

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electrotechnique

Mémoire

de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de
Master Professionnel
en Electrotechnique Industrielle

Thème

*Essais de contrôle des moteurs asynchrones
triphasés de puissance 3 kW, 1410 tr/mn
fabriqués par Electro-Industries*

Proposé par :

M^{elle} : N. KICHOU
Electro-Industries

Dirigé par:

M^{me} : F. MEGHERBI
UMMTO

Réalisé par :

- M^{lle} : AKMOUSSI KARIMA
- M^{lle} : BELABBAS NADJAT

Année Universitaire 2012/2013



Remerciement

Au début on remercie le bon dieu pour le courage qu'il nous a donné pour mener à terme ce travail.

Nous tenons à remercier notre promotrice M^{me} F. MEGHERBI d'avoir accepté de nous encadrer, nous lui exprimons notre gratitude pour son suivi, sa disponibilité et ses précieux conseils qui nous ont aidées à réaliser ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance au personnel de l'entreprise Electro-Industries d'Azazga, notamment M^{lle} N. KICHOU de nous avoir encadré et de nous avoir donné beaucoup de conseils pour nous familiariser au sein de l'entreprise. Nous remercions également le personnel de l'unité de contrôle qui nous a accueillies chaleureusement et aidées tout au long de notre stage.

Nous remercions aussi les membres du jury qui nous ont honorées de bien vouloir juger notre travail.

On remercie également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces



Je dédie ce travail en signe de respect, de gratitude et de reconnaissance à :

- ü Mes très chers parents, mon père Khelifa, ma maman Fatima pour leurs encouragements, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études, que dieu les protège pour moi ;*
- ü La mémoire de mes grands parents surtout ma chère grand mère Titem ;*
- ü Mon cher et unique frère Yacine ;*
- ü Mes adorables sœurs Lila, Titem, Nacira ;*
- ü Mes cousins et cousines en particulier Fatima ;*
- ü Mes tantes et mes oncles surtout Farid ;*
- ü Toute la famille AKMOUSSI et ceux qui me sont chers ;*
- ü Mes amis (es) surtout Zahia et Ouardia ;*
- ü Les étudiants de ma promotion ;*
- ü Ma binôme Nadjat et toute sa famille.*



KARIMA



Dédicaces

Je dédie ce travail en signe de respect, de gratitude et de reconnaissance à :

- ü Mes très chers parents ;*
- ü Mon frère Yacine ;*
- ü Mes sœurs Lila , Lydia et Lilia;*
- ü Mes grands parents ;*
- ü mon cher Boualem ;*
- ü Mes tantes ;*
- ü mes oncles ;*
- ü Mes amies : Souhila, Samia, Dyhia et Kamilia ;*
- ü Mes cousins et cousines en particulier Ouardia ;*
- ü Aux deux petits Ouramdane et Yasmine ;*
- ü Les étudiants de ma promotion ;*
- ü Ma binôme Karima et toute sa famille.*

NADJAT



Sommaire

Introduction générale	1
 Chapitre I : Généralités sur les moteurs asynchrones	
Introduction.....	2
I-1 Historique	2
I-2 Présentation et domaine d'utilisation du moteur asynchrone.....	2
I-3 Constitution	3
I-3-1 Le stator	3
I-3-2 Le rotor	4
I-3-2-1 Rotor bobiné.....	4
I-3-2-2 rotor à cage d'écureuil	6
I-4 Création du champ tournant	8
I-5 La vitesse de synchronisme.....	8
I-6 Glissement.....	9
I-7 Plaque signalétique d'un moteur asynchrone 3~	9
I-8 Démarrage des moteurs asynchrones triphasés	9
I-8-1 Démarrage direct	9
I-8-1-1 Couplage des enroulements	9
I-8-2 Démarrage étoile-triangle	10
I-8-3 Démarrage statorique.....	10
I-8-4 Démarrage rotorique.....	10
I-8-5 Démarrage par autotransformateur.....	11
I-9 Solutions générales aux problèmes de démarrage.....	11
I-9-1 Une réduction de la tension d'alimentation	11
I-9-1-a Action sur le circuit primaire (stator)	11
I-9-2 une augmentation de la résistance rotorique	11
I-9-2-a Action sur le circuit secondaire (rotor).....	11
I-10 Freinage.....	12
I-10-1 Arrêt en roue libre.....	12
I-10-2 Arrêt piloté	12

I-10-3 Freinage hyper synchrone	12
I-10-4 Arrêt par injection de courant continu	12
I-10-5 Arrêt à contre-courant	12
I-10-6 Freinage mécanique par électro-frein	13
I-11 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone	13
I-11-2 Action sur la fréquence de la tension d'alimentation statorique	13
I-11-3 Action sur le glissement	13
I-12 Caractéristique du moteur asynchrone	14
I-12-1 Caractéristique mécanique	14
I-13 Bilan des puissances et des pertes	14
I-13-1 Puissance électrique absorbée	15
I-13-2 La puissance transmise dans l'entrefer	15
I-13-3 Puissance électromagnétique	15
I-13-4 La puissance mécanique	16
I-13-5 La puissance utile	16
I-13-6 Rendement du moteur asynchrone triphasé	17
I-14 couples du moteur asynchrone triphasé	17
I-14-1 Couple électromagnétique	17
I-14-2 Couple utile C_u	18
I-14-3 Le couple des pertes	18
Conclusion	19

Chapitre II : Processus de fabrication du moteur asynchrone E.I

Introduction	20
II-1 Processus de fabrication du moteur asynchrone E.I	20
II-1-1 le bâtiment 2A	20
II-1-1-1 Ateliers de découpage, encochage et emballage	20
II-1-1-2 Atelier de moulage sous pression	22
II-1-2 Bâtiment 2	23
II-1-2-1 Atelier d'usinage	23
II-1-2-2 Atelier de bobinage	24
II-1-2-3 Atelier de montage	27

II-1-3 contrôle final	28
II-1-3-1 Essai série	29
II-1-3-2 Essais spéciaux	29
Conclusion	29

Chapitre III : description de l'unité contrôle

Introduction.....	30
III-1 Sommaire des différents contrôles	30
III-1-1 Contrôle de la qualité de la matière et des pièces en cours de fabrication	30
III-1-2 Contrôle de la qualité du produit par les moyens de E.I.....	30
III-1-2-1 Contrôle bobines	30
III-1-2-2 Contrôle électrique de bobinage (stators bobines).....	31
III-1-2-3 Plate forme d'essais série	32
III-1-2-4 Plate forme d'essais spéciaux	34
III-1-3 contrôle de la qualité de l'emballage	36
III-1-4 Enregistrements et suite a donnée.....	37
III-2 Les différents défauts des moteurs fabriqués à E.I	37
III-2-1 Pannes mécaniques	37
III-2-2 Pannes électriques	37
Conclusion	41

Chapitre IV : Application : Etude expérimentale

Introduction.....	42
IV-1 Présentation du moteur sélectionné pour les essais	42
IV-2 Plaque signalétique du moteur.....	43
IV-3 Fiche technique de contrôle du moteur	43
IV-4 Les différents essais réalisés.....	44
IV-4-1 Plate forme d'essais série	44
IV-4-1-1 Mesure des résistances.....	44
IV-4-1-2 Mesure de la résistance d'isolement à froid.....	45
IV-4-1-3 Essai en court-circuit (rotor bloqué).....	45

IV-4-1-4 Essai à vide.....	47
IV-4-1-5 Essai de haute tension.....	47
IV-4-1-6 Contrôle du bruit électrique et mécanique	47
IV-4-2 Plate forme d'essais spéciaux.....	47
IV-4-2-1 Mesure des résistances entre phases	47
IV-4-2-2 Essai en court-circuit	48
IV-4-2-3 Essai à vide.....	48
IV-4-2-4 Essai d'échauffement.....	49
IV-4-2-5 Essai des tensions en charge	54
IV-4-2-6 Essai des tensions à vide à chaud	60
IV-4-2-7 Essai de freinage.....	62
IV-4-2-8 Essai des moments.....	69
IV-5 calcul des pertes	70
IV-5-1 Détermination des pertes à vide	70
IV-5-2 Détermination des pertes en charge	73
IV-6-Détermination du rendement.....	78
IV-7 Table d'exploitation	81
Conclusion	82
Conclusion générale	83

Bibliographie

Résumé :

Les moteurs asynchrones appelés aussi moteurs à induction, sont en majorité des moteurs triphasés. Ils sont basés sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant.

Le moteur asynchrone à l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé. Ses deux qualités fondamentales sont le prix et la solidité. Il est beaucoup plus robuste que les autres types de machines ; il ne nécessite pratiquement pas d'entretien. Son domaine de puissance varie de quelques watts à plusieurs mégawatts.

Les essais de contrôle effectués sur le moteur, objet de notre étude, nous ont révélé qu'il est d'une qualité requise ainsi que d'une fiabilité incontestable, et ce grâce aux techniques de contrôles intolérables et l'optimisme du constructeur en vue de présenter au marché un produit digne des normes mondiales en vigueur.

Mots clef :

η : Rendement ; g : Glissement ; I_d : Courant de démarrage. f : Fréquence ; U_n : Tension nominale ; I_n : Courant nominal ; P_u : Puissance utile ; V_n : Vitesse de rotation ; Δ_{ph} : Résistance de chaque phase ; T : Température ambiante.

Introduction générale

Les moteurs asynchrones appelés aussi moteurs à induction, sont en majorité des moteurs triphasés. Ils sont basés sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant.

Le moteur asynchrone à l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé. Ses deux qualités fondamentales sont le prix et la solidité. Il est beaucoup plus robuste que les autres types de machines ; il ne nécessite pratiquement pas d'entretien. Son domaine de puissance varie de quelques watts à plusieurs mégawatts.

Dans le cadre de notre mémoire de fin d'études, le travail qui nous a été confié est la réalisation des différents essais de contrôle des moteurs asynchrones à cage fabriqués au **complexe Electro-industries d'Azazga (Ex. ENEL)**. Le but de ces essais est de vérifier les différentes performances de ces moteurs en les comparant aux données de consigne établies par le constructeur. Ces essais permettent en effet de détecter d'éventuels défauts ou anomalies qui peuvent se présenter au cours des différents régimes de fonctionnement. Les différents essais ont été réalisés sur les différentes plates formes de contrôle, au sein même de l'entreprise de leur fabrication. Notre application a porté sur le moteur de gamme de puissance 3kW et de vitesse de rotation de 1410 tr/mn. Pour cela nous répartissons notre travail en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre ; on traite les généralités sur les moteurs asynchrones.

Dans le deuxième chapitre ; on s'intéresse au processus de fabrication des moteurs asynchrones à l'entreprise.

Dans le troisième chapitre ; on décrit l'unité de contrôle.

Dans le quatrième chapitre ; on fait une application : étude expérimentale.

Enfin, on termine notre travail par une conclusion générale.

Introduction :

La machine asynchrone connue également sous le nom de la machine à induction est une machine à courant alternatif, sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas proportionnelle à la fréquence des courants qui la traversent.

La machine asynchrone est utilisée aujourd'hui dans de nombreuses applications. Elle était à l'origine uniquement utilisée en moteur, mais grâce à l'événement de l'électronique de puissance, elle est de plus en plus utilisée en génératrice.

I-1 Historique :

La paternité de la machine asynchrone est controversée. Elle pourrait être attribuée à trois inventeurs : en 1887, Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone, puis en Mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période, Galileo Ferrari publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en Avril 1888. En 1889, Michail Ossipowitsch Dolions-Dobrowolski, électricien Allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil, qui sera construit industriellement à partir de 1891. Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible prix de revient, la machine asynchrone est aujourd'hui très couramment utilisée comme moteur dans une gamme de puissance, allant de quelques centaines de watts à plusieurs milliers de kilowatts. Quand la machine asynchrone est alimentée par un réseau à fréquence fixe, il est difficile de faire varier sa vitesse. En outre, au démarrage, le couple est faible et le courant appelé est très élevé. Deux solutions historiques ont résolu ce dernier problème : le rotor à encoches profondes et le rotor à double cage découvert en 1912 par Paul Boucherot. Grâce aux progrès de l'électronique de puissance, l'alimentation par un onduleur à fréquence variable permet maintenant de démarrer la machine convenablement et de la faire fonctionner avec une vitesse réglable dans une large plage.

I-2 Présentation et domaine d'utilisation du moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone, alimenté directement par le réseau industriel triphasé ou monophasé, est utilisé dans le monde entier. Il correspond à la solution technologique la plus économique, lorsque la vitesse d'entraînement du récepteur mécanique doit rester quasiment constante malgré les variations du couple résistant.

Chapitre I : généralités sur les moteurs asynchrones

Parmi les nombreuses applications du moteur asynchrone, on peut citer les stations de pompage, les ascenseurs, les dispositifs de manutention (tapis roulants), la ventilation des locaux climatisés, l'électroménager (machines à laver). Ce moteur robuste nécessite très peu d'entretien et sa durée de vie est très grande. Son raccordement au réseau d'énergie triphasé est aisé.

Un ensemble de procédés simples permet, tout en limitant le courant d'appel, de fournir le couple électromagnétique nécessaire au démarrage du moteur asynchrone. Dans certaines applications, il faut pouvoir contrôler le couple ou la vitesse du moteur électrique.

L'électronique de puissance a permis de développer des variateurs de vitesse alimentant les moteurs asynchrones, dispositifs qui remplacent progressivement le moteur à courant continu traditionnellement dédié à ces applications.

I-3 Constitution :

La machine asynchrone est constituée de deux éléments principaux :

I-3-1 Le stator :

C'est la partie fixe du moteur, la carcasse sur laquelle est fixée une couronne de tôles d'acier munies d'encoches. Des bobines de section appropriée sont réparties dans ces dernières et forment un ensemble d'enroulement, qui est d'un nombre correspondant aux nombres de phases du réseau d'alimentation.



Figure I.1 : Vue d'un stator d'un moteur asynchrone triphasé.

I-3-2 Le rotor :

C'est la partie mobile du moteur, c'est lui qui transmet la force mécanique à la machine à mettre en mouvement. Il est placé à l'intérieur du stator et est constitué d'un empilement de tôles d'acier, formant un cylindre fixé sur l'arbre du moteur. Il existe deux types de rotor :

- Rotor bobiné (à bagues);
- Rotor à cage d'écureuil.

I-3-2-1 Rotor bobiné:

Le rotor comporte un enroulement bobiné à l'intérieur d'un circuit magnétique, constitué de disques en tôle empilés sur l'arbre de la machine. Cet enroulement est obligatoirement polyphasé, même si le moteur est monophasé, et, en pratique, toujours triphasé à couplage en étoile. Les encoches, découpées dans les tôles sont légèrement inclinées par rapport à l'axe de la machine, de façon à réduire les variations de réluctance liées à la position angulaire rotor/stator et certaines pertes dues aux harmoniques. Les extrémités des enroulements rotorique sont sorties et reliées à des bagues montées sur l'arbre, sur lesquelles frottent des balais en carbone. On peut ainsi mettre en série avec le circuit rotorique des éléments de circuit complémentaires (résistances, électronique de puissance...) qui permettent des réglages de la caractéristique couple/vitesse. Ce type de moteur est utilisé essentiellement dans des applications où les démarrages sont difficiles et/ou nombreux.



Figure I.2 : Vue d'un rotor bobiné (à bagues) d'un moteur asynchrone triphasé.

a. Symbole :



Figure I.3 : Symbole d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné (à bagues).

b. Description de différentes pièces d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné :

La figure ci-dessous montre les différents composants d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné.

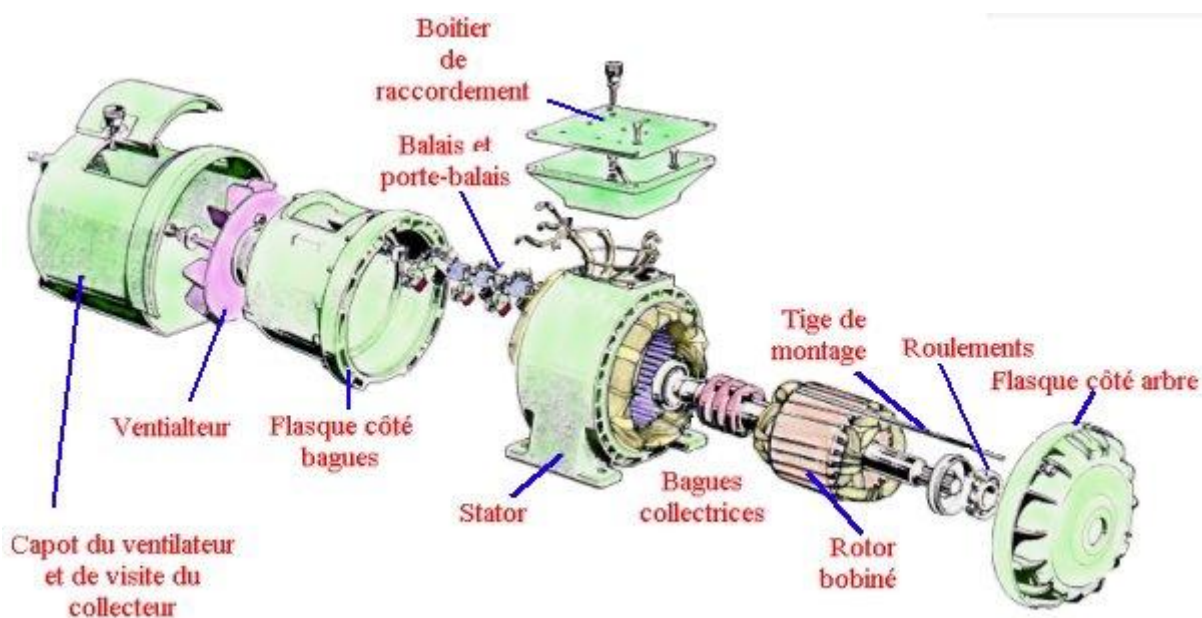


Figure I.4 : Description de différentes pièces d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné (à bagues).

I-3-2-2 rotor à cage d'écureuil :

Le circuit du rotor est constitué de barres conductrices, régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui du moteur à rotor bobiné.

Les barres sont faites en cuivre, en bronze ou en aluminium, suivant les caractéristiques mécaniques et électriques recherchées par le constructeur. Dans certaines constructions, notamment pour des moteurs à basse tension, la cage est réalisée par coulée et centrifugation d'aluminium. On démontre que, si le nombre de barres est suffisamment grand, la cage se transforme automatiquement en un circuit polyphasé de polarité adéquate. Ce type de moteur, beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrones actuellement en service. Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).

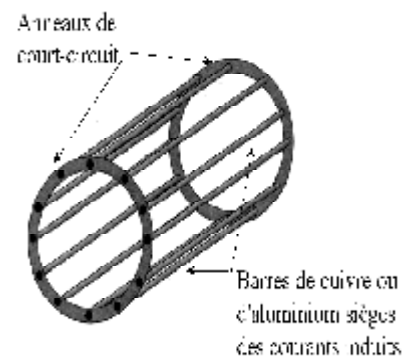


Figure I.5 : Vue d'un rotor à cage d'écureuil d'un moteur asynchrone triphasé.

a. Symbole :

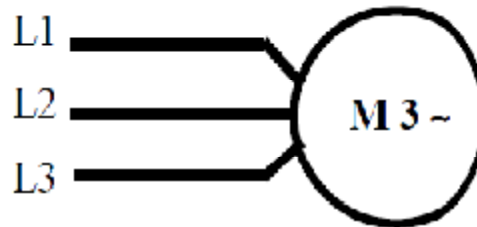


Figure I.6 : Symbole d'un moteur asynchrone triphasé d'un rotor à cage.

b. Description de différentes pièces d'un moteur asynchrone triphasé à cage:

La figure ci-dessous montre les différents composants d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage.

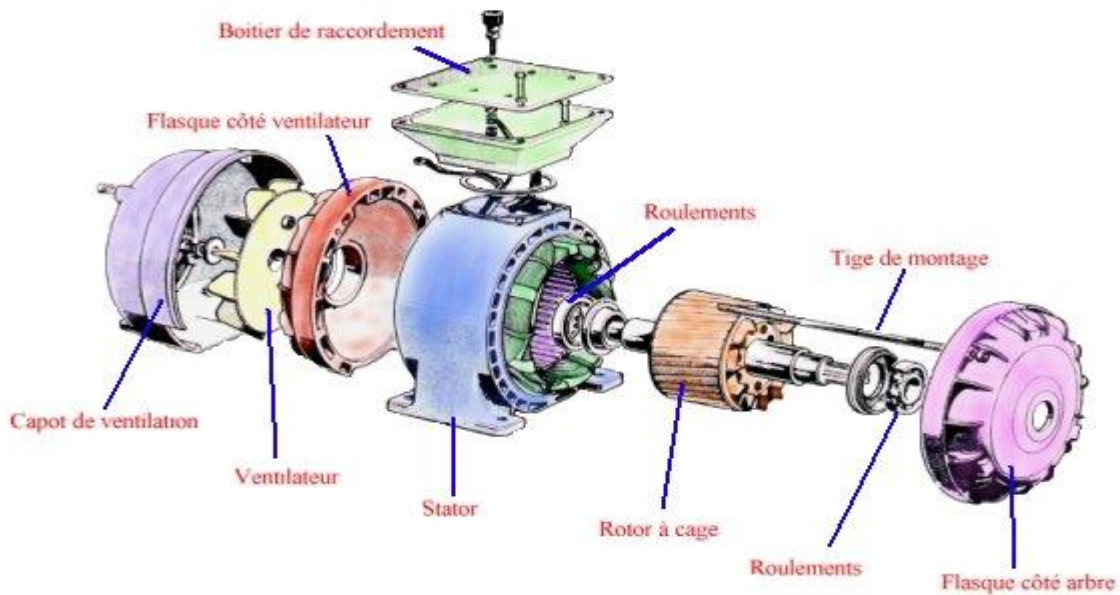


Figure I.7 : Description de différentes pièces d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage.

I-4 Création du champ tournant :

Trois enroulements, géométriquement décalés de 120° , sont alimentés chacun par une des phases d'un réseau triphasé alternatif. Les enroulements sont parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique, et qui produisent chacun un champ magnétique alternatif Sinusoïdal. Ce champ, toujours dirigé suivant le même axe, est maximal quand le courant dans l'enroulement est maximal. Le champ généré par chaque enroulement est la résultante de deux champs qui tournent en sens inverse, et ayant chacun pour valeur constante la moitié de la valeur du champ maximal.

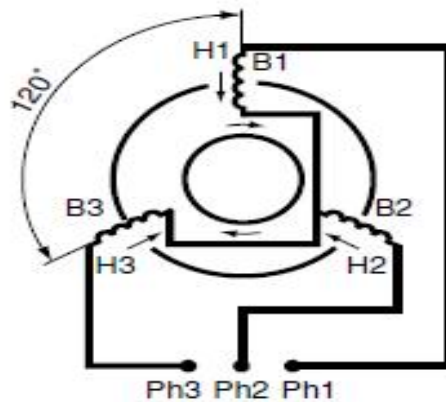


Figure I.10 : Principe d'un moteur asynchrone triphasé.

I-5 La vitesse de synchronisme :

Est nommée Ω_s en tr/s on a alors :

Sur les moteurs asynchrones, la vitesse de synchronisme dépend de la fréquence d'alimentation et du nombre de paires de pôles (P) constituant le stator :

$$\Omega_s = \frac{60 \cdot f}{P} \quad (\text{I.1})$$

Avec :

- Ω_s : Vitesse de synchronisme [tr/mn];
- f : Fréquence [Hz];
- P : Nombre de paires de pôles.

I-6 Glissement :

Il existe une différence de vitesse de rotation entre le stator et le rotor . Cette différence s'appelle le glissement.

C'est la raison pour laquelle un moteur électrique fonctionnant suivant le principe que nous venons de décrire est appelé "moteur asynchrone". La différence entre la vitesse de synchronisme et celle de la spire est appelée "glissement" et s'exprime en % de la vitesse de synchronisme.

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \cdot 100 \quad (\text{I.2})$$

Avec :

- N_s : La vitesse du synchronisme du champ tournant (tr/mn);
- N : La vitesse de rotation du rotor (tr/mn).

I-7 Plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé:

La plaque signalétique d'un moteur asynchrone 3~ est la carte d'identité du moteur délivrée, certifiée par le constructeur. Elle contient les caractéristiques nominales électriques du moteur.

I-8 Démarrage des moteurs asynchrones triphasés :

Le moteur asynchrone d'induction qui est le moteur de base de l'industrie actuelle, convient surtout pour les commandes à vitesse constante. Sa mise en vitesse, au moment du démarrage, est liée à la surintensité admissible par l'installation électrique au couple nécessaire à la machine entraînée et à la durée de démarrage admissible.

I-8-1 Démarrage direct :

C'est le plus simple qui ne peut être exécuté qu'avec le moteur asynchrone à rotor à cage. Les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau.

I-8-1-1 Couplage des enroulements :

La plaque à borne d'un moteur asynchrone est toujours couplée soit en étoile ou en triangle :

a. Couplage étoile :

Les trois enroulements ont un point commun.

b. couplage triangle :

Les trois enroulements sont montés en séries et les points communs reliés à chaque phase du réseau.

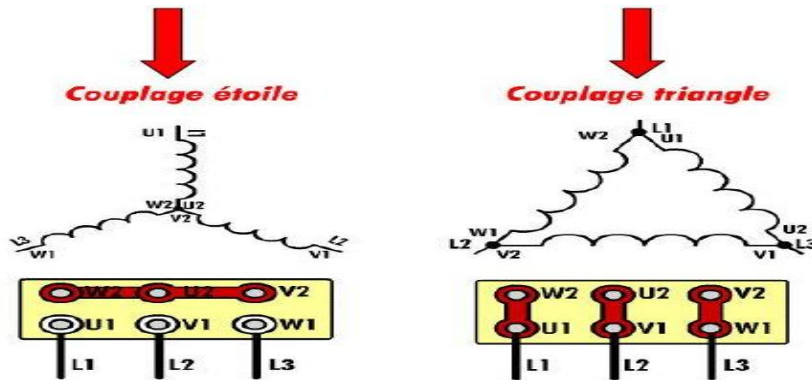


Figure I.11 : Couplage d'un moteur asynchrone triphasé (étoile ou triangle).

I-8-2 Démarrage étoile-triangle :

Ce type de démarrage est réservé aux machines démarrant à vide ou dont le couple résistant est faible. L'intensité de démarrage est divisée par trois, mais le couple de démarrage aussi (proportionnel au carré de la tension d'alimentation des enroulements).

Lors du démarrage étoile-triangle, la machine est d'abord connectée au réseau avec un couplage étoile, puis une fois démarrée, on passe au couplage triangle. Ce démarrage est très économique puisqu'il est réalisé simplement à l'aide de contacteurs.

I-8-3 Démarrage statorique :

Au moment du démarrage, lorsque l'on diminue la tension aux bornes des enroulements du moteur, on diminue l'intensité et le couple au démarrage du moteur, pour cela, on place une (ou plusieurs) résistances en série dans la ligne du moteur.

I-8-4 Démarrage rotorique :

Ce démarrage consiste à alimenter directement les enroulements du stator sous leurs tensions nominales et à coupler les enroulements du rotor en étoile.

Il s'exécute en plusieurs temps. Ce type de démarrage est utilisé pour les moteurs à rotor bobiné avec les sorties reliées à des bagues.

I-8-5 Démarrage par autotransformateur :

Il consiste à utiliser un autotransformateur, qui est un appareil dont le circuit primaire est alimenté par le réseau, et qui délivre à son secondaire une tension pouvant varier linéairement de 0 à 100% de la tension primaire. Ce démarrage s'effectue en alimentant le moteur par une tension réduite à travers l'autotransformateur, puis en alimentant le moteur par une tension pleine de fonctionnement.

I-9 Solutions générales aux problèmes de démarrage :

Mis à part le démarrage direct, les différents procédés de démarrage ont pour objectifs fondamentaux : de limiter l'intensité absorbée tout en maintenant les performances mécaniques de l'ensemble « moteur-machine entraînée » conformes au cahier des charges.

Dans le cas du moteur asynchrone cette limitation de courant est obtenue par:

I-9-1 Une réduction de la tension d'alimentation :

I-9-1-a Action sur le circuit primaire (stator) :

On peut réaliser le démarrage par :

- Couplage étoile-triangle ;
- Elimination de résistances statoriques ;
- Autotransformateur.

I-9-2 une augmentation de la résistance rotorique:

I-9-2-a Action sur le circuit secondaire (rotor) :

On peut réaliser le démarrage par :

- Elimination des résistances rotoriques;
- Moteurs à cages multiples.

I-10 Freinage :

On distingue plusieurs types de freinage :

I-10-1 Arrêt en roue libre :

Mise hors tension du stator.

I-10-2 Arrêt piloté :

Tension statorique progressivement passée à zéro.

I-10-3 Freinage hyper synchrone :

Lorsque la vitesse du rotor est supérieure à la vitesse du champ tournant, le moteur freine, couplé à un variateur de fréquence qui diminue progressivement la vitesse du moteur, on peut arrêter un moteur, le couple de freinage est faible.

I-10-4 Arrêt par injection de courant continu :

L'alimentation en courant continu du stator crée un champ fixe dans la machine qui s'oppose au mouvement, c'est la méthode la plus efficace pour freiner la machine, mais les contraintes en courant sont également très sévères. La commande de l'intensité du courant continu permet de piloter le freinage.

I-10-5 Arrêt à contre-courant :

Le principe consiste à inverser deux phases pendant un court instant. Ceci est donc équivalent à un freinage hyper synchrone, mais à fréquence fixe. Le couple résistant est donc faible et le courant appelé est également très important (de l'ordre de 10 à 12 fois l'intensité nominale »).

La conséquence en est que les enroulements du moteur risquent un sur-échauffement. On peut prévoir des résistances supplémentaires afin de diminuer l'intensité. Enfin, dans cette méthode le couple déclamateur reste négatif même lorsque la vitesse est nulle, il faut donc prévoir de couper l'alimentation quand la vitesse est nulle (temporisation, contact centrifuge), sinon la rotation s'inverse.

I-10-6 Freinage mécanique par électro-frein :

Ce système est constitué d'un frein à disque solidaire de l'arbre de la machine asynchrone, et donc la mâchoire initialement serrée hors tension est commandée par électro-aimant, après l'alimentation de l'électro-aimant, les mâchoires se desserrent laissant la rotation libre, la coupure de l'alimentation provoque le freinage, ce dispositif aussi appelé (Freinage à manque de courant) est souvent prévu comme dispositif d'arrêt d'urgence.

I-11 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone:

La pulsation du rotor d'un moteur asynchrone est :

$$\Omega = \Omega_s (1 - g) = \frac{\omega}{P} (1 - g) = \frac{2Pf}{P} (1 - g) \quad (\text{I.3})$$

Avec :

- g : glissement;
- P : nombre de paire de pôles;
- Ω : pulsation de synchronisme (rad/s);
- f : fréquence de la tension (Hz);
- ω : pulsation de la tension (rad/s).

Le réglage de la vitesse de rotation du moteur peut être obtenu par :

I-11-1 Action sur le nombre de paire de pôles :

- Machines à bobinage primaire unique;
- Machines à plusieurs bobinages primaires.

I-11-2 Action sur la fréquence de la tension d'alimentation statorique :

- Convertisseurs de fréquence électromécanique;
- Convertisseurs statiques.

I-11-3 Action sur le glissement :

- Action sur la tension d'alimentation statorique;
- Rhéostat de glissement au rotor;
- Cascade de récupération.

I-12 Caractéristique du moteur asynchrone :

I-12-1 Caractéristique mécanique :

La figure ci-dessous représente la caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone triphasé, le couple en fonction de la vitesse de rotation.

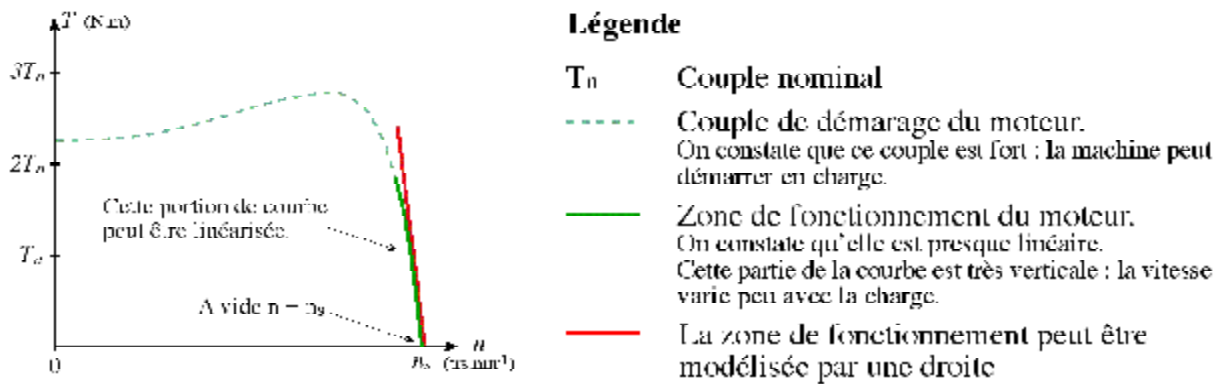


Figure I.12 : Courbe de la Caractéristique mécanique $C_u = f(n)$ d'un moteur asynchrone 3~

I-13 Bilan des puissances et des pertes :

Le bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone est reporté sur la figure ci-dessous, le moteur asynchrone absorbe sur le réseau une puissance électrique active triphasée P_a . Une partie P_{JS} de cette puissance est dissipée par effet Joule dans les enroulements du stator. Par la suite, le champ magnétique inducteur entraîne des pertes dans le fer P_{fer} , par hystérésis et par courant de Foucault.

Le reste de la puissance P_{tr} est transmis au rotor à travers l'entrefer. La majeure partie de cette puissance est alors utilisée pour produire une puissance électromagnétique P_{em} , tandis que la présence d'un courant induit dans le rotor provoque des pertes par effet Joule P_{JR} . La puissance électromagnétique fournie par le stator est responsable de la mise en mouvement du rotor, qui produit la puissance mécanique utile P_u qui sera par la suite transmise à la charge, par le biais d'un arbre de transmission ou d'une courroie de distribution. Toutefois, dans le mouvement du rotor, une partie de la puissance est perdue par divers mécanismes de frottements, c'est ce que l'on appelle les pertes rotationnelles P_c . Nous donnons par la suite les différentes relations permettant de calculer les pertes et les puissances.

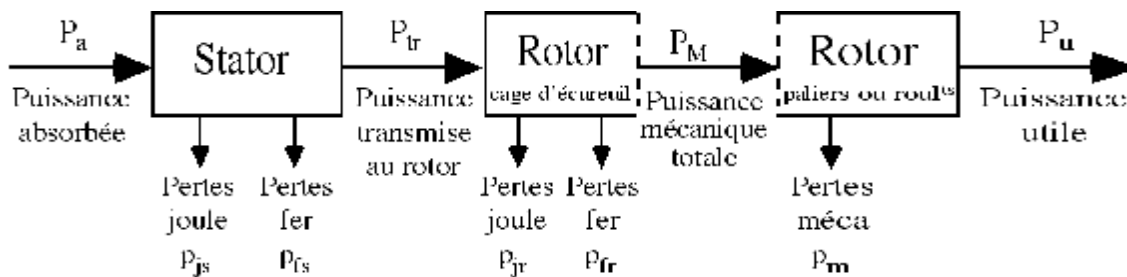


Figure I.13 Bilan des puissances et des pertes d'un moteur asynchrone 3~.

I-13-1 Puissance électrique absorbée:

La puissance absorbée par un moteur asynchrone est une puissance active électrique. Lorsque le moteur est connecté à un réseau triphasé, P_a vérifie la relation :

$$P_a = \sqrt{3}.U.I.\cos j \quad (\text{I.4})$$

Avec :

- P_a : Puissance électrique absorbée [W];
- U : La tension d'alimentation [V];
- I : Le courant absorbé [A];
- $\cos j$: Facteur de puissance.

I-13-2 La puissance transmise dans l'entrefer :

La puissance transmise au rotor à travers l'entrefer P_{tr} est la partie de la puissance absorbée qui n'est pas perdue dans les enroulements du stator et dans le fer elle est donnée comme suit :

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs}) \quad (\text{I.5})$$

Avec :

- P_{tr} : La puissance transmise dans l'entrefer [W].

I-13-3 Puissance électromagnétique :

La puissance électromagnétique P_{em} transmise au rotor est égale à :

$$P_{em} = P_{tr} - P_{jr} = (1 - g) \times P_{tr} \quad (\text{I.6})$$

Avec :

- P_{em} : Puissance électromagnétique [W].

I-13-4 La puissance mécanique :

La puissance mécanique développée par le rotor est égale à la puissance électromagnétique que le stator lui fournit diminuée des pertes fer et pertes joule au rotor.

$$P_m = P_{em} - (P_{jr} + P_{ferR}) \quad (\text{I.7})$$

Les pertes fer du rotor sont négligeables donc :

$$P_m = P_{em} - P_{jr} \quad (\text{I.8})$$

Avec :

- P_m : La puissance mécanique [W];
- P_{ferR} : Les pertes fer au rotor [W].

I-13-5 La puissance utile :

De la puissance mécanique on soustrait les pertes mécaniques P_m , pour arriver à la puissance utile.

$$P_u = P_m - P_{méc} \quad (\text{I.9})$$

Ou bien aussi on a :

$$P_u = P_m - \sum_{pertes} \quad (\text{I.10})$$

Et :

$$\sum_{pertes} = P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + P_c \quad (\text{I.11})$$

Avec les pertes fer du rotor sont négligeables.

Ou :

- P_u : La puissance utile [W];
- P_c : Les pertes constantes [W].

I-13-6 Rendement du moteur asynchrone triphasé :

Le rendement h du moteur asynchrone est le rapport entre la puissance utile qu'il fournit et la puissance électrique qu'il absorbe, de sorte que :

$$h = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{I.12})$$

À l'aide de la chaîne des pertes, on peut aussi écrire :

$$h = \frac{P_a - \sum \text{pertes}}{P_a} = \frac{P_a - (P_{js} + P_{fer} + P_{jr} + P_c)}{P_a} \quad (\text{I.13})$$

D'où :

$$h = \frac{P_{tr} \times (1 - g) - P_{méc}}{P_a} \quad (\text{I.14})$$

Avec :

- η : Rendement du moteur [%].

I-14 couples du moteur asynchrone triphasé :

I-14-1 Couple électromagnétique :

Les forces qui s'exercent sur les conducteurs du rotor tournent à la vitesse Ω_s : elles glissent sur le rotor qui, lui, ne tourne qu'à la vitesse Ω_r . L'action de l'ensemble des forces électromagnétiques se réduit à un couple électromagnétique résultant (C_{em}).

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega_r} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} \quad (\text{I.15})$$

Avec :

- C_{em} : Couple électromagnétique [Nm] ;
- Ω_s : La vitesse synchrone :

$$\Omega_s = \frac{2pN_s}{60} \text{ [rad/s]} \quad (\text{I.16})$$

- Ω_r : La vitesse de rotor :

$$\Omega_r = \frac{2pN_r}{60} \text{ [rad/s]} \quad (\text{I.17})$$

I-14-2 Couple utile C_u .

Le rotor déploie un couple utile (C_u) à la vitesse (Ω_r). Il délivre alors la puissance utile (P_u) telle que :

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega_r} \quad (\text{I.18})$$

Avec :

- C_u : Le Couple utile [Nm].

I-14-3 Le couple des pertes :

Le couple des pertes est la différence entre le couple électromagnétique et le couple utile dû aux pertes constantes.

$$C_p = C_{em} - C_u \quad (\text{I.19})$$

Ou bien :

$$C_p = \frac{P_c}{\Omega_r} \quad (\text{I.20})$$

Avec :

- C_p : Le couple des pertes [Nm].

Chapitre I : généralités sur les moteurs asynchrones

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur l'ensemble des moteurs asynchrones triphasés, leurs organisations, leurs principales caractéristiques et leurs différents modes de démarrage. Il faut souligner la place tenue par le moteur asynchrone triphasé, dont le qualificatif de « Standard » est de nos jours renforcé par une parfaite adaptation, à l'emploi consécutif au développement des dispositifs électroniques qui autorisent la variation de la vitesse.

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

Introduction:

L'unité des moteurs asynchrones, s'occupe essentiellement de la fabrication des moteurs asynchrones triphasés et monophasés à différentes hauteurs d'axes, mais sa production est basée surtout sur les moteurs asynchrones triphasés. C'est pour cela que nous nous limitons dans le cadre de cette étude au suivi du processus de fabrication de ce type de moteurs.

II-1 Processus de fabrication du moteur asynchrone E.I:

Dans le but de garantir une bonne qualité de production, avant le lancement de la fabrication des moteurs, les pièces et matières d'achats nécessaires pour la réalisation sont soumises à des tests de contrôle. Après cette phase de contrôle vient le lancement de la production des moteurs, suivant le programme de production. Les différentes phases de fabrication des moteurs asynchrones E.I s'effectuent dans deux bâtiments appartenant à l'unité moteur et groupe électrogène (UMA/ GE).

II-1-1 le bâtiment 2A :

Dans ce bâtiment, on trouve les ateliers de découpage, encochage, empaquetage, fonderies sous pression de soudage.

II-1-1-1 Ateliers de découpage, encochage et empaquetage :

Dans cet atelier sont réalisés tous les travaux de transformation des tôles utilisées pour la fabrication des différentes pièces, à noter :

- Découpage et encochage des tôles statoriques et rotoriques ;
- Découpage des barres de cuivre;
- Fabrication des capots de ventilateurs ;
- Découpage et emboutissage des agrafes ;
- Empaquetage des feuilles de tôles statoriques et rotoriques.

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

a. Fabrication des tôles statoriques et rotoriques :

L'atelier reçoit des rouleaux de tôles magnétiques achetées par E.I de nature :

- **Isolées** : aux vernis pour les moteurs à hauteurs d'axes variant de 183 mm à 404 mm;
- **Non isolées** : leur isolation se fait dans des fours par oxydation pour les moteurs à hauteurs d'axes allant de 70 mm à 163 mm.

✓ Procédés de découpage :

Il existe trois procédés de découpage :

- Découpage automatique successif;
- Découpage automatique par outils à encocher;
- Découpage semi-automatique par outils à encocher.

Le procédé le plus répandu dans cet atelier est celui de découpage automatique successif à la presse rapide. Ce procédé permet de découper et d'encocher dans le même cycle les tôles statoriques et rotoriques pour certains types de moteurs de forte commande. Tous ces procédés aboutissent au même résultat à savoir la fabrication des tôles statoriques.

b. Emballage des feuilles de tôles statoriques et rotoriques :

Cette opération se fait sur presse à emballer pour la réalisation des paquets statoriques et rotoriques à partir des tôles magnétiques. L'ensemble est fixé à l'aide d'agrafes pour les paquets statoriques et à l'aide de rivets pour certains paquets rotoriques.

c. Fabrication des capots de ventilateurs :

Ils sont réalisés à partir des tôles, soit galvanisées soit d'acier laminé à froid. Les ventilateurs sont achetés en plastique pour les hauteurs d'axes de 70 mm à 160 mm et en fonte pour les hauteurs d'axes 180 mm à 220 mm. Ces ventilateurs sont achetés bruts ensuite usinés. Pour les hauteurs d'axes supérieurs à 220 mm, le noyau est en fonte achetée brute et finie à l'usinage fixé à l'aide des boulons à une roue en acier laminé à froid fabriqué au bâtiment 2A à

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

l'aide de deux couronnes différentes. Ces dernières sont assemblées avec des ailettes en forme de Z, l'ensemble est lié par une soudure.

d. Découpage des barres de cuivre pour les rotors à cage d'écureuil :

Lorsqu' il s'agit d'un moteur à enroulement rotorique avec barres, celles-ci sont découpées à des longueurs appropriées au type de moteur. Elles sont de nature en cuivre plat pour le remplissage des encoches rotoriques des moteurs à une seule cage, et de celle de la cage intérieure des moteurs à double cage (les extrémités sont court-circuitées à l'aide des anneaux en cuivre).

II-1-1-2 Atelier de moulage sous pression :

Dans cet atelier sont fabriquées toutes les pièces rentrant dans la fabrication des moteurs en version aluminium à savoir :

- Injection du rotor en aluminium pur à 99.5% ;
- Réalisation des pièces en alliage d'aluminium (Silicium, Manganèse, Cuivre) telle la carcasse, les flasques (AS, BS), boîte à bornes, couvercle de boîtes à bornes ...etc.

a. Injection du rotor :

Après réalisation du rotor suite à l'empilage des tôles, et l'emmanchement de l'arbre, il est mis dans la machine à injection. Après la fermeture du moule, le procédé d'injection commence avec une pression très élevée pour permettre la pénétration de l'aluminium dans les encoches et former ainsi la cage d'écureuil et les anneaux de court-circuitage.

b. Fabrication des pièces en alliage d'aluminium (carcasse, flasque, boîte à bornes...) :

L'Alliage d'aluminium fondu à haute température (750°C) est injecté dans des moules conçus spécialement pour chaque pièce.

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

Remarque :

- Pour les moteurs à hauteur d'axe supérieure à 130 mm, la carcasse et les flasques sont en fonte importée par E.I;
- Pour les moteurs à hauteur d'axe inférieure à 130 mm, la carcasse et les flasques en alliage d'aluminium sont fabriqués par E.I.

II-1-2 Bâtiment 2:

II-1-2-1 Atelier d'usinage :

Dans cet atelier se fait la fabrication des arbres du rotor ainsi que l'usinage des pièces comme le flasque, le rotor, la carcasse...etc.

a. Fabrication des arbres rotoriques :

- **Découpage :**

Les arbres rotoriques sont réalisés à partir des ronds d'acier découpés à l'aide d'une scie métallique à des longueurs brutes correspondant aux types de moteurs à fabriqués.

- **Centrage et dressage :**

Ils se font sur une machine à tour parallèle qui fait la mise en longueur, le perçage des trous de centrage et de taraudage.

- **Tournage :**

Il se fait sur un tour parallèle d'ébauche et de finition, pour réaliser les cotes fonctionnelles (bout d'arbre, logement de roulement et la partie conique d'emmanchement).

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

- **Fraisage des logements de clavettes :**

Il se fait sur des fraises verticales. Une fois l'arbre est réalisé, il est envoyé au bâtiment 2A pour l'emmancher dans le paquet rotorique.

- b. Usinage des différentes pièces en fonte et en alpac (alliage d'aluminium) :**

Ces différentes pièces sont achetées en matière brute puis elles seront soumises à plusieurs modifications.

- 1. Carcasses :**

- Usinage de diamètre intérieur de la carcasse à l'aide des trous verticaux, pour les pièces en fontes et tours à commande numérique pour celles en alpac, pour recevoir le paquet statorique;
- Tournage des bords de centrage et mise en longueur pour les pièces en fonte;
- Perçage et taraudage des trous de fixation.

- 2. Flasques (AS, BS) :**

- Tournage des bords de centrage et du logement de roulement et de sa profondeur;
- Perçage et taraudage des trous (de fixation, d'entrée des câbles);
- Fraisage des surfaces d'appuis de fixation du moteur.

II-1-2-2 Atelier de bobinage :

Cet atelier est réparti en trois secteurs :

- a. Secteur préparation isolation :**

Dans l'industrie de fabrication des moteurs électriques, les conducteurs doivent toujours être isolés par mesure de sécurité, afin d'éviter les courts-circuits qui diminuent la qualité de la matière. Aussi, l'isolation apportera le maximum de sécurité aux personnes. Pour cela, on a besoin de matériaux isolants de haute qualité et supportant les effets thermiques engendrés par le

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

fonctionnement de la machine. C'est dans ce secteur que sont préparés tous les isolants pour tous les types de moteurs, soit :

- Caniveaux d'encoches;
- Lames intermédiaires;
- Cales de fermeture;
- Gaines isolantes;
- Séparateurs de phases;
- Câbles de raccordement.

La matière des isolants utilisés par E.I est l'époxy, elle garantit une qualité conforme aux normes internationales en vigueur.

b. Secteur préparation des bobines :

Une fois le cuivre est contrôlé, il transite au magasin pour être remis aux bobineuses pour la confection des bobines, qui se fait à l'aide des gabarits montés sur les machines rotatives (bobineuses) qui sont réglés selon le nombre de spires par faisceaux. Une fois que les bobines sont réalisées, elles sont retirées de la machine, attachées et envoyées dans le dernier secteur pour être insérées dans le stator.

c. Secteur bobinage du paquet statorique :

C'est dans ce secteur que l'on introduit les bobines dans le paquet statorique, déjà isolé avec des caniveaux d'encoche, suivant un schéma de bobinage délivré par le constructeur pour chaque type de moteur. C'est pendant cette opération que l'on intègre aussi les lames intermédiaires pour le bobinage à double couches ainsi que les cales de fermeture. Une fois les bobines introduites, on place les séparateurs de phases pour évite les court -circuit entre phases. Après cela on procède à la formation des têtes bobines manuellement avec un mandrin et un marteau en caoutchouc (maillet), pour respecter l'homogénéité et les dimensions des têtes de bobines coté AS (coté entraînement) et BS (coté ventilation).

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

- **Connexion des bobines :**

Les bobines de chaque phase sont liées entre elles de façon précise en conformité avec le schéma de bobinage afin d'obtenir trois grands enroulements, chacun d'eux a une entrée et une sortie. Les points de connexion sont brasés et isolés avec des gaines isolantes déjà placées.

- **Connexion des bobines avec les câbles de raccordement :**

Les entrées et les sorties de chaque phase sont connectées et soudées à des câbles de raccordement, qui assurent la liaison électrique avec la boîte à bornes, entrée et sortie, de chaque phase, qui sont distinguées des autres avec des couleurs.

Phase U = orange;

Phase V = noir;

Phase W = rouge.

Exemple:

Entrée 1. Sortie 1. Orange;

Entrée 2. Sortie 2. Noir;

Entrée 3. Sortie 3. Rouge.

Ou bien, elles sont définies par les indices (U1, V1, W1), (U2, V2, W1).

Les entrées des phases sont situées d'un observateur situé en face des connections, les sorties sont de l'autre côté.

- ✓ **Fretage et pressage des têtes de bobines :**

Le stator subit un fretage à la main à l'aide d'un fil isolant, une fois fait, le stator passe à la presse hydraulique pour donner la forme et les dimensions définitives des têtes de bobines coté AS et BS.

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

d. Contrôle :

Cette opération concerne le contrôle des bobines ainsi que les stators bobinés avant leurs montages.

e. Imprégnation :

Cette opération consiste à mettre de la résine aux bobinages du stator pour les rendre plus compacts et solidaires. Pour cela, deux méthodes sont utilisées :

- Imprégnation goutte à goutte (pour les petites hauteurs d'axes) ;
- Imprégnation dans un bain de résine, puis séchés dans des fours à 150° C (pour les moyennes et grandes hauteurs d'axes).

On passe après au nettoyage du paquet bobiné imprégné après refroidissement. Le stator est maintenant prêt à être monté mais avant cela, il passe au magasin de stockage intermédiaire.

II-1-2-3 Atelier de montage :

Cet atelier est réparti en trois secteurs essentiels :

a. Secteurs équilibrage du rotor :

Il a pour but d'assurer une rotation uniforme en compensant les balourds pouvant provenir des cas suivants :

- Manque d'homogénéité de la matière;
- Défaut d'usinage;
- Malformation des barres de cuivre;
- Ces balourds provoquent une rapide usure des roulements à billes.

Le rétablissement de l'équilibrage s'effectue par ajout de rondelles plates sur les plots des anneaux de court-circuitage pour les cages en aluminium, et par extraction de rondelles plates sur les plots des anneaux de court-circuitage pour les cages de cuivre.

Cette opération se termine par une couche de peinture (antirouille) puis le rotor est envoyé au magasin intermédiaire.

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

b. Secteur pré-montage :

Pour les hauteurs d'axes allant de 70 mm à 160 mm, les opérations réalisées dans ce secteur sont :

- Huiler l'intérieur de la carcasse pour faciliter l'insertion du paquet statorique dans celle-ci;
- Emmancher le paquet statorique avec une presse;
- Mise en longueur et tournage des bords de centrage de la carcasse cotés AS et BS;
- Fraisage des pattes pour retrouver la hauteur d'axe exacte.

✓ Pour les hauteurs d'axes supérieurs à 160 mm, la carcasse est finie avant l'emmanchement du paquet.

c. Secteur montage final :

Dans ce secteur, sont effectuées les opérations suivantes pour les hauteurs d'axes allant jusqu'à 160 mm :

- Mise en place du couvercle de palier intérieur coté BS pour assurer une bonne étanchéité;
- Emmanchement des roulements déjà graissés coté AS et BS avec une presse verticale et emplacement des clavettes coté AS pour les petits et moyens moteurs ;
- Visser le couvercle de palier sur le flasque, cela permet de cerner le roulement entre ces deux pièces;
- Emplacement de la clavette coté BS et emmanchement du ventilateur, puis insertion de la bague d'arrêt (serre clips) pour le ventilateur;
- Intégration du rotor complet dans le stator et fixation de flasque coté BS avec des vis;
- Emplacement des rondelles (rondelles de compensation et rondelles élastiques) sur le flasque coté AS pour éviter le jeu axial du rotor;
- Fixation du flasque sur la carcasse ainsi que le montage du capot du ventilateur;
- Préparation de la boîte à bornes et fixation des câbles des raccordements sur la plaque à bornes.

✓ Pour les hauteurs d'axes supérieurs à 160 mm, les opérations se font manuellement à l'aide des palots et des pompes hydrauliques.

Chapitre II : processus de fabrication d'un moteur asynchrone EI

II-1-3 contrôle final :

Une fois le montage est fini, le moteur sera remis aux plates-formes d'essais séries et spéciaux.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le processus de fabrication d'un moteur asynchrone E.I; en commençant par les différents ateliers jusqu'au contrôle final qui s'effectue dans le secteur de contrôle dans lequel se font les différents essais. La description du secteur contrôle fera l'objet de notre prochain chapitre.

Introduction :

Tous les moteurs fabriqués à l'entreprise E.I sont soumis à différents contrôles avant leurs commercialisations, et pour se faire, l'entreprise compte tout un secteur de contrôle. La présente procédure se veut le plan général des contrôles en cours et final du produit de l'unité moteurs.

III-1 Sommaire des différents contrôles :

Les contrôles se font au sein de l'unité suivant ce sommaire :

- Contrôle de la qualité de la matière et des pièces en cours de fabrication par les moyens de E.I ;
- Contrôle de la qualité du produit par les moyens de E.I ;
- contrôle de la qualité de l'emballage ;
- enregistrements et suite à donner.

III-1-1 Contrôle de la qualité de la matière et des pièces en cours de fabrication par les moyens de E.I ;

La qualité intrinsèque (propriétés et caractéristiques) des produits intermédiaires ou (en cours) est contrôlée par rapport aux critères d'acceptation des données de sortie de chaque processus. La totalité des caractéristiques des produits en cours est contrôlée directement par l'entreprise en utilisant les moyens et les méthodes de E.I. Ce contrôle est sous la responsabilité du service contrôle suivant les imprimés des fiches suiveuses pour l'enregistrement des résultats signalés par les ateliers de : découpage, emballage, moulage sous pression, usinage, bobinage, pré-montage, contrôle final spécial et mécanique.

III-1-2 Contrôle de la qualité du produit par les moyens de E.I :

Ce contrôle se fait suivant les moyens de E.I. Il concerne le contrôle préliminaire des bobines ainsi que les stators bobinés avant leurs montage, ensuite les essais série et spéciaux après le montage final des moteurs.

III-1-2-1 Contrôle bobines :

L'identification de l'ordre de fabrication correspondant à la fiche suiveuse, par comparaison du produit à contrôler à la fiche au début de l'ordre de fabrication. Ce contrôle est sous la responsabilité d'un contrôleur qualité bobinage.

Dans ce contrôle, s'effectue la confection des bobines de fil de cuivre :

- **Le diamètre du fil :**

Ce contrôle se fait par un micromètre.

- **Le nombre de spires :**

Le calcul de nombre de spires se fait par comptage manuel.

- **La résistance :**

Cette mesure se fait par un ohmmètre, avec une tolérance de 5% de la résistance spécifique. Le contrôle se fait sur une seule bobine par ordre de fabrication et éventuellement en cas de changement de gabarret. Le contrôle se fait par un contrôleur qualité bobinage.

III-1-2-2 Contrôle électrique de bobinage (stators bobinés) :

Il concerne la correction des têtes de bobines, mesure de la résistance ainsi que l'essai en haute tension et vérification de la polarité.

- **Correction des têtes de bobines :**

La correction se fait avec un gabarit ; presse ou règle graduée, par comparaison aux valeurs exigées selon le dessin correspondant accompagnant chaque bobine. Il est à noter que le contrôle se fait sur toute la série (100% du produit).

- **Résistances :**

Cette mesure se fait avec un ohmmètre, en comparant les valeurs des résistances entre phases aux valeurs exigées selon le tableau essai des enroulements final. Notons que le contrôle se fait sur toute la série (100% du produit), par un contrôleur qualité bobinage.

Avec une tolérance de :

- ü 3% pour des hauteurs d'axes allant de 70 mm à 200 mm;
- ü 2% entre elles pour des hauteurs d'axes 220 mm à 400 mm ;

- **Haute tension :**

Le moyen utilisé dans ce contrôle est le chariot de haute tension.

En appliquant la loi :

$$U_{HT} = (2 \times U_n + 1000) \times 1.2 \quad \text{(III.1)}$$

- ü Entre phases ;
- ü Entre phases et masse.

- **Polarité :**

Ce contrôle se fait par une alimentation en courant continu et une boussole, le principe est d'alimenter chaque enroulement avec une tension continue et présenter la boussole devant chaque faisceau de bobines jusqu'à l'apparition des pôles qui doivent être alternés. Ce contrôle se fait sur le premier stator bobiné de chaque bobineur et à chaque ordre de fabrication.

III-1-2-3 Plate forme d'essais série :

Après le contrôle qui se fait sur les bobines, ainsi que les stators bobinés, ces derniers seront remis après leur imprégnation, à l'atelier de montage où se fait le montage final. Les moteurs une fois montés, passent à la plate forme d'essais série où se font les essais suivants :

- **Contrôle visuel :**

Cet essai a pour objectif de contrôler le bon montage du moteur (vis, plaque signalétique et le raccordement des fils), et ce suivant la fiche suiveuse qui accompagne chaque moteur à la plate forme d'essais série.

- **Mesure de la résistance :**

La mesure s'effectue avec un ohmmètre, en comparant les valeurs mesurées à la température ambiante, à celle contenue dans les instructions données par le constructeur avec une tolérance de 5%. Le contrôle se fait par un technicien électrique spécialisé.

- **Mesure de la résistance d'isolement à froid :**

La mesure se fait avec un mégohmmètre (mesure de la résistance d'isolement électrique). La résistance doit être supérieure ou égale à 30 M Ω sous 500 V.

- **Essai en court-circuit (à rotor bloqué) :**

Les moyens utilisés sont : le système de blocage du rotor, les pupitres de mesure de courant et de la puissance. Le contrôle se fait par comparaison des valeurs mesurées à celles contenues dans les instructions données avec une tolérance de :

- 10% pour la tension du court-circuit;
- 10% pour la puissance du court-circuit.

- **Essai à vide :**

Les moyens utilisés sont les pupitres de mesure de la puissance et du courant, en faisant une comparaison avec les tolérances suivantes :

- 10% pour la puissance à vide;
- 10% pour le courant à vide;
- 10% pour le courant à vide entre phases.

- **Bruits :**

Un stéthoscope est utilisé pour apprécier et détecter le bruit, et éventuellement l'origine (roulements, frottements magnétiques). Ce contrôle se fait sur le moteur en fonctionnement, s'il existe un bruit on coupe l'alimentation pour savoir si son origine est électrique, si le bruit persiste alors il est d'origine mécanique.

III-1-2-4 Plate forme d'essais spéciaux :

Pour chaque série de moteurs, on prélève un échantillon sur lequel s'effectue différents essais électriques et mécaniques, dans le but d'évaluer ses performances et d'identifier d'éventuels défauts de fabrication. Chaque moteur qui présente une anomalie sera rendu à l'atelier de montage.

Le moteur sélectionné pour les essais spéciaux, est généralement le premier qui a été jugé performant après les essais série. Après vérification des résultats des essais série on a aussi les essais suivants: essai d'échauffement, essai de freinage, essai des tensions en charges, essai des tensions à vide à chaud, essai du couple et l'essai de survitesse.

- **Essai d'échauffement :**

Les moyens utilisés dans cet essai sont :

- ü Un pupitre de mesure;
- ü Un système de poulie, dynamomètre, corde et poids pour les puissances de 0,25kW à 5kW;
- ü Un dynamo-frein pour les puissances comprises entre 5,5kW à 37kW;
- ü Un stroboscope;
- ü Un thermomètre avec un enregistreur à plusieurs pistes.

Le moteur chargé à sa puissance nominale doit fonctionner sous sa tension nominale. Jusqu'à ce que la température de la carcasse se stabilise.

On relève après chaque trente minute environ :

- ü La tension;
- ü La fréquence;
- ü La puissance et le courant absorbé;
- ü La vitesse;
- ü La température de la carcasse;
- ü La résistance à chaud et la température du milieu ambiant à la fin de l'essai.

On calcule :

- ü Le facteur de puissance;

- ü Le rendement;
- ü Le poids de la charge et le couple;

- **Essai de freinage :**

On procède de la même manière, avec les mêmes moyens que l'essai d'échauffement sauf que le moteur est chargé à 100%, 125%, 150%, 75%, 50%, 25% de sa puissance nominale sans tenir compte des températures.

- **Essai des tensions en charges :**

Les moyens utilisés sont les mêmes que ceux des précédents essais, dans cet essai la puissance étant maintenue constante, sous les tensions de 380V, 400V, 420V, 440V, 360V et 340V.

On relève :

- ü La puissance et le courant absorbé;
- ü la vitesse.

On calcule :

- ü Le rendement correspondant à chaque tension ;
- ü Le facteur de puissance ;
- ü Le couple.

- **Essai des tensions à vide :**

Les moyens utilisés sont les mêmes que ceux des précédents essais, dans cet essai, le moteur fonctionnant à vide, on relève :

- ü La puissance absorbée;
- ü Le courant absorbé.

Sous les tensions de : 380V, 400V, 420V, 360V, 340V, 320V, 300V, 280V, 260V, 240V, 220V, 200V, 180V, 160V, 140V, 120V et 100V.

- **Essai du couple :**

Les moyens utilisés sont :

- ü Les pupitres de mesure;
- ü Un dynamo-frein;
- ü Un système de poulie;
- ü Un dynamomètre;
- ü La corde.

Cet essai se fait conformément aux définitions concernant le couple de démarrage, de décrochage ainsi que le courant de démarrage qui correspond au couple de démarrage. Le contrôle se fait sur un moteur par ordre de fabrication.

- **Essai de survitesse :**

Les moyens utilisés sont les pupitres de mesure, essai une à deux fois la vitesse de synchronisme ; on réglant la fréquence à 60 Hertz pendant deux minutes.

- **Exploitation des essais précédents :**

Cette exploitation se fait par le chef de section contrôle électrique. Dans cet essai, le chef exploite les résultats trouvés dans les essais précédents suivant les méthodes données par le constructeur pour calculer :

- ü Les températures limites bobinage et palier ;
- ü Les pertes à vide et à différentes charges.

III-1-3 contrôle de la qualité de l'emballage :

Les contrôles signalés précédemment sont vérifiés par le responsable du service contrôle, il supervise les moteurs et fait un contrôle visuel final si les moteurs sont bien peints et que les bons produits sont dans leurs emballages.

III-1-4 Enregistrements et suite à donner :

Tous les contrôles à la réception en cours et final doivent faire l'objet d'enregistrement de contrôle comme signalé avant. Ces enregistrements doivent permettre d'identifier la personne qui a fait les contrôles et a pris les décisions d'accepter la livraison ou le blocage des produits. Lorsque les contrôles s'avèrent négatifs, les produits sont bloqués et seront rendus au secteur de montage pour réparer les défauts signalés lors des différents contrôles.

III-2 Les différents défauts des moteurs fabriqués à E.I :

Les moteurs sont confrontés à deux types de panne mécanique ou électrique.

III-2-1 Pannes mécaniques :

Ces pannes se rapportent à la partie mobile de la machine comme le ventilateur, l'arbre...etc. Elles se manifestent généralement comme suit :

- **Echauffements des enroulements :**

Ils sont provoqués soit par le mauvais graissage du roulement, soit par son mauvais état ou d'un jeu interne insuffisant.

- **Vibrations et bruits :**

Ils sont provoqués par des enroulements défectueux, par le frottement du rotor contre le stator ou par le frottement du ventilateur.

III-2-2 Pannes électriques :

Les pannes électriques sont les plus fréquentes, elles sont aussi nombreuses que variées, on va mentionner les plus importantes en donnant les causes et les remèdes adéquats à chacune d'elles. Le tableau **III.1** représente les pannes électriques des moteurs fabriqués à E.I.

III.1 Tableau des pannes électriques des moteurs fabriqués à E.I

Pannes	causes	Remèdes
1- Echauffement anormal du fer du stator : le fer du stator s'échauffe bien que la charge ne dépasse pas sa valeur normale.	-la tension d'alimentation est supérieure à la valeur nominale. -l'enroulement statorique est couplé en triangle au lieu de l'étoile.	-Réduire la tension d'alimentation ou renforcer la ventilation. -Couplé l'enroulement en étoile.
2- Echauffement exagéré local du fer statorique lors de la marche à vide à tension nominale.	-Courts-circuits locaux entre tôles du stator provoqués par des frottements rotor-stator survenant pendant le fonctionnement ou par des bavures. -Défaut d'isollements ou de court-circuit entre les boulons de serrage et les tôles.	-Enlever les bavures aux endroits du court-circuit. -Recentrer le rotor par rapport au stator. -Refaire l'isolement ou remplacer les boulons défectueux. -Un essai diélectrique est nécessaire pour vérifier la nouvelle isolation.
3- Echauffement de tout l'enroulement statorique.	-Le moteur est surchargé ou sa ventilation est défectueuse.	-Inverser le sens de rotation de la machine ou changer les ailettes du ventilateur.

	<ul style="list-style-type: none"> -Choix incorrect du sens de rotation de la machine ou mauvaise inclinaison des ailettes du ventilateur. -La tension aux bornes du moteur est inférieure à sa valeur nominale de sorte que pour une puissance nominale, le moteur se trouve surchargé en courant. -L'enroulement statorique est couplé en triangle au lieu de l'étoile. 	<ul style="list-style-type: none"> -Augmenter la tension jusqu'à avoir la valeur nominale du courant. -Coupler l'enroulement en étoile.
<p>4-Echauffements par endroit de l'enroulement statorique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Court -circuit entre spires d'une bobine. -Mise à la masse en deux endroits dans l'enroulement statorique d'une phase. -Court-circuit entre phases. 	<ul style="list-style-type: none"> -Changer la bobine, ou refaire son isolation. -Eliminer la mise à la masse, remplacer la bobine défectueuse.
<p>5-Le moteur ne démarre pas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Courant inexistant dans le stator à cause d'une coupure d'alimentation. 	<ul style="list-style-type: none"> -Rétablir l'alimentation.
<p>6- le moteur démarre difficilement, et présente un renflement anormal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Coupure dans l'une des phases du stator ou coupure du réseau. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier la tension aux bornes du stator pour savoir si la phase du réseau ne présente pas de coupure.

		-Si l'alimentation est bonne, la coupure se situe sur l'une des phases du stator qu'il faut réparer.
7-A charge nominale le moteur tourne avec une vitesse inférieure à sa vitesse nominale.	-Tension d'alimentation réduite.	-Augmenter la tension d'alimentation jusqu'à sa valeur nominale.
8-La vitesse de rotation est inférieure à la vitesse nominale oscille fortement même à charge réduite.	-Mauvais contact entre les barres de la cage et la couronne de court-circuit à cause du détachement des tiges, ou d'une rupture de la couronne. -Rupture des barres à l'intérieur du rotor.	-Localiser les ruptures et ressouder ou remplacer la cage.
9-Le moteur ronfle fortement. L'intensité du courant n'est pas la même dans toutes les phases. -L'échauffement de l'enroulement n'est pas uniforme.	-Court-circuit dans l'enroulement statorique. -Mauvais couplage de celui-ci. -Un nombre de spires inégales dans les bobines.	-Remplacer les bobines qui n'ont pas le nombre de spires exactes. -La vérification se fait à l'aide d'un voltmètre qui mesurera la chute de tension aux bornes de chaque groupe de bobine. -Le groupe de bobine défectueux représentera une chute de tension plus faible que les autres.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une description du banc de contrôle à E.I, en donnant un aperçu sur les différents essais et mesures. Ces derniers se font sur les moteurs avant et après le montage par un personnel qualifié capable de détecter les probables anomalies et défauts, qui peuvent se produire dans les moteurs. L'équipe de contrôle est habilitée à proposer d'éventuelles solutions à ces défauts, et à juger si ces moteurs sont bons et valider ainsi leur commercialisation.

Introduction :

Les essais effectués sur les moteurs asynchrones en fin de fabrication, ont pour but de permettre de juger leur qualité en comparant les différentes valeurs relevées lors des essais de contrôle à celles garanties par le constructeur. Ils permettent également de rechercher les défauts d'origine mécanique ou électrique.

IV-1 Présentation du moteur sélectionné pour les essais :

Le moteur sélectionné pour la réalisation des différents essais est un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil, de gamme de puissance 3kW, de type **890-120-1074-0041**. La codification de ce type de moteur est la suivante :

- 890 : produit de l'unité moteur.
- 1 : moteur asynchrone triphasé.
- 2 : exécution aluminium.
- 0 : arbre standard simple.
- 10 : code hauteur d'axe.
- 7 : carcasse longue.
- 4 : nombre de pôles.
- 0 : forme de construction **B3**.
- 0 : classe du couple.
- 4 : tension 380V couplage triangle (Δ).
- 1 : classe d'isolation F.

Ce moteur peut avoir trois formes de construction : à patte B3, à bride B5 ou à bride à patte B35. Dans notre cas, ce moteur est de forme de construction à patte B3 et à hauteur d'axe 107 mm comme indiqué sur la figure **IV.1**.

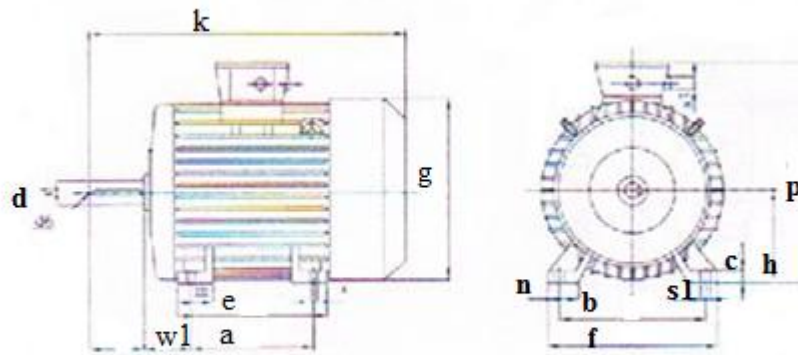


Figure IV.1 : Forme de construction B3 du moteur à patte.

Les dimensions du moteur étudié sont consignées dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Dimensions du moteur asynchrone de forme de construction B3(en mm).

a	b	c	e	f	g	h	k	m	n	p	s	s ₁	w ₁
140	160	13	176	196	202	100	371	46	42	256	12	16	63

IV-2 Plaque signalétique du moteur :

Moteur asynchrone triphasé							
U(V)	Couplage	I(A)	n(tr/mn)	Pu (kW)	Cosφ	□%	f(Hz)
380	Δ	7.00	1410	3	0.83	79	50

IV-3 Fiche technique des essais de contrôle du moteur :

Cette fiche nous donne les valeurs de consigne données par le constructeur.

890-120-1074-0041	Minimum	Valeurs de consigne	Maximum
R _{ph}	5.52	5.81 Ω	6.10
U _{cc}	71.10	79 V	86.90
P _{cc}	475.20	528 W	580.80
I ₀	4.14	4.60 A	5.06

P_0	333	370 W	407
U_{HT}		2112 V (1seconde) Entre phase Entre phase et masse	
I_n	6.30	7 A	7.70
P_u		3000 Kw	
$\cos \varphi$	0.80	0.83	
n	1269	1410 tr/mn	1551
\square	67.3	79 %	
G	4.8	6.00 %	7.2
I_d/I_n		6.00 A	
I_d		42 A	52.5
C_n		20 Nm	
C_d/C_n		2.6	
C_d	46.80	52 Nm	57.20
C_{max}/C_n		2.7	
C_{max}	48.6	54 Nm	

Avec :

- R_{ph} : résistance de phase ;
- U_{cc} et P_{cc} : tension et puissance de court-circuit ;
- U_{HT} : tension de haute tension ;
- I_0 et P_0 : courant et puissance à vide ;
- P_u : puissance utile ;
- $\cos \varphi$: facteur de puissance ;
- n : vitesse de rotation ;
- \square : rendement ;
- g : glissement ;
- C_n et C_d : couple nominal et couple de démarrage (décrochage) ;
- C_{max} : couple de renversement;

- I_n et I_d : courant nominal et courant de démarrage.

IV-4 Les différents essais réalisés :

Notre travail consiste en la réalisation des essais de contrôle, qui s'effectuent au sein de l'unité de contrôle sur les deux plates formes suivantes :

- Plate forme d'essais série.
- Plate forme d'essais spéciaux.

IV-4-1 Plate forme d'essais série :

Le moteur, objet de notre étude, a subi un contrôle visuel. Nous avons vérifié la fixation de la boîte à bornes, le raccordement des fils et la libre rotation du rotor. Après avoir jugé la conformité du moteur, nous avons procédé aux essais suivants :

IV-4-1-1 mesure des résistances :

Nous avons mesuré les résistances des enroulements des phases statoriques à l'aide d'un ohmmètre numérique, les valeurs trouvées sont indiquées ci-dessous :

- $U1U2 = 5.49 \Omega$.
- $V1V2 = 5.50 \Omega$.
- $W1W2 = 5.49 \Omega$.

IV-4-1-2 Mesure de la résistance d'isolement à froid :

a. But de la mesure :

Le but est de tester si l'isolation du moteur est susceptible de présenter des courants de fuites, et garantir ainsi la sécurité des personnes.

b. Mode opératoire :

On a mesuré cette résistance avec un mégohmmètre, la résistance trouvée est supérieure à $30 M \Omega$.

IV-4-1-3 Essai en court-circuit (à rotor bloqué) :

a. But de cet essai :

L'essai en court-circuit consiste à détecter le comportement du rotor (la coulée de la cage d'écuréuil).

b. Schéma de montage :

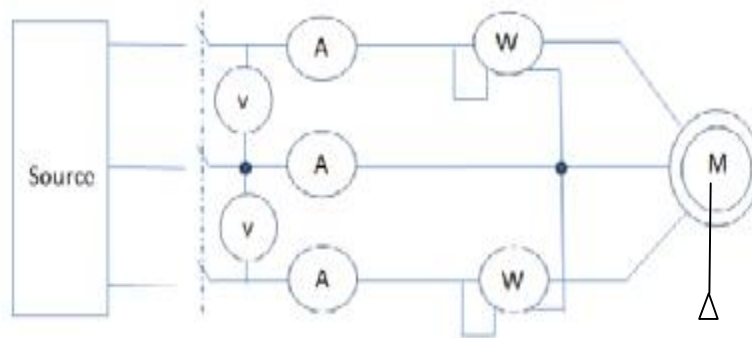


Figure IV.2 : Schéma de montage de l'essai en court-circuit.

c. Mode opératoire :

Après avoir mis en marche le transformateur d'alimentation et après avoir choisi les calibres adéquats, on appuie sur le bouton allumage pour alimenter la machine en essai. On augmente la tension jusqu'à atteindre le courant nominal du moteur, tout en couplant le moteur avec un couplage triangle et en bloquant le rotor à l'aide d'une clavette et d'un dispositif de blocage. On relève la tension appliquée, le courant et la puissance absorbés en divisions. Les valeurs de ces grandeurs sont obtenues par multiplication des valeurs lues par C_u , C_i et C_p qui sont respectivement les coefficients de tension, courant et puissance. Les résultats de l'essai en court-circuit sont donnés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : Résultats de l'essai en court-circuit.

C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_s [div.]	P [div.]	n [tr/mn]	I_m [A]	P_a [kW]
1	2	20	50	73	3.5	26.8	0	7.0	0.536

IV-4-1-4 Essai à vide :

a. But de l'essai :

Il permet de contrôler la partie électromagnétique statique (les enroulements du stator).

b. Schéma de montage :

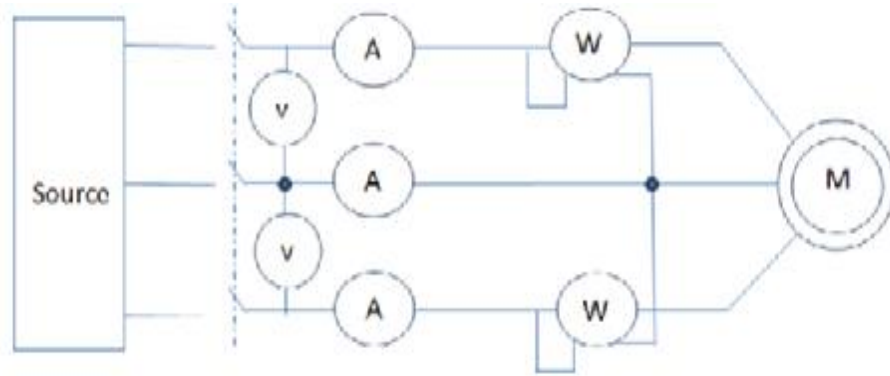


Figure IV.3 : Schéma de montage de l'essai à vide.

c. Mode opératoire :

On met en marche le transformateur d'alimentation, puis on appuie sur le bouton d'alimentation de la machine en essai. On augmente la tension jusqu'à atteindre la tension nominale du moteur qui est de 380V avec un couplage triangle sans qu'il débite sur aucune charge (le moteur tourne à vide) selon le schéma de la figure IV.3. On prélève les divisions correspondant au courant dans chaque phase (I_r, I_s, I_t) et à la puissance absorbée P par la méthode des deux wattmètres. Nous avons également mesuré la vitesse de rotation n avec un tachymètre. Les résultats sont regroupés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : Résultats de l'essai à vide.

C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_r [div]	I_s [div]	I_t [div]	P [div]	n [tr/mn]	I_m [A]	P_a [kW]
1	1	40	50	380	4.43	4.59	4.40	8.9	1498	4.47	0.356

Avec :

$$I_m = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} \times C_i \tag{IV.1}$$

$$P = P_1 - P_2 \tag{IV.2}$$

Remarque :

On constate que les résultats trouvés lors de l'essai en court circuit et à vide sont proches de ceux garantis par le constructeur.

IV-4-1-5 Essai de haute tension :

L'objectif de cet essai est de contrôler la bonne isolation entre phases, et entre phases et masse. La tension appliquée dans cet essai est choisie en fonction de la tension nominale du moteur. Cette tension est obtenue à partir de l'expression :

$$U_{HT} = (2 \times U_n + 1000) \times 1.2 \quad (\text{IV.3})$$

$$U_{HT} = 2112\text{V}$$

IV-4-1-6 Contrôle du bruit:

Nous avons réalisé ce contrôle à l'aide d'un sonomètre lors de l'essai à vide. Ce contrôle se fait en déplaçant le sonomètre sur différentes parties externes du moteur pour écouter et distinguer les bruits étranges. Dans notre cas, le bruit de notre moteur est normal.

IV-4-2 Plate forme d'essais spéciaux :

Dans cette plate forme se fait la vérification des différents essais effectués à la plate forme précédente. En plus des essais spéciaux qui sont l'essai d'échauffement, l'essai de freinage, l'essai des tensions en charges, l'essai des tensions à vide à chaud et l'essai des moments.

IV-4-2-1 Mesure des résistances entre phases :

Comme dans la mesure effectuée à la plate forme précédente, nous avons mesuré la résistance entre les phases à l'aide d'un ohmmètre numérique, les valeurs trouvées sont :

- U.V, $r = 3,66 \Omega$;
- V.W, $r = 3,66 \Omega$;
- U.W, $r = 3,66 \Omega$.

Dans notre cas, On constate que les résultats obtenus sont dans la tolérance des valeurs de consignes.

IV-4-2-2 Essai en court-circuit :

Il se fait suivant le même montage et mode opératoire que celui effectué sur la plate forme précédente, et ce dans le but de vérifier les résultats trouvés dans la plate forme d'essai série. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau **IV.4**.

**Tableau IV.4 : Les résultats de l'essai en court-circuit
dans la plate forme d'essais spéciaux.**

C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_s [div.]	P [div.]	n [tr/mn]	I_m [A]	P_a [kW]
1	2	20	50	73	3.4	26.7	0	6.8	0.534

IV-4-2-3 Essai à vide :

L'essai à vide effectué sur la plate forme d'essais spéciaux consiste à vérifier les résultats obtenus dans l'essai fait sur la plate forme des essais série. Il est réalisé suivant le même mode opératoire et le schéma de montage adoptés dans cette plate forme. Les résultats de cet essai sont consignés dans le tableau **IV.5**.

**Tableau IV.5 : Les résultats de l'essai à vide
dans la plate forme d'essais spéciaux.**

C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_r [div]	I_s [div]	I_t [div]	P [div]	n [tr/mn]	I_m [A]	P_a [kW]
1	1	40	50	380	4.42	4.58	4.40	8.8	1498	4.46	0.352

Remarque :

On remarque que les résultats trouvés sur l'essai en court-circuit et l'essai à vide à la plate forme d'essais spéciaux sont proches de ceux trouvés à la plate forme d'essais série.

IV-4-2-4 Essai d'échauffement :

L'objectif de cet essai est de juger la bonne qualité du moteur et de déterminer ses caractéristiques électriques et mécaniques, et les comparer aux valeurs de consignes données sur la plaque signalétique, ces valeurs sont prélevées une fois que la température de la carcasse s'est stabilisée. Cette dernière est calculée suivant cette formule :

$$\Delta T = \frac{R_{ch} - R_f}{R_f} \times (235 + T_f) + (T_f - T_{fessai}) \quad (\text{IV.4})$$

$$\Delta T = \frac{4.83 - 3.66}{3.66} \times (235 + 20) + (20 - 22)$$

$$\Delta T = 79.5^\circ\text{C}$$

Avec :

- R_f : résistance de couplage d'une phase statorique à froid ;
- R_{ch} : résistance de couplage d'une phase statorique à chaud ;
- T_f : température de la carcasse à froid ;
- T_{fessai} : température ambiante à la fin de l'essai ;
- 235°C : constante du cuivre.

a. Mode opératoire :

On met en marche le transformateur d'alimentation et on appuie sur le bouton d'alimentation du moteur en essai. On calcule le poids nécessaire avec lequel on charge le moteur et on prélève la température de la carcasse à froid. Le poids de charge nécessaire est donné par :

$$P_u = \frac{G \times 2\Pi(R+r)}{60} \times g \times n \quad (\text{IV.5})$$

Avec :

- G : poids net (kg) ;
- R : rayon de la poulie (m) ;
- r : rayon de la corde (m).
- g : accélération de la pesanteur (N/kg) avec $g = 9,81\text{N/kg}$

$$M = G \times g \times (R+r) \quad (\text{IV.6})$$

Avec :

- M : couple utile (Nm).

$$\text{Et : } G = \frac{P_u \times 60}{2\pi \times (R + r)} g \times n \quad (\text{IV.7})$$

On met une poulie sur l'arbre du moteur du côté AS (entraînement) tout en bloquant le moteur, les frottements entre l'arbre et la poulie provoquent l'échauffement, c'est pour ça qu'on utilise l'eau pour le refroidissement de la poulie. On règle la tension d'alimentation du moteur à sa tension nominale qui est de 380V. Une fois le moteur chargé, on mesure la vitesse réelle à l'aide d'un stroboscope pour recalculer le poids (on ajuste la charge en fonction de la vitesse mesurée du moteur) en veillant chaque fois à mesurer le courant ainsi que la puissance de chaque charge. Au début, on refait la mesure toutes les quinze minutes, après on ajuste la charge jusqu'à ce que la vitesse avoisine la vitesse nominale. Notons qu'au fur et à mesure que le moteur tourne, il s'échauffe, engendre l'augmentation des pertes et la diminution de la puissance utile. Pour compenser cette puissance, on agit sur les charges afin de garder cette puissance constante. L'essai dure jusqu'à ce que la température limite de la carcasse soit atteinte et stable.

b. Schémas de montage :

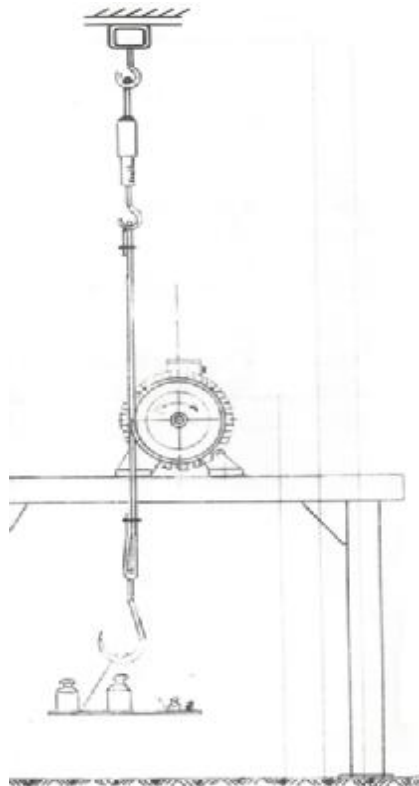


Figure IV.4 : Schéma de montage de l'essai d'échauffement.

Les résultats de cet essai sont indiqués dans le tableau **IV.7**. Dans ce tableau, le facteur de puissance et le rendement du moteur sont calculés à partir des relations ci-dessous.

$$\cos j = \frac{P_a}{\sqrt{3}} \times U \times I_m \quad (\text{IV.8})$$

$$h = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{IV.9})$$

Tableau IV.7: Résultats des essais d'échauffements.

Temps	C _u	C _i	C _p	f [Hz]	U [V]	I _r [div]	I _s [div]	I _t [div]	P [div]	G [kg]	n [t/mn]	I _m [A]	P _a [kW]	Cosφ	M [Nm]	P _u [kW]	□ [%]	T [C°]
9h30	1	2	80	50	380	3.57	3.57	3.56	46.50	13.17	1431	7.13	3.720	0.79	20.00	3	80.60	20
9h45	1	2	80	50	380	3.53	3.53	3.52	46.50	13.28	1420	7.05	3.720	0.80	20.20	3	80.60	56
10h15	1	2	80	50	380	3.56	3.56	3.50	47.00	13.35	1412	7.08	3.760	0.81	20.30	3	79.80	66
10h45	1	2	80	50	380	3.55	3.55	3.51	47.00	13.36	1411	7.07	3.760	0.81	20.31	3	79.80	69
11h15	1	2	80	50	380	3.56	3.56	3.51	47.00	13.36	1411	7.08	3.760	0.81	20.31	3	79.80	73
11h45	1	2	80	50	380	3.56	3.56	3.51	47.00	13.36	1411	7.08	3.760	0.81	20.31	3	79.80	76
12h15	1	2	80	50	380	3.56	3.56	3.50	47.00	13.36	1411	7.08	3.760	0.81	20.31	3	79.80	76

IV-4-2-5 Essai des tensions en charge :

Cet essai nous permet de juger la valeur de la tension optimale ; celle qui donne les meilleurs paramètres de marche du moteur, et la comparer ainsi à celle prévue sur la plaque signalétique du moteur.

a-Schéma du montage :

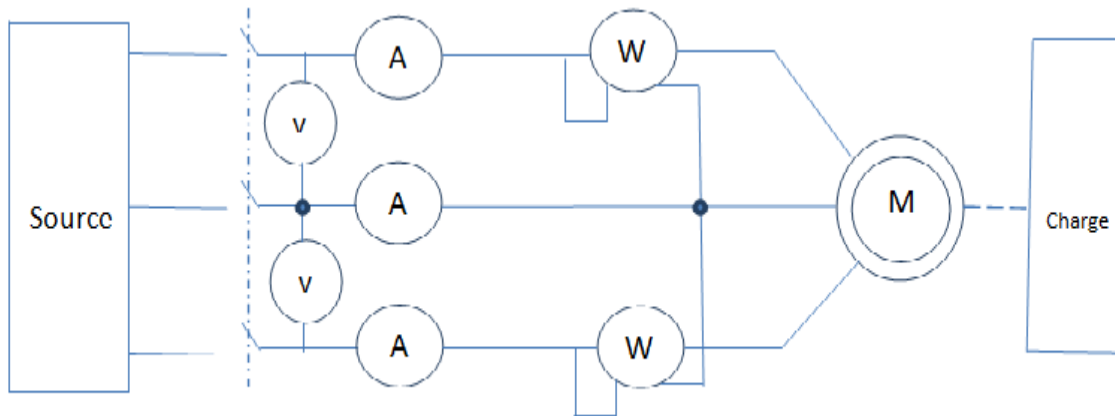


Figure IV.5 : Schéma de montage de l'essai des tensions en charge.

b. Mode opératoire :

On met en marche le transformateur d'alimentation, puis on appuie sur le bouton d'alimentation de la machine en essai. On augmente la tension jusqu'à atteindre la tension nominale du moteur qui est de 380V, en donnant à son bout d'arbre sa puissance utile nominale. On procède par la suite à la variation de la tension tout en maintenant la puissance utile constante, en agissant toujours sur les poids. Les résultats obtenus sont donnés sur le tableau **IV.8**.

Tableau VI.8 : Résultats des essais des tensions en charge.

C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_r [div]	I_s [div]	I_t [div]	P [div]	G [kg]	n [tr/mn]	I_m [A]	P_a [kW]	$\text{Cos}\phi$	M [Nm]	P_u [kW]	\square [%]
1	2	120	50	440	4.40	4.53	4.44	33.60	13.12	1437	8.91	4.032	0.69	19.95	3	74.40
1	2	120	50	420	3.88	3.95	3.85	32.00	13.18	1430	7.78	3.840	0.75	20.04	3	78.10
1	2	120	50	400	3.63	3.66	3.60	31.00	13.25	1423	7.26	3.720	0.78	20.14	3	80.60
1	2	80	50	380	3.55	3.53	3.47	46.60	13.35	1412	7.03	3.728	0.80	20.30	3	80.50
1	2	80	50	360	3.58	3.54	3.50	46.90	13.46	1400	7.08	3.752	0.80	20.46	3	80.00
1	2	80	50	340	3.72	3.70	3.65	47.60	13.62	1384	7.38	3.808	0.78	20.70	3	78.80

Remarque :

On se limite à 340V pour maintenir la vitesse de rotation constante, et cela on ne doit pas descendre au delà du quart de cette vitesse, car les pertes constantes dépendent de cette dernière.

- **Caractéristiques de l'essai des tensions en charges :**

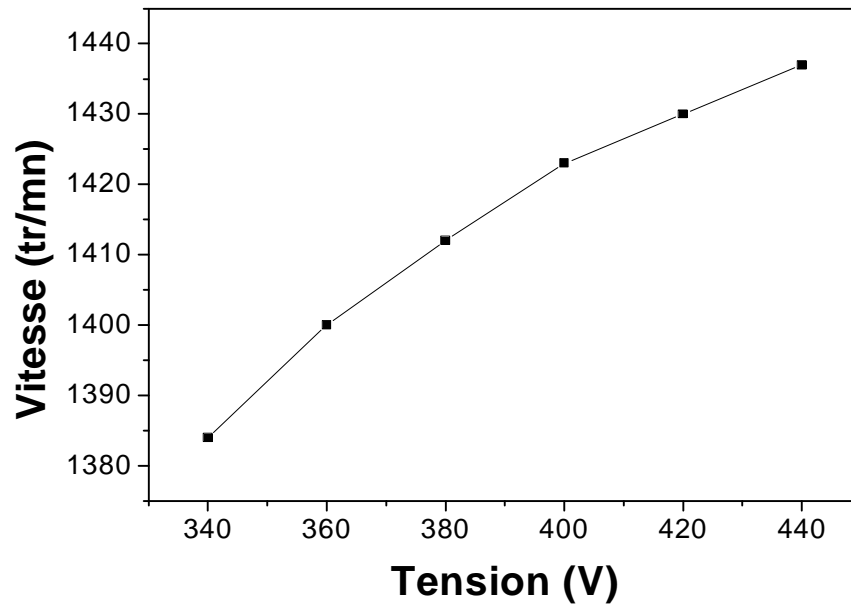


Figure IV.6 : Courbe d'évolution de la vitesse de rotation en fonction de la tension.

Interprétation de la courbe :

- ü La figure IV.6 représente la courbe d'évolution de la vitesse de rotation en fonction de la tension.
- ü On remarque que la vitesse augmente avec la tension.

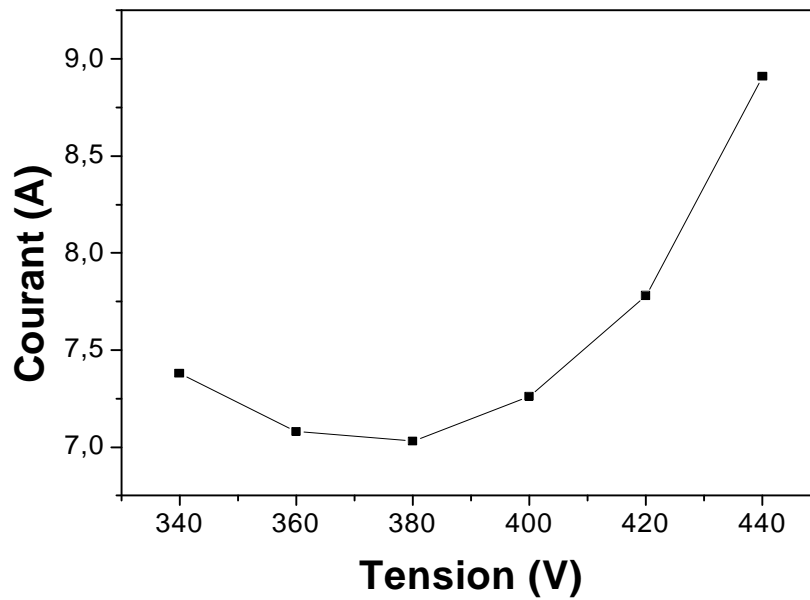


Figure IV.7 : Courbe d'évolution du courant en fonction de la tension.

Interprétation :

- ù La figure IV.7 représente la courbe d'évolution du courant en fonction de la tension en charge.
- ù Mise à part, une petite diminution au départ, le courant augmente avec l'augmentation de la tension.

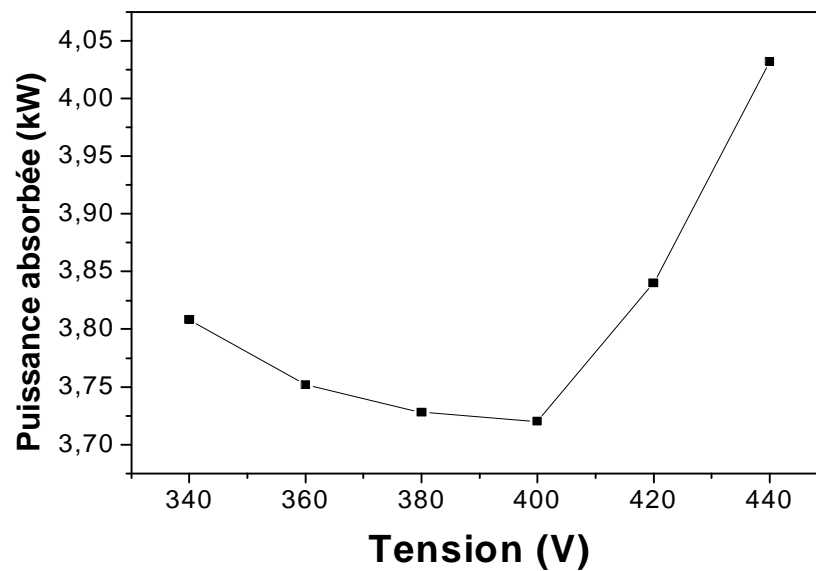


Figure IV.8 : Courbe d'évolution de la puissance absorbée en fonction de la tension.

Interprétation :

- ü La figure IV.8 représente la courbe d'évolution de la puissance absorbée en fonction de la tension.
- ü On remarque que la puissance absorbée suit la variation du courant, c'est-à-dire le moteur demande une puissance absorbée qui correspond à son courant quelle que soit sa tension.

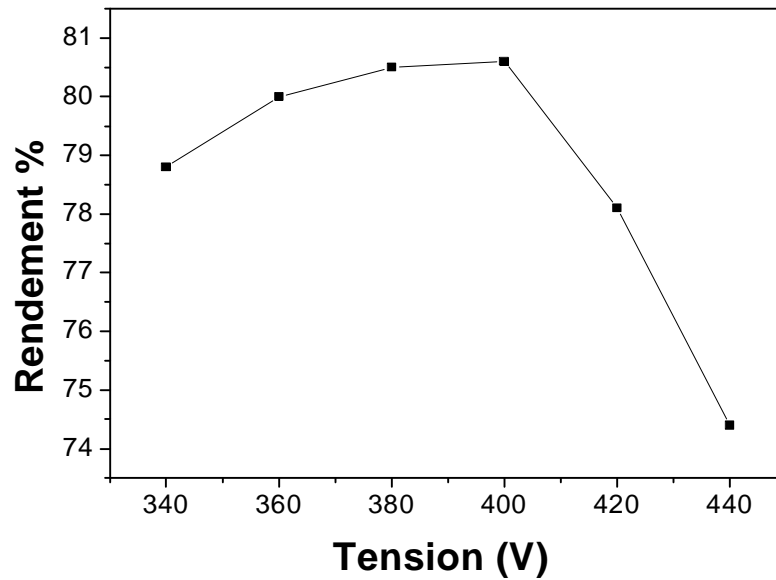


Figure IV.9 : Courbe d'évolution du rendement en fonction de la tension.

Interprétation :

- Û La figure IV.9 représente la courbe d'évolution du rendement en fonction de la tension.
- Û On remarque que le rendement augmente jusqu'à la tension nominale, au delà de cette tension, il diminue parce que le moteur est surchargé.

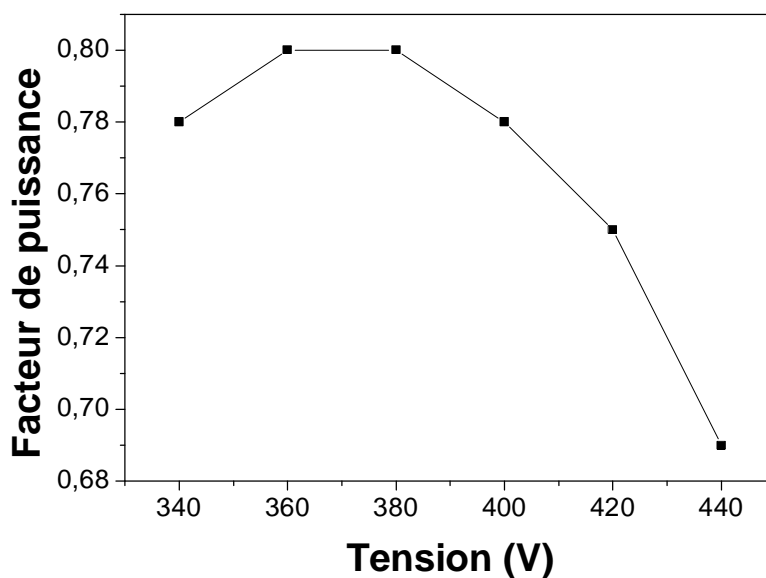


Figure IV.10 : Courbe d'évolution du facteur de puissance en fonction de la tension.

Interprétation :

- ü La figure IV.10 représente la courbe d'évolution du facteur de puissance en fonction de la tension.
- ü On remarque que le facteur de puissance diminue lorsque la vitesse de rotation est proche de la vitesse de synchronisme, puis il augmente à la diminution de celle-ci.

IV-4-2-6 Essai des tensions à vide à chaud :

a. But de cet essai :

Cet essai nous permet de déterminer les pertes Joules statoriques et de séparer les pertes fer et les pertes mécaniques.

b. Schéma de montage :

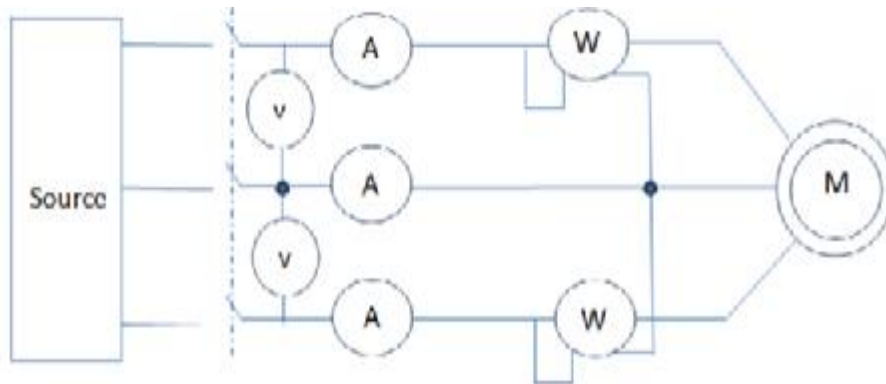


Figure IV.11 : schéma de montage de l'essai des tensions à vide à chaud.

c. Mode opératoire :

On met en marche le transformateur d'alimentation, puis on appuie sur le bouton d'alimentation de la machine en essai. On augmente la tension jusqu'à atteindre la tension nominale du moteur qui est de 380V, puis on lit la valeur du courant et celle de la puissance. On augmente la tension progressivement à l'aide du bouton de commande jusqu'à 440V, puis on la diminue progressivement jusqu'à 100V. Il est à noter qu'on prend la valeur du courant et de la puissance à chaque changement de tension. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau IV.9.

Tableau VI.9 : Résultats des essais des tensions à vide à chaud.

C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_r [div]	I_s [div]	I_t [div]	P [div]	I_m [A]	Pa [kW]	$\text{Cos}\phi$
1	2	120	50	440	4.20	4.32	4.30	7.00	8.54	0.840	0.129
1	2	120	50	420	3.45	3.52	3.50	5.20	6.98	0.624	0.122
1	2	120	50	400	2.73	2.82	2.80	3.90	5.56	0.468	0.121
1	1	40	50	380	4.40	4.40	4.32	9.00	4.41	0.360	0.124
1	1	40	50	360	3.64	3.64	3.56	7.00	3.67	0.280	0.122
1	1	40	50	340	3.10	3.10	2.97	6.00	3.10	0.240	0.131
1	1	40	50	300	2.45	2.45	2.27	4.20	2.41	0.161	0.128
1	1	40	50	260	2.00	2.00	1.82	3.10	1.95	0.124	0.141
1	0.5	20	50	220	3.15	3.15	2.88	4.60	1.56	0.092	0.154
1	0.5	20	50	180	2.55	2.55	2.27	3.50	1.25	0.070	0.117
1	0.5	20	50	140	1.95	1.95	1.76	2.50	0.96	0.050	0.214
1	0.5	20	50	100	1.42	1.42	1.21	1.50	0.68	0.030	0.254

- Caractéristique de l'essai des tensions à vide à chaud :

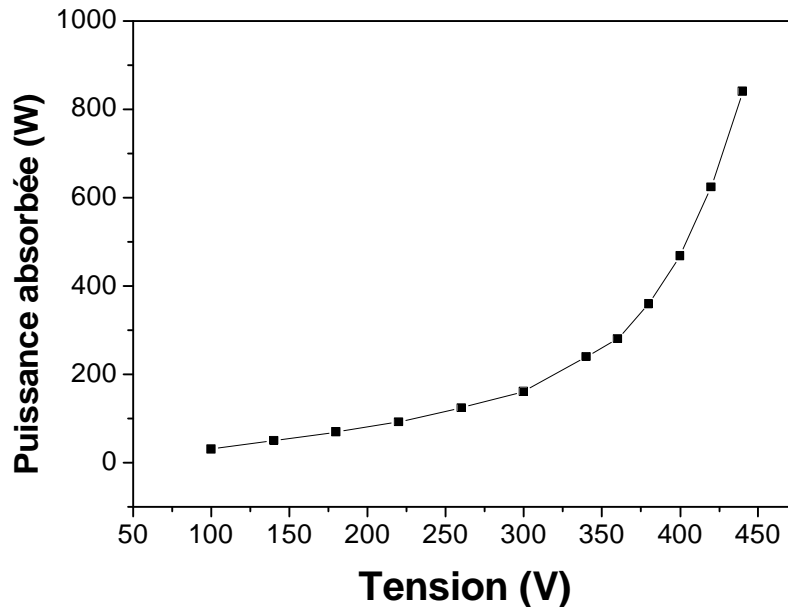


Figure IV.12 : Courbe d'évolution de la puissance absorbée en fonction de la tension.

Interprétation:

- Û La figure IV.12 représente la courbe d'évolution de la puissance absorbée en fonction de la tension.
- Û On remarque que la puissance à vide augmente ou diminue au fur et à mesure que la tension augmente ou diminue respectivement.

IV-4-2-7 Essai de freinage :

a. But de cet essai :

Cet essai permet de voir la capacité du moteur à supporter les surcharges pendant un certain temps sans décrocher, et tracer ainsi la caractéristique naturelle du moteur.

b. Schéma de montage :

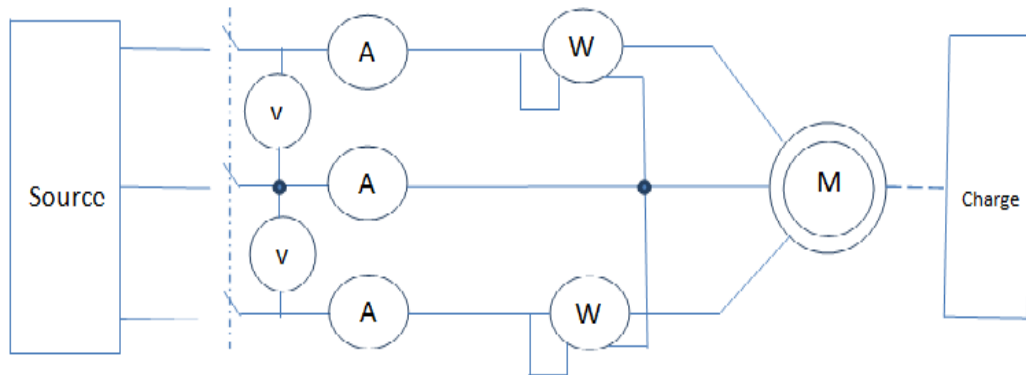


Figure IV.13 : schéma de montage de l'essai de freinage.

c. Mode opératoire :

On met en marche le transformateur d'alimentation, puis on appuie sur le bouton d'alimentation de la machine en essai. On augmente la tension jusqu'à atteindre la tension nominale du moteur qui est de 380V. On suspend un fil sur un dynamomètre, on l'enroule sur une poulie montée sur l'arbre du moteur, puis on suspend des poids sur l'autre extrémité de la corde. On charge le moteur à 100% de sa charge nominale, puis on le charge d'avantage jusqu'à 125%, puis à 150% de sa charge, cette dernière ne doit pas rester longtemps, on la diminue immédiatement sinon les isolants risquent de fondre puisque il y a appel d'un courant considérable. Ce dernier induit un échauffement excessif du moteur. Ensuite, on charge le moteur au dessous de la charge nominale notamment 75%, 50% et 25%. A chaque essai on relève la puissance utile, la puissance absorbée, le courant ainsi que la vitesse. On détermine le facteur de puissance et d'autres paramètres.

Remarque : Pour les moteurs supérieurs à 5,5 kW, l'essai se fait de la manière suivante :

On accouple ces moteurs à la dynamo-frein qu'ils entraînent en réglant d'abord le couple à sa valeur nominal. On procède ensuite de la même manière que précédemment. Cette fois au lieu de faire varier les poids on fait varier les couples.

Dans notre cas, la puissance de notre moteur est 3kW, l'essai est fait à l'aide d'un dynamomètre. Les résultats obtenus lors de l'essai sont indiqués dans le tableau **IV.10**.

Tableau VI.10 : Résultats des essais de freinage.

Charge [%]	C_u	C_i	C_p	f [Hz]	U [V]	I_r [div]	I_s [div]	I_t [div]	P [div]	G [Kg]	n [tr/mn]	I_m [A]	P_a [kW]	Cos φ	M [Nm]	P_u [kW]	η [%]
150	1	5	200	50	380	2.00	1.98	1.99	28.90	20.05	1350	9.95	5.780	0.88	30.48	4.309	74.50
125	1	2	80	50	380	4.25	4.25	4.20	59.50	16.71	1387	8.46	4.760	0.85	25.40	3.690	77.50
100	1	2	80	50	380	3.56	3.56	3.50	47.00	13.36	1411	7.08	3.760	0.81	20.31	3.000	79.80
75	1	2	80	50	380	3.00	3.00	2.92	35.50	10.03	1436	6.00	2.840	0.72	15.25	2.293	80.70
50	1	2	80	50	380	2.57	2.57	2.52	24.90	6.68	1458	5.10	1.992	0.59	10.15	1.549	77.70
25	1	2	80	50	380	2.33	2.33	2.28	14.80	3.34	1480	4.63	1.184	0.39	5.08	0.787	66.50

- Caractéristiques de l'essai de freinage :

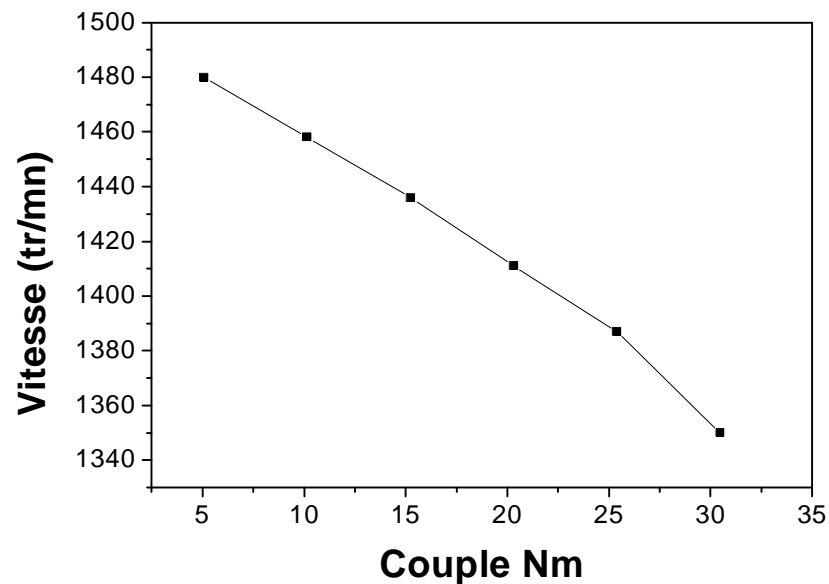


Figure IV.14 : Courbe d'évolution de la vitesse de rotation en fonction du couple.

Interprétation :

- ü La figure IV.14 représente la courbe d'évolution de la vitesse de rotation en fonction du couple.
- ü On remarque que la surcharge du moteur provoque le ralentissement de sa vitesse, mais à des charges inférieures à la charge nominale sa vitesse se rapproche de la vitesse de synchronisme.

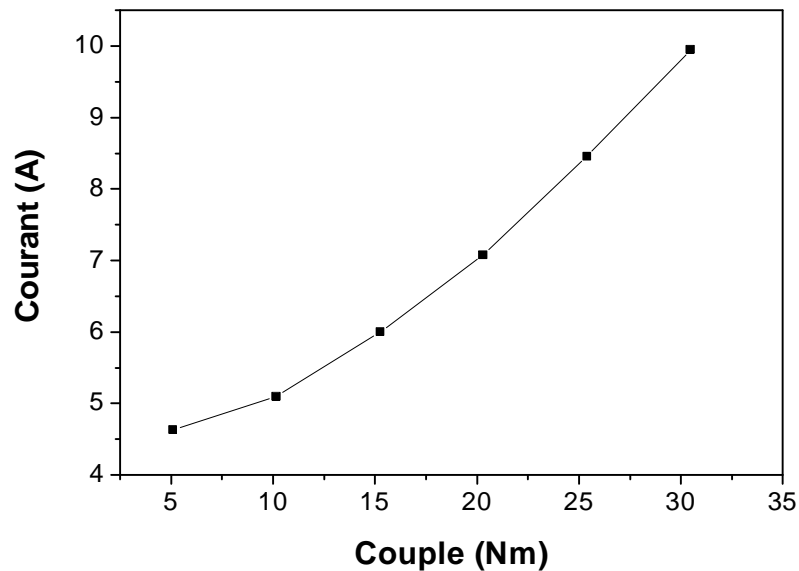


Figure IV.15 : Courbe d'évolution du courant moyen absorbé en fonction du couple.

Interprétation :

- ü La figure **IV.15** représente la courbe d'évolution du courant moyen absorbé en fonction du couple.
- ü On remarque que l'augmentation du couple au moment de la surcharge engendre un courant considérable.
- ü Dans le cas d'une charge nominale, le courant avoisine sa valeur nominale.
- ü Au dessous de la charge nominale, le moteur ne nécessite pas un grand courant parce que le couple résistant est faible.

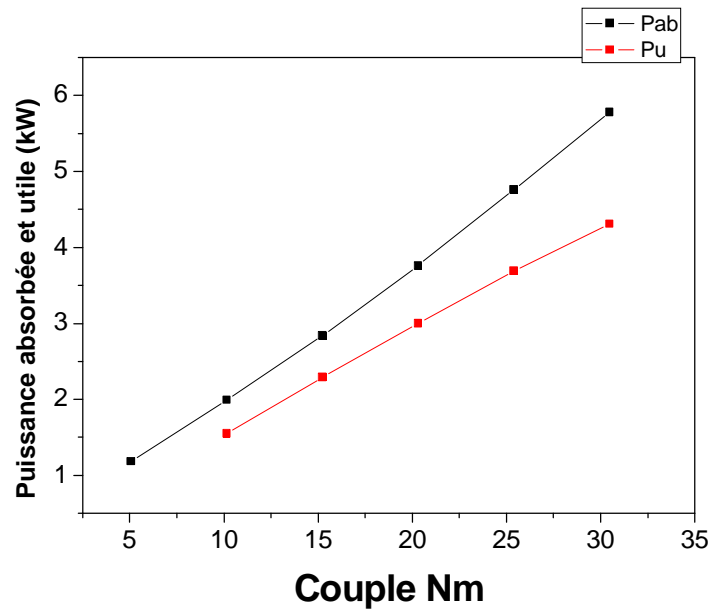


Figure IV.16 : Courbe d'évolution des puissances absorbée et utile en fonction du couple.

Interprétation :

- Û La figure **IV.16** représente la courbe d'évolution de la puissance absorbée et utile en fonction du couple.
- Û On remarque que ces deux puissances augmentent avec la charge parce que le moteur demande un grand courant pour fonctionner, c'est à dire une grande puissance absorbée qui donne une puissance utile considérable.
- Û Dans le cas contraire la diminution de la charge entraine la diminution du courant et de la puissance.

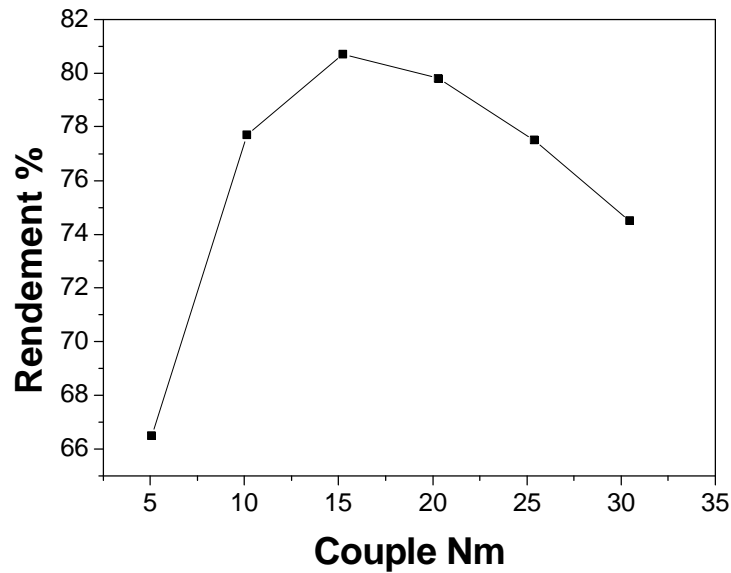


Figure IV.17 : Courbe d'évolution du rendement en fonction du couple.

Interprétation :

- Û La figure IV.17 représente la courbe d'évolution du rendement en fonction du couple.
- Û On remarque que le rendement est bon à la charge nominale mais il diminue à la surcharge parce que les pertes sont très importantes.
- Û Pour les charges inférieures à la charge nominale le rendement est très faible parce que la vitesse s'approche de la vitesse de synchronisme, ce qui implique une puissance utile très faible.

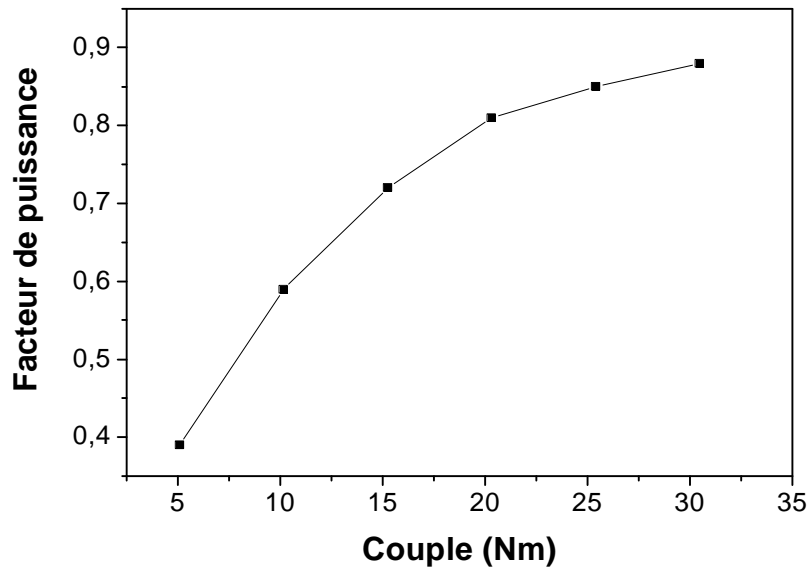


Figure IV.18 : Courbe d'évolution du facteur de puissance en fonction du couple.

Interprétation :

- Û La figure IV.18 représente la courbe d'évolution du facteur de puissance en fonction du couple.
- Û Le facteur de puissance suit le courant et la puissance absorbée dans leurs variations, c'est à dire il augmente à la surcharge et diminue dans le sens inverse.

IV-4-2-8 Essai des moments :

a. But de l'essai :

L'objectif de cet essai est la détermination du moment de décrochage ainsi que le moment de renversement.

b. Mode opératoire :

On met en marche le transformateur d'alimentation, puis on appuie sur le bouton d'alimentation de la machine en essai. On augmente la tension jusqu'à atteindre la tension nominale du moteur qui est de 380V et on bloque le moteur avec une corde. On injecte les 380V qu'on a réglé directement pour alimenter le moteur. Lorsque ce dernier commence à tourner, la corde empêche le mouvement, et à cet instant, on prélève rapidement le poids avec

un pesant (balance), la vitesse avec un tachymètre ainsi que le courant en même temps. Ces paramètres nous permettent de calculer le moment de démarrage.

Dans le cas contraire, le moteur fonctionne à vide à 380V puis on le bloque avec une corde. On relève les mêmes valeurs qu'avant pour calculer ensuite le moment de renversement. Les résultats obtenus sont consignés dans les deux tableaux **IV.11** et **IV.12**.

Tableau IV.11 : Résultats de l'essai du moment de démarrage.

C_u	C_i	f [Hz]	U [V]	I_s [div]	G [kg]	n [tr/mn]	I_m [A]	M [Nm]
1	10	50	380	4.53	36.76	0	45.38	55.91

Tableau IV.12 : Résultats de l'essai du moment de renversement.

C_u	C_i	f [Hz]	U [V]	I_s [div]	G [kg]	n [tr/mn]	I_m [A]	M [Nm]
1	10	50	380	2.70	46.60	0	27.07	70.86

Avec :

$$M = G \times g \times R \tag{IV.10}$$

IV-5 calcul des pertes :

Dans ce qui suit, nous calculons les différentes pertes à vide et en charge ainsi que le rendement.

IV-5-1 Détermination des pertes à vide :

On calcule les pertes à vide pour :

- Une tension = 380V ;
- Un courant de ligne $I = 4.41A$;
- Une puissance absorbée $P_a = 360W$.

IV-5-1-1 Pertes Joule statoriques P_{js0} :

Les pertes Joule statoriques sont calculées par la formule suivante :

$$P_{js0} = R \times I_0^2 \quad (\text{IV.11})$$

$$P_{js0} = 7.53 \times (4.41)^2$$

$$P_{js0} = 146.44 \text{ W}$$

Tel que :

$$R = \frac{235+t_2}{235+t_1} \times R_{uv} \times 1.5 \quad (\text{IV.12})$$

$$R = \frac{235+115}{235+20} \times 3.66 \times 1.5$$

$$R = 7.53 \Omega$$

Avec :

- R : résistance d'une phase statorique à chaud ;
- t_1 : température de la carasse à froid ;
- t_2 : température du bobinage du stator en fonctionnement.
- R_{uv} : Résistance équivalente d'une phase statorique à froid.
- 235°C: constante du cuivre.

IV-5-1-2 Pertes constantes (P_C):

Les pertes constantes sont calculées par la formule suivante :

$$P_C = P_0 - P_{js0} \quad (\text{IV.13})$$

$$P_C = 280 - 101.42$$

$$P_C = 178.58 \text{ W}$$

IV-5-1-3 Pertes mécanique (P_M) :

La courbe **IV.19** nous permet de déterminer les pertes mécaniques à partir de l'intersection de la caractéristique $p_C = f(U^2)$ Avec l'axe de P_C à $U^2 = 0$.

$$P_M = 26.40 \text{ W}$$

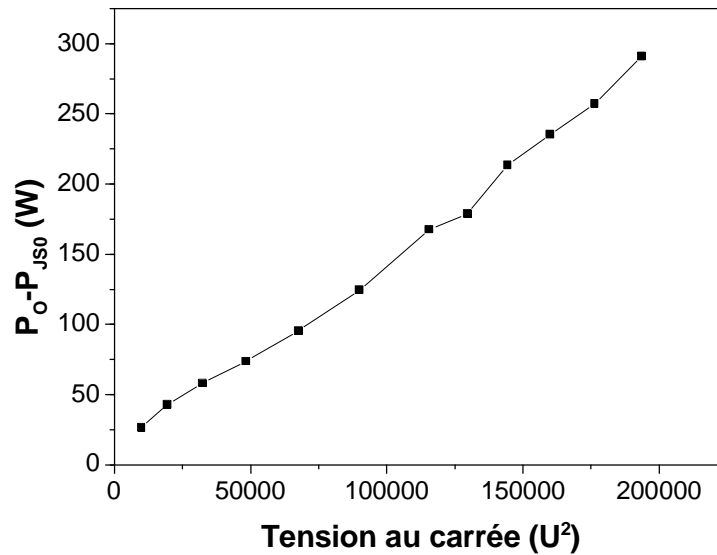


Figure IV.19: courbe d'évolution de la puissance absorbée diminuée des pertes Joule statoriques en fonction de la tension au carrée.

IV-5-1-4 Pertes fer statoriques (P_{fs0}) :

On calcule les pertes fer statoriques avec la formule suivante :

$$P_{fs0} = P_C - P_M \tag{IV.14}$$

$$P_{fs0} = 213.56 - 26.40$$

$$P_{fs0} = 187.16W$$

IV-5-1-5 Pertes supplémentaires :

On calcule les pertes supplémentaires avec la formule donnée par le constructeur :

$$P_z = 0,005 \frac{P_u}{h_n} \tag{IV.15}$$

$$P_z = 0.005 \times P_a$$

$$P_z = 0.005 \times 360$$

$$P_z = 1.8W$$

Tableau IV.13 : Résultats des pertes à vide.

U(V)	I ₀ (A)	P ₀ (W)	P _{js0} (W)	P _c (W)	P _m (W)	P _{fs0} (W)	P _z (W)
440	8.54	840	549.16	290.84	26.80	264.04	4.20
420	6.98	624	366.86	257.14	26.80	230.34	3.12
400	5.56	468	232.75	235.25	26.80	208.45	2.34
380	4.41	360	146.38	213.62	26.80	186.82	1.80
360	3.67	280	101.35	178.65	26.80	151.85	1.40
340	3.10	240	72.36	167.64	26.80	140.84	1.20
300	2.41	168	43.67	124.33	26.80	97.53	0.84
260	1.95	124	28.61	95.39	26.80	68.59	0.62
220	1.56	92	18.29	73.71	26.80	46.91	0.46
180	1.25	70	11.74	58.26	26.80	31.46	0.35
140	0.96	50	6.92	43.08	26.80	16.28	0.25
100	0.68	30	3.46	26.54	26.80	0.26	0.15

IV-5-2 Détermination des pertes en charge :

Calculons les pertes en charge pour :

- Une Charge de 100% ;
- Une tension de 380V ;
- Un courant de ligne de 7.08A ;
- Une puissance absorbée de 3760 W.

IV-5-2-1 Pertes joule statoriques P_{js}:

Les pertes Joule statoriques sont données par la formule suivante :

$$P_{js} = R \times I^2 \tag{IV.16}$$

Pour :

$R = 7.53\Omega$

$$P_{js} = 7.53 \times (7.08)^2$$

$$P_{js} = 377.45W$$

IV-5-2-2 Pertes fer statoriques (P_{fs}) :

Les pertes fer statoriques en charge sont constantes et égales aux pertes fer statoriques à vide au régime nominal parce que la tension et l'induction magnétique sont constantes :

$$P_{fs} = 187.16W$$

IV-5-2-3 Pertes statoriques (P_s):

Les pertes statorique sont données par la formule suivante :

$$P_s = P_{js} + P_{fs} \quad (\text{IV.17})$$

$$P_s = 377.45 + 187.16$$

$$P_s = 564.61W$$

IV-5-2-4 Puissance transmise au rotor (P_{tr}) :

La puissance transmise au rotor est donnée par :

$$P_{tr} = Pa - P_s \quad (\text{IV.18})$$

$$P_{tr} = 3760 - 564.61$$

$$P_{tr} = 319561W$$

IV-5-2-5 Pertes Joule rotoriques (P_{jr}) :

Elles sont données par la formule suivante :

$$P_{jr} = P_{tr} \times g \quad (\text{IV.19})$$

Tel que :

$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (\text{IV.20})$$

$$g = \frac{1500 - 1411}{1500} \times 100 = 5.90\%$$

$$P_{jr} = 3195.6 \times 0.59$$

$$P_{jr} = 188.54 \text{ W}$$

Avec :

- n_s : vitesse de synchronisme en tr/mn.
- n_r : vitesse du rotor en tr/mn.

IV-5-2-6 Pertes supplémentaires(P_z) :

Les pertes supplémentaires sont calculées par :

$$P_z = 0.005 \times P_a \tag{IV.21}$$

$$P_z = 0.005 \times 3760$$

$$P_z = 18.8 \text{ W}$$

Tableau IV.14 : Résultats des pertes en charge.

Charge %	150	125	100	75	50	25
U(V)	380	380	380	380	380	380
n(tr/mn)	1350	1387	1411	1436	1458	1480
I(A)	9.95	8.46	7.08	6.00	5.10	4.63
P_a (W)	5780	4760	3760	2840	1992	1184
P_{js} (W)	745.47	538.92	377.40	271.08	195.85	161.36
P_{fs} (W)	186.82	186.82	186.82	186.82	186.82	186.82
P_s (W)	932.29	725.74	564.22	457.90	380.67	348.18
P_{tr} (W)	4847.71	4034.26	3195.78	2382.10	1609.33	835.82
g(%)	10	7.53	5.90	4.26	2.80	1.33
P_{jr} (W)	484.77	303.77	188.54	109.57	45.06	10.86
P_m (W)	26.8	26.8	26.80	26.8	26.8	26.8
P_z (W)	28.9	23.8	18.80	14.20	9.96	5.92

IV-5-3 Caractéristiques des pertes à vide et en charge :

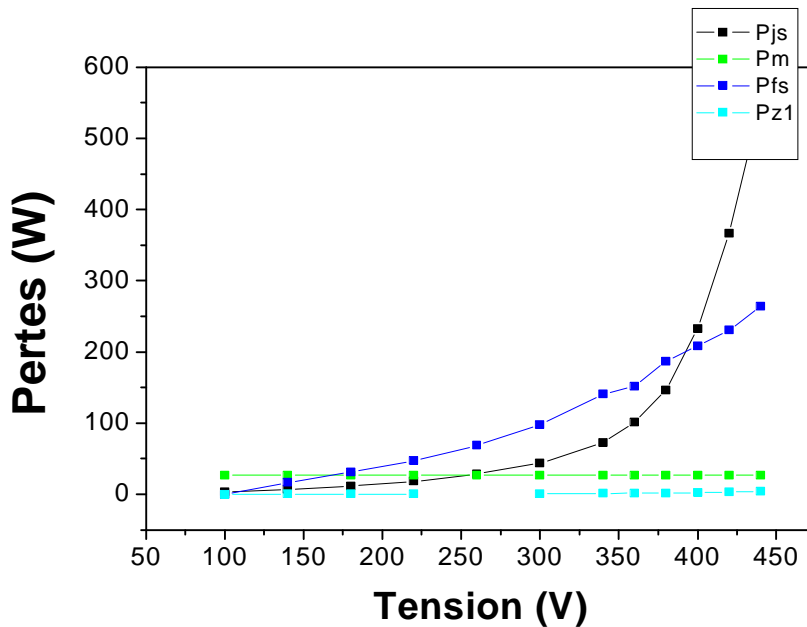


Figure IV.20 : Courbe d'évolution des pertes à vide en fonction de la tension.

Interprétation :

- Û La figure IV.20 représente la courbe d'évolution des pertes à vide en fonction de la tension.
- Û Les différentes pertes sont des pertes Joule statoriques, pertes fer statoriques, pertes mécaniques ainsi que les pertes supplémentaires.
- Û On remarque que les pertes Joule statoriques et pertes fer statoriques augmentent avec l'augmentation de la tension.
- Û Les pertes mécaniques sont constantes, elles sont déduites de la caractéristique des pertes constantes en fonction du carré de la tension.
- Û Les pertes supplémentaires sont la différence entre la puissance absorbée et la somme des pertes Joule statoriques, pertes fer statoriques et les pertes mécaniques.

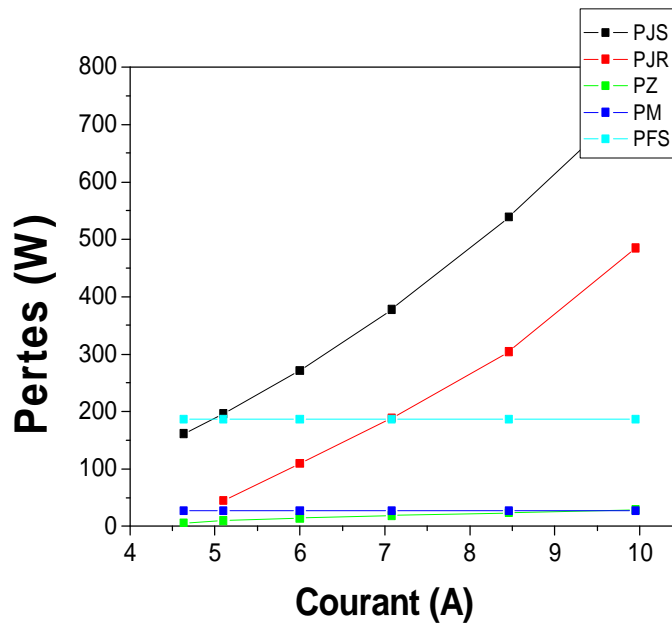


Figure IV.21 : Courbe d'évolution des pertes en charge en fonction du courant.

Interprétation :

- ü La figure IV.21 représente la courbe d'évolution des pertes en charge en fonction du courant.
- ü Les différentes pertes sont les pertes Joule statoriques, pertes joule rotoriques, pertes fer statoriques, pertes mécaniques ainsi que les pertes supplémentaires.
- ü On remarque que les pertes Joule statoriques et rotoriques augmentent avec l'augmentation du courant.
- ü Les pertes fer statoriques en charge sont constantes et égales aux pertes fer statoriques à vide au régime nominal parce que la tension et l'induction magnétique sont constantes.
- ü Les pertes supplémentaires représentent la différence entre la puissance absorbée et la somme des pertes Joule statoriques, pertes Joule rotoriques, pertes fer statoriques et pertes mécaniques.

Tableau IV.15 : Les valeurs relevées à la charge nominale.

Paramètres	A vide	En charge
Puissance utile (W)	0	3000
Courant (A)	4.41	7.08
Tension (V)	380	380
Puissance absorbé (W)	360	3760
Perte Joule statoriques (W)	146.38	377.40
Perte fer statoriques (W)	186.82	186.82
Puissance transmise au rotor (W)	26.80	3195.78
Pertes Joule rotoriques (W)	Négligeable	188.54
Pertes mécaniques (W)	26.80	26.80
Glissement (%)	6.00	5.90
Pertes supplémentaires (W)	1.80	18.80
Vitesse (tr/mn)	1410	1411
Facteur de puissance	0.12	0.82

Tableau IV.16 : Répartition des pertes en % avec la charge nominale.

	W	%
Puissance absorbée	3760	100
Puissance utile	3000	79
Pertes Joule statorique	377.40	10
Pertes Joule rotorique	188.54	5
Perte fer statorique	186.82	4
Pertes mécaniques	26.80	1
Pertes supplémentaires	18.80	1

IV-6 Détermination du rendement :

On calcule dans ce qui suit les deux rendements, celui du rotor et le rendement industriel.

IV-6-1 Rendement du rotor :

Le rendement du rotor est calculé pour voir la robustesse du rotor par la relation suivante :

$$h_r = 1 - g \tag{IV.22}$$

$$h_r = (1 - 0.059) \times 100$$

$h_r = 94.1\%$

IV-6-2 Rendement industriel

On le calcule avec deux méthodes (directe et indirecte) :

IV-6-2-a Méthode directe:

Le rendement industriel direct est calculé par la relation suivante:

$$h_{dir} = \frac{P_u}{P_a} \times 100 \tag{IV.23}$$

$$h_{dir} = \frac{3000}{3760} \times 100$$

$h_{dir} = 79.7\%$

IV-6-2-b Méthode indirecte (méthode des pertes séparées) :

Ce rendement est dit réel, il est calculé en fonction de l'ensemble des pertes par la relation suivante :

$$h_{ind} = \frac{P_a - \sum_{pertes}}{P_a} \times 100 \tag{IV.24}$$

Avec :

$$\sum_{perte} = P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_m + P_z \tag{IV.25}$$

$$h_{ind} = \frac{P_a - (P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_m + P_z)}{P_a} \times 100 \tag{IV.26}$$

$$h_{ind} = \frac{3760 - (377.4 + 186.82 + 188.54 + 26.8 + 18.8)}{3760} \times 100$$

$$h_{ind} = 78\%$$

Tableau VI.17 : Resultats des rendements direct et indirect.

Courant (A)	9.95	8.46	7.08	6.00	5.10	4.63
□ _{dir} (%)	74.50	77.50	79.80	80.70	77.70	66.50
□ _{ind} (%)	74.50	77.30	78.70	78.50	76.60	67.20

IV-6-3 Caracteristique du rendement direct et indirect :

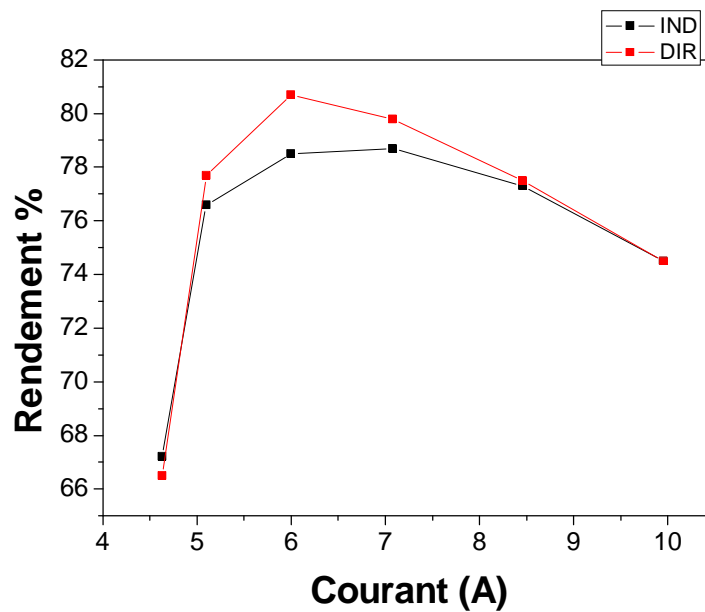


Figure IV.22 : Courbe d'évolution du rendement direct et indirect en fonction du courant.

Interprétation et comparaison :

ü Figure IV.22 représente la courbe d'évolution du rendement direct et indirect en fonction du courant.

- ù On remarque que le rendement direct est supérieur au rendement indirect qui représente le rendement réel de la machine.
- ù La différence entre le rendement direct et indirect représente la somme des pertes dues à l'échauffement de la machine.

IV-7 Table d'exploitation :

	Paramètres	150%	125%	100%	75%	50%	25%
Mesure En charge	$U_n(V)$	380	380	380	380	380	380
	$I_n(A)$	9.95	8.46	7.08	6.00	5.10	4.63
	$P_{ab}(W)$	5780	4760	3760	2840	1992	1184
	$P_u(W)$	4309	3690	3000	2293	1549	787
	$\square_{dir}(\%)$	74.50	77.50	79.80	80.70	77.70	66.50
	$\square_{ind}(\%)$	74.50	77.30	78.70	78.50	76.60	67.20
	$\cos\phi$	0.88	0.85	0.81	0.72	0.59	0.39
	$n(tr/mn)$	1350	1387	1411	1436	1458	1480
	$g(\%)$	10	7.53	5.90	4.26	2.80	1.33
Mesure à vide	$I_0(A)$			4.41			
	$P_0(W)$			360			
Pertes séparés	$P_{js}(W)$	745.47	538.92	377.40	271.08	195.85	161.36
	$P_{fs}(W)$	186.82	186.82	186.82	186.82	186.82	186.82
	$P_z(W)$	28.9	23.8	18.80	14.20	9.96	5.92
	$P_{jr}(W)$	484.77	303.77	188.54	109.57	45.06	10.86
	$P_m(W)$	26.8	26.8	26.80	26.8	26.8	26.8
	$\Sigma_{pertes}(W)$	1472.76	1080.11	798.36	608.47	464.49	387.76
	$C_d(Nm)$			55.91			
	$C_n(Nm)$			20			
	$C_{max}(Nm)$			70.86			
Court- circuit	$I_n(A)$			7.00			
	$P_{cc}(W)$			536			
	$U_{cc}(V)$			73.00			

Ø Comparaison des résultats :

En comparant les résultats trouvés à 100% de charge nominale par rapport à la fiche technique de contrôle du moteur, on déduit que notre moteur est optimisé et qu'il entre dans les normes de fabrication des moteurs asynchrones triphasés données par le constructeur.

Conclusion :

Après avoir effectué les différents contrôles auxquels sont soumis les moteurs fabriqués au sein de l'entreprise E.I, on constate que les valeurs trouvées lors des essais série et spéciaux correspondent aux valeurs données par le constructeur, donc ce moteur est apte à la livraison.

Conclusion générale

Le stage pratique qu'on a effectué au sein de l'entreprise Electro-Industries et particulièrement sur la plate forme d'essais série et spéciaux, a été une occasion pour nous familiariser avec le monde du travail, et de faire une application avec nos connaissances théoriques acquises durant notre cursus d'étude au sein de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Ce stage a également été une occasion pour voir de plus près l'industrie des machines électriques et de s'intégrer dans le milieu industriel.

Pour cela, nous avons commencé notre mémoire par les généralités sur les moteurs asynchrones, du point de vue constitution et principe de fonctionnement, puis nous avons fait le processus de fabrication des moteurs asynchrones triphasés à l'entreprise EI, en décrivant les différents ateliers de fabrication. Une fois que le moteur est fabriqué, il transite à la plate forme de contrôle pour subir des essais de contrôle de qualité par un personnel qualifié capable de juger la bonne qualité du moteur et signer ainsi sa commercialisation.

Les essais de contrôle effectués sur le moteur, objet de notre étude, nous ont révélé qu'il est d'une qualité requise ainsi que d'une fiabilité incontestable, et ce grâce aux techniques de contrôles intolérables et l'optimisme du constructeur en vue de présenter au marché un produit digne des normes mondiales en vigueur.

Enfin, nous souhaitons que notre travail soit une base pour des études complémentaires et qu'il puisse être utile pour les promotions futures.

Bibliographie

[1] AKMOUSSI.K, ZOURDANI.S

« Détermination de la répartition des pertes de puissance dans un moteur asynchrone à cage d'écureuil 2.2kW »Mémoire LP

UMMTO 2011

[2] SAOULI. K, HADJADJ. M, LOUALI. S

« Conception d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil à 8 pôles »Mémoire DEUA

UMMTO 2009

[3] Documentations internes de l'entreprise Electro-Industries.

[4] Merrad.CH, Mehoul.M

« Etude des performances d'un moteur asynchrone » Mémoire DEUA

UMMTO 2009

[5] Benfeda.R, Amrane.B, Chaouche.A

« Etude de la protection électrique des moteurs asynchrones triphasés »Mémoire ING

UMMTO 2012

[6] Abdeslam.Dj

« Analyse et construction d'un moteur asynchrone à rotor à cage » Mémoire MAG

Ecole national polytechnique, 2006

Nominataire des tolérances selon la norme industrielle allemande.

Rendement	$\Delta \square = -15 \% \text{ de } (1-\square).$
Facteur de puissance	$\Delta \cos \Phi = -\left(1 - \frac{\cos \Phi}{6}\right)$
Glissement	$\Delta_g = \pm 20 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Courant de démarrage	$\Delta I_d = + (15 \text{ à } 25 \% \text{ de la valeur garantie.})$
Couple minimale de démarrage	$\Delta_c = \pm 10 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Moment d'inertie	$\Delta_j = \pm 10 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Fréquence	$\Delta_f = \pm 5 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Tension nominale	$\Delta U_n = \pm 10 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Courant nominal	$\Delta I_n = \pm 10 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Puissance utile	$\Delta_{pu} = \pm 10 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Vitesse de rotation	$\Delta_n = \pm 10 \% \text{ de la valeur garantie.}$
Resistances des enroulements	$\Delta_{ph} \pm 3 \% \text{ entre phases.}$
Resistance de chaque phase	$\Delta_{ph} \pm 5 \% \text{ de la valeur de consigne.}$
Température ambiante	$T \leq 40^\circ \text{C}$