toit est le plus souvent assemblé en atelier et monté d'un seul bloc. Le toit de la cabine est formé d'un cadre en tôles pliées ou cintrées. Assemblées par soudure électrique.

Ø Accessoires

La cabine comporte, en outre, un certain nombre d'accessoires qui sont :

- Les coulisseaux :

Ils sont placés, deux à la partie supérieure, deux à la partie inférieure de l'arcade. Leurs rôles est d'assurer le positionnement vertical de la cabine pendant son déplacement.

- Les isolateurs :

Ils sont disposés entre la cabine elle-même et l'arcade. Ce sont des tampons de caoutchouc destinés à absorber les vibrations.

I-4-2-2-Contrepoids

Comme pour la cabine, le contrepoids comprend aussi :

Un étrier ;

Des masses de fonte appelées gueuses de contrepoids.

Ø Etrier

L'étrier est, comme celui de la cabine, un cadre en acier comportant une ou deux traverses supérieures auxquelles sont fixés les câbles de suspension.

Ø Gueuses de contrepoids

Les contrepoids sont constitués de gueuses de fonte dont les masses peuvent varier de 25 à 120 Kg.

Ø Accessoires

Les seuls accessoires du contrepoids sont les coulisseaux. Ceux-ci sont analogues à ceux de la cabine, mais de construction beaucoup plus simple.

I-4-2-3-Câbles

Les câbles assurent la liaison entre cabine et contrepoids. Les extrémités des câbles sont reliées, l'une à l'étrier de la cabine et l'autre à l'étrier du contrepoids.

I-4-2-4-Guides

La cabine et le contrepoids circulent le long des guides en acier. On distingue deux types de guides : les guides de cabine et les guides de contrepoids.

I-4-2-5-Amortisseurs

Les amortisseurs sont destinés à assurer le ralentissement et l'arrêt de la cabine. Ils sont placés généralement au fond de la cuvette d'aplomb des traverses des étriers de cabine ou de contrepoids.

Deux types d'amortisseurs sont le plus couramment utilisés :

- Amortisseurs à ressorts ;
- Amortisseurs hydrauliques.

I-4-2-6-Came mobile ou lève-came

La came mobile ou lève-came est l'organe qui effectue automatiquement lors de l'arrêt à un étage le déverrouillage de la porte palière, elle est donc l'auxiliaire de la serrure de la porte palière.

I-4-2-7-Portes palières

La porte est l'élément architectural de l'ascenseur. Elle joue un rôle important dans la sécurité. On distingue deux sortes de portes :

- Portes à commande manuelle ;
- Portes à commande automatique.

La manœuvre des portes s'effectue par un opérateur de porte.

I-4-2-8-Autres organes situés dans la gaine

Ces autres organes sont :

Ø Le parachute

C'est un organe mécanique destiné à arrêter et à maintenir à l'arrêt la cabine ou le contrepoids en cas de survitesse à la descente ou de rupture des organes de suspension.

Ø Les serrures

C'est une serrure automatique qui comporte un contact de condamnation électrique commandé par le verrouillage mécanique lui-même, celui-ci étant effectué préalablement à tout mouvement de la cabine.

Ø Poulie de tension du câble de régulateur

Cette poulie est montée sur un levier muni d'un poids pour maintenir tendu le câble de régulateur placé en machinerie.

Ø Câbles de chaînes de compensation

Ces câbles sont fixés sous la cabine et le contrepoids. Leur rôle est de compenser le déséquilibre provoqué par le poids des câbles de suspension.

Ø Pendentif

C'est un câble électrique souple qui effectue la liaison entre les commandes et sécurités de cabine et l'appareillage de contrôle en machinerie.

I-4-3-Description des parties en machinerie

I-4-3-1-Le treuil

Le treuil entraîne la cabine et le contrepoids dans leurs mouvements. Le treuil est composé des éléments suivants :

Le réducteur ;

Le frein ;

Le moteur ;

La poulie d'adhérence ;

Le contre-palier, s'il existe.

Ø Le réducteur

Le réducteur est formé d'une vis sans fin en acier. La vis sans fin est montée du côté moteur sur un palier lisse en bronze et côté opposé sur une butée à billes à double effet.

Ø Frein monté à la sortie du réducteur

Il est généralement constitué par deux mâchoires articulées, qui viennent serrer un tambour calé sur l'arbre même de la vis sans fin, sans accouplement intermédiaire pour des raisons de sécurité.

Le défreinage est effectué par un électro-aimant qui, lorsqu'il est mis sous tension, écarte les mâchoires et libère le tambour de frein.

L'électro-aimant est actuellement presque toujours alimenté par courant redressé, le redresseur de courant est placé dans l'armoire d'appareillage.

Ø Moteur

Le moteur est l'élément principal de l'entraînement. Il est uni à l'arbre de la vis, après le tambour de frein.

Ø Poulie d'adhérence

Elle est clavetée sur l'arbre de la roue de réducteur. Leur diamètre varie de 400 à 1000 mm.

I-4-3-2-Limiteur de vitesse

Le régulateur ou limiteur de vitesse a pour rôle de provoquer l'action du parachute quand, en descente, la vitesse de la cabine atteint une valeur prédéterminée.

Rappelons en outre que le limiteur de vitesse doit comporter une plaque signalétique précisant les caractéristiques de l'organe d'entraînement.

I-4-3-3-Appareillage électrique (armoire)

Les armoires sont en général en tôle d'acier et munies de portes qui permettent de visiter les divers éléments qui la composent aussi bien de l'avant que l'arrière.

Les armoires renferment les éléments qui contribuent à assurer les commandes : contacteurs de puissance, relais, transformateurs et redresseurs de courant les alimentant.

On peut diviser les constituants d'une armoire, quelque soit le type de manœuvre, en trois parties :

Ø Le bloc d'alimentation

Le bloc d'alimentation est généralement constitué par un ou plusieurs transformateurs et redresseurs. La tension distribuée par le bloc d'alimentation varie suivant les constructeurs. Cette tension se retrouve sur les contacts des diverses boîtes à boutons de commande sur les

paliers ou en cabine, et sur ceux des organes d'arrêt ou de sécurité dispersée dans l'installation.

Ø Circuit de puissance

Les circuits de puissance assurent l'alimentation directe du moteur. Dans tout appareillage, on doit trouver trois contacteurs : l'un destiné à la montée, l'autre à la descente, le troisième en série avec les deux autres sur le circuit d'alimentation. Pour tous ces contacteurs il faut que si un contact « repos » soit fermé, tous les contacts « travail » doivent être ouverts et vice versa.

Ø Relais

Le rôle des relais est essentiel dans la marche de l'appareil. Ce sont eux qui constituent les « fonctions ». [3]

I-5-Classification des ascenseurs

I-5-1-Introduction

Le choix des ascenseurs pour un type quelconque de service, nécessite de prendre en considération les deux facteurs suivants :

- Ascenseur d'un service efficace ;
- Economisassions du choix.

Ces deux facteurs peuvent être indépendants entre eux, et le choix du système parfaits s'effectue par une méthode de calcul utilisant quelques indications et approximations de telle sorte que le résultat soit valable.

Il existe de nombreux types d'ascenseurs électriques, ils diffèrent entre eux suivant le domaine de fonctionnement et leurs utilisations.

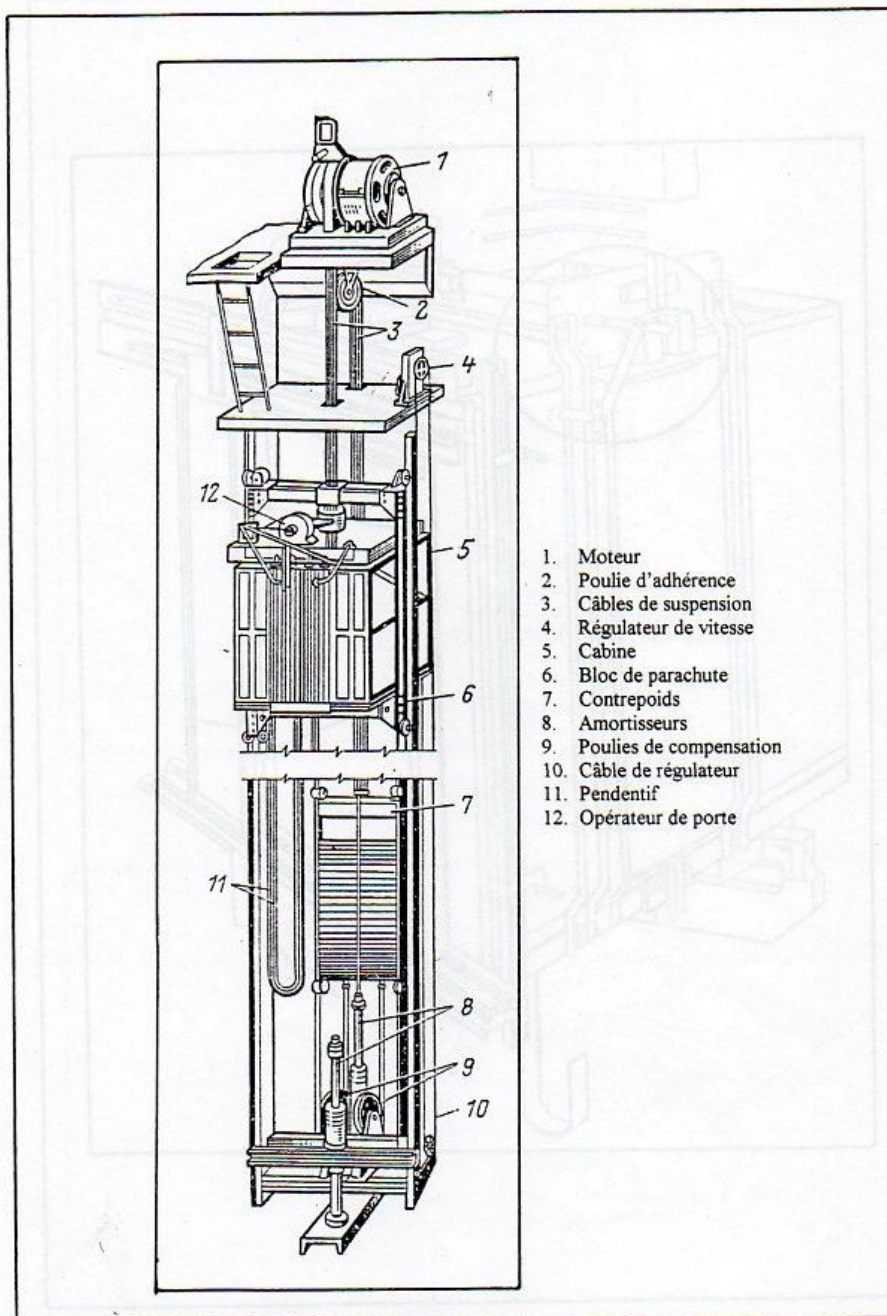


Fig. I-4- vue générale d'un ascenseur

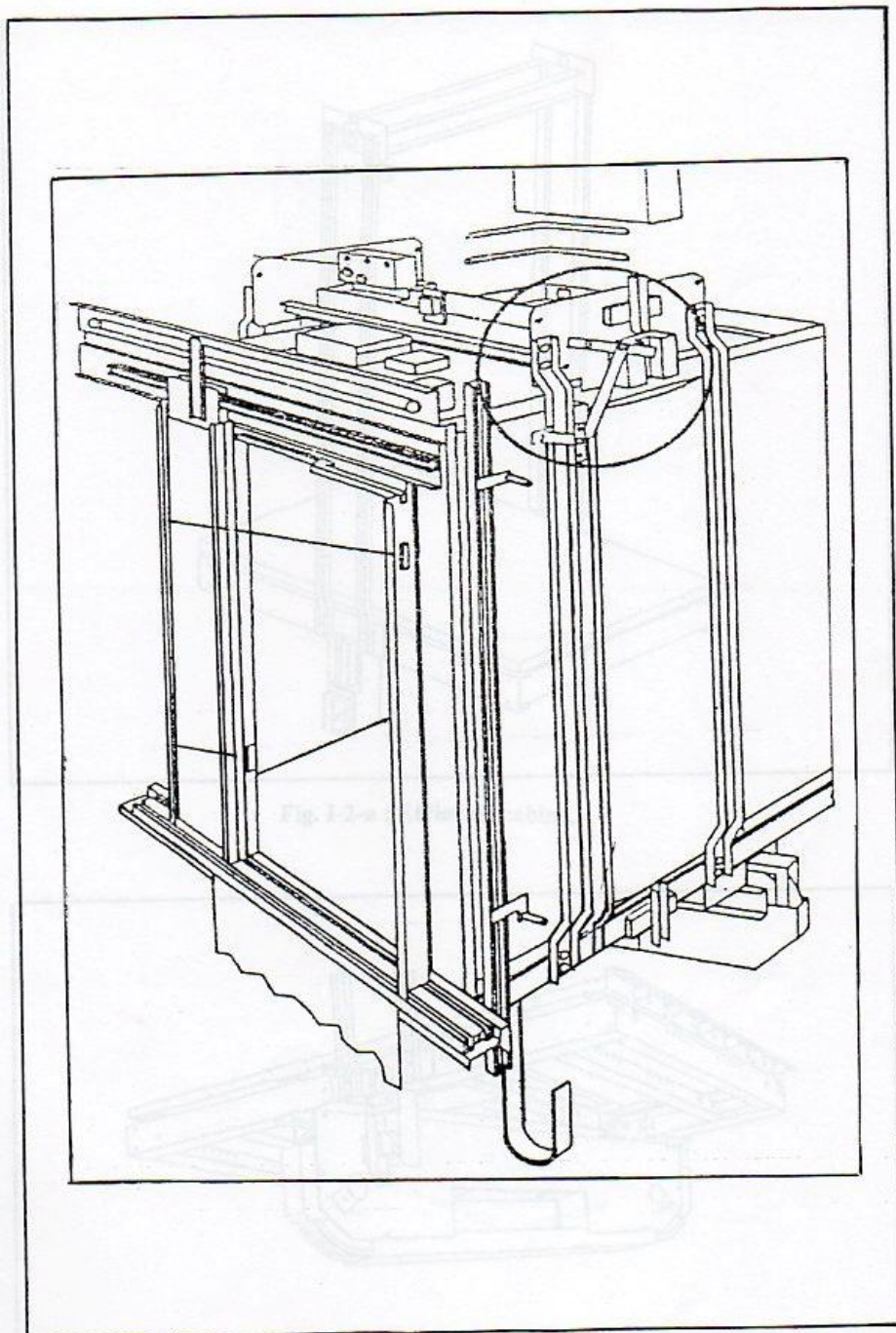


Fig. I-5 Cabine d'ascenseur

I-5-2-Les bases de classification des ascenseurs [3]

I-5-2-1-Suivant la charge et la vitesse

On distingue quatre types :

Ø Ascenseurs des passagers

La charge varie de 500 à 1000Kg, et la vitesse peut prendre les valeurs suivantes : 0.7 et 1 et 1.4 [m/s].

Ø Ascenseurs rapides des passagers

La charge est généralement prise entre 1000 et 1600 Kg, et la vitesse entre 2 et 4 [m/s].

Ø Ascenseurs des charges

La charge peut prendre les valeurs : 500, 1000, 2000, 3200, et 5000 Kg, et la vitesse varie entre 0.25 et 0.5 [m/s]est particulièrement utilisée pour la charge 5000 Kg

Ø Ascenseurs des petites charges

La charge varie de 100 à 160 Kg, et la vitesse égale 0.5 [m/s]. Il existe d'autres types d'ascenseurs, comme ceux utilisés dans les usines de voitures, les ports...etc.

I-5-2-2- suivant la constitution des machines de traction

Les machines de traction peuvent être à entraînement direct sans ou avec réducteur de vitesse.

Ø Machines de traction sans réducteur de vitesse

Elles sont constituées d'un moteur à courant continu, son axe est relié directement à l'élément de traction (poulie en enroulement), qui tourne à la même vitesse que celle du moteur, cette vitesse est généralement supérieur à 1.8 [m/s].

L'utilisation des machines de traction sans réducteur de vitesse, donc de diminuer les pertes d'énergie.

Ø Machines de traction avec réducteur de vitesse

Dans ce genre de machines, l'axe extérieur du réducteur est relié à l'axe de l'élément de traction, et l'autre coté de réducteur est relié au moteur.

On utilise pour ce type, les moteurs à courant continu ou alternatif, mais généralement, les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit à une ou deux vitesses sont plus souvent utilisés pour obtenir une grande précision d'arrêt.

I-5-2-3- Suivant les éléments de traction

On distingue deux éléments de traction :

Ø La poulie d'adhérence

Le moment de rotation du moteur entraîne la poulie d'adhérence à travers le réducteur de vitesse (s'il existe) afin qu'il entraîne les câbles.

Ø L'enroulement

Il existe deux types d'enroulement :

- Enroulement à un seul coté ;
- Enroulement à deux cotés.

I-6-Principe de fonctionnement

La cabine est suspendue à un câble qui s'enroule sur une poulie à gorge et dont l'autre extrémité porte un contre poids. Le moteur entraîne la poulie par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse ; la poulie entraîne le câble par adhérence. La cabine est équilibrée à demi-charge par le contre poids ; il suffit donc d'un couple relativement pour mettre en mouvement la cabine ; la charge est positive pour la montée en charge et la descente à vide ; elle est négative dans le cas contraire.

I-6-1-Conditions d'emploi

Le fonctionnement est intermittent, avec charge variable ; le moteur doit effectuer de nombreux démarrages, et fonctionner en régime normal pendant un temps très court, ce qui

conduit à son échauffement. Le fonctionnement doit être doux, silencieux, l'appel de courant au démarrage doit être faible.

I-6-2-Avantages et inconvénients des ascenseurs

Avantages

- Course verticale pas vraiment limitée ;
- Suivant le type de motorisation précision au niveau de la vitesse et du déplacement ;
- Rapidité de déplacement ;
- Efficacité énergétique importante ;
- Pas de souci de pollution

Inconvénients

- Exigence très importante sur l'entretien.

Chapitre II

Dimensionnement de la feuille statorique et rotorique

II-1-Introduction

Les moteurs à induction triphasés sont les moteurs employés le plus fréquemment dans l'industrie. Ils possèdent en effet plusieurs avantages : simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien facile. Cependant, ces moteurs ont une vitesse pratiquement constante et ils se prêtent assez mal au réglage de la vitesse ; pour cette raison, on les préfère habituellement aux moteurs à courant continu lorsqu' on veut obtenir une grande variation de vitesse. Toutes fois il existe aujourd'hui des systèmes d'entraînement électronique qui permettent de faire varier la vitesse des moteurs d'induction commerciaux. [8]

II-2-Constitution du moteur asynchrone

Le moteur à induction triphasé (souvent appelé moteur asynchrone triphasé) comprend deux parties : le stator (fixe) et le rotor (tournant). [8]

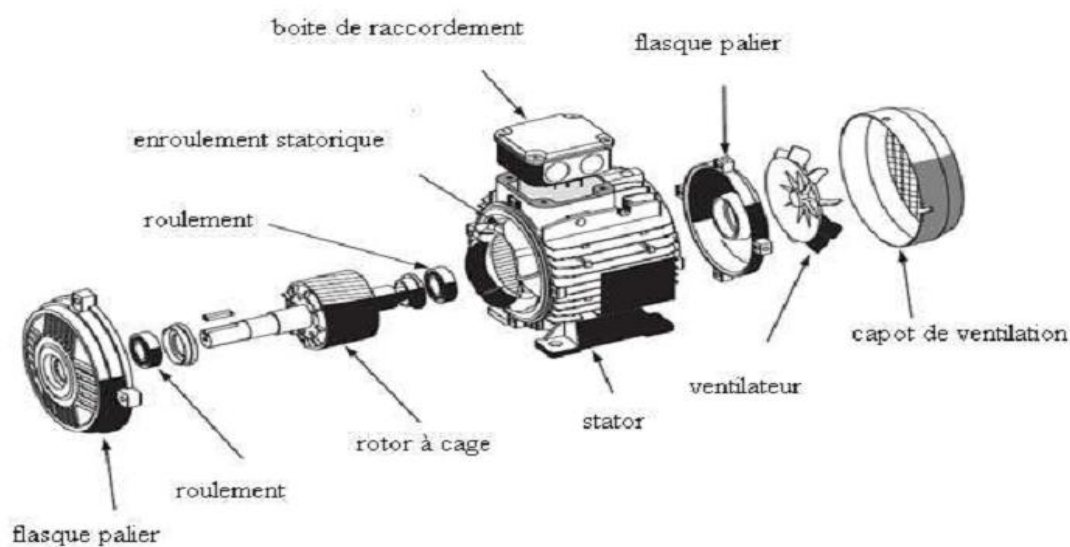


Fig. II-1- constitution d'un moteur asynchrone à cage

- **Le stator :** il comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles identiques qui constituent un cylindre vide ; ces tôles sont percées de trous à leur périphérie intérieure. L'alignement de ces trous forment des encoches dans les quelles on loge un bobinage triphasé.



Fig. II-2- Stator d'un moteur asynchrone.

- **Le rotor** : il se compose d'un cylindre de tôles poinçonnées à leur périphérie extérieure pour former des encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court (de l'ordre de 0.4 à 2mm seulement). Il existe deux types de rotor : le rotor à cage d'écureuil et le rotor bobiné.



Fig. II-3- rotor à cage d'écureuil.

L'enroulement du rotor à cage d'écureuil est constitué de barres de cuivres nues introduites dans les encoches ; ces barres sont soudées ou rivées à chaque extrémité à deux anneaux qui les court-circuitent. L'enroulement ressemble à une cage d'écureuil d'où le nom de rotor à cage d'écureuil. Dans les moteurs de petites et moyennes puissances les barres et les anneaux sont formées d'un seul bloc d'aluminium coulé.

Le rotor bobiné comprend un bobinage triphasé. Semblable à celui du stator ; placé dans les encoches. Il est composé de trois enroulements à raccorder en étoile ; l'extrémité libre de chaque enroulement est reliée à une bague tournant avec l'arbre. Ces bagues permettent par l'intermédiaire de trois balais d'insérer une résistance extérieure avec chacun des trois enroulements lors du démarrage du moteur. En fonctionnement normal les trois balais sont court-circuités.

II-3-Description

Déterminer les dimensions des différentes parties de la machine, en incluant dans ce calcul les contraintes électromagnétiques.

II-3-1- Puissance électromagnétique

C'est la puissance transmise du stator vers le rotor à travers l'entrefer, lors du fonctionnement du moteur, Elle est définie comme suit :

$$p_{in} = K_E * \frac{P_n}{\eta * \cos \varphi} \quad [\text{Kw}] \quad (\text{II-1})$$

K_E : Coefficient de majoration de la fem (0.9 ÷ 0.98)

$\cos \varphi$: facteur de puissance du moteur.

η : Le rendement du moteur.

II-3-2-Force électromotrice

Généralement la fem est donnée par :

$$E_1 = 4 * K_f * K_{en1} * f * w_1 * \Phi \quad (\text{II-2})$$

K_f : Facteur de forme de l'induction dans l'entrefer ($K_f=1.11$)

f : La fréquence du réseau d'alimentation.

w_1 : Le nombre de spires en série d'une phase de l'enroulement statorique

k_{en1} : Facteur de bobinage

Φ : Le flux utile par pôle.

II-3-3-Le facteur de bobinage

Le facteur de bobinage est défini comme étant le produit de trois facteurs : le facteur de distribution, le facteur de raccourcissement et le facteur d'obliquité.

$$K_{en1} = K_{d1} * K_{r1} * K_{ob} \quad (\text{II-3})$$

K_{d1} : Facteur de distribution pour le fondamental, il est donné par

$$K_{d1} = \frac{\sin(\frac{\theta}{2})}{q_1 \sin(\frac{\theta}{2*q_1})} \quad (\text{II-4})$$

Avec :

$$\theta = \frac{2*\pi*p*q_1}{z_1}$$

q_1 : Nombre d'encoche par pôles et par phases

z_1 : Nombre d'encoches statoriques.

K_{r1} : Facteur de raccourcissement pour le fondamental ;il est donné par :

$$K_{r1} = \sin \beta \frac{\pi}{2} \quad (\text{II-5})$$

Avec :

$\beta = \frac{y_1}{\tau}$: Le pas relatif

y_1 : Le pas d'enroulement

τ : Le pas polaire, il est donné par

$$\tau = \frac{\pi * D_1}{2 * p} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-6})$$

P : Nombre de paires de pôles.

K_{ob} : Coefficient d'obliquité des encoches rotoriques

$$K_{ob} = \frac{\sin(\alpha_{ob}/2)}{(\alpha_{ob}/2)} \quad (\text{II-7})$$

$$\alpha_{ob} = \frac{2 * \pi * p * B_{ob}}{z_2} \quad (\text{II-8})$$

K_{ob} : Est donné en fonction de α_{ob} par le tableau (A7) (voir annexe).

$$K_{ob} \approx 1$$

II-3-4-La longueur virtuelle de la machine

La longueur virtuelle de la machine L_i est déterminée à partir de la relation suivante :

$$L_i = \frac{6.1 * 10^{12} * p_{in}}{\alpha_i * K_f * K_{en1} * n * D_1^2 * A_1 * B_\delta} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-9})$$

Avec :

α_i : Le coefficient de recouvrement polaire ; $\alpha_i = \frac{2}{\pi}$

n_s : Vitesse de synchronisme ; $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$ [tr/mn]

A_1 : Charge linéaire (300 :350) 10^2 [A/m].

D_1 : Diamètre intérieur du stator [mm] .

B_δ : Induction dans l'entrefer [T] , elle est donnée en fonction du diamètre extérieur (voir figure Fig. A5)(en annexe).

II-3-5-Coefficient de longueur λ

Ce coefficient est défini en fonction du nombre de paires de pôles. Si λ est petit la machine aura un grand flux (ϕ) par rapport à la longueur et cela conduit à une consommation exagérée du cuivre. Une grande valeur de Φ convient pour les machines lentes. En conclusion, λ est un paramètre dont le choix doit être optimisé.

$$\lambda = \frac{L_i}{D_1}$$

Si $\lambda < 1$ la machine est plate.

$\lambda > 1$ la machine est longue.

$\lambda \in [0.4 \div 1.3]$

Remarque :

La longueur L_i tient compte de l'interruption du fer due aux canaux de ventilation, ainsi que des lignes de champs qui se développent sur les surfaces frontales extérieures.

Les moteurs à moyennes puissances ne nécessitent pas de canaux de ventilation. Ces derniers présentent également un inconvénient : Ils affaiblissent les tôles qui perdent au fur et à mesure leurs caractéristiques magnétiques (augmentation des pertes par hystérésis et les pertes par courant de FOUCAULT) et engendrent une diminution du flux.

Dans notre cas, nous poserons $L_i \approx L_{Fe}$ où L_{Fe} désigne la longueur du paquet de tôles statorique.

II-3-6-Charge linéaire :

La charge représente le courant total de la partie d'encoche par unité de longueur du périmètre de l'induit. Elle caractérise l'utilisation électrique de la machine, elle est donnée en

fonction du diamètre extérieur pour différents nombres de pôles (voir tableau T II-a) (voir la Fig. A6 en annexe).

La charge linéaire du courant est donnée par :

$$A_1 = \frac{m \cdot 2 \cdot I_n \cdot w_1}{\pi \cdot D_1} \quad [\text{A/m}] \quad (\text{II-10})$$

Avec:

a_1 : Nombre de voies parallèles

I_n : Courant nominal de l'enroulement statorique.

U_{en1} : Nombre de conducteurs effectifs

II-3-7-Le choix du diamètre extérieur du stator

Le choix du diamètre extérieur du stator est donné en fonction des puissances normalisées pour différents nombre de pôles par le tableau (A3) voir annexe.

II-3-8-Diamètre intérieur du stator

Le diamètre intérieur du stator est donné en fonction du diamètre extérieur pour différents nombres de pôles de la machine par le tableau suivant. [5]

2p	2	4	6
D_1 [mm]	$0.61D_{ext} - 4$	$0.68 \cdot D_{ext} - 5$	$0.72 \cdot D_{ext} - 3$

Tableau T II-a : diamètre intérieur en fonction de nombres de pôles.

II-3-9-Induction magnétique dans l'entrefer

L'induction magnétique dans l'entrefer est un des paramètres les plus importants dans la construction des machines. Il est limité par les propriétés magnétiques des matériaux actifs utilisés. L'induction dans l'entrefer est généralement comprise entre 0.6 et 0.9 T. Elle s'exprime à partir de la formule suivante :

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\alpha_i \cdot \tau \cdot L_i \cdot 10^{-6}} \quad [\text{T}] \quad (\text{II-11})$$

II-3-10-Constante d'ARNOLD

Cette constante nous renseigne sur la consommation des matériaux actifs par unité de couple électromagnétique. Elle est donnée par la relation suivante :

$$K_A = \frac{D_1^2 * L_i * n_s}{P_{em}} \quad (\text{II-12})$$

Avec :

$D_1^2 * L_i$: Est proportionnel au volume de la machine. (coefficient d'utilisation de la machine).

$\frac{P_{em}}{n}$: Est proportionnel au couple électromagnétique.

$$C_A = \frac{1}{K_A} = \frac{P_{em}}{D_1^2 * L_i * n_s} \quad (\text{II-13})$$

C_A : Constante d'utilisation de la machine.

II-3-11-Paramètres de l'enroulement statorique

II-3-11-1-Paramètre de l'exécution du bobinage statorique

a-Pas d'enroulement

$$y = \frac{z_1}{2 * p} \pm \varepsilon \quad (\text{II-12})$$

b-Nombre d'encoches par pôles et par phase

$$q_1 = \frac{z_1}{2 * p * m_1} \quad (\text{II-14})$$

Avec :

m_1 : Nombre de phase statorique

c- Angle électrique entre deux encoches voisines

$$\theta = \frac{p * 360^\circ}{z_1} \quad (\text{II-15})$$

d- Zone de phase

Angle électrique occupé par une phase sous un pôle

$$\gamma = q_1 * \theta \quad (\text{II-16})$$

II-3-11-2-Choix de l'enroulement statorique

Les enroulements inducteurs des machines asynchrones se présentent sous forme de solénoïdes à une ou plusieurs couches de spires concentriques .Ils sont disposés coaxialement aux noyaux du circuit magnétique et dénommés enroulement concentrique.

Le choix de l'enroulement statorique dépend essentiellement de la puissance de la machine et plus ou moins d'autres paramètres comme l'intensité du courant et la quantité du cuivre.

Il existe deux types d'enroulement concentrique :

-enroulement concentrique à une seule couche.

-enroulement concentrique à deux couches.

Dans notre cas nous avons utilisé un enroulement concentrique à une seule couche.

II-3-12-Choix du type d'encoche

Pour les machines ne dépassant pas 150Kw, généralement on prend les encoches semi-fermées trapézoïdales.

II-3-13-Pas dentaire

Le pas dentaire est défini comme étant la distance séparant deux axes de deux encoches voisines, il est donné par la relation suivante

$$t_1 = \frac{\pi * D_1}{z_1} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-17})$$

II-3-14-Calcul du courant de l'enroulement statorique

Le courant est donné par l'expression suivante

$$I_n = \frac{P_n * 10^3}{m * U * \eta * \cos \varphi} \quad [\text{A}] \quad (\text{II-18})$$

II-3-15-Nombre de conducteurs effectifs dans une encoche

Le nombre de conducteurs effectifs est défini comme étant le nombre de conducteurs occupant l'encoche. Il est donné par la formule suivante :

$$U_{en1} = \frac{a_1 * t_1 * A_1 * 10^{-3}}{I_n} \quad (II-19)$$

II-3-16-Nombre de spires par phase

C'est le nombre de spires que contient une phase statorique. il est donné par :

$$W_1 = \frac{U_{en1} * z_1}{2 * a_1 * m} \quad (II-20)$$

II-3-17-Nombre total de conducteurs

Le nombre totale de conducteurs est donné par

$$W_{1t} = 2 * w_1 * m \quad (II-21)$$

II-3-18-Nombre de conducteurs par encoche

Le nombre de conducteurs est donné par :

$$w_{z1} = \frac{w_{1t}}{z_1} \quad (II-22)$$

II-3-19-Section effective d'un conducteur

La section effective d'un conducteur est donnée par la formule suivante :

$$S_{eff} = \frac{I_n}{a_1 * j_1} \quad [\text{mm}^2] \quad (II-23)$$

Avec :

j_1 : Densité de courant dans l'enroulement statorique ; $[\text{A}/\text{mm}^2]$, il est donné en fonction du diamètre extérieur par la figure (Fig. A2) (voir annexe).

Remarque

Si $S_{eff} > 1.8 \text{ mm}^2$

On divise la section effective S_{eff} en sections élémentaires :

$$S_{el} = \frac{S_{eff}}{N_{el}} \quad (II-24)$$

La section des conducteurs étant normalisée, nous choisirons la section normalisée la plus proche de celle calculée. Le diamètre du conducteur avec l'isolant est donné en fonction de la section normalisée par le tableau A5 (voir annexe).

II-4-Dimensionnement de la feuille statorique

La feuille et l'encoche statoriques sont représentées par les figures (Fig. II-4, Fig. II-5)

II-4-1- Largeur de la dent

La largeur de la dent est calculée en se basant sur la loi de conservation du flux à travers le pas dentaire, elle est donnée par la relation suivante :

$$b_{z1} = \frac{t_1 * B_\delta}{K_{fer} * B_{z1max}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-25})$$

Avec :

K_{fer} : Coefficient d'empilage des tôles statorique et rotorique.

$K_{fer}=0.95$ pour l'isolation avec oxydation.

$K_{fer}=0.97$ pour l'isolation en vernie

B_{z1max} : Induction maximale dans la dent du stator, [T]

Elle est donnée par le tableau(A4)(voir annexe) en fonction du nombre de pôles.

II-4-2-Hauteur du dos statorique

La hauteur du dos statorique est donnée par la formule suivante :

$$h_{c1} = 0.5 * \frac{\alpha_i * \tau * B_\delta}{K_{fer} * B_{c1}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-26})$$

Avec :

B_{c1} : Induction magnétique dans la culasse statorique, elle est donnée par le tableau (A4) (voir annexe).

II-4-3-Hauteur de la dent statorique

Elle est donnée géométriquement par la formule suivante

$$h_{z1} = 0.5 * (D_{ext} - D_1) - h_{c1} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-27})$$

II-4-4- Largeur minimale de l'encoche

La largeur minimale de l'encoche est donnée par l'expression suivante :

$$b_{enc1} = \pi * \frac{(D_1 + 0.2 * h_{z1})}{z_1} - b_{z1} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-28})$$

II-4-5- Largeur maximale de l'encoche

Elle est donnée par :

$$b_{enc2} = \pi * \frac{(D_1 + 2 * h_{z1})}{z_1} - b_{z1} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-29})$$

N.B : Le schéma de l'encoche statorique est donné par la figure (Fig II-5).

II-4-6- Hauteur de l'encoche statorique

Elle est donnée par :

$$h_{enc1} = h_{z1} - (h_{k1} + h_{f1}) \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-30})$$

Avec :

h_{f1} : La hauteur de la fente de l'encoche statorique, [mm]

$$h_{f1} = (1.2 \div 1.8) \quad [\text{mm}]$$

h_{k1} : La hauteur de la clavette, elle est donnée par l'expression suivante :

$$h_{k1} = 0.5 * (b_{enc1} - b_{f1}) \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-31})$$

b_{f1} : Largeur de la fente d'encoche statorique, [mm]

$$b_{f1} \leq 4 \text{ mm}$$

II-4-7- Section occupée par les conducteurs

Pour une encoche trapézoïdale, la section occupée par les conducteurs est donnée par :

$$S_{enc1} = 0.5 * (b_{enc1} + b_{enc2}) * h_{enc1} - S_{isoenc} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-32})$$

S_{isoenc} : La section occupée par l'isolation de l'encoche

$$S_{isoen} = e_1 * (b_{enc2} + 2 * h_{enc1}) + e_2 * b_{enc1} + e_3 * \frac{(b_{enc1} + b_{enc2})}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (\text{II-33})$$

Avec :

e_1 : Epaisseur de revêtement de l'encoche, [mm]

$$e_1 = 0.25$$

e_2 : Epaisseur de fermeture de l'encoche, [mm]

$$e_2 = 0$$

e_3 : Epaisseur de cale du milieu, [mm]

$$e_3 = 0.35$$

II-4-8-Coefficient de remplissage

Le coefficient de remplissage est donné par la formule suivante :

$$K_{re} = \frac{U_{en1} * N_{el} * d_{iso}^2}{S_{enc1}} \quad (\text{II-34})$$

K_{re} : Doit être compris entre : $0.7 \leq K_{re} \leq 0.75$

II-4-9-Vérification des grandeurs électromagnétiques

a-Charge linéaire

$$A_1 = \frac{I_n * U_{en1} * Z_1}{\pi * D_1 * a_1 * 10^{-3}} \quad [\text{A/m}] \quad (\text{II-35})$$

b-Induction magnétique dans l'entrefer

$$B_\delta = \frac{6.1 * 10^{12} * p_{in}}{K_f * \alpha_i * K_{en1} * D_1^2 * A_1 * L_i * n_s} \quad [\text{T}] \quad (\text{II-36})$$

c-Flux sous un pôle

$$\Phi = \frac{E_1}{4 * K_f * w_1 * K_{en1}} \quad [\text{Wb}] \quad (\text{II-37})$$

Avec :

U : Tension nominale simple, $U=220V$

K_e : Coefficient qui tient compte de la chute de tension dans la phase statorique

$$K_e = 0.95$$

Avec : $E_1 = K_e * U$ (II-38)

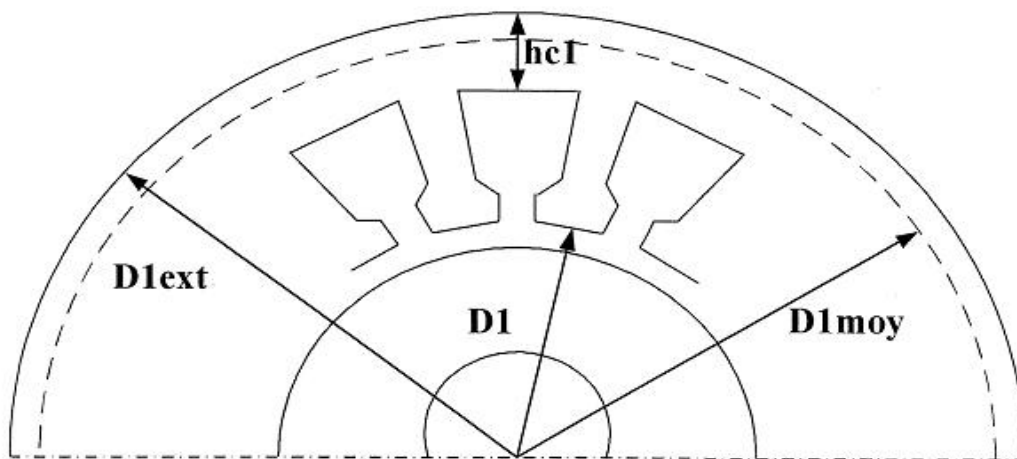


Fig. II-4 : Schéma du stator

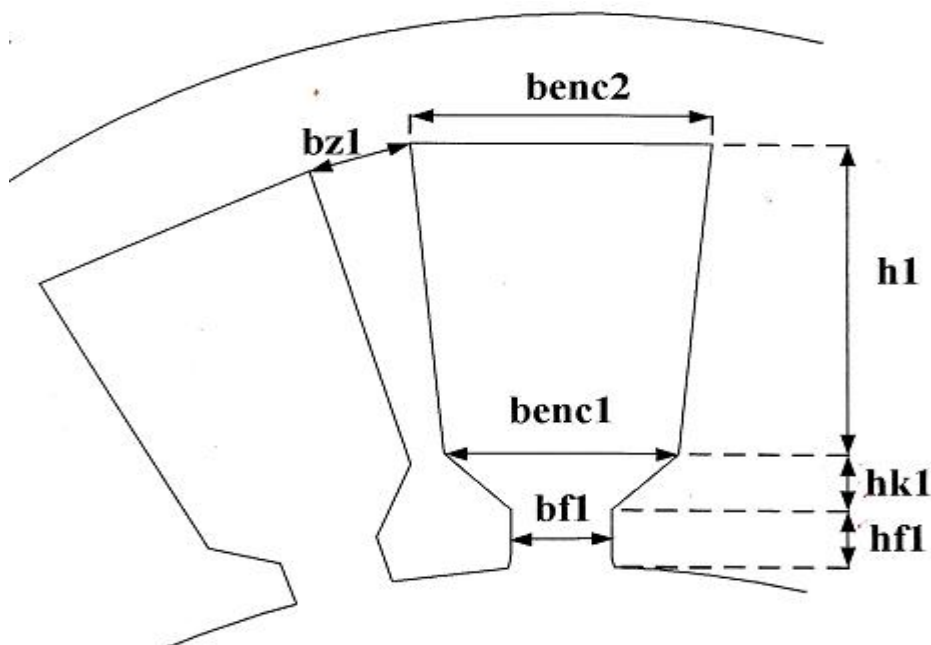


Fig. II-5 : Schéma d'une encoche statorique trapézoïdale.

II-5-Entrefer

L'entrefer entre le stator et le rotor a une grande influence sur les caractéristiques techniques et économiques des machines. Avec l'augmentation de l'entrefer, le courant magnétisant augmente ce qui provoque une diminution de rendement et de $\cos\varphi$. La diminution de l'entrefer provoque une diminution de courant magnétisant et une augmentation du rendement et $\cos\varphi$; mais si l'entrefer est trop petit, les pertes supplémentaires augmentent considérablement (Les pertes superficielles et les pertes par pulsation) et le rendement chute. En plus la fiabilité de fonctionnement des machines diminue. L'épaisseur de l'entrefer δ est liée à la puissance de la machine. Il est donné en fonction de la hauteur d'axe et le nombre de paire de pôles comme le montre la figure (Fig. A1) (voir annexe).

II-6-Dimensionnement du rotor :

Le rotor du moteur est à cage d'écureuil, celle-ci est constituée de barre logée dans des encoches ovales semi-fermées court-circuitées à leurs extrémités par deux anneaux (bagues).

II-6-1-Choix du nombre d'encoches rotorique

Le nombre d'encoche rotorique est choisi en fonction du nombre d'encoches statorique, afin d'éviter certains couples parasites dues aux harmoniques de la fmm y compris les harmoniques de denture

Le nombre d'encoches rotorique est données en fonction du nombre d'encoches statorique par le tableau (A1) (voir annexe).

La feuille rotorique est représentée par la figure (Fig. II-3)

II-6-2-Diamètre extérieur du rotor

Connaissant le diamètre intérieur du stator et l'épaisseur de l'entrefer, le diamètre extérieur du rotor est donné par :

$$D_2 = D_1 - 2 * \delta \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-39})$$

Avec :

$$\delta : \text{Epaisseur de l'entrefer,} \quad [\text{mm}]$$

II-6-3-Pas dentaire rotorique

Il est donné par :

$$t_2 = \frac{\pi * D_2}{z_2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-40})$$

Avec :

z_2 : Nombre d'encoches rotorique

II-6-4 Dimensionnement de la tôle rotorique**a- Largeur de la dent du rotor**

$$b_{z2} = \frac{t_2 * B_\delta}{K_{fer} * B_{z2max}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-41})$$

Avec :

B_{z2max} : Induction maximale dans la dent rotorique

$$B_{z2max} = (1.75 : 1.95) [\text{T}]$$

b- Hauteur du dos du rotor

$$h_{c2} = 0.5 * \frac{\alpha_i * \tau * B_\delta}{K_{fer} * B_{c2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-42})$$

Avec :

B_{c2} : Induction magnétique dans la culasse rotorique, elle est donnée par le tableau (A2) (voir annexe).

τ_r : Pas polaire rotorique, il est donné par l'expression suivante :

$$\tau_r = \frac{\pi * D_2}{2 * p} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-43})$$

c- Hauteur de la dent rotorique

La hauteur de la dent rotorique est donnée par :

$$h_{z2} = 0.5 * (D_2 - D_{2int}) - h_{c2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-44})$$

Avec :

D_{2int} : Diamètre intérieur du rotor

$$D_{2int} = (0.3 : 0.36) * D_2$$

On prend :

$$D_{2int} = 0.3 D_2$$

d-Diamètre supérieur de l'encoche

Le diamètre supérieur de l'encoche est donné par l'expression suivante :

$$d_{sen2} = \frac{[\pi * (D_2 - 2 * h_{f2}) - z_2 * b_{z2}]}{(z_2 + \pi)} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-45})$$

Avec :

h_{f2} : Hauteur de la fente de l'encoche rotorique

$$h_{f2} = (0.5 : 0.7) \quad [\text{mm}]$$

e-Diamètre inférieur de l'encoche

Il est donné par la formule suivante :

$$d_{ien2} = \frac{[\pi * (D_2 - 2 * h_{z2}) - z_2 * b_{z2}]}{(z_2 - \pi)} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-46})$$

f-Hauteur de l'encoche rotorique

La hauteur de l'encoche est donnée géométriquement comme suit :

$$h_{enc2} = h_2 + 0.5 * (d_{sen2} + d_{ien2}) \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-47})$$

Avec :

h_2 : Distance entre le centre de deux dents, elle est donnée par :

$$h_2 = h_{z2} - h_{f2} - 0.5 * (d_{sen2} + d_{ien2}) \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-48})$$

II-6-5-Section de la barre

La section de la barre est donnée par :

$$S_b = 0.125 * \pi * (d_{sen2}^2 + d_{ien2}^2) + 0.5 * (d_{sen2} + d_{ien2}) * h_2 \quad [mm^2] \quad (II-49)$$

II-6-6-Densité de courant dans la barre

La densité du courant dans la barre est donnée par :

$$J_b = \frac{I_b}{S_b} \quad [A/mm^2] \quad (II-50)$$

En considération du meilleur refroidissement dans le rotor, la densité du courant dans la barre (J_b) est supérieure a celle du stator (j_1)

Avec :

$$J_b = (4 \div 6) [A/mm^2]$$

I_b : Le courant dans la barre, [A]

Et : $I_b = I_2$

S_b : Section de la barre.

II-6-7-Dimensionnement de l'anneau de court-circuit

a-Section transversale de l'anneau

Elle est donnée par :

$$S_{an} = K_{an} * \frac{z_2 * S_b}{2 * p} \quad [mm^2] \quad (II-51)$$

Avec :

$$K_{an} = (0.35 \div 0.45)$$

b-Hauteur de l'anneau

Elle est donnée par :

$$h_{an} = (1.1 \div 1.25) * h_{z2} \quad [\text{mm}]$$

c-Largeur de l'anneau

Connaissant la section de l'anneau et sa hauteur, sa largeur est donnée par :

$$b_{an} = \frac{S_{an}}{h_{an}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-52})$$

d-Diamètre moyen de l'anneau

$$D_{an} = D_2 - h_{an} \quad [\text{mm}] \quad (\text{II-53})$$

N.B :

- Les schémas illustrant la feuille rotorique, l'encoche et l'anneau de court-circuit sont représentés par la figure (Fig. II-6, Fig. II-7, Fig. II-8).
- Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau (T II-1, T II-2).

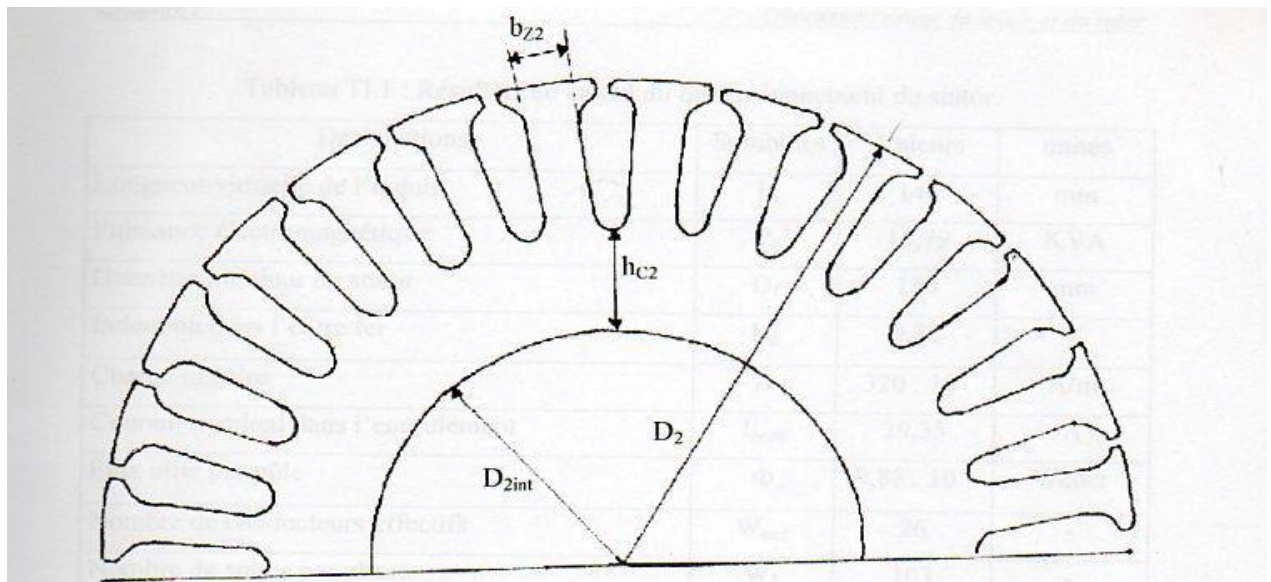


Fig. II-6 : schéma du rotor

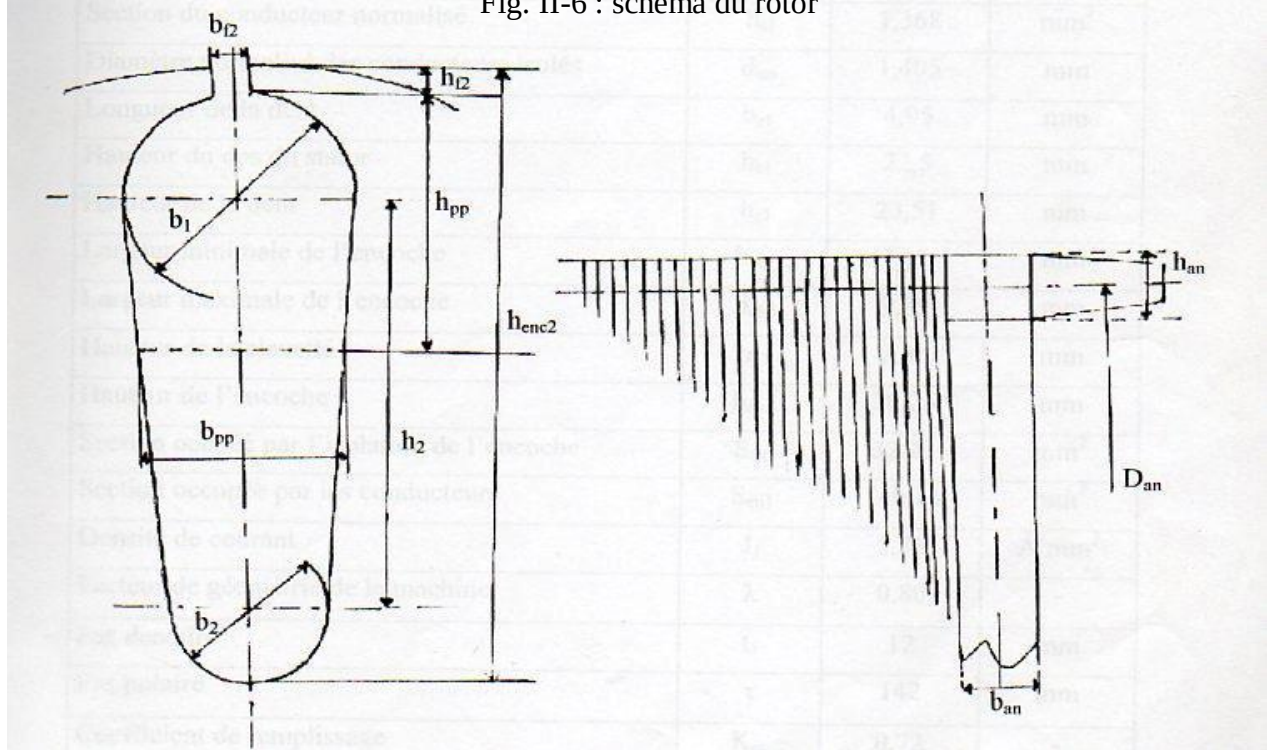


Fig. II-7 : schéma d'une encoche
rotorique ovale

Fig. II-8 : schéma de l'anneau
de court-circuit

Désignations	Symboles	Valeurs	Unités
Longueur virtuelle de l'induit	L_i	112.99	mm
Puissance électromagnétique	P_{in}	11.88	KVA
Diamètre intérieur du stator	D_1	148	mm
Induction dans l'entrefer	$B\delta$	0.73	T
Charge linéaire	A_1	40.5	A/mm
Courant nominal dans l'enroulement	I_n	20	A
Flux utile par pole	Φ	0.0063	Wb
Nombre de conducteurs effectifs	U_{en1}	52	-
Nombre de spires par phase	W_1	157	-
Section effective d'un conducteur	S_{eff}	1.49	mm ²
Section du conducteur normalisée	S_{el}	1.49	mm ²
Diamètre normalisé des conducteurs isolés	d_{iso}	1.48	mm
Largeur de la dent	b_{z1}	5.15	mm
Hauteur du dos du stator	h_{c1}	17.8	mm
Hauteur de la dent	h_{z1}	20.69	mm
Largeur minimale de l'encoche	b_{enc1}	8.11	mm
Largeur maximale de l'encoche	b_{enc2}	11.36	mm
Hauteur de la clavette	h_{k1}	2.3	mm
Hauteur de l'encoche	h_{enc1}	17.18	mm
Section occupée par l'isolation de l'encoche	S_{isoenc}	14.84	mm ²
Section occupée par les conducteurs	S_{enc1}	152.57	mm ²
Densité de courant	j_1	6.67	A/mm ²
Facteur de géométrie de la machine	λ	0.76	-
Pas dentaire	t_1	12.9	mm
Pas polaire	τ	116.18	mm
Coefficient de remplissage	K_{re}	0.75	-

Tableau T II-1 : Résultats de calcul du fonctionnement du stator.

Désignations	Symboles	Valeurs	Unités
Diamètre extérieur du rotor	D_2	147	mm
Diamètre intérieur du rotor	D_{2int}	44.1	mm
Epaisseur de l'entrefer	δ	0.5	mm
Pas dentaire du rotor	t_2	13.57	mm
Courant dans le rotor	I_2	14.38	A
Hauteur de la culasse rotorique	h_{c2}	24.31	mm
Largeur de la dent rotorique	b_{z2}	5.41	mm
Hauteur de la dent rotorique	h_{z2}	27.13	mm
Diamètre supérieur de l'encoche	d_{sen2}	7.36	mm
Diamètre inférieur de l'encoche	d_{ien2}	3.46	mm
Hauteur de l'encoche rotorique	h_{enc2}	26.53	mm
Section de la barre	S_b	140.40	mm ²
Section de l'anneau	S_{an}	417.69	mm ²
Largeur de l'anneau	b_{an}	13.99	mm
Hauteur de l'anneau	h_{an}	29.84	mm
Diamètre de l'anneau	D_{an}	117.15	mm

Tableau T-II-2-: Résultats de calcul du dimensionnement du rotor.

Chapitre III

Calcul électromagnétique

III-1-Introduction

Le circuit magnétique des machines à courant alternatif en général, et les machines asynchrones en particulier, doit canaliser les lignes de forces du champ magnétique tournant. L'objet de ce calcul consiste à déterminer la Fmm qui nous permettra de calculer le courant magnétisant et déduire par la suite la réactance de magnétisation. Cette force magnétomotrice est calculée en se basant sur la loi d'AMPERE :

$$F = \oint H \cdot dl = w_1 * I \quad (\text{III-1})$$

Le circuit magnétique de la machine est constitué de cinq parties distinctes suivantes :

La culasse statorique

La culasse rotorique

Les dents statoriques

Les dents rotoriques

L'entrefer

Par conséquent, la Fmm nécessaire pour l'aimantation de la machine est égale à la somme des Fmm partielles du circuit magnétique.

$$F = 2 * F_{\delta} + 2 * F_{z1} + 2 * F_{z2} + F_{c1} + F_{c2} \quad [\text{A}] \quad (\text{III-2})$$

Le facteur deux (2) est dû au fait que les lignes de champ parcourent deux fois l'entrefer et les dents statoriques et rotoriques

Avec :

F_{δ} : fmm dans l'entrefer

F_{z1} : fmm dans les dents du stator

F_{z2} : fmm dans les dents du rotor

F_{c1} : fmm dans la culasse du stator

F_{c2} : fmm dans la culasse du rotor

III-2-Calcul du circuit magnétique

III-2-1-Fmm dans l'entrefer

La Fmm dans l'entrefer est donnée par l'expression suivante :

$$F_{\delta} = 0.8 * B_{\delta} * \delta * K_{\delta} 10^{-3} \quad [A] \quad (III-3)$$

Avec :

K_{δ} : Coefficient de KARTER

$$K_{\delta} = K_{\delta 1} * K_{\delta 2} \quad (III-4)$$

Avec :

$K_{\delta 1}$: Coefficient qui prend en considération l'existence des encoches dans le stator, il est donné par :

$$K_{\delta 1} = 1 + \frac{b_{f1}}{(t_1 - b_{f1} + 5 * \frac{\delta * t_1}{b_{f1}})} \quad (III-5)$$

$K_{\delta 2}$: Coefficient qui prend en considération l'existence des encoches dans le rotor, il est donné par :

$$K_{\delta 2} = 1 + \frac{b_{f2}}{(t_2 - b_{f2} + 5 * \frac{\delta * t_2}{b_{f2}})} \quad (III-6)$$

III-2-2-Fmm dans la dent du stator

La Fmm dans la dent du stator est exprimée par

$$F_{z1} = H_{z1} * h_{z1} * 10^{-3} \quad [A] \quad (III-7)$$

Avec :

h_{z1} : Hauteur de l'encoche [mm]

H_{z1} : Intensité du champ magnétique dans la dent du stator, elle est obtenue à partir du tableau de magnétisation des dents statoriques $H_{z1}(B_{z1})$ donné en annexe (voir tableau (A9)).

III-2-3-Induction dans la dent du stator

L'induction magnétique dans la dent du stator est donnée par l'expression suivante :

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} * t_1}{K_{fer} * b_{z1}} \quad [T] \quad (III-8)$$

III-2-4-Fmm dans la dent du rotor

Elle est exprimée par l'expression suivante :

$$F_{z2} = H_{z2} * (h_{z2} - 0.4 * d_{ien2}) * 10^{-3} \quad [A] \quad (III-9)$$

Avec :

H_{z2} : Intensité du champ magnétique dans la dent rotorique, elle est donnée par le tableau de magnétisation des dents $H_{z2}(B_{z2})$ (voir le tableau (A9) (voir annexe).

III-2-5-Induction dans la dent du rotor**III-2-6-Fmm dans la culasse du stator**

L'induction dans la dent du rotor est donnée par l'expression suivante :

$$B_{z2} = \frac{t_2 * B_{\delta}}{K_{fer} * b_{z2}} \quad [T] \quad (III-10)$$

La Fmm dans le dos du stator est donnée par :

$$F_{c1} = H_{c1} * L_{c1} * 10^{-3} \quad [A] \quad (III-11)$$

Avec :

H_{c1} : Intensité du champ magnétique dans la culasse, elle est donnée par le tableau de magnétisation de la culasse du stator $H_{c1}(B_{c1})$. Voir le tableau (A8) (voir annexe).

L_{c1} : La longueur des lignes de champ dans la culasse du stator, elle est donnée par :

$$L_{c1} = \frac{\pi * (D_{ext} - h_{c1})}{2 * p} \quad [mm] \quad (III-12)$$

III-2-7-Induction dans la culasse du stator

La conservation du flux a travers le pas polaire nous a permis de déduire l'induction dans la culasse statorique par la relation suivante :

$$B_{c1} = 0.5 * \frac{\alpha_i * \tau * B_\delta}{K_{fer} * h_{c1}} \quad [T] \quad (III-13)$$

III-2-8-Fmm dans la culasse du rotor

La Fmm dans la culasse du rotor est exprimée par :

$$F_{c2} = H_{c2} * L_{c2} * 10^{-3} \quad [A] \quad (III-14)$$

H_{c2} : Intensité du champ magnétique dans la culasse rotorique, elle est donnée par le tableau (A8) (voir annexe).

L_{c2} : Longueur moyenne des lignes de champ dans la culasse du rotor

$$L_{c2} = \frac{\pi}{2 * p} (D_2 - 2 * h_{z2} - h_{c2}) + h_{c2} \quad [mm] \quad (III-15)$$

III-2-9-Induction dans la culasse rotorique

L'induction dans la culasse rotorique est donnée par :

$$B_{c2} = 0.5 * \frac{\alpha_i * \tau * B_\delta}{K_{fer} * h_{c2}} \quad [T] \quad (III-16)$$

III-2-10-Coefficient de saturation

On a deux principaux coefficients de saturation

III-2-10-1-Coefficient de saturation des dents

Le coefficient de saturation des dents est donné par la relation suivante

$$K_{mz} = \frac{F_\delta + F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} \quad (III-18)$$

K_{mz} : Est compris entre (1.1÷1.4)

III-2-10-2-Coefficient de saturation de la machine

Il est donné par la relation suivante :

$$K_m = \frac{\sum F_i}{2 \cdot F_\delta} = \frac{2 \cdot (F_\delta + F_{z1} + F_{z2}) + F_{c1} + F_{c2}}{2 \cdot F_\delta} \quad (\text{III-19})$$

III-2-11-Courant magnétisant

Pour le circuit fermé, le courant magnétisant est donné par :

$$I_m = \frac{p \cdot F}{0.9 \cdot m \cdot w_1 \cdot K_{en1}} \quad [\text{A}] \quad (\text{III-20})$$

III-3-Calcul des paramètres électriques

III-3-1-Paramètres électriques du stator

III-3-1-1-Réactance de fuite totale

La réactance de fuite totale comprend la réactance de fuite d'encoche, la réactance différentielle et la réactance de fuite frontale.

Ø Réactance de fuite d'encoche :

La réactance de fuite d'encoche est due au flux de fuite se renfermant autour des conducteurs, elle est donnée par :

$$X_{enc1} = \frac{1.58 \cdot F_1 \cdot L_i \cdot w_1^2 \cdot \lambda_{enc1}}{p \cdot q_1 \cdot 10^{+3}} \quad [\Omega] \quad (\text{III-21})$$

Avec :

λ_{enc1} : Perméance d'encoche, elle est donnée par

$$\lambda_{enc1} = \frac{h_1}{3 \cdot b_{enc1}} \cdot K_{\beta 1} + \left[\frac{h_{11}}{b_{enc1}} + \frac{3 \cdot h_{k1}}{b_{enc1} + 2 \cdot b_{f1}} + \frac{h_{f1}}{b_{f1}} \right] \cdot K_{\beta 2}$$

Et : $h_{11} = h_{enc1} - h_1$

$$h_1 = \frac{0.8 \cdot S_{enc1}}{0.5 \cdot (b_{enc1} + b_{enc2})} \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-22})$$

$$K_{\beta 1} = \frac{(3 \cdot \beta) + 1}{4} \quad (\beta = 1) \quad (\text{III-23})$$

$$K_{\beta 2} = \frac{3 \cdot \beta - 1}{4}$$

$K_{\beta 1}$ et $K_{\beta 2}$: Coefficients qui tiennent compte de la diminution de la dispersion pour un pas raccourci, ils sont donnés en fonction du pas relatif (β) par la figure (Fig. A7) (voir en annexe).

Pour un enroulement concentrique : $K_{\beta 1} = K_{\beta 2} = 1$

Ø Réactance de fuite différentielle

La réactance de fuite différentielle est due au flux de fuite se refermant d'une dent à une autre à travers l'entrefer. Il est donné par :

$$X_{id1} = \frac{1.58 * f * L_i * W_1^2}{p * q_1 * 10^3} * \lambda_{id1} \quad (\text{III-24})$$

Avec :

λ_{id1} : Coefficient de péreance différentielle, il est donné par

$$\lambda_{id1} = \frac{0.9 * t_1 * (q_1 * K_{en1})^2}{\delta * K_\delta} * K_{rr1} * K_{dd1} * K_{f1} \quad (\text{III-25})$$

$$K_{f1} = 1 - \left(\frac{0.033 * b_{f1}^2}{\delta * t_1} \right) \quad (\text{III-26})$$

K_{rr1} : Coefficient donné en fonction de q_1 par le tableau (A6) (voir annexe).

K_{dd1} : Coefficient de fuite différentielle, il est donné en fonction de $\frac{z_2}{p}$ et q_1 par le tableau (A10) (voir annexe).

Ø Réactance de fuite frontale

C'est la réactance présentée par les parties des enroulements situées dans l'air à chaque extrémité du paquet des tôles. Elle est donnée par la formule semi-empirique suivante :

$$X_{if1} = \frac{1.58 * f * L_i * W_1^2}{p * q_1 * 10^3} * \lambda_{if1} \quad (\text{III-27})$$

Avec :

λ_{if1} : Coefficient de perméance frontale au stator, il est donné par :

$$\lambda_{if1} = \frac{0.34 * q_1}{L_i} * (L_{f1} - 0.64 * \beta * \tau) \quad (\text{III-28})$$

β : Angle de raccourcissement exprimé en [rd]

L_{f1} : Longueur moyenne de la partie frontale d'une demi-spire, [mm]

$$L_{f1} = (1.16 + 0.14 * p) * b_{1moy} + 15 \text{ [mm]} \quad (\text{III-30})$$

b_{1moy} : Largeur moyenne d'une section [mm]

$$b_{1moy} = \frac{\pi * (D_1 + h_{z1})}{z_1} * y_{1moy} \quad (\text{III-31})$$

Avec :

y_{1moy} : Pas moyen d'un groupe de section

La réactance totale est donnée par :

$$X_1 = \frac{1.58 * f * L_i * W_1^2}{p * q_1 * 10^8} * (\lambda_{if1} + \lambda_{enc1} + \lambda_{if1}) \text{ [\Omega]} \quad (\text{III-31})$$

Où :

$$X_1 = \frac{1.58 * f * L_i * W_1^2}{p * q_1 * 10^3} * \lambda_1 \quad (\text{III-32})$$

Avec :

$$\lambda_1 = \lambda_{if1} + \lambda_{enc1} + \lambda_{if1} \quad (\text{III-33})$$

III-3-1-2-Réactance magnétisante

La réactance magnétisante est donnée par :

$$X_m = K_e * \frac{U}{I_m} \text{ [\Omega]} \quad (\text{III-34})$$

K_e : Coefficient qui varie de (0.9÷0.98)

III-3-1-3-Coefficient de dispersion magnétique du stator

Il est donné par :

$$\sigma_m = \frac{X_1}{X_m} \quad (\text{III-35})$$

III-3-1-4- Force électromotrice à vide

La force électromotrice à vide est donnée par la relation suivante :

$$E_0 = \frac{U}{1+\sigma_m} \quad [\text{V}] \quad (\text{III-36})$$

Remarque :

Si E_0 différent de $E=K_e * U$ de plus de 5% ; il faut refaire le calcul du circuit magnétique avec des valeurs de B_δ qui varient proportionnellement à $\frac{E_0}{E}$

III-3-1-5-Resistance active d'une phase statorique

La résistance active d'une phase statorique est donné par

$$R_1 = \rho_{cu}(T^\circ) * \frac{w_1 * L_{w1} * 10^3}{a_1 * N_{el} * q_{eff}} \quad (\text{III-37})$$

Avec :

N_{el} : Nombre de conducteurs élémentaires

q_{eff} : Section effective d'un conducteur, $[\text{mm}^2]$

$\rho_{cu}(T^\circ)$: Résistivité du cuivre a la température T°

Nous prenons $T=115^\circ\text{C}$, $\rho_{cu}(115^\circ\text{C})=0.172 * 10^{-7} \quad [\Omega.m]$

L_{w1} : Longueur moyenne d'une spire de l'enroulement statorique.

$$L_{w1} = 2 * (L_i + L_{f1}) \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-38})$$

III-3-2-Paramètres électrique du rotor

III-3-2-1-Réactance de fuite rotorique

La réactance de fuite du rotor se calcule comme celle du stator, mais seulement au rotor on ajoute la réactance due à l'obliquité des encoches

III-3-2-2-Coefficient de perméance du rotor

Ø Coefficient de permeance d'encoche du rotor [7]

Pour des encoches ovales semi-fermées le coefficient de permeance d'encoche est donné par :

$$\lambda_{enc2} = C_\lambda + \left(\frac{h_{f2}}{b_{f2}}\right) \quad (\text{III-39})$$

$$C_\lambda = \psi * \left[\frac{h_2 + 0.4 * d_{ien2}}{3 * d_{sen2}} \left(1 - \frac{\pi * d_{sen2}}{8 * S_b} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{f2}}{2 * d_{sen2}} \right] \quad (\text{III-40})$$

La valeur de ψ est donnée en fonction de ξ par la figure (Fig. A8)(voir en annexe).

En régime nominal $\psi = 1$

$$\xi = 0.4$$

Ø Coefficient de perméance différentielle du rotor

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\lambda_{2d} = \frac{0.9 * t_2 \left(\frac{z_2}{6 * p} \right)^2 * K_{dd2}}{\delta * K_\delta} \quad (\text{III-41})$$

Avec :

K_{dd2} : Coefficient de fuite différentielle donné en fonction de q_2 voir la figure (Fig. A9)(voir en annexe).

$$q_2 = \frac{z_2}{3 * 2 * p} \quad (\text{III-42})$$

Ø Coefficient de fuite frontale

Le coefficient de fuite frontale est donné par :

$$\lambda_{2f} = \frac{2.3 * D_{an}}{z_2 * L_i(K_{red})} * \text{Log} \frac{4.7 * D_{an}}{2 * h_{an} + 2 * L_{an}} \quad (\text{III-43})$$

Avec :

K_{red2} : Coefficient de réduction de l'anneau vers la barre

$$K_{red2} = \left[2 * \frac{\sin(180^\circ * p)}{z_2} \right] \quad (\text{III-44})$$

Ø Coefficient de permeance d'obliquité

Il est donné par l'expression suivante :

$$\lambda_{ob} = \frac{t_2 * B_{ob}^2}{9.5 * \delta * K_\delta * K_m} \quad (\text{III-45})$$

Avec :

$$B_{ob} = \frac{t_1}{t_2} \quad (\text{III-46})$$

Ø Réactance de fuite rotorique

Elle est donnée par la formule suivante

$$X_2 = 7.9 * f * L_i * \lambda_2 * 10^{-9} \quad [\Omega] \quad (\text{III-47})$$

Avec :

$$\lambda_2 = \lambda_{enc2} + \lambda_{2d} + \lambda_{2f} + \lambda_{ob} \quad (\text{III-48})$$

III-3-2-3-Réactance du rotor ramenée au stator

Elle est donnée par :

$$X_{2ram} = K_{red1} * X_2 \quad [\Omega] \quad (\text{III-49})$$

K_{red1} : Coefficient de réduction de la cage rotorique vers le stator

$$K_{red1} = \frac{4 * m * (w_1 * K_{en1})^2}{K_{ob}^2 * z_2} \quad (\text{III-50})$$

K_{ob} : Coefficient d'obliquité des encoches rotoriques (calculé dans le chapitre II).

III-3-2-4-Resistance active de la barre

Elle est donnée par

$$R_b = \rho_{al}(T^\circ) * \frac{L_i}{S_b} * 10^3 \quad [\Omega] \quad (\text{III-51})$$

ρ_{al} : Résistivité de l'aluminium à la température(T°)

$$\rho_{al}(115^\circ\text{C})=48.8 * 10^{-9} \quad [\Omega.m] \quad (\text{III-52})$$

III-3-2-5-Résistance de l'anneau

La résistance de l'anneau est exprimée par l'expression suivante

$$R_{an} = \frac{\rho_{al}(T^\circ) * 2 * \pi * D_{an} * 10^3}{z_2 * S_{an}} \quad [\Omega] \quad (\text{III-53})$$

III-3-2-6-Résistance de l'anneau ramenée à la barre

$$R_{anr} = \frac{R_{an}}{K_{red}^2} \quad [\Omega] \quad (\text{III-54})$$

III-3-2-7-Résistance d'une phase rotorique

C'est la somme de la résistance de la barre et la résistance de l'anneau ramenée a la barre

$$R_2 = R_b + R_{anr} \quad [\Omega] \quad (\text{III-55})$$

III-3-2-8-Résistance d'une phase rotorique ramenée au stator

$$R_{2ram} = K_{red1} * R_2 \quad [\Omega] \quad (\text{III-56})$$

III-3-3-Les paramètres électriques au démarrage

Les moteurs asynchrones généralement sont destinés a démarré en charge.

Le calcul des paramètres électriques du rotor et en particulier la résistance au démarrage est nécessaire car ils déterminent les caractéristiques de démarrage du moteur (couple et courant du démarrage).

Ces caractéristiques peuvent être améliorées par l'augmentation de la résistance rotorique en utilisant l'effet pelliculaire.

Cet effet se manifeste au démarrage lorsque la fréquence des courant rotorique est égale a celle du réseau par la faible pénétration du courant dans les barres, ce qui

réduit la section de celle-ci donnant ainsi au rotor une forte résistance au démarrage par conséquent un grand couple de démarrage.

III-3-3-1-Profondeur de pénétration

Elle est donnée par la formule suivante :

$$h_{pp} = \frac{h_b}{1+\varphi_1} \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-57})$$

Avec :

$$h_b = h_{enc2}$$

φ_1 : Coefficient dépendant de la valeur de ξ qui est donné par la courbe de la figure (Fig. A8)(voir en annexe).

$$\xi = 0.064 * h_b * \sqrt{g} ; \text{ Pour } T=115^\circ\text{C} \quad (\text{III-58})$$

a partir de cette équation on déduit la valeur du glissement g :

$$g = \frac{\xi^2}{(0.064 * h_p)^2} \quad (\text{III-59})$$

III-3-3-2-Largeur de la limite de pénétration

$$b_{pp} = d_{sen2} - \frac{(d_{sen2} - d_{ien2})}{h_2} (h_{pp} - \frac{d_{sen2}}{2}) \quad [\text{mm}] \quad (\text{III-60})$$

III-3-3-3-Section de la barre pénétrée par le courant de démarrage

Elle est donnée par :

$$S_{b\ dem} = 0.393 * d_{sen2}^2 + (0.5 * (d_{sen2} + b_{pp}) * (h_{pp} - 0.5 * d_{sen2})) \quad [\text{mm}^2] \quad (\text{III-61})$$

III-3-3-4-Résistance de la barre au démarrage

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$R_{b\ dem} = R_b * K_{dep} \quad [\Omega] \quad (\text{III-62})$$

Avec :

K_{dep} : Coefficient de déplacement du courant. C'est le rapport entre la section effective de la barre et la section de la barre au démarrage.

$$K_{dep} = \frac{S_b}{S_{b\ dem}} \quad (\text{III-63})$$

III-3-3-5-Résistance de la cage au démarrage

Elle est donnée par :

$$R'_{2\ dem} = K_{red1} * (R_{b\ dem} + R_{an\ ram}) \quad [\Omega] \quad (\text{III-64})$$

III-3-3-6-Réactance de fuite au démarrage

$$X_{2\ dem} = 7.9 * f * L_i * \lambda'_2 * 10^{-9} \quad [\Omega] \quad (\text{III-65})$$

Avec :

λ'_2 : Permeance de fuite totale rotorique au démarrage

$$\lambda'_2 = \lambda_{enc2\ dem} + \lambda_{2d} + \lambda_{2f} + \lambda_{ob} \quad (\text{III-66})$$

L'effet pelliculaire n'a lieu que dans l'encoche

$$\lambda_{enc2\ dem} = C'_\lambda + \frac{h_{f2}}{b_{f2}} \quad (\text{III-67})$$

Avec :

$$C'_\lambda = \psi_2 * C_\lambda \quad (\text{III-68})$$

ψ_2 : Coefficient donnée par la figure (Fig. A8) (voir annexe) en fonction de ξ

III-3-3-7-Réactance de fuite au démarrage ramenée au stator

$$X_{2\ dem\ ram} = K_{red1} * X_{2\ dem} \quad [\Omega] \quad (\text{III-69})$$

N.B : les résultats obtenus sont dressés dans les tableaux (T III-3, T III-4).

Le schéma du circuit magnétique est représenté par la figure (Fig. III-1)

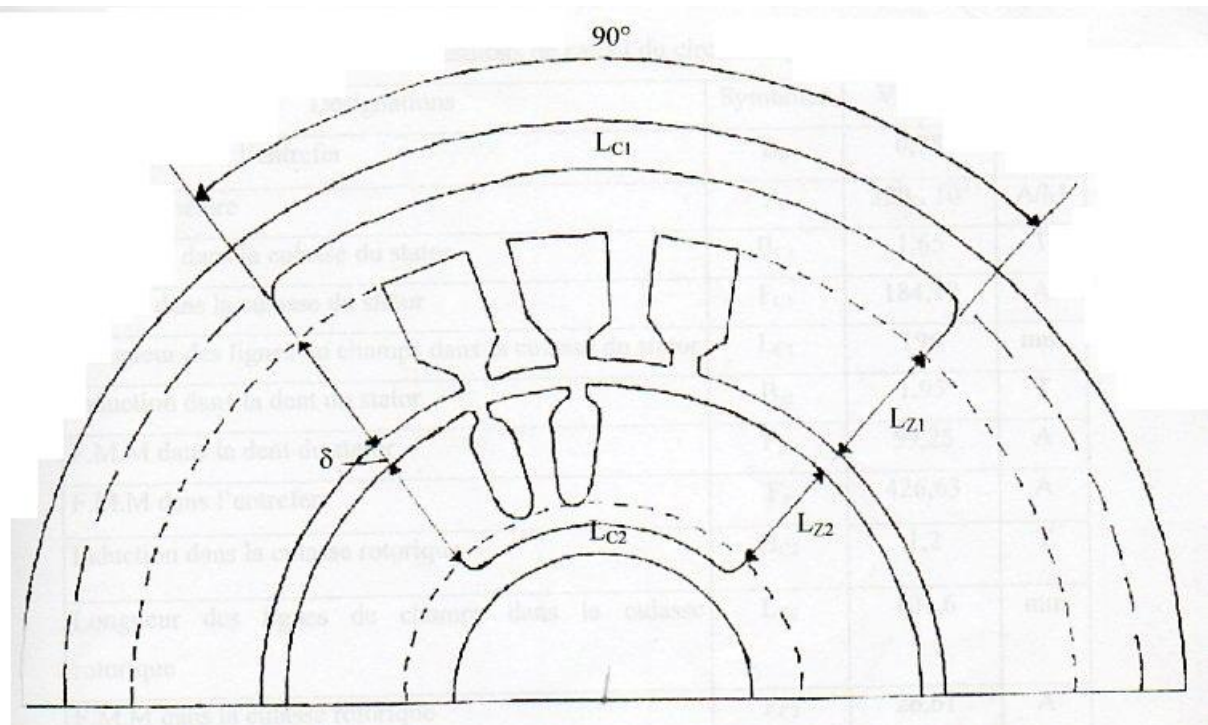


Fig. III-1 : Schéma du circuit magnétique.

Désignations	Symboles	Valeurs	Unités
Induction dans l'entrefer	$B\delta$	0.73	T
Charge linéaire	A_1	40.5	A/mm
Induction dans la culasse du stator	B_{c1}	1.65	T
Fmm dans la culasse du stator	F_{c1}	152.88	A
Longueur des lignes du champ dans la culasse du stator	L_{c1}	162.64	mm
Induction dans la dent du stator	B_{z1}	1.95	T
Fmm dans la dent du stator	F_{z1}	52.14	A
Fmm dans l'entrefer	$F\delta$	361.61	A
Induction dans la culasse rotorique	B_{c2}	1.2	T
Longueur des lignes de champs dans la culasse rotorique	L_{c2}	78.02	mm
Fmm dans la culasse rotorique	F_{c2}	20.44	A
Induction dans la dent du rotor	B_{z2max}	1.95	T
Fmm dans la dent du rotor	F_{z2}	64.87	A
Fmm totale	F	1130	A
Coefficient de saturation des dents	K_{mz}	1.32	-
Coefficient de saturation de la machine	K_m	1.56	-
Courant magnétisant	I_m	5.61	A

Tableau T III-1: Résultats de calcul de circuit magnétique.

Désignation	Symboles	Valeurs					Unités
Induction magnétique dans l'entrefer	$B\delta$	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	T
Réactance de fuite d'encoche	X_{enc1}	12900	12800	12700	12600	12500	Ω
Réactance de fuite différentielle	X_{id1}	67400	67400	67400	67400	67400	Ω
Largeur moyenne d'une section	b_{1moy}	176.54	176.29	176.04	175.78	175.53	mm
Longueur moyenne de la partie frontale d'une demi-spire	L_{f1}	269.22	268.86	268.50	268.13	267.74	mm
Réactance de fuite frontale	X_{if1}	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	Ω
Réactance totale	X_1	1.44	1.44	1.44	1.44	1.43	Ω
Réactance magnétisante	X_m	37.22	37.00	36.77	36.55	36.34	Ω
Coefficient de dispersion magnétique du stator	σ_μ	0.038	0.039	0.039	0.039	0.039	
Fem à vide	E_0	211.76	211.73	211.69	211.65	211.62	V
Longueur moyenne d'une spire de l'enroulement statorique	L_{w1}	764.44	763.71	762.99	762.26	761.53	mm
La résistance active d'une phase statorique	R_1	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	Ω
La réactance de fuite rotorique	X_2	0.000274	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027	Ω
Coefficient de réduction de la cage rotorique vers le stator	K_{red1}	7500	7500	7500	7500	7500	

Section de la barre pénétrée par le courant de démarrage	$S_{b\text{dem}}$	141.22	138.39	135.58	132.80	130.04	mm ²
Resistance de la barre de démarrage	$R_{b\text{dem}}$	$3.90 \cdot 10^{-5}$	$3.98 \cdot 10^{-5}$	$4.06 \cdot 10^{-5}$	$4.15 \cdot 10^{-5}$	$4.24 \cdot 10^{-5}$	Ω
Resistance de la cage au démarrage	$R_{2\text{demp}}$	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	Ω
Réactance de fuite au d démarrage	$X_{2\text{dem}}$	0.00020	0.00020	0.00020	0.00020	0.00020	Ω
Réactance de fuite au démarrage ramenée au stator	$X_{2\text{dem ram}}$	1.53	1.54	1.55	1.55	1.56	Ω

Tableau T III-2: Résultats de calcul des paramètres électriques du régime de fonctionnement.

Chapitre IV

Etude des performances d'un moteur asynchrone

Dans toute machine électrique, une fraction de la puissance reçue devient de la chaleur. Cette fraction constitue l'ensemble des pertes de la puissance active. Elles se produisent dans les divers matériaux utilisés pour réaliser la machine : Dans le fer (canalisant le flux), dans le cuivre ou l'aluminium (canalisant les courants) et dans les isolant (interposés entre les précédents) . Cependant, aux fréquences industrielles, les pertes de puissance active dans les isolants sont insignifiantes et peuvent être négligées. Les sources principales des pertes sont le champ magnétique et le courant électrique qui se distribuent d'une manière très complexe, rendant ainsi leur calcul peu maniable. L'évaluation de ces pertes est très importante car elles influencent sur deux grandeurs d'intérêt majeur en exploitation : L'échauffement et le rendement. On distingue :

Les pertes dans le fer

Les pertes électriques dans le cuivre

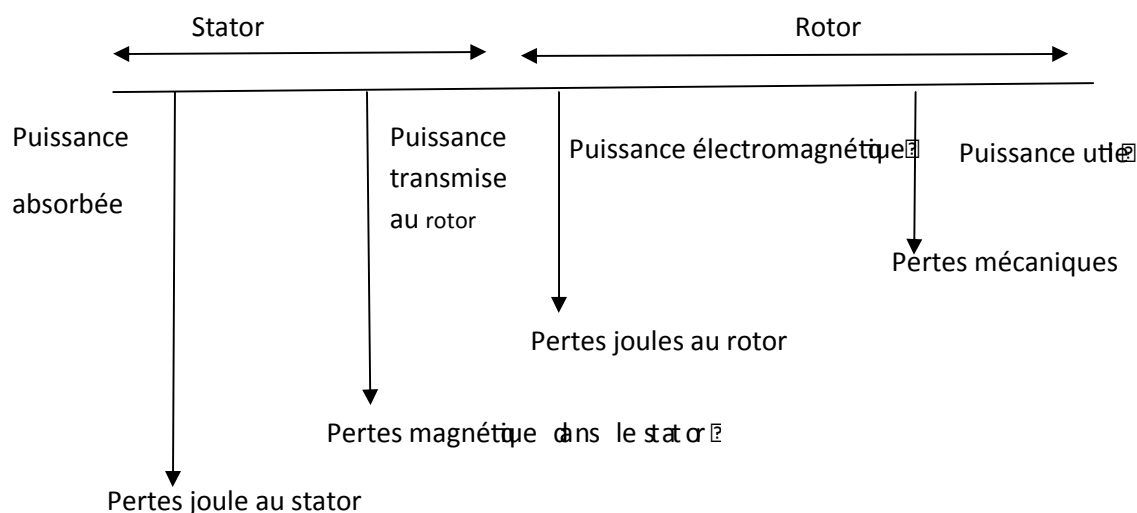
Les pertes mécaniques

Les pertes supplémentaires

IV-1-Bilan des puissances

Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine électrique jusqu'à la puissance utile de nature mécanique.

Le bilan peut être résumé à l'aide du schéma suivant :



Bilan des puissances d'un moteur asynchrone

IV-1-1-Puissance reçue ou absorbée (P_{abs})

Elle est mesurée au stator quelque soit le couplage, elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{abs} = 3 * U * I_n * \cos\varphi \quad [W] \quad (IV-1)$$

IV-1-2-Les pertes Magnétique principales statoriques (pertes fer (p_{map}))

Elles sont dues à la variation périodique du champ magnétique, elles sont localisées au niveau des armatures statoriques

Ø Pertes magnétiques dans la culasse statorique (p_{mac1})

Ce sont les pertes enregistrées dans le dos du stator, elles sont exprimées par la relation suivante :

$$p_{mac1} = 1.7 * G_{c1} * \frac{p_{10}}{50} * B_{c1}^2 \quad [W] \quad (IV-2)$$

Avec :

G_{c1} : Le poids total de la culasse statorique [Kg]

$$G_{c1} = 7.8 * 10^{-6} * L_i * K_{fer} * \pi * (D_{1ext} - h_{c1}) * h_{c1} \quad [Kg] \quad (IV-3)$$

$P_{10/50}$: Ce sont les pertes spécifiques elles sont égales à :

$$P_{10/50} = 2.5 \quad \left[\frac{W}{Kg}\right]$$

B_{c1} : Induction dans la culasse statorique

Ø Pertes magnétiques dans les dents statoriques

Ces pertes sont dues aux harmoniques dans les dents statoriques sont proportionnelles au carré de l'induction magnétique dans dents.

$$p_{maz1} = 1.7 * \frac{p_{10}}{50} * G_{z1} * B_{z1}^2 \quad [W] \quad (IV-4)$$

Avec :

G_{z1} : Poids total des dents dans le stator, il est donné par l'expression suivante :

$$G_{z1} = 7.8 * 10^{-6} * L_i * K_{fer} * [h_{z1} * \pi * (D_1 + h_{z1}) - S_{enc1} * z_1] [\text{Kg}] \quad (\text{IV-5})$$

B_{z1} : L'induction dans la dent statorique.

Finalement les pertes magnétiques principales sont données par la somme des pertes dans la culasse et dans les dents statoriques.

$$p_{map} = p_{maz1} + p_{mac1} \quad [\text{W}] \quad (\text{IV-6})$$

IV-1-3-Les pertes électriques statoriques (pertes joules p_{el1})

Ce sont les pertes par effet joule dissipées dans l'enroulement, elles sont proportionnelles au carré du courant statorique, elles sont données par la formule suivante :

$$p_{el1} = m * R_1 * I_n^2 \quad [\text{W}] \quad (\text{IV-7})$$

Avec :

m : Nombre de phase de l'enroulement statorique

R_1 : Résistance d'une phase de l'enroulement statorique $[\Omega]$

I_n : Courant dans une phase statorique $[\text{A}]$

IV-1-4-Puissance électromagnétique

En diminuant à la puissance absorbée au stator les pertes magnétiques principales et les pertes joules statoriques on obtient la puissance électromagnétique transmise au rotor

$$P_{em} = P_{abs} - (p_{map} + p_{el1}) \quad [\text{W}] \quad (\text{IV-8})$$

IV-1-5-Les pertes électriques rotoriques (pertes joules (p_{el2}))

Ce sont les pertes par effet joule dissipées dans l'enroulement, elles sont proportionnelles au carré du courant rotorique, elles sont données par la formule suivante :

$$p_{el2} = m * R_2 * I_2^2 \quad [\text{W}] \quad (\text{IV-9})$$

Avec :

I_2 : Courant dans la barre.

R_2 : Résistance rotorique, celle-ci est composée de la résistance de la barre et celle de la bague de court-circuit

$$R_2 = R_b + R_{an} \quad [\Omega] \quad (IV-10)$$

IV-1-6-Puissance mécanique(P_{mec})

Si on diminue encore de la puissance électromagnétique les pertes joule rotorique on obtient la puissance mécanique disponible sur l'arbre

$$P_{mec} = P_{em} - p_{el2} \quad [W] \quad (IV-11)$$

IV-1-7-Pertes fer rotoriques

Les pertes fer ou magnétiques dans le rotor sont plus souvent négligées car l'induction varie à la fréquence

$$f_r = g * f \quad (IV-12)$$

Avec :

g : Le glissement, or g est faible en fonctionnement normal.

f_r : la fréquence rotorique [Hz]

IV-1-8-Pertes mécaniques (p_{tmech})

Ces pertes sont considérées comme constantes, elles sont données, ou calculées par un essai à vide. Très souvent elles sont égales aux pertes dans le fer du stator.

IV-1-9-Pertes supplémentaires

Ces pertes ont pour origine le champ de fuite dans les encoches et dans les têtes des bobines. Elles sont estimées à 0.5% de la puissance absorbée par la machine et peuvent être exprimées par la relation suivante :

$$p_{sup} = 0.005 * \frac{p_n * 10^3}{\eta} \quad [W] \quad (IV-13)$$

Avec :

p_n : Puissance nominale [KW]

η : Rendement.

IV-1-10-Pertes totales (p_{tot})

C'est la somme de toutes les pertes

$$p_{tot} = p_{map} + p_{el1} + p_{el2} + p_{tmec} + p_{sup} \quad [W] \quad (IV-14)$$

IV-1-11-Puissance utile :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$P_u = P_{mec} - p_{tmec} \quad [W] \quad (IV-15)$$

IV-2-Resistance de magnétisation

La puissance active absorbée à vide correspond aux pertes fer et aux pertes mécanique, le courant actif qui correspond a cette puissance est donné par l'expression suivante :

$$I_{ac} = \frac{p_{map} + p_{tmec} + R_1 * m * I_m^2}{m * U} \quad [A] \quad (IV-16)$$

$$R_m = \frac{X_m * I_m}{I_{ac}} \quad [\Omega] \quad (IV-17)$$

Avec :

$$I_m : \text{Courant magnétisant} \quad [A]$$

$$X_m : \text{Réactance magnétisante} \quad [\Omega]$$

IV-3-Le facteur de puissance

Le facteur de puissance est une caractéristique d'un récepteur électrique. Pour un dipôle alimenté en régime de courant variante au cours du temps (sinusoïdal ou non), il est égale à la puissance active consommée par ce dipôle divisée par le produit des valeurs efficaces du courant et de la tension. Il est toujours compris entre 1 et 0

$$f_p = \frac{P}{UI} = \frac{P}{S} \quad (IV-18)$$

En particulier, si le courant et la tension sont des fonctions sinusoïdales du temps le facteur de puissance est égale au cosinus du déphasage entre le courant et la tension.

$$f_p = \cos \varphi$$

Le facteur de puissance est un paramètre qui rend compte de l'efficacité qu'a un dipôle pour consommer de la puissance lorsqu'il est traversé par un courant. Une comparaison mécanique possible serait le facteur d'embrayage d'une boîte de vitesses.

IV-4-Rendement du moteur

Le rendement est donné par l'expression suivante

$$\eta = \frac{p_n}{P_{abs}} = \frac{p_n * 10^3}{p_n * 10^3 + p_{tot}} \quad [W] \quad (IV-19)$$

N.B: les résultants du calcul obtenus sont groupés dans le tableau (T II-5).

Désignation	Symboles	Valeurs	Unités
Poids de la culasse statorique	G_{c1}	10.18	Kg
Pertes dans la culasse	p_{mac1}	63.02	W
Poids totales des dents	G_{z1}	4.50	Kg
Pertes dans les dents statorique	p_{maz1}	72.76	W
Pertes fer (magnétique) principales	p_{map}	135.79	W
Pertes électriques statorique	p_{el1}	827.25	W
Résistance d'une phase rotorique	R_2	$6.33 * 10^{-5}$	Ω
Pertes électriques rotorique	p_{el2}	289.58	W
Pertes mécaniques	P_{mec}	46.70	W
Pertes supplémentaires	p_{sup}	49.50	W
Pertes totales	p_{tot}	$1.34 * 10^3$	W
Courant actif	I_{ac}	0.38	A
Résistance de magnétisation	R_m	549.75	Ω
Rendement	η	0.84	-

Tableau T IV-1 : Résultats de calcul des pertes et du rendement.

IV-5-Couples du moteur

-Glissement

Le rotor tourne à la vitesse Ω plus petite que la vitesse de synchronisme Ω_s . On dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant, il va dépendre de la charge.

Le glissement g est donné par :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_2}{\Omega_s} = \frac{n_s - n_2}{n_s} \quad (\text{IV-20})$$

Avec :

n_s : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (tr.s^{-1})

n_2 : Vitesse de rotation du rotor (tr.s^{-1})

$$\Omega_s = 2 * \pi * n_s / 60 \text{ (rad.s}^{-1}\text{)}$$

$$\Omega_2 = 2 * \pi * n_2 / 60 \text{ (rad.s}^{-1}\text{)}$$

D'autre part le glissement s'écrit comme suit :

$$g = \frac{p_{el2}}{p_{em}} \quad (\text{IV-21})$$

-Fem du rotor

$$E_2 = g * E_1 \quad [\text{V}] \quad (\text{IV-22})$$

IV-5-1-Couple utile

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega_2} \quad [\text{N.m}] \quad (\text{IV-23})$$

IV-5-2-Couple transmis

$$C_t = \frac{P_u + p_{map} + p_{mec}}{\Omega_2} = C_u + \frac{p_{map}}{\Omega_2} + \frac{p_{mec}}{\Omega_2} = \frac{g * E_2 * I_2 * \cos \varphi_2}{\Omega_s - \Omega_2} \quad (\text{IV-24})$$

$$\text{D'où : } I_2 = \frac{Fem \text{ rotor}}{\text{impédance rotor}} = \frac{g * E_1}{\sqrt{R_2^2 + (g * X_2)^2}} \quad (\text{IV-25})$$

I_2 : Courant rotorique

$$\cos\varphi_2 = \frac{\text{résistance rotor}}{\text{impédance rotor}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (gX_2)^2}} \quad (\text{IV-26})$$

$\cos\varphi_2$: Facteur de puissance rotorique

IV-5-3 -Caractéristique couple- glissement du moteur

$$C = \frac{3E_1^2 R_2 g}{\Omega_2 (R_2^2 + (gX_2)^2)} \quad [\text{N.m}] \quad (\text{IV-27})$$

Formule dans laquelle E_1 , R_2 , X_2 et Ω_2 sont des constantes, elles montrent que

- Quand on a $g=0$ (synchronisme) le couple est nul ;
- Au voisinage de synchronisme (gX_2 est faible), le couple est sensiblement proportionnel au glissement ;
- Pour des forts glissements R_2^2 devient négligeable devant $(gX_2)^2$, d'où le couple varie en $(1/g)$.

Au début, quand g est assez faible, l'influence du glissement sur I_2 est plus importante que sur $\cos\varphi_2$ (le cos diminue peu tant que l'angle demeure faible). Mais quand le glissement toujours croissant, la décroissance de $\cos\varphi_2$ devient plus importante que la croissance de I_2 . Dès lors le couple décroît il ya donc une valeur du glissement correspondant à un couple maximum.

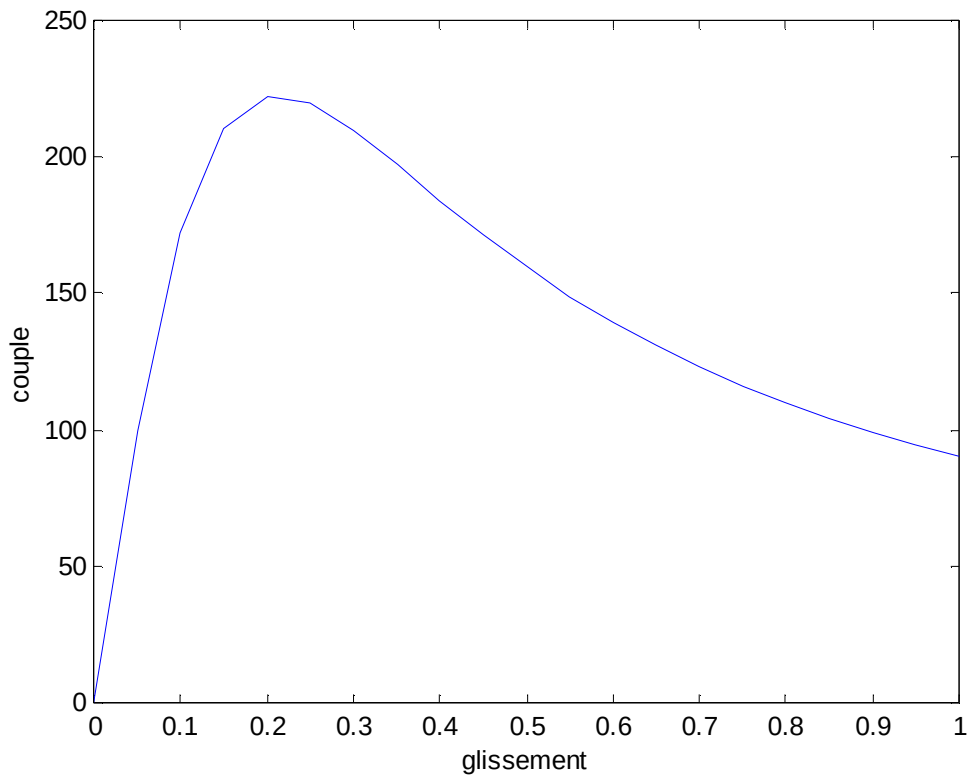


Fig. caractéristique couple-glissement

Interprétation de la courbe :

$g \in [0 \div 0.05]$: Zone de fonctionnement du moteur.

Nous constatons qu'elle est presque linéaire, cette partie de la courbe est très verticale : La vitesse varie peu avec la charge.

La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite.

$g \in [0.05 \div 1]$: Couple de démarrage du moteur : On constate que ce couple est fort : La machine peut démarrer en charge.

IV-5-4-Calcul du couple de l'ascenseur étudié

IV-5-4-1-Le diamètre de l'arbre

$$D_{ar} \geq \sqrt[3]{\frac{M_u}{0.2 \cdot R_{pg}}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{IV-28})$$

Avec :

M_u : Le moment utile maximal

M_u : égale au couple utile maximal C_{umax}

R_{pg} : La résistance pratique au glissement

$$R_{pg} = \frac{R_e}{S_{ec}} \quad [N/mm^2] \quad (IV-29)$$

R_e : limite d'élasticité propre au matériau choisi ($R_e=360[N/mm^2]$ pour l'acier).

S_{ec} =coefficient de sécurité

$$S_{ec} = (4 \div 6)$$

IV-5-4-2-Couple de l'ascenseur

$$C_{ua} = P_a * D_{ar} \quad (IV-30)$$

Avec :

$$P_a = 9.8 * m_a \quad (IV-30)$$

Et :

P_a : Le poids de l'ascenseur

m_a : La masse de l'ascenseur ($m_a = 1000Kg$)

IV-5-4-3-Poids du rotor

$$G_{rot} = \frac{56}{9.8} * Li * D_2^2 * 10^{-6} \quad [Kg] \quad (IV-31)$$

IV-6- Réglage de la vitesse du moteur asynchrone

De nombreux systèmes industriels entraînés par des moteurs électriques utilisent la variation de vitesse pour optimiser leur fonctionnement.

L'expression de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones est donnée par la relation suivante :

$$n_2 = n_s (1 - g) \quad [\text{ou bien} \quad \Omega = \Omega_s (1 - g)]$$

$$\text{Avec : } n_s = \frac{60 * f}{P} (1 - g) = \frac{2 * \pi * f}{P} = \frac{W}{P} (1 - g)$$

Cette expression nous montre qu'on peut changer la vitesse de rotation soit :

- Par action sur le nombre de paires de pôles
- Par action sur la fréquence d'alimentation f
- Par action le glissement

Action sur le nombre de paires de pôle : C'est la méthode la plus facile à réaliser en bobinant deux enroulements au stator chacun donnant

Action sur la fréquence : Réalisation des convertisseurs électromécaniques

Réalisation des convertisseurs statiques (onduleur, cycloconvertisseur électronique de puissance), cette réalisation permet une commande continue de la vitesse de zéro à la vitesse de synchronisme, son inconvénient est l'investissement supplémentaire pour l'achat du convertisseur.

Action sur le glissement

L'action sur la tension

Conclusion générale

Conclusion générale

La machine asynchrone à cage est caractérisée par les équations électriques complexes, où apparaissent des paramètres dont la détermination expérimentale imprécise, de plus, la difficulté d'accéder aux informations rotoriques, nous laisse dans l'impossibilité de voir le comportement et l'évolution des courants rotoriques au régime dynamique.

Pour faire nous avons suivis les étapes de calcul suivantes :

Dimensionnement du stator, du rotor et du circuit magnétique en utilisant différentes formules de calcul.

Nous avons élaboré un programme informatique qui nous a été d'un apport important, de plus un soin appréciable de temps de calcul, et nous a offert la possibilité de voir l'influence des différents paramètres, dans ce programme nous avons fait un calcul d'optimisation dans le choix de la densité du courant, du nombre de conducteur et les inductions admissibles .

Les résultats de calcul obtenus sont conformes avec ceux contenus dans le cahier des charges.

Programme de calcul informatique

```

clear all
close all
pn=7.5;
Dext1=225;
D1=148;
p=2;
ns=1350;
U=220;
f=50;
cosphi=0.75;
h=132;
z1=36;
z2=34;
ln=20;
del ta=0.5;
Bz1max=1.95;
Bz2max=1.95;
Bc1=1.65;
A1=40.5;
Bdel ta=0.78;
m=3;
pi=3.14;
Bc2=1.2;
Hc1=0.94;
Hc2=0.262;
Hz1=2.52;
Hz2=2.52;
beta=1;
Kf=1.11;
Kob=1;
Kr1=1;
Ke=0.95;
bf1=3.5;
bf2=1.2;
Kfer=0.95;
al phai=0.65;
a1=2;
e1=0.25;
e2=0;
e3=0.35;
hf1=1.2;
hf2=0.6;
raual=48.8*10^-9;
rauc=0.172*10^-7;
KE=0.9;
Nel=1;
diso=1.48;
Kdd1=0.90;
Krr1=0.0141;
y1moy=12;
qeff=1.49;
Kdd2=0.006;
psi=1;
q1=z1/(2*p*m);
gamma=(p*360)/z1;
teta=q1*gamma;
Kd1=(sin(teta/(2*m)))/(q1*sin(teta/(2*q1*m)));
Ken1=Kr1*Kd1*Kob;
neta=(pn*10^3)/(m*U*ln*cosphi);
pin=KE*(pn/(neta*cosphi));
Li=(6.1*pi*n*10^9)/(al phai*Kf*Ken1*ns*D1^2*A1*Bdel ta);
lambda=Li/D1;
t1=(pi*D1)/z1;
Uen1=(a1*t1*A1)/ln;
N1=(Uen1*z1)/(2*m*a1);
tau=(pi*D1)/(2*p);
w1=(Uen1*z1)/(2*a1*m);
A1=(m^2*ln*w1)/(pi*D1);

```

```

w1t=2*w1*m;
wz1=w1t/z1;
ln=20;
a1=2;
j1=4.89;
nn=10;
pas=(6.67-4.89)/nn;
for ii=1:nn

    Seff=ln/(a1*j1);
    if Seff>=1.8
        Seff1(ii)=(Seff)
    end
    Seff1(ii)=Seff
    j11(ii)=j1
    j1=j1+pas;
end
Seff=ln/(a1*j1);
E1=Ke*U;
flu=E1/(4*Kf*f*w1*Ken1);
Bdel ta=flu/(al phai *tau*Li *10^-6);
bz1=(t1*Bdel ta)/(Kfer*Bz1max);
hc1=(0.5*al phai *tau*Bdel ta)/(Kfer*Bc1);
hz1=0.5*(Dext1-D1)-hc1;
benc1=[(pi*(D1+(0.2*hz1)))/z1]-bz1;
benc2=[(pi*(D1+(2*hz1)))/z1]-bz1;
hk1=0.5*(benc1-bf1);
henc1=hz1-(hf1+hk1);
Sisoenc=((benc2+(2*henc1))*e1)+((1/2)*((benc1+benc2)*e3))+((benc1*e2);
Senc1=((1/2)*(benc1+benc2)*henc1)-Sisoenc;
Kre=(Uen1*Nel*diso^2)/Senc1;
D2=D1-(2*del ta);
del ta=0.5*(D1-D2);
taur=(pi*D2)/(2*p);
t2=(pi*D2)/z2;
bz2=(t2*Bdel ta)/(Kfer*Bz2max);
hc2=(0.5*al phai *taur*Bdel ta)/(Kfer*Bc2);
D2int=0.3*D2;
dsen2=[(pi*(D2-(2*hf2)))-(z2*bz2)]/(z2+pi);
hz2=(0.5*(D2-D2int))-hc2;
dien2=[(pi*(D2-(2*hz2)))-(z2*bz2)]/(z2-pi);
h2=hz2-hf2-(0.5*(dien2+dsen2));
henc2=h2+(0.5*(dien2+dsen2));
Lc1=(pi/(2*p))*(Dext1-hc1);
Bc1=(0.5*al phai *tau*Bdel ta)/(Kfer*hc1);
Fc1=Hc1*Lc1;
Bz1=(Bdel ta*t1)/(Kfer*bz1);
Fz1=Hz1*hz1;
Kdel ta1=1+(bf1/((t1-bf1)+((5*del ta*t1)/bf1)));
Kdel ta2=1+(bf2/((t2-bf2)+((5*del ta*t2)/bf2)));
Kdel ta=Kdel ta1*Kdel ta2;
Fdel ta=0.8*Bdel ta*Kdel ta*del ta*10^3;
Lc2=[(pi/(2*p))*(D2-(2*hz2))-hc2]+hc2;
Bc2=(0.5*al phai *taur*Bdel ta)/(Kfer*hc2);
Fc2=Lc2*Hc2;
Bz2=(t2*Bdel ta)/(Kfer*bz2);
Fz2=Hz2*(hz2-(0.4*dien2));
sommeF=(2*Fdel ta)+(2*Fz1)+(2*Fz2)+Fc1+Fc2;
Km=(Fdel ta+Fz1+Fz2)/Fdel ta;
Km=sommeF/(2*Fdel ta);
lm=(p*sommeF)/(0.9*m*w1*Ken1);
h1=(0.8*Senc1)/(0.5*(benc1+benc2));
Kbeta1=((3*beta)+1)/4;
Kbeta2=((3*beta)-1)/4;
h11=henc1-h1;
lambdaenc1=((h1*Kbeta1)/(3*benc1))*((h11/benc1)+((3*hk1)/(benc1+(2*bf1)))+(hf1/bf1))*Kbeta2;
Xenc1=(1.58*f*Li*w1^2*lambdaenc1)/(p*q1*10^3);
Kf1=1-((0.033*bf1^2)/(del ta*t1));

```


Until ed13. m

```

lambdai d1=(0.9*t1*(q1*Ken1)^2*Krr1*Kdd1*Kf1)/(Kdel ta*del ta);
Xi d1=(1.58*f*Li*w1^2*lambdai d1)/(p*q1*10^3);
b1moy=((pi*(D1+hz1))/z1)*y1moy;
Lf1=((1.16+(0.14*p))*b1moy)+15;
lambdai f1=(0.34*(q1/Li))*(Lf1-(0.64*beta*tau));
Xi f1=(1.58*f*Li*w1^2*lambdai f1)/(p*q1*10^8);
lambda1=lambdaenc1+lambdai d1+lambdai f1;
X1=(1.58*f*Li*w1^2*lambda1)/(p*q1*10^8);
Xm=E1/l m;
segmam=X1/Xm;
E0=U/(1+segmam);
Lw1=2*(Li+Lf1);
R1=(rauc*w1*Lw1)/(a1*qeff*Nel*10^-3);
l2=ln-l m;
lb=l2;
Sb=0.125*pi*(dsen2^2+di en2^2)+0.5*(dsen2+di en2)*h2;
Jb=lb/Sb;
Rb=(raual*(Li/Sb))*10^3;
San=0.35*(z2*Sb)/(2*p);
han=1.1*hz2;
ban=San/han;
Dan=D2-han;
Ran=(raual*2*pi*Dan*10^3)/(z2*San);
Lan=(pi*Dan)/z2;
Bob=t1/t2;
al phaob=(2*pi*p*Bob)/z2;
Kob=(sin(al phaob/2))/(al phaob/2);
Kred1=((4*m)/z1)*(((w1*Ken1)/Kob)^2);
Kred2=2*sin((pi*p)/z2);
Ranr=Ran/(Kred2^2);
R2=(Rb+Ranr);
R2ram=Kred1*(Rb+Ranr);
ksi=0.4;
hb=henc2;
g=(ksi^2)/((0.064*hb)^2);
clambda=psi*(((h2+(0.4*di en2))/(3*dsen2))*(1-((pi*dsen2)/(8*Sb)))^2+0.66-(bf2/(2*dsen2)));
lambdaenc2=clambda+(hf2/bf2);
q2=z2/(3*2*p);
lambda2d=(0.9*t2*((z2/(6*p))^2)*Kdd2)/(del ta*Kdel ta);
lambda2f=((2.3*Dan)/(z2*Li*(Kred2^2)))*log((4.7*Dan)/(2*han)+(2*Lan));
lambdaob=(t2*(Bob^2))/(9.5*del ta*Kdel ta*Km);
lambda2=lambdaenc2+lambda2d+lambda2f+lambdaob;
X2=7.9*f*Li*lambda2*10^-9;
X2ram=Kred1*X2;
phi1=0;
hpp=hb/(1+phi1);
bpp=dsen2-((dsen2-di en2)*(hpp-dsen2/2))/h2;
Sbdem=0.393*dsen2^2+(0.5*(dsen2+bpp)*(hpp-0.5*dsen2));
Kdep=Sb/Sbdem;
Rbdem=Rb*Kdep;
R2demp=Kred1*(Rbdem+Ranr);
psi2=0;
clamdap=psi2*clambda;
lambdaenc2dem=clamdap+(hf2/bf2);
lambda2p=lambdaenc2dem+lambda2d+lambda2f+lambdaob;
X2dem=7.9*f*Li*lambda2p*10^-9;
X2demram=Kred2*X2dem;
Pabs=m*U*ln;
Gc1=7.8*10^-6*Li*Kfer*pi*(Dext1-hc1)*hc1;
pmac1=1.5*2.5*Bc1*Gc1;
Gz1=7.8*10^-6*Li*Kfer*(hz1*pi*(D1+hz1)-Senc1*z1);
pmaz1=1.7*2.5*(Bz1^2)*Gz1;
pmap=pmac1+pmaz1;
pel1=3*R1*ln^2;
Pem=Pabs-(pel1+pmap);
pel2=3*R2ram*ln^2;
Pmec=Pem-pel2;
K=1;%K=1 pour si 2p>2

```

```

pmec=K*((ns*10^-3)^2)*((Dext1*10^-2)^4)
psup=(0.005*pn*10^3)/net a;
ptot=pe1+pmep+pe2+pmec+psup;
lac=(pmep+pmec+(R1*m*(lm^2)))/(m*U);
Rm=(Xm*lm)/lac;
Pu=Pmec-pmec;
net a=(pn*10^3)/(pn*10^3+ptot);
n2=(1-g)*ns;
E2=g*E1;
omega2=(2*pi*n2)/60;
Cu=Pu/omega2;
omegas=(2*pi*ns)/60;
Cem=pe/omegas;
cosphi2=R2/(R2^2+(g*X2)^2)^0.5;
Cd=(3*E1^2*R2*g)/(omega2*(R2^2+(g*X2)^2));

```

Annexes

h[mm]	z_2/z_2 en fonction de (2*p)		
	2	4	6
71	24 /20	24/18	36/28
80÷100	24/20	36/28	36/28
112	24/22	36/34	54/51
132	24/19	36/34	54/51
160	36/28	48/38	54/51
180÷200	36/28	48/58	72/58

Tableau A1

h [mm]	2p	$B_{z2max}[T]$	$B_{c2}[T]$
50 ÷ 132	2	1.75 ÷ 1.95	1.35 ÷ 1.45
	4	1.75 ÷ 1.95	1.15 ÷ 1.25
	6	1.75 ÷ 1.95	1.05÷ 1.15
	8	1.7 ÷ 1.90	0.75÷ 0.85
160 ÷ 225	2	1.75 ÷ 1.95	1.35 ÷ 1.45
	4	1.55 ÷ 1.80	1.15 ÷ 1.25
	6	1.65 ÷ 1.90	1.05 ÷ 1.15
	8	1.65 ÷ 1.90	0.75 ÷ 0.85
180 ÷ 250	2	1.60 ÷ 1.85	1.35 ÷ 1.45
	4	1.80 ÷ 2.00	1.15 ÷ 1.25
	6	1.65 ÷1.90	1.05 ÷ 1.15
	8	1.65 ÷ 1.90	0.75 ÷ 0.85

Tableau A2

$D_{ext1}[\text{mm}]$	$h[\text{mm}]$	Puissance nominale en [KW] en fonction de ($2 \cdot p$)		
		2	4	6
116	71	0.75	-	-
		1.10	0.75	-
131	80	1.50	1.1	.75
		2.20	1.5	1.1
149	90	3	2.2	1.5
		-	-	-
168	100	4	3	2.2
		5.5	4	-
191	112	7.5	5.5	3
		-	-	4
225	132	11	7.5	5.5
		-	11	7.5
272	160	15	15	11
		18.5	18.5	15
313	180	22	22	18.5
		30	30	-

Tableau A3

$h [\text{mm}]$	$2p$	$B_{z1max}[T]$	$B_{c1}[T]$
$50 \div 132$	$2 \div 4$	$1.75 \div 1.95$	$1.50 \div 1.65$
	6	$1.75 \div 1.95$	$1.45 \div 1.60$
	8	$1.70 \div 1.90$	$1.20 \div 1.35$
160	2	$1.75 \div 2.00$	$1.45 \div 1.70$
	4	$1.75 \div 2.00$	$1.45 \div 1.70$
	6	$1.70 \div 1.85$	$1.35 \div 1.50$
	8	$1.70 \div 1.85$	$1.10 \div 1.20$
$180 \div 250$	2	$1.70 \div 1.90$	$1.45 \div 1.65$
	$4 \div 6$	$1.70 \div 1.90$	$1.45 \div 1.65$
	8	$1.70 \div 1.85$	$1.10 \div 1.20$

Tableau A4

S_{eff1} [mm ²]	d_{nu} [mm]	d_{iso1} [mm]
0.221	0.53	0.585
0.246	0.56	0.615
0.283	0.60	0.655
0.312	0.63	0.690
0.335	0.67	0.730
0.396	0.71	0.770
0.442	0.750	0.815
0.503	0.800	0.865
0.567	0.850	0.915
0.636	0.900	0.965
0.709	0.950	1.015
0.785	1.000	1.080
0.883	1.060	1.140
0.895	1.120	1.200
1.094	1.180	1.260
1.227	1.250	1.330
1.368	1.320	1.405
1.539	1.400	1.485
1.767	1.500	1.585

Tableau A5

Q	1.5	2	2.5	3	4	5	6
K_{rr1}	-	0.0285	-	0.0141	0.0089	0.0065	0.0052

Tableau A6

α_{ob}	K_{ob}	α_{ob}	K_{ob}	α_{ob}	K_{ob}	α_{ob}	K_{ob}
0	1.0	0.5	0.991	1.0	0.959	1.5	0.909
0.1	1.0	0.6	0.986	1.1	0.951	1.6	0.897
0.2	0.999	0.7	0.980	1.2	0.941	1.7	0.884
0.3	0.998	0.8	0.974	1.3	0.932	1.8	0.870
0.4	0.995	0.9	0.967	1.4	0.921	1.9	0.856

Tableau A7

B(H)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0.5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0.6	188	191	194	198	201	205	208	212	216	220
0.7	223	226	229	233	236	240	243	247	250	253
0.8	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283
0.9	286	290	293	297	301	304	308	312	316	320
1.0	324	329	333	338	342	346	350	355	360	365
1.1	370	375	380	385	391	396	401	406	411	417
1.2	424	430	436	442	448	455	461	467	473	479
1.3	486	495	504	514	524	533	563	574	585	585
1.4	586	595	610	622	634	646	658	670	683	696
1.5	706	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	2320	2480	2520	2640	2760	2890	3020
2.0	3150	3320	3500	3500	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2.1	5110	5440	5740	5740	6360	6670	7120	7570	8020	8470
2.2	8920	9430	9940	9940	10980	11500	12000	12600	13200	13800
2.3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

Tableau A8($B_z[H_z]$)

B(H)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.4	52	53	54	55	56	57	58	59	60	62
0.5	64	65	66	67	69	71	72	74	76	79
0.6	80	81	83	85	87	89	91	93	95	97
0.7	100	102	104	106	108	111	113	115	118	121
0.8	124	126	129	132	135	138	140	143	146	149
0.9	152	155	158	161	164	168	171	174	177	181
1.0	185	188	191	195	199	203	206	209	213	217
1.1	221	225	229	233	237	241	245	249	253	257
1.2	262	267	272	277	283	289	295	301	307	313
1.3	320	327	334	341	349	359	365	373	382	391
1.4	400	410	420	430	440	450	464	478	492	506
1.5	520	542	564	586	608	630	654	678	702	726
1.6	750	788	826	864	902	946	982	1020	1070	1110
1.7	1150	1220	1290	1360	1430	1500	1600	1700	1800	1900
1.8	2000	2160	2320	2490	2650	2810	2960	3110	3270	3420
1.9	3570	3800	4030	4260	4490	4720	4930	5140	5350	5560
2.0	5770	6000	6300	6600	7000	7400	7900	8409	9000	9700

Tableau A9($B_c[H_c]$)

q ₁	K _{dd1} en fonction de z_2/p						
	10	15	20	25	30	35	40
2	0.99	0.94	-	-	-	-	-
3	0.98	0.93	0.88	0.85	-	-	-
4	-	0.90	0.84	0.80	0.77	-	-
5	-	-	-	0.75	0.72	0.70	-
6	-	-	-	0.70	0.66	0.62	-

Tableau A10

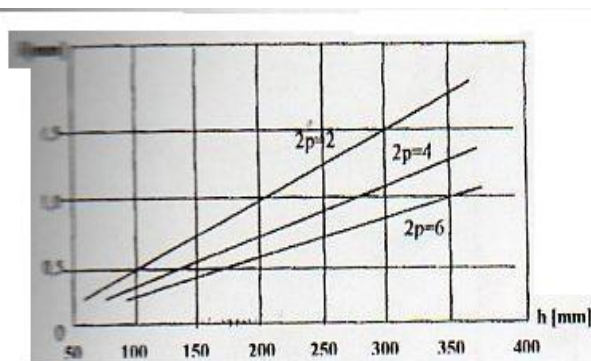


Fig. A1

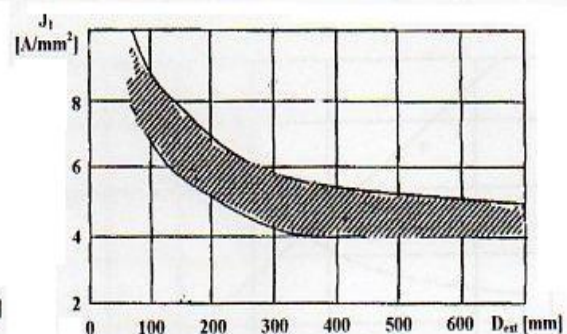


Fig. A2

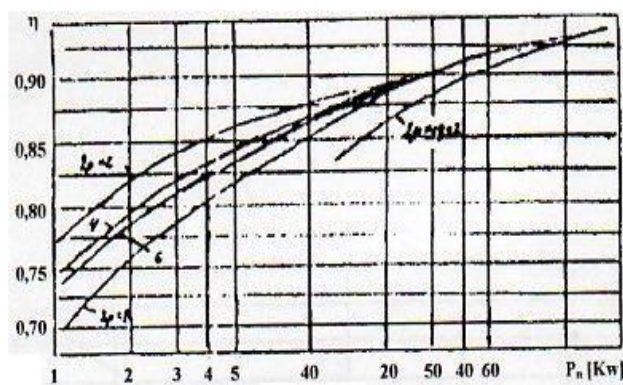


Fig. A3

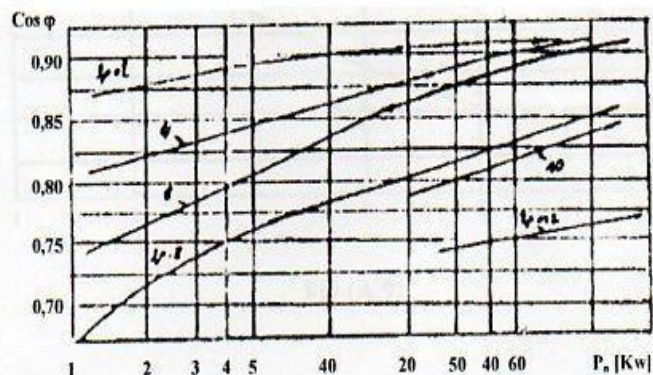


Fig. A4

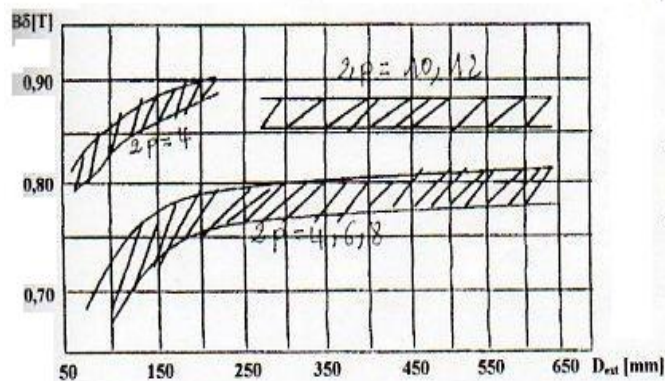


Fig. A5

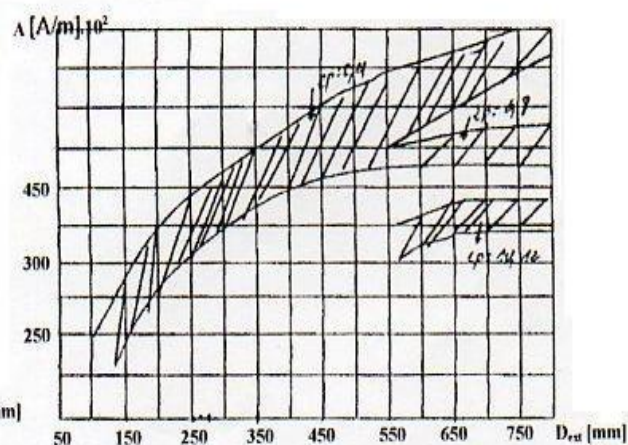


Fig. A6

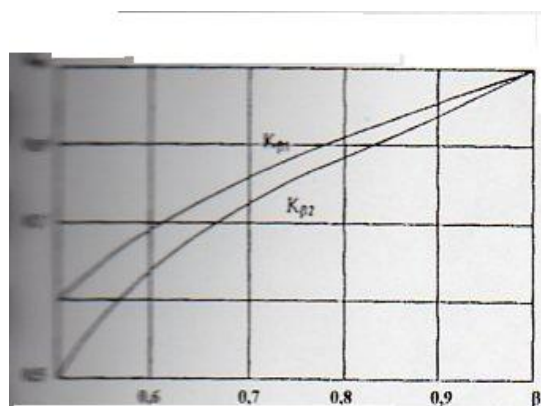


Fig. A7

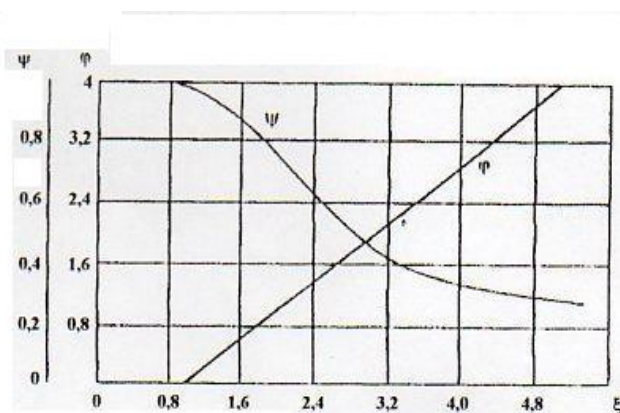


Fig.A8

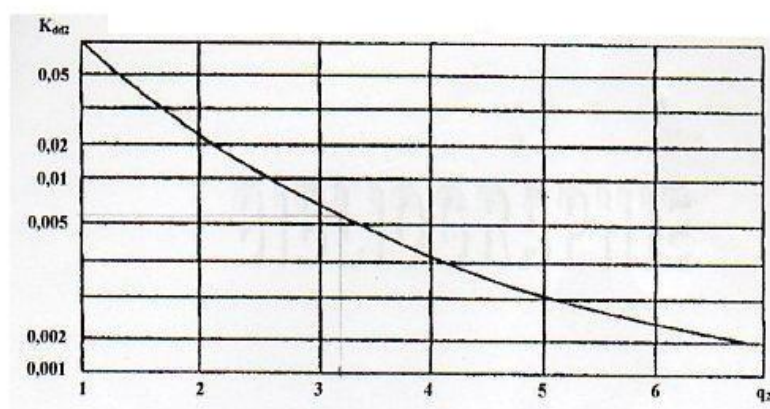


Fig.A9

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] fr.wikipedia.org/wiki/ascenseur, site internet.
- [2] CHAIBI.R « Développement d'un outil numérique destiné à l'étude des performances dynamiques d'un entraînement électrique : Application aux ascenseurs » « mémoire de fin d'étude (magister) UMMTO 2010 ».
- [3] FELLAG S.A « Etude d'un ascenseur » « mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en électrotechnique UMMTO 2002 ».
- [4] ARAB L. « Etude des techniques utilisées dans la commande et la conception des ascenseurs » « mémoire de fin d'étude de technicien supérieur en électrotechnique » « Institut national de la formation professionnelle-DJELFA 2004 ».
- [5] CHAIBI R. « Calcul d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil » « mémoire de fin d'étude DEUA en électrotechnique UMMTO 2000 ».
- [6] BEN AMROUCHE N.D « Cours ingénieur : machines électriques II » « UMMTO 2009-2010 ».
- [7] BELASSETT.M « Cours ingénieur : construction des machines électriques » « UMMTO 2010-2011 ».
- [8] WILDI T. « électrotechnique quatrième édition » « Les presses de l'université LAVAL » « Sainte-Foy (Québec), CANADA, G1K 7P4 2005 ».
- [9] KOSTENKO M. PIOTROVSKI L. « machines électriques » Tome II, édition MIR Moscou 1973.